

**Zentrum für Meeres- und Klimaforschung  
Universität Hamburg**

**GKSS-Forschungszentrum  
Geesthacht**

## **5. Deutsche Klimatagung**

**Klima zwischen Natur- und Geisteswissenschaften  
- Sustainability und Globaler Wandel -**

CCH Congress Centrum Hamburg

2.-6. Oktober 2000

unterstützt durch

**BMBF  
Freunde und Förderer der GKSS  
Deutsche Meteorologische Gesellschaft  
Deutsche Gesellschaft für Meeresforschung**



## Veranstalter

### **Prof. Dr. Hans von Storch**

GKSS-Forschungszentrum Geesthacht  
Max-Planck-Straße  
21502 Geesthacht

### **Prof. Dr. Jürgen Sündermann**

Zentrum für Meeres- und Klimaforschung  
Bundesstr. 55  
20146 Hamburg

-----  
**Programm-Komitee**

### **Prof. Dr. Hans von Storch** (Vorsitzender)

(s.o.)

### **Dr. Ulrich Cubasch**

Deutsches Klimarechenzentrum  
Bundesstr. 55  
20146 Hamburg

### **Prof. Dr. Josef Egger**

Meteorologisches Institut  
Universität München  
Theresienstr. 37  
80333 München

### **Dr. Götz Flöser**

(s.u.)

### **Prof. Dr. Friedrich-Wilhelm**

#### **Gerstengarbe**

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung  
Telegraphenberg C4  
14473 Potsdam

### **Prof. Dr. Gerd Jendritzky**

Deutscher Wetterdienst  
Business Unit Human Biometeorology  
Stefan-Meier-Str. 4  
79104 Freiburg

### **Walter Lenz**

(Deutsche Gesellschaft für  
Meeresforschung)  
(s.u.)

### **Prof. Dr. Gunter Menz**

Geographisches Institut  
(Deutsche Gesellschaft für Geographie)  
Universität Bonn  
Meckenheimer Allee 166  
53115 Bonn

### **Prof. Dr. Jörg Negendank**

GeoForschungsZentrum Potsdam  
Telegraphenberg C4  
14473 Potsdam

### **Prof. Dr. Gerd Tezlaff**

Institut für Meteorologie  
(Deutsche Meteorologische Gesellschaft)  
Universität Leipzig  
Stephanstr. 3  
04103 Leipzig

### **Prof. Dr. Heinz Wanner**

Geographisches Institut  
Universität Bern  
Hallerstr. 12  
CH-3012 Bern

## Sekretariat

### **Walter Lenz**

Zentrum für Meeres- und Klimaforschung  
Bundesstr. 55  
20146 Hamburg

### **Dr. Götz Flöser**

GKSS Forschungszentrum  
Max-Planck-Straße  
21502 Geesthacht



# Programm

## Montag, 2. Oktober

Betreuer: G. Menz / G. Jendritzky

### 9.00 Begrüßung

#### A. Klimatologie

9.15 Übersichtsvortrag: **C.-D. Schönwiese / A. Walter**  
Globale und regionale Klimaänderungen in historischer Zeit – Diagnostische Erkenntnisse und Potential interdisziplinärer Forschung

10.00 Ko-Referat: **G. Menz**  
IMPETUS – Integratives Management Projekt für einen effizienten und tragfähigen Umgang mit Süßwasser

10.10 Ko-Referat: **G. Jendritzky**  
Regionale Aspekte von Gesundheitsrisiken bei Klimaänderungen

### 10.20 Pause

10.50 Eingeladener Redner: **G. Berz**  
Weltweite Zunahme der Wetterrisiken – eine Herausforderung für Meteorologie und Versicherungswirtschaft

11.35 Eingeladene Rednerin: **B. Menne**  
Auswirkungen des Klimas auf die Gesundheit: Wissenschaft versus Politik

### 12.20 Mittagspause

#### A1a

14.00 **P. Carl**  
Dynamische Aspekte der Klimaentwicklung im 20. Jahrhundert

14.20 **S. Trömel / J. Grieser / C.-D. Schönwiese**  
Statistische Zerlegung europäischer Temperaturzeitreihen zur Entdeckung verschiedener zeitlicher Strukturen

14.40 **J. Grieser**  
Extremwerte und Extremereignisse: Zusammenhänge zwischen mittleren und extremen Verhalten

15.00 **P. Fabian / A. Menzel**  
Der Verlauf der phänologischen Jahreszeiten in Deutschland während der letzten 4 Jahrzehnte

#### A1b

14.00 **R. Voss / W. May / E. Roeckner**  
Simulierte Änderung von Extremen des hydrologischen Kreislaufs durch einen Anstieg der Treibhausgaskonzentration

14.20 **D. Schäfer / M. Domrös**  
Statistische Untersuchungen zur räumlichen und zeitlichen Variabilität des Indischen Monsuns

- 14.40 N. Lanfer**  
Hemisphärische Aufnahmen als Eingangsparameter zum Blattflächenindex in die Penman-Monteith Gleichung zur Bestimmung der Verdunstung in Agroökosystemen im Tieflandsregenwald Ecuadors
- 15.00 P. Bissolli**  
Klimatologie der Globalstrahlung für Deutschland aus Meteosat-Satellitendaten und bodengestützten Messungen
- 15.20 Postersession**

## A2

- 16.00 E. Raschke / M. Klein / T. Mengelkamp / B. Rockel / K. Warrach**  
BALTEX: Ein Beitrag zur Regionalisierung des Klimas
- 16.20 P. Post / V. Truija / J. Tuulik**  
A new classification of atmospheric circulation for the Baltic Sea Region
- 16.40 B. Rudolf / F. Rubel**  
Wie gut sind aus Satellitenbeobachtungen abgeleitete Niederschlagsfelder?
- 17.00 M. Iziomon / H. Mayer**  
Characteristic variability, vertical profile and modelling of shortwave radiation regime in the Southern Upper Rhine Valley region
- 18.00 Icebreaker-Party**  
in der Universität Hamburg, Hauptgebäude - Flügelbau West, Edmund-Siemers-Allee 1

## Dienstag, 3. Oktober

### B. Regionalisierung

Betreuer: F.W. Gerstengarbe / K. Dethloff

- 9.15** Übersichtsvortrag: **D. Gyalistras**  
Klimaregionalisierung: Methoden und Anwendungen
- 10.00** Ko-Referat: **G. Petschel-Held**
- 10.10** Ko-Referat: **G. Bürger**
- 10.20** **Pause**
- 10.50** Eingeladener Redner: **M. Kerschgens**  
Ansätze zur Regionalisierung mit Hilfe dynamischer Modelle
- 11.35** Eingeladener Redner: **W. Lahmer**  
Hydrologische Auswirkungen von Klimaänderungen im regionalen Maßstab
- 12.20** **Mittagspause**

## B1

- 14.00 F. Berger / T. Halecker / C. Podlasly / A. Schwiebus**  
Strahlungs- und Energieflüsse auf lokalen und regionalen Skalen abgeleitet mit Hilfe von Satellitendaten
- 14.20 M. Denhard**  
Statistische Analyse des Einflusses von El Nino auf Europa
- 14.40 F. Feser**  
Der Informationszugewinn durch dynamische Regionalisierung
- 15.00 M. Widmann**  
Sind Niederschläge aus GCM-Simulationen ein guter Prädiktor für regionale Niederschläge?
- 15.20 Postersession**
- 16.00 W. Dorn / K. Dethloff / A. Rinke**  
Einfluß der nordatlantischen Oszillation auf das arktische Winterklima in einem Regionalmodell
- 16.20 T. Semmler**  
Sensitivitätsstudien mit dem regionalen Klimamodell REMO zur Eisverteilung in der Arktis
- 16.40 C. Schrum / F. Janssen / F. Siegismund**  
Auswirkungen von Windfeldänderungen in Nordsee und Ostsee
- 17.00 D. Jacob**  
Regionale Klimamodellierung im Ostseeraum

## B2

- 14.00 B.-R. Beckmann / T.A. Buishand**  
Statistisches Downscaling von täglichem Niederschlag in den Niederlanden und in Norddeutschland
- 14.20 H.-J. Fuchs / M. Werner / G. Schüller**  
Regionalisierung von Klimadaten in Rheinland-Pfalz
- 14.40 W. Enke**  
Regionalisierung von Klimamodell-Ergebnissen des statistischen Verfahrens der Wetterlagenklassifikation und nachgeordneter multipler Regressionsanalyse für Sachsen
- 15.00 A. Siegmund**  
Der integrierte Einsatz von Satellitenbilddaten und digitalen Geländemodellen zum Entwurf großmaßstäbiger regionaler Klimakarten – dargestellt am Beispiel Baar
- 15.20 Postersession**
- 16.00 U. Busch / D. Heimann**  
Ein Regionalisierungsverfahren zur Bestimmung von Extremwerten
- 16.20 A. Philipp / J. Jacobeit**  
Telekonnektionen zwischen Niederschlag im südlichen Afrika und troposphärischer Zirkulation: Intraseasonale und interanuelle Variabilität
- 16.40 U. Beyer**  
Regionale Auswirkungen des globalen Klimawandels: Niederschlagsänderung in Namibia

## Mittwoch, 4. Oktober

### C. Klima im öffentlichen Interesse

Betreuer: H. von Storch / J. Sündermann

- 9.15**   Übersichtsvortrag: **P. Weingart / A. Engels**  
Das Wissen der Medien und die Erwartungen an die Wissenschaft: gesellschaftliche Wahrnehmung von Klimawandel
- 10.00**   Ko-Referat: **J. Sündermann**
- 10.10**   Ko-Referat: **H. von Storch**
- 10.20**   **Pause**
- 10.50**   Eingeladener Redner: **R. Schweer**  
Das Modellprojekt Brundtlandstadt Viernheim – die Umsetzung einer nachhaltigen Klimaschutzstrategie aus der Sicht staatlicher Umweltpolitik
- 11.35**   Eingeladener Redner: **W. R. Dombrowsky**  
Zukunftsentwürfe und Gestaltungspotentiale für die Insel Sylt angesichts möglicher Klimaänderungen
- 12.20**   Eingeladener Redner: **R. Tol**  
Some Economics of Climate Change
- 13.00**   **Mittagspause**
- 14.30**   **H. von Storch / N. Stehr**  
Anthropogener Klimawandel – eine beunruhigende Vorstellung seit dem 18. Jahrhundert
- 14.50**   **B. Frenzel**  
Klimaschwankungen als Ursache von Völkerwanderungen?
- 15.10**   **W. Krauß / M. Döring**  
Der Klimawissenschaftler als Prophet – Die kulturelle Dimension des Klimas
- 15.30**   **P. Werner**  
Verschiebung der Klimagebiete in Gegenwart und Zukunft
- 15.50**   **Postersession**
- 16.10**   **R. Bürki**  
Die Klimaänderung aus Sicht der Tourismuspraxis
- 16.30**   **H. Elsasser**  
Die Klimaänderung als Bedrohung für den alpinen Tourismus?
- 16.50**   **A. Schwarz**  
Küstenschutz 2000
- 17.10**   **D. Bray**  
From Science to Policy: Climate Change Perceptions in the German Context
- 17.30**   **U. Katenkamp**  
DEKLIM- das neue BMBF-Förderprogramm der Klimaforschung

# Donnerstag, 5. Oktober

## D. Modellkonzepte

Betreuer: J. Egger / U. Cubasch

- 9.15**   Übersichtsvortrag: **E. Roeckner**  
Das Klimasystem und seine Modellierung
- 10.00**   Ko-Referat: **R. Sausen**
- 10.10**   Ko-Referat: **W. Knorr**  
Biogeochemische Spurenstoffkreislaufmodelle
- 10.20**   **Pause**
- 10.50**   Eingeladener Redner: **G. Adrian**  
Wettervorhersagemodellierung
- 11.35**   Eingeladener Redner: **Olbers**  
Modelle mit reduzierter Komplexität
- 12.20**   Eingeladener Redner: **D. Müller**  
Datenassimilation in der Erdsystemmodellierung
- 13.00**   **Mittagspause**

## D1

- 14.30**   **U. Achatz / J.D. Opsteegh**  
Vereinfachte Atmosphärenmodelle mit realistischer Variabilität
- 14.50**   **M. Claußen**  
Erdsystemmodellierung – neue Modellkonzepte
- 15.10**   **H.-M. Fuessel**  
Applying climate impact response functions in integrated assessment models of climate change
- 15.30**   **R. Klein / N. Botta / A. Owinoh**  
Skalenanalyse, Mehrskalenasymptotik und numerische Verfahren
- 15.50**   **Postersession**
- 16.10**   **C. Reithmeier / R. Sausen**  
Lagrangescher Transport von Tracern
- 16.30**   **J.-S. von Storch**  
Complex Climate Models and the macroscopic behaviour of the climate
- 16.50**   **H. Vos / A. Brauer / C. Bruchmann / J. Mingram / J.F.W. Negendank / B. Zolitschka**  
Stable periodicities and nonlinear transfer – some examples from climate proxies
- 17.10**   **A. Walter / C.D. Schönwiese**  
Zur Anwendung neuronaler Netze in der Klimatologie: Methoden, Probleme, Ergebnisse

## D2

- 14.30 P. Carl**  
Monsun-Modellklimata
- 14.50 N. Mölders**  
Modellierung der Wasserverfügbarkeit
- 15.10 A. Pfitzenmayer**  
Stochastischer Generator für hochfrequente signifikante Wellenhöhen in der Nordsee
- 15.30 R. Sausen**  
Vergleich der Ergebnisse eines interaktiv gekoppelten Klima-Chemie-Modells mit Beobachtungen
- 15.50 Postersession**
- 16.10 T. Staeger / J. Grieser / C. D. Schönwiese**  
Statistische Entdeckung des anthropogenen Treibhaussignals in beobachteten globalen und regionalen Klimadatenfeldern
- 16.30 V. Wirth**  
Detection of „hidden“ regimes in a stochastic model of soil moisture dynamics
- 16.50 J.-I. Yano**  
Tropical convective variability as 1/f-Noise
- 20.00 Dinner**  
im Fischerhaus, Am Fischmarkt 14
- H. Langenberg**  
Herausforderungen an die Klimaforschung
  - Verleihung des Brückner-Preises**

## Freitag, 6. Oktober

### E. Paläoklimatologie

Betreuer: H. Wanner / J. Negendank

- 9.15** Übersichtsvortrag: **T. Stocker**  
Die Zukunft hat gestern begonnen: Der Beitrag der Paläoklimaforschung zum Verständnis des Systems Erde
- 10.00** Ko-Referat: **B. Hay**  
Warm, kalt, feucht, trocken: Das Klima des Phanerozoikums
- 10.10** Ko-Referat: **B. Kromer**  
Radiokohlenstoff in Baumringen der letzten 12.000 Jahre – Ein Monitor für solare und ozeanische Variabilität
- 10.20** **Pause**
- 10.50** Eingeladener Redner: **M. Claussen**  
Modellierung der Klimaänderungen der letzten 130.000 Jahre
- 11.35** Eingeladener Redner: **C. Pfister**  
Wendezeiten und Weltbilder – Zur Deutung und Instrumentalisierung von Klimaextremen in Geschichte und Gegenwart
- 12.20** **Mittagspause**

#### E1 – Klimakonstruktionen auf der Basis von Langfristarchiven

- 14.00** **U. Brathauer / B. Zolitschka / J.F.W. Negendank**  
Frühholozäne Klimaoszillationen in jahreszeitlich geschichteten Sedimenten des Holzmaares
- 14.20** **A. Brauer / T. Litt / J.F.W. Negendank / M. Stebich**  
Abrupte spätglaciale Klimaschwankungen in Westeuropa und Grönland – eine Telekonnektion jahresgeschichtlicher Klimaarchive
- 14.40** **A. Lücke / G. Schleser**  
Stable isotopes in organic lake sediments for climate reconstructions: a case study at Lake Holzmaar, Germany
- 15.00** **Postersession**
- 15.20** **A. Mangini / M. Lomitschka**  
Deep Sea Corals: Archives of deep sea N.A. ventilation since the LGM
- 15.40** **U. Neff / A. Mangini / S. Burns / D. Fleitmann / A. Matter / M. Mudelsee**  
A high-resolution record of a stalagmite from Oman reveals a common driving mechanism for the Indian Ocean Monsoon and atmospheric  $\Delta^{14}\text{C}$
- 16.00** **G. Helle / A. Brauning / G.H. Schleser**  
Climate History of the Tibetan Plateau for the last 1500 years as inferred from tree-ring studies

## **E2 – Rekonstruktion und Diagnostik historischer Klimadaten**

- 14.00 J. Luterbacher / C. Schmutz / D. Gyalistras / E. Xoplaki/ H. Wanner**  
Rekonstruktion meteorologischer Felder über Europa zurück bis AD 1500
- 14.20 R. Brazdil**  
Historical climatology and climate fluctuation in the pre-instrumental period in Europe
- 14.40 S. Pohl**  
Die räumlich-zeitliche Variabilität des Klimas in Europa 1675 - 1995
- 15.00 Postersession**
- 15.20 J. Jones / F. Gonzalez-Rouco / M. Widmann / E. Zorita / H. von Storch**  
A multiproxy reconstruction of atmospheric circulation
- 15.40 J. Jacobeit / H. Wanner / J. Luterbacher / C. Beck / A. Philipp / K. Sturm**  
Atmosphärische Zirkulationsvariabilität im europäisch-atlantischen Sektor seit Mitte des 17. Jahrhunderts

## **E3 – Simulation des Paläoklimas**

- 14.00 A. Steppuhn / M. Lautenschlager / V. Mosbrugger / A. Ganopolski**  
Klimarekonstruktion des oberen Miozäns (Tertiär) mittels gekoppelter Klimamodelle
- 14.20 M. Kuhle**  
Ein reliefspezifisches Eiszeitenstehungsmodell auf der Basis hebungsbedingter Gletscherflächen und Albedozunahme sowie ihrer positiven klimatologischen Rückkopplung durch die Globalstrahlungsgeometrie
- 14.40 T. Crueger**  
Entwicklung von Downscaling Modellen zur Schätzung von „Künstlichen Eiskernen“
- 15.00 Postersession**
- 15.20 M. Werner**  
Variabilität von H<sub>2</sub><sup>18</sup>O und HDO in ECHAM Paläo-Simulationen
- 15.40 S. Lorenz / B. Grieger**  
Simulation der atmosphärischen Zirkulation vor 2000 Jahren mit ECHAM 4 unter Berücksichtigung der anthropogen ungestörten Vegetationsverteilung
- 16.00 G. Hoffmann**  
Modellierung des Einflusses von Klimavariationen im Pleistozän auf die isotopische Zusammensetzung von Luftsauerstoff (Dole Effekt): GCM Simulationen für 6kyr, 11kyr, 14 kyr, 16 kyr, 21 kyr und 175 kyr vor heute
- 16.20 Abschluß**

# Poster

## A. Klimatologie

### C. Beck

Variabilität von Temperatur und Niederschlag in Mitteleuropa seit 1780 als Folge von Häufigkeitsveränderungen und typinternen Variationen nordatlantisch-europäischer Zirkulationsmuster

### T. Felis / J. Pätzold / Y.A. Moustafa / Y. Loya / G. Wefer

Coral records in the northern Red Sea: proxies or marine climate variability in the Middle East

### S. Haeseler

Dendroklimatologische Analyse zweier Jahrringbreitenreihen aus dem Gebiet Südbrandenburg/ Nordsachsen für das 11. bis 20. Jh.

### F. Lamy / D. Hebbin / C. Rühlemann / G. Wefer / M. Marchant

Reconstructing latitudinal shifts of the Southern Westerlies from maritime sediment studies along the Chilean continental margin

### J. Rapp

Problematik der Analyse von Klimatrends auf der Basis von Stationsreihen

### K. Sturm / O. Stüdemann

Hochwasserhäufigkeit in Mitteleuropa seit 1500

### T. Fuchs / B. Rudolf / F. Rubel

Ein neues Verfahren zur stationsbezogenen Korrektur täglicher Niederschlagsmeßdaten hinsichtlich systematischer Meßfehler mit spezieller Berücksichtigung der Niederschlagsphase

### M. Kappas

Niederschlagsschwankungen im Karibischen Raum – Das Beispiel der Dominikanischen Republik

### R. Lazar

Stadtklima und Lufthygiene in Cochabamba / Bolivien

### H. Österle

Eine Methode zur Berechnung der Tagessumme der Globalstrahlung mittels Regressionsbeziehungen

### C. Schneider / G. Casassa / R. Kilian

Regionale Klimadifferenzierung und Gletschermassenhaushalt im Bereich der andinen Kodilliere Patagoniens – ein Beitrag zur Erfassung aktueller Klimaschwankungen

## B. Regionalisierung

### W. Enke

Trend des bodennahen Ozons zwischen 1980 und 1997

### F. Fiedler

Die Energiebilanz des Bodens in orographisch gegliedertem Gelände

## C. Klima im öffentlichen Interesse

### G. Jendritzky / B. Tinz

Bioklimakarten als Werkzeug für die Klimafolgenforschung

## **D. Modellkonzepte**

### **P. Carl**

Modell-Klimavariabilität und „systemdynamischer Kern“ eines AGCMs

### **M. Fortmann / A. Rinke / K. Dethloff**

Das Klimasignal durch arktisches Aerosol: Simulationen mit einem Regionalmodell

### **D. Handorf / K. Dethloff / A. Weissheimer**

Natürliche Klimavariabilität in einer Hierarchie von Klimamodellen

### **K. Keuler**

Regionale Klimamodelle: Interpolation globaler Modellergebnisse oder mehr?

### **K. Zickfeld**

A reduced form model for the transient response of the thermohaline circulation to global warming

### **E. Zorita**

Rekonstruktion des Klimas der letzten 1000 Jahre durch Datenassimilation in Klimamodelle

## **E. Paläoklima**

### **H. Arz / J. Pätzold**

Late glacial and Holocene climate changes in the northern Red Sea: teleconnections to the North Atlantic

## Abstracts der Vorträge

### A. Klimatologie

#### **Globale und regionale Klimaänderungen in historischer Zeit – Diagnostische Erkenntnisse und Potential interdisziplinärer Forschung**

Christian-D. Schönwiese (Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt a.M.)

Klima wird aus empirischer Sicht als die Statistik des relativ langfristigen Verhaltens bestimmter atmosphärischer Meßgrößen wie Temperatur, Niederschlag usw. aufgefaßt. Die vielfältigen indirekten (paläoklimatologischen) Informationsquellen weisen darauf hin, daß das Klima im Laufe der Erdgeschichte stets, zum Teil drastisch variiert hat. Doch erst die relativ verlässlichen direkten Meßdaten der historischen Zeit, insbesondere der letzten 100-200 Jahre (Neoklimatologie), erlauben, ein recht genaues Bild der Klimaänderungen in Raum und Zeit zu zeichnen und deren besondere statistische Charakteristika global wie regional abzuschätzen. Dies ist zugleich die Zeit, in der die Menschheit immer intensiver und im globalen Maßstab Einfluß genommen hat, somit als zusätzlicher Klimafaktor neben den natürlichen Klimavariationen in Erscheinung tritt.

Wird die ursächliche Diagnostik der beobachteten bzw. rekonstruierten Klimaänderungen ebenfalls empirisch-statistisch durchgeführt, hat sie sich an den Strahlungsantrieben im bzw. auf das Klimasystem und den internen Wechselwirkungen, insbesondere im Rahmen der atmosphärisch-ozeanischen Zirkulation, somit am physikalischen Hintergrund zu orientieren. Unter dieser Voraussetzung ist die Entwicklung statistischer Hypothesen über Ursache-Wirkung-Mechanismen (z.B. Regressionen, Faktorenanalyse, neuronale Netze) möglich, einschließlich dem Versuch, den Klimafaktor Mensch von den natürlichen Klimavariationen abzugrenzen (statistische Signalanalyse).

Das interdisziplinäre Moment der Klimaforschung ist bereits bei der Klimadatenerfassung und Klimasystem-Betrachtung verwirklicht. Erweitert man das naturwissenschaftliche abiotische Klimasystem (Atmosphäre-Hydrosphäre-Kryosphäre-Pedo / Lithosphäre) um die Biosphäre (zunächst nur Flora und Fauna) und die Anthroposphäre, so sind u.a. auch die Problemkreise Gesundheit, Ökologie, Ökonomie und Politik impliziert und es stellen sich die ebenso umfangreichen wie

komplizierten, bisher erst sehr partiell geklärten Fragen nach den Auswirkungen der Klimaänderungen auf die Bio/Anthroposphäre in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft, einschließlich Rückkopplungen, sowie der damit verbundenen Risiken und Handlungsoptionen.

#### **Regionale Aspekte von Gesundheitsrisiken bei Klimaänderungen**

Gerd Jendritzky (Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Medizin-Meteorologie, Freiburg)

Es wird erwartet, dass sich Klimavariabilität und Klimaänderungen auf die Gesundheit des Menschen auswirken werden. Zu den direkten Effekten zählen erhöhte Mortalität und Morbidität, verringertes Leistungsvermögen und Beeinträchtigungen des Wohlbefindens bei Hitzewellen (evtl. aufgesteilt durch den städtischen Wärmeineffekt) sowie Auswirkungen durch meteorologische Naturkatastrophen. Indirekt wird die Gesundheit durch die vom Klima beeinflusste Verfügbarkeit von Nahrung, Trinkwasser, sicheren Siedlungen und Behausungen sowie durch die Steuerung der Verbreitung zahlreicher Infektionskrankheiten bestimmt. Die Abhängigkeit von den sozioökonomischen Rahmenbedingungen erzeugt nicht nur im globalen Maßstab sehr unterschiedliche Verwundbarkeiten von Bevölkerungen; auch lokal sind soziale Einflüsse schließlich entscheidend. Dies ist bei Adaptationsstrategien zur Milderung ungünstiger Einflüsse auf die Gesundheit unbedingt zu berücksichtigen.

Die bisherigen Diskussionen unter dem Dach der WHO über zukünftige Gesundheitsrisiken bei erwarteten Klimaänderungen lassen den Schluss zu, dass in Deutschland durch Zecken und Nager übertragene Infektionskrankheiten, psychische Erkrankungen, Lebensmittelvergiftungen, Durchfallerkrankungen sowie das Risiko für die Übertragung importierter tropischer Krankheiten zunehmen könnten. Aber wie in allen Ländern mit gemäßigttem Klima muss hauptsächlich mit nachteiligen Einflüssen von Hitzewellen auf Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit gerechnet werden.

Vorläufige Ergebnisse einer Studie mit 30jährigen Zeitreihen von tgl. Mortalitätsdaten aus Baden-Württemberg zeigen mit über 20 % Varianzerklärung im Sommer einen überraschend deutlichen Einfluss der thermischen Umweltbedingungen auf die Gesundheit. Zur Abmilderung sind Interventionsstrategien mit lokalspezifischen Maßnahmen

(Hitzebelastungswarndienste nach dem Vorbild der WMO/WHO/UNEP – Showcase Projekte) zu entwickeln. Die Erfahrungen aus ihrem Einsatz dienen den Entscheidungsträgern in der Politik als Grundlage für die Daseinsvorsorge im Gesundheitswesen.

### **Weltweite Zunahme der Wetterrisiken – Eine Herausforderung für Meteorologie und Versicherungswirtschaft**

Gerhard Berz (Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, München)

Naturkatastrophen haben in den letzten Jahrzehnten nach Zahl und Auswirkungen drastisch zugenommen. So stiegen die Anzahl der großen Wetterkatastrophen von den 60er zu den 90er Jahren auf das Vierfache, die volkswirtschaftlichen Schäden – inflationsbereinigt – auf das Achtfache und die versicherten Schäden sogar auf das Dreizehnfache. Die Hauptursachen für diesen weltweiten Trend sind vor allem die steil zunehmende Konzentration von Bevölkerung und Werten in Großstadträumen, von denen viele noch dazu in hochexponierten Regionen liegen, ein häufig unzureichendes Katastrophenmanagement (von Bauvorschriften, Landnutzungsauflagen und Frühwarnsystemen bis zur Katastrophenhilfe) und die wachsende Anfälligkeit moderner Industriegesellschaften für Störungen der Infrastruktur. Bei den atmosphärischen Naturgefahren machen sich außerdem zunehmend die anthropogene Klimaänderung und andere Umwelteinflüsse bemerkbar.

Die Schadenpotentiale künftiger Naturkatastrophen liegen in bisher ungekannten Größenordnungen (100 Milliarden bis Billionen US\$) und stellen eine ernste Bedrohung für weite Wirtschaftsbereiche und ganze Volkswirtschaften dar. Die Versicherungswirtschaft, die heute mehr denn je mit diesen Gefahren konfrontiert ist, versucht die Herausforderung mit einer Vielzahl von bewährten versicherungstechnischen Instrumenten (u. a. Kumulkontrolle, Selbstbeteiligung, prospektive Prämienkalkulation, Rücklagen) und auch mit neuen Methoden des Risikotransfers an die Kapitalmärkte zu meistern. Sie benötigt hierzu die Beratung und Risikobeurteilung durch erfahrene Geowissenschaftler und Ingenieure. Da auch andere Industriezweige und viele staatliche Institutionen vor ähnlichen Problemen stehen, hat sich auf diesem Gebiet in den letzten Jahren ein attraktives und verantwortungsvolles Betätigungsfeld für Geowissenschaftler entwickelt.

### **Climate change and human health: from science to policy**

Dr. med. Bettina Menne, WHO

Health is focus reflecting the combined impacts of climate change on the physical environment, ecosystems, the economic environment and society. Long-term changes in world climate may affect many requisites of good health - sufficient food, safe and adequate drinking water, and secure dwelling. The current large-scale social and environmental changes mean that we must assign a much higher priority to population health in the policy debate on climate change.

Climate change will affect human health and well-being through a variety of mechanisms. Climate change can adversely impact the availability of fresh water supply, and the efficiency of local sewerage systems. It is also likely to affect food security. Cereal yields are expected to increase at high and mid latitudes but decrease at lower latitudes. Changes in food production are likely to significantly affect health in Africa. In addition, the distribution and seasonal transmission of several vector-borne infectious diseases (such as malaria, dengue and schistosomiasis) may be affected by climate change. Altered distribution of some vector species may be among the early signs of climate change that may affect health. A change in world climate could increase the frequency and severity of extreme weather events. The impacts on health of natural disasters are considerable - the number of people killed, injured or made homeless from such causes is increasing alarmingly. The vulnerability of people living in risk-prone areas is an important contributor to disaster casualties and damage. An increase in heatwaves (and possibly air pollution) will be a problem in urban areas, where excess mortality and morbidity is currently observed during hot weather episodes.

Adaptation is a key response strategy to minimize potential impacts of climate primary objective of adaptation is the reduction, with the least cost, of death, disease, disability and human suffering. The ability to adapt to climate change, and specifically the impacts on health, will depend on many factors including existing infrastructure, resources, technology, information and the level of equity in different countries and regions. The health sector alone, or in limited collaboration with a few sectors, cannot deal with the necessary "primary" adaptation. Sensitive indicators of "climate-environmental" health impacts are needed to monitor possible changes at regional and national levels. Capacity building is an essential step for adaptation and mitigation strategies. This should include education, training and awareness raising, the creation of legal frameworks, institutions and an environment that enables people to take well-informed decisions -for the long term benefit of society.

Research is needed particularly in the area of integrated assessments and improved modelling. Interdisciplinary collaboration is a basic condition

to advance knowledge gathering.

## **Dynamische Aspekte der Klimaentwicklung im 20. Jahrhundert**

Dr. Peter Carl, Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei im Forschungsverbund Berlin e.V.

Mit dem Ziel, den dynamischen Typus des derzeitigen Klimaregimes konzeptionell zu erfassen und Aussagen zum aktuellen Status des Klimasystems aus dieser Perspektive abzuleiten, sind charakteristische Zeitreihen mittels einer hochauflösenden, mehrere Signalattribute gemeinsam bestimmenden Methode untersucht worden. Dieses ("Matching Pursuit") Verfahren geht über die restriktiveren und (strukturell bedingt) unschärferen Methoden der Zeit-Frequenz Analyse ("Short-Time" Fourier Transformation; STFT) bzw. der Zeit-Scale Analyse (Wavelet Transformation; WT) hinaus und wurde selbst um den Aspekt der harmonischen Modulation von Trägerfrequenzen erweitert - einem fundamentalen Konzept der Signalübertragung. Die (nicht orthogonale) Komponenten-Zerlegung findet hier in einem mindestens 7-dimensionalen Signalraum statt. Unabhängig von den spezifischen Zeitreihen ergeben sich folgende Aussagen: (i) Frequenzmodulation ist eine vorherrschende Eigenschaft der betrachteten Daten (des 19./20. Jahrhunderts); (u) Nichtstationarität im Sinne zeitlich begrenzter Phänomene, ebenfalls markant, steht im Zusammenhang mit Veränderungen der Vorhersagbarkeit, die mit dynamischen Regimewechseln verbunden zu sein scheint; (in) während der deutlichen Erwärmungsphasen tendierte das Klimasystem zu dynamischer Stagnation, während dynamisch besonders aktiver Phasen stagnierte hingegen die thermische Evolution im Mittel. Wesentliche Ausnahme von dieser Regel ist eine Verschiebung der Mittellage der Nordatlantik-Oszillation (NAO) während des Erwärmungsschubes der 20er/30er Jahre, die die nachfolgende dynamisch besonders aktive Periode, mit bidekadischen Oszillationen im gesamten System, einzuleiten scheint. Als Träger von Phaseninformation zum Jahresgang enthalten Zeitreihen des Monsuneinsatzes und -rückzugs Schlüsselinformationen zum dynamischen Typus und Zustand des Systems. Ähnlich wie in den 20er/30er Jahren läuft das Klimasystem in diesen Projektionen Ende der 80er Jahre in einen Attraktionsbereich ein, aus dem es sich (wenn man diese Analogie zulässt) derzeit wieder entfernen könnte - mit der Konsequenz bevorstehender stärkerer dynamischer Aktivität, aber abgeschwächter thermischer Entwicklung. Eine der Unsicherheiten einer

solchen Hypothese besteht darin, daß die Datenanalyse ziemlich klar ergibt, daß das System den Phasenraumbereich verlassen hat, in dem es sich in der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts aufhielt.

## **Statistische Zerlegung europäischer Temperaturreihen zur Entdeckung verschiedener zeitlicher Strukturen**

**J. Grieser, S. Trömel und C.-D. Schönwiese**

Hundertjährige Zeitreihen von beobachteten Monatsmitteln der Temperatur an europäischen Stationen und an Gitterpunkten werden in verschiedene signifikante Anteile aufgespalten. Dies erlaubt eine Trennung von Trends (linear, progressiv und degressiv), konstanten oder signifikant veränderten Jahresgängen, episodischen und harmonischen Schwankungen sowie Extremereignissen. Letztere spiegeln sich in den Zeitreihen als Werte wider, die signifikant nicht durch die zeitlichen Strukturen und die zufälligen Komponenten der Zeitreihen erklärbar sind. Sie unterscheiden sich dadurch maßgeblich von gewöhnlichen Extremwerten. Um für die verschiedenen Komponenten in Anwesenheit von Extremereignissen robuste Schätzer zu finden, wird eine sukzessive Regression durchgeführt, die in wenigen Schritten konvergiert. Die Residuen werden auf signifikante Abweichungen vom Zufallsrauschen getestet.

Als Ergebnis dieser Untersuchungen kann festgehalten werden, daß innerhalb der letzten 100 Jahre die Phasenlage des Jahresgangs in Westeuropa zu- in Osteuropa dagegen abgenommen hat. Gerade in Osteuropa ist darüberhinaus eine signifikante Erhöhung der Amplitude des Jahresgangs zu erkennen. Die gefundenen Trends sind im allgemeinen gut durch lineare Trends approximierbar. Extremereignisse werden vor allem im Winter gefunden. Diese sind fast ausnahmslos Kaltereignisse, so daß geschlossen werden kann, daß es zwei sehr klar zu unterscheidende Winterregime gibt, von denen das eine im Mittel mehr als zehn mal so wahrscheinlich eintritt als das andere. Bemerkenswert ist, daß die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines sehr kalten Winterereignisses markant zugenommen hat. Dieser Effekt ist bei der Schätzung von Trends unbedingt zu berücksichtigen. Darüberhinaus wird im Norden und Westen Europas eine signifikante Schwingung mit einer Periode von ca. 7.7 Jahren gefunden, die in guter Übereinstimmung mit einer periodischen Komponente der Nord-Atlantik-Oszillation ist. Die nicht erklärbaren Anteile des Temperaturfeldes können als Zufallsrauschen entsprechend eines ARMA-Prozesses interpretiert werden.

Extremwerte und Extremereignisse – Zusammenhänge zwischen mittlerem und extremem Verhalten

Jürgen Grieser (Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt)

Extremwerte unterscheiden sich von gewöhnlichen Werten dadurch, daß sie bestimmte Schwellen überschreiten. Diese Schwellen werden entweder relativ angegeben, so daß ein bestimmter Prozentsatz der Zeitreihenwerte Extremwerte sind, oder aber absolut. In diesem Fall wird der Schwellwert, der extreme von gewöhnlichen Werten trennt, oftmals an der Wirkung festgemacht, die ein solcher Wert verursacht (Sturmschäden, Hochwasser, Dürre).

Will man aus beobachteten Zeitreihen etwas über die Wiederkehrzeit zwischen zwei Extremwerten lernen, ist es im allgemeinen nicht ausreichend nur die Extremwerte im Sinne der oben angegebenen Definitionen zu untersuchen. Man würde dadurch nur einen geringen Anteil der zur Verfügung stehenden Information nutzen. Vielmehr ist es notwendig den Charakter der Zeitreihen als Ganzes zu verstehen, um daraus zeitabhängige Wahrscheinlichkeiten für das Überschreiten von Schwellen zu erhalten.

Aus einer solchen Betrachtung ergeben sich notwendig zwei Arten von Extremwerten, von denen die einen mit den statistischen Eigenschaften der Zeitreihe verträglich sind, und damit seltene aber zufällige Ereignisse darstellen. Die andere Art von Extremwerten, die auftreten können, stellen besondere nicht mit den statistischen Eigenschaften der Zeitreihe verträgliche Ereignisse dar. Diese werden hier Extremereignisse genannt.

Anhand von einfachen und anschaulichen Beispielen klimatologischer Zeitreihen wird die Überlegenheit dieser Betrachtungsweise gegenüber der herkömmlichen Herangehensweise, die im allgemeinen von stationären Zeitreihen ausgeht, für die Praxis demonstriert.

### **Der Verlauf der phänologischen Jahreszeiten in Deutschland während der letzten 4 Jahrzehnte**

**Annette Menzel und Peter Fabian (Lehrstuhl für Bioklimatologie und Immissionsforschung; Universität München)**

Jährliche Änderungen der Phänologie können ein sensibler und leicht zu beobachtender Indikator für Veränderungen der Biosphäre sein, da das Eintreten von phänologischen Phasen von einer Reihe von Umweltfaktoren, hauptsächlich von Temperatur und Photoperiode, daneben auch von anderen

Witterungselementen, biotischen und edaphischen Faktoren, Wasserversorgung und Genetik beeinflusst wird. So gibt es bereits eine Vielzahl von Hinweisen auf Verschiebungen von Eintrittsterminen aus dem Bereich Tier- und Pflanzenphänologie in Europa bzw. den gemäßigten und kalten Breiten auf der Nordhemisphäre. Im überwiegenden Teil der Arbeiten werden aber nur zeitliche Veränderungen einiger phänologischer Phasen an wenigen Orten untersucht.

Das umfangreiche Beobachtungsmaterial aus dem phänologischen Netz des Deutschen Wetterdienstes dagegen erlaubt in einem dichten Netz in Deutschland die systematische Analyse von phänologischen Jahreszeiten, die die ganze Vegetationsperiode abdecken:

Es ist ein ausgeprägter Jahresgang der Änderungen zu verzeichnen mit sehr deutlichen Verfrühungen mit bis zu 0,24 Tagen/Jahr bei den ersten Frühlingsphasen, deutlichen Verfrühungen des Laubaustriebs, kaum Änderungen bei den Sommerphasen und Tendenzen zu Verspätung bei den Herbstphasen. Regionale Unterschiede in Richtung oder Höhe der zeitlichen Trends können dagegen nicht festgestellt werden. Insgesamt hat sich die Vegetationsperiode der untersuchten Laubbäume mit bis zu 0,22 Tagen/Jahr verlängert, wobei dies eher auf eine Verfrühung des Blattaustriebs als auf Änderungen der Blattverfärbung zurückzuführen ist. Jährliche Anomalien der einzelnen phänologischen Phasen zeigen, daß ein frühzeitiger Frühlingsbeginn gerade in den 90er Jahren häufiger zu beobachten war. Mit einer Trendanalyse phänologischer Phasen als ausgezeichnetes Instrument des Biomonitoring können so Veränderungen der Biosphäre über das ganze Jahr hinweg und auf großer Fläche aufgezeigt werden, wobei gerade Verschiebungen der Frühjahrsphasen im wesentlichen Temperaturänderungen widerspiegeln.

### **Simulierte Änderungen von Extremen des hydrologischen Kreislaufs durch einen Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen**

**Reinhard Voss (1), Wilhelm May (2), und Erich Roeckner (1) (1: Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg; 2: Danish Meteorological Institute, Kopenhagen)**

Extremereignisse, wie Starkniederschläge und Dürren, können Mensch, Natur und Wirtschaft schwer schädigen. Um mögliche zukünftige Änderungen von Extremwerten abzuschätzen, wurden zwei Simulationen des globalen atmosphärischen Zirkulationsmodells ECHAM4 (T106) durchgeführt. In diesen Läufen wurden die

Zeiträume 1970-1999 und 2060-2089 simuliert. Die Treibhausgase wurden bis 1990 wie beobachtet und für die Folgezeit nach dem IPCC Szenarium IS92a vorgeschrieben. Meeresoberflächentemperaturen und Meereisverteilungen aus einem Experiment mit dem gekoppelten globalen Atmosphäre-Ozean-Modell ECHAM4-OPYC (T42) wurden als Randbedingungen verwendet. Die hier untersuchten Läufe des Atmosphärenmodells haben eine wesentlich höhere horizontale Auflösung (ca. 1.1 Grad) gegenüber der Simulation mit dem gekoppelten Modell (ca. 2.8 Grad), was u.a. zu einer verbesserten Simulation der Variabilität führt. Die Änderungen der Frequenz und Intensität des täglichen Niederschlags wurden mit Hilfe von Gamma-Verteilungen untersucht. Durch den Anstieg der Treibhausgase ist in den meisten Gebieten eine Veränderung der Verteilungen zu einer höheren Wahrscheinlichkeit von Starkniederschlägen zu beobachten. Die Länge besonders feuchter Perioden hingegen ändert sich kaum. Die Andauer von extremen Trockenperioden verlängert sich besonders über Mittel- und Südeuropa, sowie über grossen Teilen des amerikanischen Kontinents. Um zusätzlich den Effekt der Niederschlag- und Verdunstungsänderungen auf Hochwasser zu untersuchen, wurde ein Modell des kontinentalen Abflusses benutzt. Dieses globale Modell wurde mit Daten aus den beiden ECHAM-Simulationen angetrieben. Die Untersuchung von Flüssen mit grossen Einzugsgebieten ergab für mittel- und südeuropäische Flüsse eine Abnahme der Wahrscheinlichkeit von extremen Hochwasserereignissen. Für aussereuropäische Flüsse hingegen treten zum Teil erhebliche Anstiege der Extremereignisse auf.

### Statistische Untersuchungen zur räumlichen und zeitlichen Variabilität des Indischen Monsuns

D. Schäfer und M. Domrös (Geographisches Institut  
Johannes Gutenberg-Universität Mainz)

#### EINLEITUNG

Die Quantität der Agrarproduktion in Südasien hängt maßgeblich von der Variabilität des Indischen Monsuns ab. Die sog. Klimadiagnose, d.h. die Zeitreihenanalyse von langen Klimazeitreihen, dient in diesem Paper der Untersuchung der interannuellen und räumlichen Niederschlagsvariabilität in Indien, und um Erklärungen für die beobachteten Variabilitäten zu finden.

#### DATEN UND METHODEN

Untersucht wurden die vom Indian Institute of Tropical Meteorology (IITM) veröffentlichten Niederschlagsreihen für Indien: aus den homogenen Niederschlagsdaten (1871-1998) von 306 offiziellen Klimastationen wurden verschiedene Niederschlagsdatensätze konstruiert, für ganz Indien (All-India Rainfall Series, AIRS) und für die 29 Subdivisions des nationalen Wetterdienstes (Indian subdivisional Monthly Rainfall data sets). Zusätzlich wurden verschiedene Indexreihen von Einflußgrößen (z.B. Southern Oscillation Index) als Einflußvariablen zusammengetragen.

Die Niederschlagsreihen wurden mit verschiedenen statistischen Verfahren analysiert (Trendanalyse, Spektrale Varianzanalyse), um die interannuellen und räumlichen Variabilitäten zu herauszuarbeiten. Zur Simulation und Erklärung der Niederschlagsvariabilitäten wurden Multiple Lineare Regressionsmodelle sowie Neuronale Netze angewandt.

#### ERGEBNISSE

Die Jahr-zu-Jahr Schwankungen der Niederschlagsreihen ist sehr hoch, „trockene“ und „feuchte“ SW-Monsunjahre wechseln sich ab. Über den gesamten Zeitraum zeichnet sich kein Trend ab, aber es zeichnen sich Jahre mit einer höheren Frequenz von trockenen Jahren (1899-1920; sowie nach 1964), und Jahre mit einer geringeren (1930-1964), ab. Die bekannten Telekonnektionen *El Niño/Southern Oscillation* (ENSO) und *die Quasi Biennial Oscillation* (QBO) sowie der 11-jährige Sonnenfleckenzyklus lassen sich mit der Spektralen Varianzanalyse nachweisen.

Neben der beachtlichen zeitlichen Variabilität zeigen sich starke räumliche Unterschiede der Niederschläge in Indien. Die Simulation der Monsunniederschläge erweist sich folglich als äußerst schwierig: etwa 20 % der beobachteten Variabilität lassen sich mit den gewählten internen und externen Einflußgrößen rekonstruieren. Somit können lediglich trockene oder feuchte Monsunjahre simuliert und erklärt werden, nicht aber die Extremwerte der Reihe.

### Hemisphärische Aufnahmen als Eingangsparemeter zum Blattflächenindex in die Penman-Monteith Gleichung zur Bestimmung der Verdunstung in Agroökosystemen im Tieflandsregenwald Ecuadors

Norbert Lanfer (Geographisches Institut, Abt. Landschaftsökologie, Georg-August Universität Göttingen)

Im Rahmen eines DFG/BMZ-GTZ Projektes über den „Wasser- und Nährstoffkreislauf im Tieflandsregenwald Ecuadors“ werden seit 1996 neben

**Untersuchungen zum Nährstoffkreislauf verschiedenste Messungen zur vergleichenden Bestandsklimatologie des Regenwaldes mit unterschiedlichen Agroökosystemen durchgeführt.**

Seit Anfang der 70er Jahre führt die infrastrukturelle Erschließung des Tropischen Regenwaldes im Oriente Ecuadors durch die Erdölindustrie zu einem Zuzug von Siedlern aus dem Anden- und Küstenbereich. Damit einher geht eine Umwandlung des Regenwaldes in unterschiedlichste Agroökosysteme.

Bei einer Betrachtung der veränderten Nährstoffkreisläufe durch eine Regenwaldkonversion in Landnutzungssysteme ist dem Wasser als Transportmedium für Nährstoffe und damit dem Wasserhaushalt besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Insbesondere durch das Sickerwasser werden kontinuierlich Nährstoffe aus den Agroökosystemen ausgetragen. Neben den bodenhydrologischen Kennwerten und der Niederschlagsmenge ist die Höhe der Sickerwassermenge dabei vor allem von den bestandstypischen Verdunstungsraten abhängig. Wird in Ecuador zur Bestimmung von Wasserhaushaltsbilanzierungen überwiegend mit der einfach zu handhabenden Formel nach THORNTHWAITE (1948) gearbeitet, so führt ihre Benutzung in Regenwaldbereichen zu einer Überbewertung der Verdunstung um bis zu 80 % (LANFER 1995). Dadurch ergibt sich ein hohes Fehlerpotential in der Bilanzierung des Wasserhaushaltes und dem damit verbundenen Nährstoffhaushalt, das eine Bestimmung der Nachhaltigkeit von Agroökosystemen erschwert. Eine möglichst exakte Erfassung der bestandstypischen Verdunstung ist daher von hoher Bedeutung. Unter den vielfältigen Verdunstungsbestimmungen zählt nach wie vor die deterministische Bestimmungsmethode nach PENMAN mit ihren verschiedensten Abwandlungen zur exaktesten.

Im Vortrag soll insbesondere auf die Verwendungsmöglichkeit hemisphärischer Aufnahmen als Eingangsparameter des Blattflächenindex in die Penman-Monteith Gleichung (MONTEITH 1978) eingegangen werden.

**Klimatologie der Globalstrahlung für Deutschland aus Meteosat-Satellitendaten und bodengestützten Messungen**

Dr. Peter Bissolli (Deutscher Wetterdienst, Offenbach)

Die Globalstrahlung ist eine wesentliche Komponente der Strahlungsbilanz und damit des Energiehaushaltes an der Erdoberfläche. Für klimatologische Untersuchungen (sei es im Rahmen von regionalen

Klimamodellsimulationen oder praxisbezogenen Klimaimpaktstudien) ist es häufig notwendig, eine solche Größe möglichst in hoher Auflösung flächendeckend für das gewünschte Gebiet zu erfassen.

Für Deutschland umfasst das Strahlungsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes derzeit ca. 40 Stationen, an denen Globalstrahlung über mehrere Jahre oder Jahrzehnte gemessen wurde. Um zusätzliche, mehr flächendeckende Informationen zu erhalten, bieten sich zum einen Parametrisierungsansätze (z.B. über die Sonnenscheindauer) an, zum anderen Satellitendaten, welche aus den Meteosat-Satelliten auf Tagesbasis in einer räumlicher Auflösung von ca. 8 km für Deutschland beim Deutschen Wetterdienst vorliegen.

Es werden zunächst Ergebnisse einer systematischen Validierungsstudie der Satellitendaten seit dem Jahr 1985 im Vergleich mit bodengestützten Messwerten in Abhängigkeit von klimageographischen Parametern (Höhenlage, Kontinentalität, Jahreszeit) gezeigt. Dabei wurden auch Einflüsse von Inhomogenitäten in den Satellitendaten untersucht. Wesentlich für die Qualität der Satellitendaten ist offenbar vor allem die Anzahl der berücksichtigten Satellitenbilder pro Tag, die Höhenlage und die Jahreszeit.

Die mittlere räumliche Verteilung der Globalstrahlung für gegebene Zeiträume lässt sich mit Hilfe von geeigneten Interpolationsverfahren in Form von Klimakarten darstellen, die im Rahmen dieses Vertrags vorgestellt und vom Deutschen Wetterdienst auch routinemäßig verbreitet werden.

Zeitreihen der verschiedenen Datensätze weisen seit 1985 keine signifikanten Trends der Globalstrahlung auf.

Die vorliegenden Studien wurden im Rahmen des DWD-Projektes SAT-KLIM (Erstellung einer Satellitenklimatologie) durchgeführt. Es wird ein kurzer Ausblick auf weitere vorgesehene Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes gegeben, die sich vor allem mit einzelnen Komponenten des Energiehaushaltes auf der Erdoberfläche befassen sollen.

**BALTEX: Ein Beitrag zur Regionalisierung**

Ehrhard Raschke, Markus Klein, Theo Mengelkamp, Burkhard Rockel, Kirsten Warrach (Institut für Atmosphärenphysik, GKSS Forschungszentrum Geesthacht)

Es besteht ein dringender Bedarf nach regional hoch aufgelöster Information über Entwicklungen des Wetters, der Witterung und auch des Klimas in der unmittelbaren und fernerer Zukunft für eine

Vielzahl von wirtschaftlichen und sozialen Planungen. Andererseits enthalten die für diese Vorhersagen entwickelten numerischen Modelle noch einige Defizite, deren Behebung im Rahmen des international streng koordinierten Weltklimaforschungs-Programm angestrebt wird. Eine dieser Kenntnislücken besteht in der Handhabung des gesamten Wasserkreislaufes, dessen einzelne Komponenten zwar qualitativ bekannt aber in der Modellierung mit stetiger Wechselwirkung mit anderen Prozessen im Klimasystem noch sehr ungenau ausfallen. Wasser ist nicht nur das wichtigste Nahrungsmittel; es spielt bei allen biochemischen Prozessen und schließlich auch in der Dynamik des Klimasystems eine wesentliche Rolle.

Gezielt angelegte Regionalstudien, weltweit verteilt in unterschiedlichen Klimazonen, sollen im Zusammenspiel mit global konzipierten Messungen und Modellierungen unser Wissen so verbessern, daß in Zukunft belastbarere Prognosen erfolgen können. Hieraus leiten sich einige unmittelbare Anwendungen ab, was den Reiz solcher Großprojekte wesentlich verstärkt.

Das „Baltic Sea Experiment“ (BALTEX) ist eines der 5 Großprojekte. Es überdeckt das gesamte Wassereinzugsgebiet der Ostsee und hat das Ziel ein dieses Gebiet überspannendes Modell zu entwickeln, das interaktiv die Atmosphäre mit der Ostsee und allen Landoberflächen verbindet. Die anderen 4 Großprojekte mit ähnlichen Zielen liegen in Kanada (Mackenzie), in den USA (Mississippi-Missouri), Brasilien (Amazonas) und in Ostasien (hier mit Schwerpunkt Monsun und dessen Wirkung auf den Wasserhaushalt in Sibirien).

Am BALTEX beteiligen sich ca. 40 Arbeitsgruppen aus 14 Nationen mit sehr unterschiedlichen Beiträgen, wobei besonderes Gewicht auf die Nutzung der Daten und Modelle der Routinedienste gelegt wird. Während des Vortrages werden Ergebnisse vorgestellt zur regional hoch aufgelösten Modellierung der Atmosphäre, zur detaillierten Behandlung des Wasseraustausches im Boden bis zur Abflußbildung und den Transport in Flüssen sowie die besondere Behandlung von Niederschlagsdaten und einige Messungen in (vom Schiff) und über (Radar) der Ostsee.

Ebenso werden erste Ergebnisse eines Anschlußprojektes zur Vorhersage des Hochwassers im gesamten Einzugsbereich der Oder vorgestellt. Hier zeichnet sich eine Verlängerung der Prognose um mehrere Tage auf der Basis prognostizierter Niederschlagsmengen ab.

## **A new classification of atmospheric circulation for the baltic sea region**

**Piia Post, Valdur Truija, Janno Tuulik (Department of Environmental Physics, University of Tartu, Estonia)**

The large-scale atmospheric circulation is an important driving force of the surface climate. Several attempts have been made to relate the atmospheric circulation to local weather. In general, the first stage is the classification of the atmospheric circulation and the second stage is the assessment of the relationship between the categories of the classification and the local weather elements.

There are several weather type classifications for the whole Northern Hemisphere or for some larger European region but classifications for smaller areas are needed also. The aim of the work is to introduce a new atmospheric circulation classification for the Baltic Sea region. An automatic scheme of Lamb weather types is developed using three different input data: daily mean sea surface pressures and 500 hPa geopotential heights from NCEP/NCAR Reanalysis and gridded pressure measurements from BALTEX (Baltic Sea Experiment) Hydrological Data Centre. Used time period is 1968 - 1998. Classification is tested correlating new weather types with temperature and precipitation data from Estonia. In our earlier works we have been analysed the same correlations with German Weather Service Grosswetterlagen. A new classification is proved to be more closely related to Estonian weather than Grosswetterlagen.

## **Wie gut sind aus Satellitenbeobachtungen abgeleitete Niederschlagsfelder?**

Bruno Rudolf (1) und Franz Rubel (2); (1: Deutscher Wetterdienst, Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie (WZN), Offenbach; 2: Arbeitsgruppe Biometeorologie, Institut für Medizinische Physik und Biostatistik, Veterinärmedizinische Universität Wien)

Im Rahmen des WCRP Global Precipitation Climatology Project (GPCP) werden quasi-operationell globale monatliche Niederschlagsanalysen durch eine Kombination von Satellitendaten und konventionellen Beobachtungen gewonnen. Das Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie/WZN, eine Komponente des GPCP, befasst sich seit mehr als Jahren mit der Einschätzung der Qualität der satellitengestützten Niederschlagsanalysen über Land.

Mittlerweile erzeugt das GPCP nicht nur monatliche Produkte, sondern auch primär auf Satellitendaten beruhende tägliche Niederschlagsfelder. Diese wurden im WZN mit täglichen Niederschlagshöhen, die an ca. 4000 Stationen im BALTEX gemessen wurden, geprüft. Die konventionellen Niederschlagsdaten wurden für diesen Zweck hinsichtlich der systematischen Messfehler korrigiert.

Nach ersten Auswertungen der Vergleiche wird das BALTEX-Gebietsmittel der Niederschlagshöhe durch die Satellitendaten häufiger unterschätzt, seltener aber und dann um so erheblicher überschätzt. Bis zur 5. DKT werden noch Vergleiche für weitere Gebiete vorliegen. Die Unterschiede zwischen den konventionellen und satellitengestützten Niederschlagsfeldern werden statistisch ausgewertet und im Detail für ausgewählte Episoden diskutiert.

### **Characteristic variability, vertical profile and modelling of shortwave radiation regime in the southern Upper Rhine Valley region**

Moses G. Iziomon and Helmut Mayer (Meteorological Institute, University of Freiburg)

Shortwave radiation regime is very crucial to climatic processes at the surface, as it plays a major role in the energy exchange between land-ocean surface and the atmosphere. In particular, daytime distribution of the net radiative flux is almost entirely governed by shortwave radiative fluxes, so that these fluxes inadvertently influence air temperature fields and determine the fluxes of latent and ground heat.

The Upper Rhine Valley region, which extends northwards to the lowlands of Karlsruhe in Germany and westwards to the uplands of the French Vosges. It is further bounded eastwards and southwards by the uplands of the German Black Forest and Swiss Jura, respectively. In view of its considerable orographical diversity, this region is characterised by a climate of pronounced spatial and temporal variability resulting from an interplay of both macro-scale and local influences. In an attempt to investigate the long term regional, temporal and altitudinal variability of climatic conditions and energy balance components within the upper Rhine valley region, the 'Regio-Klima-Projekt' (acronym REKLIP) was inaugurated in 1991. The REKLIP investigation area occupies an approximate area of about 40,000 km<sup>2</sup> with a perimeter greater than 250 km N-S and 160 km E-W.

Based on four years REKLIP data-set of radiative fluxes and additional meteorological parameters, characteristic time series and

vertical profile of incoming solar irradiance, surface albedo and net absorbed shortwave irradiance for three reference sites in the southern upper Rhine valley region are presented. The three sites are Bremgarten (47° 54' 35" N, 7° 37' 18" E, 212 m a.s.l.), Geiersnest (47° 55' 03" N, 7° 51' 16" E, 870 m a.s.l.) and Feldberg (47° 52' 31" N, 8° 00' 11" E, 1489 m a.s.l.). During clear sky conditions, incoming shortwave irradiance is observed to constitute 76 % of the extraterrestrial solar irradiance at the mountainous site of Feldberg, while only amounting to 68.5 % at the valley site of Bremgarten. Altitudinally, a second order polynomial increase in the surface albedo and an overall decline in the shortwave radiation budget amounting to 1.54 Wm<sup>-2</sup>/100 m are observed in the study area. These results, which are statistically significant, are consistent with observed local variability of meteorological variables including precipitation, sunshine duration, cloud cover and bulk atmospheric transmissivity within the study area. Also reported are validated empirical models for predicting surface shortwave radiative fluxes.

## **B. Regionalisierung**

### **Ansätze zur Regionalisierung mit Hilfe Dynamischer Modelle**

M. J. Kerschgens (IGM Köln)

Die Prognose regionaler Effekte anthropogener Klimaänderungen (Stichwort Regionalisierung) würde globale Klimamodelle mit einer horizontalen Gitterauflösung von wenigen Kilometern erfordern. Klimasimulationen mit dieser Auflösung sind zur Zeit mit der verfügbaren Rechnerkapazität nicht praktikabel. Selbst „genestete“ Modelle stoßen an die Grenze heutiger verfügbarer Rechner. Zudem werfen genestete Simulationen Probleme der Parametrisierung subskaliger Physik auf.

Nach einem Überblick der momentan praktikablen Methoden der Regionalisierung, wobei der Schwerpunkt auf der Anwendung regionaler (mesoskaliger) numerischer Modelle liegt, werden anhand ausgewählter Beispiele Probleme der Diagnose und Prognose des lokalen Klimas dargestellt.

Speziell werden Defizite dynamischer Simulationen im Bereich

- der Parametrisierung subskaliger Effekte,
- der beschränkten Kenntnis der Randbedingungen für diese Parametrisierungen auf der Skala der regionalen Modelle,

- der systematischen Fehler, die durch den supra-skaligen Antrieb der regionalen Modelle (aus GCM's oder numerischen Analysen) verursacht werden betrachtet.

Eine mögliche Lösung dieser Probleme liegt in der Nutzung statistisch dynamischer Verfahren.

### **Hydrologische Auswirkungen von Klimaänderungen im regionalen Maßstab**

W. Lahmer (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. (PIK))

Wasser stellt für die natürlichen Ökosysteme und den Menschen eine lebenswichtige Ressource dar. Sowohl die Industrienationen als auch die Länder der Dritten Welt werden in naher Zukunft zunehmend mit den Auswirkungen begrenzter Trinkwasservorräte konfrontiert werden. Um die schwierigen, Wasserverfügbarkeit und Wasserqualität betreffenden Probleme der Zukunft lösen zu können, sind neue Ideen und Techniken gefragt.

Welche Auswirkungen globale Umweltveränderungen auf den Wasserkreislauf haben, läßt sich derzeit nur näherungsweise erfassen, da insbesondere die Auswirkungen von Klimaveränderungen äußerst unsicher und schwer vorherzusagen sind. Bei Klimaänderungen sind dabei regionale Auswirkungen von besonderem Interesse, da insbesondere auf dieser Skala relativ schnell Vorsorgestrategien entwickelt und umgesetzt werden können, um den Anforderungen der Gesellschaft nach einem verbesserten Wassermanagement und der Vermeidung klimabedingter Katastrophen (Hochwasser, Dürre usw.) gerecht zu werden. Einflüsse von Klimaveränderungen auf den regionalen Wasserhaushalt resultieren u.a. aus Verschiebungen des Niederschlags (räumlich, innerjährlich), Änderungen der Evapotranspiration (z.B. durch eine geänderte Vegetation) und einer Zunahme von Extremereignissen (Starkregen, Trockenperioden etc.).

Zur Abschätzung von Klimafolgen in Natur und Gesellschaft werden regionale Klimainformationen benötigt, so u.a. zur Beantwortung der Frage, wie der Wasserhaushalt einer Region auf einen Klimawandel reagiert. Entsprechende Modelle verwenden diese Eingangsinformationen, um sie mit Hilfe der Untersuchungsskala angepaßter physikalischer Prozessmodule in Ausgangsinformationen (z.B. Abfluß in den Flüssen oder Verdunstung und Versickerung in der Fläche) umzusetzen. Dabei spielt die Berücksichtigung zeitlicher und räumlicher Heterogenitäten sowie durch Daten- und Modellungenauigkeiten hervorgerufener Unge-

nauigkeiten eine wichtige Rolle.

Ziel der vorliegenden Studie waren Untersuchungen der Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Wasserhaushalt einer Region (am Beispiel Brandenburgs). Dazu wurden für den Ist-Zustand (1951-1990) und zwei Klimaänderungsszenarien (1.5 bzw. 3K Temperaturänderung) räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Simulationsrechnungen durchgeführt. Diskutiert werden das methodische Prinzip zur Abschätzung der Auswirkungen möglicher Klimaänderungen auf den Wasserhaushalt einer Region, der für die Untersuchungen verwendete Modellierungsansatz sowie zeitlich und räumlich aggregierte Ergebnisse wichtiger Wasserhaushaltsgrößen. Neben den gegenüber potentiellen Klimaänderungen besonders empfindlichen Naturräumen werden auch Probleme angesprochen, die sich bei der mesoskaligen hydrologischen Modellierung globaler Änderungen ergeben. Die durchgeführten Untersuchungen unterstreichen die Bedeutung eines „integrierten“ Klimaschutzes mit aufeinander abgestimmten Maßnahmen, welche die Vermeidung der Ursachen, die Verminderung der Wirkungen und die Anpassung an unvermeidbare Folgen einschließen.

### **Strahlungs- und Energieflüsse auf lokalen und regionalen Skalen abgeleitet mit Hilfe von Satellitendaten**

Dr. Franz H. Berger, Thomas Halecker, Christian Podlasly und Angela Schwiebus (Technische Universität Dresden - Institut für Hydrologie und Meteorologie, Lehrstuhl Meteorologie)

Für verschiedene Experimente und unterschiedliche Zeiträume, wie für BALTEX – Mai und Juni 1993, BALTEX-PIDCAP – August und September 1995, RESMEDES – April 1996 und MAP – ausgewählte Einzelfälle, konnte eine Vielzahl von meteorologischen Satellitendaten ausgewertet werden, um die Strahlungs- und Energieflüsse am Erdboden bestimmen zu können. Dazu wurde ein komplexes Auswerteverfahren entwickelt und angewandt, welches aber auch für zukünftige Satellitendaten, wie Meteosat Zweite Generation oder Envisat AATSR, genutzt werden kann. Dieses Verfahren kann in folgende Einzelabschnitte untergliedert werden:

1. in die Eichung der Satellitendaten
2. in eine detaillierte Wolkenklassifikation und der Bestimmung der optischen und mikrophysikalischen Wolkeneigenschaften
3. in die Bestimmung der Albedo am Erdboden mittels Mehrtagesampling unter Nutzung des normalisierten Differenzvegetationsindex NDVI, sowie Berechnung der effektiven Strahlungstemperatur und des Emissionsvermögens unterschiedlicher Landoberflächen

4. in die Berechnung der einzelnen Strahlungsflußdichten: Globalstrahlung, reflektierte Globalstrahlung, langwellige Ausstrahlung und atmosphärische Gegenstrahlung. Hierzu wurde ein inverses Fernerkundungsverfahren angewandt, welches auf intensiven Strahlungstransfersimulationen basiert. Zur Berechnung der langwelligen Strahlungsflußdichten für bewölkte Atmosphären konnte ein einfaches empirisches Verfahren entwickelt und angewandt werden, um den Einfluß der Wolken in Abhängigkeit der optischen Eigenschaften und der räumlichen Ausdehnung der Wolken berücksichtigen zu können.
5. in die Berechnung der Energieflußdichten, wie Bodenwärmestrom, sensibler und latenter Wärmestrom. Zur Bestimmung des Bodenwärmestromes konnten einfache empirische Beziehungen unter Berücksichtigung des NDVI's und einer detaillierten Landnutzungsklassifikation (USGS Landnutzung) genutzt werden. Für die latenten Wärmeströme konnten drei Ansätze angewandt werden: einmal die Priestley-Taylor Verdunstung zur Bestimmung der potentiellen Verdunstung, einmal die Penman-Monteith Beziehung zur Bestimmung der aktuellen Verdunstung und einmal die aus der Penman-Monteith Beziehung abgeleitete Grasreferenzverdunstung. Die sensiblen Wärmeströme konnten mit Hilfe des Dalton-Ansatzes und mittels Residuum der Energiebilanzgleichung bestimmt werden.

Zur Quantifizierung der Genauigkeit konnten die abgeleiteten Ergebnisse zum Teil mit Bodenmessungen (Stundensummen, Tageswerte), aber auch mit Ergebnissen aus Modellsimulationen (REMO / Stundensummen) verglichen werden. So kann die Problematik eines Vergleiches zwischen Momentanmessung/Satellit und den unterschiedlichen Beobachtungen aufgezeigt und die Möglichkeit für einen Vergleich, sowie die Genauigkeit der aus den Satellitendaten abgeleiteten Ergebnissen vorgestellt und diskutiert werden. Dabei zeigt sich, daß in Kombination der Satellitenbeobachtung und der Modellierung atmosphärischer Prozesse nur einzelne Parameter detailliert verglichen werden können. Dies wiederum erlaubt aber für zukünftige Arbeiten eine Verbesserung der Modellierung atmosphärischer Prozesse.

#### **Statistische Analyse des Einflusses von El Nino auf Europa**

Michael Denhard, Institut für Meteorologie,  
J.W. Goethe Universität Frankfurt/Main

Sowohl die Klimadiagnose als auch die darauf aufbauende Realisierung von Klimavorhersagen erfordert die ständige Erweiterung unseres Verständnisses der dynamischen Prozesse im Klimasystem. Grundlage dafür ist die Trennung der auf interne bzw. externe Antriebe des Klimasystems zurückgehenden Wirkungsfaktoren vom sog. Klimarauschen in den Beobachtungsdaten. Um kleine Signale – insbesondere außerhalb der Tropen in der dort beobachteten hohen Klimavariabilität – erkennen zu können, ist eine effektive Signal-Rausch Trennung erforderlich. Dazu wurde die Principal Correlation Pattern Analysis (PCP [1]) entwickelt, die durch die Kombination der Singular Spectrum Analysis (SSA) mit verschiedenen Korrelationsmaßen (auch nichtparametrisch) eine effektive Trennung der korrelierten von der nichtkorrelierten Variabilität zweier Zeitreihen ermöglicht.

Um den Einfluß von El Nino auf Europa zu beschreiben, werden zunächst die PCPs des Southern Oscillation Index (SOI) mit den an verschiedenen Orten gemessenen Zeitreihen einer Klimavariablen berechnet. Das räumliche Muster der El Nino Wirkung auf diese Klimavariablen ergibt sich durch das Zusammenrügen aller lokalen PCPs. Diese Analysen wurden für den Luftdruck, die Temperatur und den Niederschlag für die Nordhemisphäre auf einem 5°x5° Gitter durchgeführt. Für den Bereich Europa wurden zusätzlich PCPs von Stationsmessungen berücksichtigt. Die angefügte Abbildung zeigt das räumliche Muster der El Nino-Wirkung für den Januar auf der Nordhemisphäre, wobei jeweils die lineare Korrelation des SOI mit den Zeitreihen des bodennahen Luftdruckfelds im Januar a) ohne Filterung und b) nach Entfernung der nichtkorrelierten Varianz mit der PCP Analyse dargestellt ist. Im Vergleich zu den bisherigen Studien über den Einfluß von El Nino auf Europa (z.B. [2]) ergibt sich eine verbesserte räumliche und zeitliche Auflösung.

#### **Der Informationszugewinn durch dynamische Regionalisierung**

**Frauke Feser (GKSS-Forschungszentrum Geesthacht)**

Das regionale Klimamodell liefert eine höhere Auflösung und mehr regionale Strukturen als die globale Simulation des Atmosphärenzustandes. Der Nutzen dieser zusätzlichen Information wird geprüft. Zu diesem Zweck werden verschiedene regionale Klimasimulationen gerechnet. Als Eingangsdaten dienen Reanalysen der letzten

40 Jahre des National Center for Environmental Prediction (NCEP). Der regionale atmosphärische Zustand wird mit dem Modell REMO (Regional Model) des Deutschen Klimarechenzentrums/Max-Planck-Instituts für Meteorologie berechnet. Zusätzlich werden Vergleichsrechnungen mit einer spektralen nudging Methode gerechnet. Die Ergebnisse werden mit Niederschlags- und Winddaten mehrerer Stationen Europas validiert. Diese Stationsdaten wurden nicht direkt für die Berechnung der Reanalysen verwendet und sind so für die Vergleiche geeignet.

Sind Niederschläge aus GCM Simulationen ein guter Prädiktor für regionale Niederschläge?

*Martin Widmann (GKSS Forschungszentrum, Geesthacht)*

Es wird die Frage behandelt, ob in GCMs simulierte Niederschläge als Prädiktoren für regionale Niederschläge verwendet werden können. Untersuchungsgebiete sind die Alpen und der Nordwesten der USA. In beiden Gebieten werden die Niederschlagsverhältnisse stark von der Topographie beeinflusst. In diesen Gebieten wurden Niederschläge aus der NCEP Reanalyse mit Beobachtungen verglichen. Die synoptisch-skalige Zirkulation in dem in der NCEP Reanalyse verwendeten GCM repräsentiert den tatsächlichen Verlauf der letzten Jahrzehnte, während die Niederschläge allein gemäss der Modellphysik und den Modellparametrisierungen berechnet werden. Durch den Vergleich von simulierten und beobachteten Niederschlägen lässt sich somit direkt untersuchen, ob die Beziehung von grossräumiger Strömung zu regionalen Niederschlägen im Modell realistisch simuliert wird. Es zeigt sich, dass im Modell zwar starke systematische Über- und Unterschätzungen der Niederschläge auftreten, der zeitliche Verlauf aber sehr gut wiedergegeben wird. Verwendet man die simulierten Niederschläge als Prädiktoren für statistisches Downscaling, erhält man bessere Schätzungen für regionale und lokale Niederschläge als bei Verwendung anderer Prädiktoren wie Geopotentielle Höhe, Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Ähnliche Untersuchungen werden derzeit für das ECHAM4 Modell durchgeführt.

#### **Einfluss der nordatlantischen Oszillation auf das arktische Winterklima in einem Regionalmodell**

Dorn, W., K.Dethloff, A.Rinke

Ein 600-jähriger Kontrolllauf des gekoppelten Zirkulationsmodells ECHO-G wurde im Hinblick

auf Perioden mit hohem und niedrigem NAO-Index untersucht. Je zwei 6-jährige Perioden mit hohem und niedrigem NAO-Index wurden ausgewählt, um den grossräumigen Antrieb für das regionale atmosphärische Klimamodell HIRHAM4 zu liefern. Das Integrationsgebiet des HIRHAM4 umschloss die gesamte Arktis nördlich von 65 Grad N in einer horizontalen Auflösung von 0.5 Grad. Insgesamt wurden mit dem HIRHAM4 24 komplette Winter (Dezember bis Februar) simuliert. Die Simulationen zeigten deutliche Unterschiede in der Temperatur- und Niederschlagsverteilung zwischen den Perioden mit hohem und niedrigem NAO-Index. Die grössten Differenzen treten im atlantisch-europäischen Bereich der Arktis auf, wo die Perioden mit hohem NAO-Index ein deutlich wärmeres und feuchteres Klima aufweisen.

#### **Sensitivitätsstudien mit dem regionalen Klimamodell REMO zur Eisverteilung in der Arktis**

T. Semmler, D. Jacob und R. Podzun (Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg)

Das dreidimensionale, hydrostatische regionale Klimamodell REMO ist angewendet worden, um den Einfluss der Eisverteilung auf mesoskalige meteorologische Phänomene in der Framstrasse zu studieren. Analysen vom Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersagen (EZMW) sind als untere und seitliche Randbedingungen verwendet worden.

Unterschiedliche Methoden, die Eiskante zu bestimmen, führen zu unterschiedlichen Ergebnissen. In der originalen REMO-Version wird die Eiskante aufgrund der  $-1.79\text{C}$ -Isolinie der Wasseroberflächentemperatur bestimmt. Dabei ist jede Gitterzelle entweder eisfrei oder komplett mit Eis bedeckt. Um jedoch Polynien und Risse im Eis zu berücksichtigen, die einen erheblichen Einfluss auf Wärme Flüsse und Niederschläge haben, ist eine REMO-Version entwickelt worden, in der in jeder Gitterzelle eine prozentuale Eisbedeckung vorgegeben werden kann. In dieser Studie ist die prozentuale Eisverteilung aus Daten des Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I) gewonnen worden. Flugzeugbeobachtungen, die während eines Feldexperimentes in der Framstrasse im April 1999 (FRAMZY '99) durchgeführt worden sind, und Eiskarten des Norwegischen meteorologischen Instituts in Tromsø bestätigen, dass die Eisverteilung aus SSM/I-Daten realistischer ist als die aus den EZMW-Analysen diagnostizierte.

Für den Zeitraum 3.-24.4.1999 ist eine Simulation mit der originalen REMO-Version (REMO original) und eine mit prozentualer Eisverteilung (REMO partiell) in jeder Gitterzelle durchgeführt worden.

Ein Vergleich der Ergebnisse beider REMO-Simulationen mit Flugzeugmessungen zeigt, dass in REMO partiell die Oberflächentemperaturen besser als in REMO original wiedergegeben werden. In REMO partiell sind die Gradienten der Oberflächentemperatur und der 2m-Temperatur sowie die sensiblen und latenten Waermefflüsse in der Nähe der Eiskante im Vergleich zu REMO original abgeschwächt. Während REMO original hauptsächlich abwärts gerichtete Wärmefflüsse über dem Eis zeigt, treten hier in REMO partiell nur schwache abwärts oder sogar aufwärts gerichtete Wärmefflüsse auf. Dadurch werden Bewölkung und Niederschlag über Eis in REMO partiell verstärkt.

Die Implementierung einer partiellen Eisverteilung in REMO sowie die Bestimmung der Eiskonzentrationen aus SSM/I-Daten hat die Simulation von Oberflächenparametern verbessert. Mesoskalige Phänomene nahe der Eiskante und an Polynien koennen mit REMO partiell simuliert werden.

### **Auswirkungen von Windfeldänderungen in Nordsee und Ostsee**

Corinna Schrum, Frank Janssen, Frank Siegismund (Institut für Ozeanographie, Universität Hamburg)

Im Rahmen des BMBF Forschungsprojektes KLING (Modellierung inter-annualer Klimavariabilität in Nordsee und Ostsee) wurde eine Impaktstudie zum Einfluß einer Intensivierung der Polarfront und damit verstärkter Westwindzirkulation auf die Nordwesteuropäischen Schelfmeere Nordsee und Ostsee durchgeführt. Durch ein einfaches Sensitivitätsexperiment mit einem gekoppelten Eis/Ozeanmodell konnte 11. dynamische Wirkungsweise einer positiven Westwindanomalie (und damit eines höheren nordatlantischen Oszillationsindex) auf Nordsee und Ostsee untersucht werden. Es zeigte sich, daß die Wirkungsweise verstärkter Westwinde mit einer Zunahme der zyklonalen Zirkulation in beiden regionalen Meeren verbunden waren. Für die Nordsee führt die Intensivierung der zyklonalen Zirkulation zu einem verstärkten Austausch mit dem Nordatlantik und damit zu einer kontinuierlichen Salzgehaltszunahme. Der Austausch zwischen Nordsee und Ostsee wird demgegenüber durch einen verstärkten Westwind behindert. In Verbindung mit einem erhöhten vertikalen Austausch durch verstärkte Zyklonalität im 2-Schichten System der Ostsee führt dieses zu einer kontinuierlichen Salzgehaltsabnahme in der Ostsee und zur verstärkten Erosion der hainen Schichtung in der Ostsee.

Durch Analyse von Winddaten (NCEP Re-Analyse), Salzgehaltsmessungen im Bereich der Gotlandsee konnte dieser Zusammenhang für die vergangenen 40 Jahre mit Hilfe von statistischen

Methoden bestätigt werden. Darüber hinaus lieferte die Auswertung einer Simulation mit dem HAMSOM Modell für diesen Zeitraum detaillierte Information über Veränderungen der Zirkulation und der vertikalen Austauschprozesse in den vergangenen 4 Dekaden.

### **Regionale Klimamodellierung im Ostseeraum**

Daniela Jacob (Max-Planck-Institute for Meteorology, Hamburg, Germany)

Wesentliche Ziele in BALTEX, dem Baltic Sea Experiment, sind, die Wasser- und Energiehaushalte der Ostseeregion zu untersuchen und bestimmen zu können. Ein Weg hierzu betragen zu können, ist durch Modellierung unser Verständnis über die Vielzahl beteiligter Prozesse auf unterschiedlichen Raum- und Zeitskalen zu verbessern. In den letzten Jahren wurden innerhalb verschiedener BMBF- und EU-Projekte numerischen Studien zum Wasser- und Energiehaushalt im Ostseeraum durchgeführt. Ihre Ergebnisse wurden an Hand von Beobachtungen validiert.

In diesem Beitrag sollen Beispiele aus den Arbeiten innerhalb BALTEX gegeben werden, die Simulationen von einigen Monaten bis zu 10 Jahren und ihre Validierung umfassen. Insbesondere wird der innerhalb des EU-Projektes NEWBALTIC durchgeführte Modellvergleich vorgestellt. Hierbei hat sich gezeigt, daß alle beteiligten Modelle die atmosphärischen Phänomene ohne systematische Fehler simulieren, wenn eine geeignete Initialisierung der Bodenfeuchte durchgeführt wurde. Die Verwendung von GPS-Daten zur Bestimmung des vertikal integrierten Wasserdampfes ermöglicht es eine berechnete atmosphärische Wasserhaushaltskomponente zu validieren. Ausserdem werden neben Niederschlagsdaten auch Abflußdaten zur Validierung des Wasserhaushaltes verwendet, die besonders in Klimasimulationen wertvolle Informationen liefern.

### **Beckmann**

Regionalisierung von Klimadaten in Rheinland-Pfalz

**HD Dr. habil. Hans-Joachim Fuchs, Dipl.-Geogr. Martin Werner (beide Geographisches Institut der Universität Mainz) &**

**PD Dr. habil. Gebhard Schüler (Forstdirektor an der Forstlichen Versuchsanstalt des Landes Rheinland-Pfalz in Trippstadt)**

#### **1. Einleitung und Zielsetzung**

Der Mangel an kontinuierlichen, langzeitlichen Klimamessungen und einer flächendeckenden Stationsverteilung erfordert die Suche nach Parametrisierungsansätzen, um Flächenmittelwerte ohne aktuelle Meßdatenstützung zu realisieren. Unter Regionalisierung wird eine Methode verstanden, die unter statistischen Prüfmethode eine Übertragung interpolierter Werte von Punktdaten im Raum auf ihre nähere Nachbarschaft noch gewährleistet. Die zeitliche und räumliche Niederschlagsverteilung und deren Variation sind u.a. für das Pflanzenwachstum von immenser Bedeutung. Die Ergebnisse der Regionalisierung dienen der Forstlichen Versuchsanstalt von Rheinland-Pfalz als wichtige Entscheidungsgrundlage für deren auf Langzeitperspektive angelegte Forstplanung in den einzelnen Forstbezirken des Bundeslandes. Für den jeweiligen Forstplaner sind die regionalisierten Niederschlagsdaten am PC an jeder beliebigen Stelle des Bundeslandes Rheinland-Pfalz per Mausclick abrufbar. Es kann in das Fenster gezoomt werden, um die regionalisierten Niederschlagsdaten eines einzelnen Pixels zu entnehmen. Auch um die Ursachenforschung bei den derzeit zunehmenden Trockenschäden an Waldbäumen fundierter zu betreiben, sind gesicherte Aussagen über die jeweils an den verschiedenen Waldstandorten herrschenden hygrischen Verhältnisse von außerordentlicher Wichtigkeit und Hilfe.

Die Leistungen eines Geographischen Informationssystems (GIS) liegen aber nicht nur in der Abfrage von Eigenschaften eines Punktes im Raum sondern es gestattet darüberhinaus eine Menge komplexer Operationen zur Selektierung und geometrischen Verschneidung. Durch die Verbindung verschiedener Datenlayer und die Kombination derselben mittels logischer Operatoren gelangt der Anwender so zu neuen umweltrelevanten Erkenntnissen.

## 2. Aufbau eines Geographischen Informationssystems (GIS)

Zur Regionalisierung wurden die Tagesniederschlagssummen von 298 Stationen des Deutschen Wetterdienstes aus dem Zeitraum von 1982 - 1996 verwendet. Bei der Wahl des verarbeitenden Programms fiel die Entscheidung auf ARC/INFO 7.2.1, eine von der Firma ESRI (Redlands, CA, USA) entwickelte Geographische Informationssoftware). Im Rahmen der Datenaufbereitung wurden fehlende Daten ersetzt sowie die vorliegenden Tagesniederschläge zu Monatssummen, saisonalen Summen und schließlich zur mittleren Jahresniederschlagssumme zusammengefaßt. Die erstellte Datenbank wurde schließlich in

das Geographische Informationssystem integriert.

## 3. Regionalisierung und Validierung

Wesentliche Bestandteile der Regionalisierung stellen das Kriging dar sowie ein Höhenmodell in der Ausdehnung des Untersuchungsraumes mit einer horizontalen Auflösung von 500 m. Das Kriging interpoliert ein Grid anhand von Punktdaten. Diese Daten werden von den 298 Stationen innerhalb und außerhalb von Rheinland-Pfalz geliefert. Die außerhalb gelegenen Datenstützpunkte sind notwendig, da sonst die vom Kriging interpolierten Werte eine unrealistische räumliche Verteilung der Niederschläge in den Randbereichen hervorrufen. Zahlreiche Probeläufe des Kriging müssen durchgeführt werden, um die beste der fünf zur Interpolation verfügbaren mathematischen Funktionen zu finden, die die Daten am besten anpaßt. Diese Anpassung wird mit dem sog. Semivariogramm vorgenommen. Die beste Anpassung der Daten wird stets mit der Gauss'schen Methode erzielt, so daß diese Funktion zur Interpolation der Daten verwendet wird. Da beim Kriging-Verfahren nur die Lagekoordinaten (als Abstandsvektoren) in die Berechnung mit einbezogen werden, stellt das Ergebnis eine Behandlung der Fläche als Ebene dar. In dieser Hinsicht weist das Kriging einen Nachteil auf: Höhenunterschiede, die zwischen Stationen bestehen, fließen in die Interpolation nicht mit ein. Daher wird in einem nächsten Schritt die Stationshöhe als weitere unabhängige Variable eingebracht.

Zur Validierung des Kriging-Verfahrens werden aus dem Original-Daten-Coverage (298 Stationen) 57 Stationen weggelassen. Aus dem daraus resultierenden Coverage von 241 Meßstationen wird dann eine Interpolation nach dem Kriging-Verfahren gerechnet. Danach erfolgt die Abfrage der interpolierten Stationswerte genau nach den Lagekoordinaten, d.h. nach Rechts- und Hochwerten. Die requirierten Werte werden den bekannten Niederschlagswerten gegenübergestellt und die Art der statistischen Beziehung mit Hilfe linearer Regression errechnet. Das Ergebnis stellt eine Gleichung dar, welche die Berechnung der wahren Werte anhand der unabhängigen Variablen „interpolierter Niederschlag,“ und „Stationshöhe,“ zuläßt. Die gefundene mathematische Beziehung wird auf die „gekrigten,“ Niederschlagsdaten und ein Höhenmodell mit einer horizontalen Auflösung von 500 m angewandt. Die aus der statistischen Analyse gewonnenen Regressionskoeffizienten geben an, wie stark die beiden unabhängigen Variablen gewichtet werden. Beispielsweise geht bei der Regionalisierung

der Jahresniederschlagssummen das Kriging mit einem Faktor von 1,04 ein, die Höhe zu 0,28.

Die qualitative Bewertung der Regionalisierung erfolgt mit dem sog. Bestimmtheits- oder Gütemaß ( $r^2$ ). Die Berechnung erfolgt durch den Quotient erklärter Varianz zur Gesamtvarianz. Liegt das Maß hoch ( $r^2 > 0,7$ ), so ist die errechnete flächenhaft übertragene Beziehung von guter Genauigkeit, liegt  $r^2$  dagegen bei 0,5 oder darunter, so werden die Varianzen der geschätzten Werte nur bis zu 50 % erklärt; dementsprechend ist die Aussagekraft der flächenhaften Repräsentanz niedriger.

Die größte Genauigkeit der Regionalisierung wird für die Wintermonate erzielt, während die Schätzgenauigkeit in den Sommermonaten geringere Werte annimmt. So beträgt das höchste Gütemaß 0,89 im Monat Januar, während das Gütemaß im Mai nur 0,59 beträgt. Die in den Sommermonaten geringere Schätzgenauigkeit ist im wesentlichen auf die in dieser Zeit verstärkte Konvektion zurückzuführen, was die räumliche Variabilität des Niederschlages erhöht. Im Winter ist der verstärkte Einfluß der Maritimität zu nennen. Die Regionalisierung der Sommerniederschläge ist damit nicht so sicher wie der Winterniederschläge. Mit einem Wert von 0,59 weist der Mai das niedrigste Gütemaß auf. In diesem Monat ist die Wechselhaftigkeit im Jahresverlauf am größten, da in dieser Zeit noch häufig Kaltluftinbrüche stattfinden.

Nach der erfolgreichen Regionalisierung der Monatsniederschlagssummen wurde eine detailliertere räumliche Betrachtung der Niederschläge von Rheinland-Pfalz auf der Basis von 36 Dekaden vorgenommen. Die zeitlich hochaufgelösten Ergebnisse bei den Niederschlägen dienen dem Anwender als wertvolle Planungsgrundlage. Im Anschluß an die Regionalisierung von Niederschlagsdaten wurden die Dekadenmittel der Temperatur von ca. 100 Klimastationen regionalisiert.

#### **4. Schlußfolgerungen**

Mit dem entwickelten Verfahren wird gezeigt, daß eine Regionalisierung von Klimadaten in Rheinland-Pfalz mit einem hohen Anteil erklärter Varianz möglich ist. Durch das Einbeziehen der Stationshöhe auf der Grundlage eines Höhenmodells einer horizontalen Auflösung von 500 m kann eine höhenabhängige Abstufung der Niederschlagssummen und Temperaturen erfolgen. Die Berücksichtigung der Topographie trägt weiterhin zur Varianzaufklärung bei, was für den Anwender in der Forstplanung von großer Relevanz ist.

#### **Regionalisierung von Klimamodell-Ergebnissen des statistischen Verfahrens der Wetterlagenklassifikation und nachgeordneter multipler Regressionsanalyse für Sachsen**

Dr. W. Enke (Institut für Meteorologie, FU Berlin)

Für das Land Sachsen mit seinem spezifisch gegliederten Gelände wird ein mehrfach erprobtes Verfahren der objektiven Wetterlagenklassifikation mit nachgeordneter Regressionsanalyse angepaßt um die lokalen Konsequenzen einer möglichen Klimaänderung abzuschätzen.

Im **ersten Schritt** werden die für die Region relevanten objektiven Wetterlagen an Hand historischer Datenreihen abgeleitet

Im **zweiten Schritt** wird durch eine wetterlagenbedingte Screening Regressionsanalyse mit langen Reihen täglicher Beobachtungsdaten meteorologischer Stationen eine Kopplung zwischen Wetterelementen in Bodennähe und Geopotential-, Temperatur- und Feuchteanalysen der „freien“ Atmosphäre vorgenommen.

Im **dritten Schritt** erfolgt die Anwendung des Verfahrens auf Kontroll-Lauf und Szenario einer ECHAM Simulation des MPI-Hamburg zur Abschätzung lokaler Klimaänderungsszenarien.

#### **Ergebnisse**

- Regionsspezifische Großwetterlagen.
- Klimatologien meteorologischer Elemente und Immissionsdaten in Abhängigkeit von diesen Großwetterlagen für jede Jahreszeit.
- Überprüfung der Leistungsfähigkeit eines GCM-Kontroll-Laufs hinsichtlich seiner Fähigkeit, im Zusammenwirken mit dem statistischen Downscaling-Verfahrens, den gegenwärtigen Zustand des Klimas einer relativ kleinen Untersuchungsregion zu reproduzieren.
- Änderung der Häufigkeit der regionsspezifischen Zirkulationsmuster des ECHAM-Szenarios mit erhöhtem CO<sub>2</sub>-Anteil relativ zum Kontroll-Lauf und zum Entwicklungslauf.
- Auswirkung des betrachteten Szenarios auf Sachsen; insbesondere Konsequenzen für das Temperatur-, Feuchte- und Windregime sowie die Immission.

#### **Der integrierte Einsatz von Satellitenbilddaten und digitalen Geländemodellen zum Entwurf großmaßstäbiger regionaler Klimakarten - dargestellt am Beispiel der Baar**

Alexander Siegmund (Geographisches Institut

der Universität Mannheim)

Der Naturraum der Baar wird durch kaum einen anderen Faktor so nachhaltig geprägt, wie durch seine besonderen regionalklimatischen Gegebenheiten. Dabei kommt der Topographie in Form einer Hochmulde im Übergangsbereich des Schwarzwaldes im Westen und der Schwäbischen Alb im Osten eine wesentliche klimatische Bedeutung zu. So sammeln sich in den Niederungen der Baar bei austauscharmen autochthonen Wetterlagen und starker nächtlicher Ausstrahlung Kaltluftseen, die zu Temperaturinversionen und einer stärkeren Forstgefährdung der tieferen Lagen führen. Dadurch zählt die Region bei winterlichen Hochdruckwetterlagen oft mit zu den Kältepolen Deutschlands. Im Sommer ist der Raum indes durch vergleichsweise hohe Temperaturen gekennzeichnet. Beides bedingt eine im Vergleich zu den Nachbarregionen relativ starke thermische Kontinentalität. Mit ihr geht durch die Leelage zum Schwarzwald in Bezug auf die Höhe und jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge eine ausgeprägte hygrische Kontinentalität einher.

Vor diesem Hintergrund wurden für die Baar auf der Basis eines eigens eingerichteten dichtes Klimameßnetzes regionale Klimakarten für verschiedene thermische und hygrische Parameter in jahreszeitlicher Auflösung entworfen. Die Abb. 1 zeigt den strukturellen Aufbau und das methodische Ablaufschema beim Entwurf entsprechender statistisch-regionaler Klimamodelle. Die Modellberechnungen basieren auf linearen multiplen schrittweisen Regressionsanalysen, in die verschiedene Relief- und Landnutzungsparameter einfließen. Hierzu zählen die Höhenlage, die Hangneigung, die Exposition, der Rechts- und Hochwert sowie verschiedene Landnutzungs- und Vegetationstypen. Während die topographischen Variablen aus einem digitalen Geländemodell mit einer räumlichen Auflösung von 50 m abgeleitet wurde, basieren die Landnutzungsinformationen auf der multispektralen Auswertung einer LANDSAT TM-Satellitenbildszene mit 30 m Auflösung.

Auf der Basis der statistischen Klimamodelle wurde großmaßstäbige regionale Klimakarten mit einer räumlichen Auflösung von 50 m generiert. Die entsprechenden Regressionsansätze weisen dabei teilweise erklärte Varianzen von über 90 % und Irrtumswahrscheinlichkeiten von unter 1 % auf. Die Klimakarten spiegeln die mit den topographischen Gegebenheiten und den unterschiedlichen Landnutzungsformen verbundenen differenzierten regionalklimatischen Verteilungsmuster deutlich wieder. So wird etwa bei der Frosthäufigkeit die starke Höhenabhängigkeit der Werte deutlich, durch die die tiefer gelegenen Regionen der Baar als Folge

der Bildung von Kaltluftseen thermisch stärker benachteiligt sind als mittlere und höhere Lagen. Darüber hinaus tritt insbesondere bei der Zahl der Sommertage eine markante Abhängigkeit von unterschiedlichen Landnutzungstypen in Erscheinung, die vor allem durch höhere Werte im Bereich von Siedlungsflächen gekennzeichnet ist. Eingehendere stadtklimatische Untersuchungen konnten diese Effekte bestätigen. Bei den Niederschlägen werden sowohl bei der jahreszeitlichen Verteilung als auch bei der absoluten Höhe der Werte West-Ost-Gradienten deutlich, die durch den Einfluß des Schwarzwaldes verursacht werden.

Ein Regionalisierungsverfahren zur Bestimmung von Extremwerten

Udo Busch und Dietrich Heimann (DLR Oberpfaffenhofen, Institut für Physik der Atmosphäre)

Die entwickelte statistische Regionalisierungsmethode zur Herleitung langer (30-jähriger) klimaspezifischer Zeitreihen basiert auf der statistisch-dynamischen Regionalisierungsmethode von Fuentes und Heimann (2000). Die vorgestellte Methode verwendet ausschließlich GCM und RCM Simulationen zu Trainings- und Kalibrierungszwecken. Das Ziel ist, die Ergebnisse eingesteter RCM Simulationen zu 'verlängern'.

Dies geschieht indem die Ergebnisse einer RCM Simulation, welche z.B. für eine Dekade durchgeführt wurde, mit Hilfe statistischer Verfahren auf weitere Dekaden übertragen werden.

Zunächst werden die großskaligen Zirkulationsmuster der GCM Simulation mit Hilfe multivariater Methoden in zusammenhängende Episoden eingeteilt.

**Im folgenden Schritt werden die Episoden in N vorgegebene Klassen zusammengefaßt, innerhalb dieser Klassen findet eine weitere Unterteilung nach Dekadenzugehörigkeit statt. Für eine ausgewählte Trainingsdekade werden statistische Beziehungen zwischen den großskaligen Zirkulationsmustern der GCM Simulation und den regionalen Parametern einer eingesteten RCM Simulation ermittelt. Die regionalen Parameter der Trainingsdekade werden, gewichtet mit der Häufigkeit des Auftretens, auf die zu regionalisierenden Dekaden übertragen. Auf diese Weise ist es möglich, mit Hilfe einer 10-jährigen RCM Simulation, statistische Aussagen über Tagesmittelwerte und Varianz für einen 30-jährigen Zeitraum zu erhalten. Diese Informationen stehen für ein ausgewähltes Gebiet, wie z.B. die Alpenregion, mit der räumlichen Auflösung der eingesteten RCM Simulation zur Verfügung.**

Um im weiteren Aussagen über Extremwerte geben zu können, werden die gewonnene Aussagen über Tagesmittelwerte und Varianz mit Hilfe von theoretischen Verteilungsfunktionen ausgewertet.

Ist das vorgeschaltete Regionalisierungsverfahren in der Lage Mittelwert und Varianz der regionalen Parameter mit hoher Genauigkeit wiederzugeben, lassen sich so zuverlässige Aussagen über Extremwerte geben. Das hier vorgestellte Regionalisierungsverfahren wurde im Bereich der Alpen zunächst hinsichtlich der 1,5 m Temperatur validiert. Hierfür stand eine 30-jährige transiente GCM Simulation (HadAM2) sowie eine über den gesamten Zeitraum eingenesete Regionalmodellsimulation (HadRM2) des Hadley Centres (Bracknell, UK) zur Verfügung. Der Vergleich der regionalisierten Dekaden mit der RCM Simulation zeigt eine gute Übereinkunft der Tagesmittelwerte, Varianz und Verteilungsfunktionen.

### **Telekonnektionen zwischen Niederschlag im südlichen Afrika und troposphärischer Zirkulation: Intraseasonale und interannuelle Variabilität**

Andreas Philipp, Jucundus Jacobbeit (Arbeitsgruppe Klimaforschung, Geographisches Institut, Universität Würzburg)

Telekonnektionsanalysen verschiedener Klimaparameter dienen - neben ihrem Beitrag zum allgemeinen Verständnis von Klimavariabilität - der Eignungsprüfung von Fernkopplungen als Prädiktoren in empirischen Modellen zur saisonalen Klimaprognose, welche gerade im südlichen Afrika eine bedeutsame Rolle spielt. Entscheidend ist hierbei die Stabilität bzw. Variabilität der Kopplungen.

**Verwendet werden in der Untersuchung Niederschlagsrekonstruktionen der Climatic Research Unit UEA (Norwich), die als flächenbezogene Monatssummen im  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  Gitternetz vorliegen, sowie Zirkulationsdaten aus dem NCEP/NCAR Reanalyse Projekt.**

Potentiell bedeutsame Telekonnektionen werden mit Hilfe verschiedener bi- und multivariater Methoden (Telekonnektivitätsfelder, PCA, CCA) identifiziert. Dabei zeigen sich starke intraseasonale und interannuelle Schwankungen hinsichtlich Stärke und räumlicher Anordnung der dominanten Kopplungen.

Um Ursachen der Zusammenhänge selbst sowie ihrer Variabilität einzugrenzen, wird methodisch unterschieden zwischen regional wirksamen Primärkopplungen zwischen Niederschlag und Zirkulation und daran angeschlossenen Telekonnektionen innerhalb der troposphärischen Zirkulation. So kann zum Beispiel der Zusammenhang zwischen ENSO-Signal und Niederschlägen im westlichen Südafrika zunächst auf eine Fernkopplung zwischen hochtroposphärischer

Geopotentialvariabilität über dem Zentralpazifik und niedertroposphärischen Zirkulationsverhältnissen im Bereich der Südwestküste Südafrikas, welche primär mit dem Niederschlag gekoppelt sind, zurückgeführt werden. Weitergehende Analysen der zirkulationsinternen Telekonnektionen sollen unter Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung von Anomaliesignalen Aufschluss über mögliche Signaltransportwege sowie Störungen derselben geben.

### **Regionale Auswirkungen des globalen Klimawandels: Niederschlagsänderungen in Namibia**

**Ulrike Beyer (Geographisches Institut, Universität Würzburg)**

Um die Auswirkungen des verstärkten Treibhauseffekts auf das Klimasystem abzuschätzen, wird mit Hilfe verschiedener statistischer Downscaling-Methoden die zukünftige regionale Veränderung der Sommerniederschläge (Nov.-März) Namibias errechnet. Es werden Zusammenhänge zwischen gemessenen Niederschlagsdaten und großskaligen atmosphärischen Zustandsgrößen in rezentem Datenmaterial gesucht, die mit schrittweisen multiplen Regressionsanalysen oder kanonischen Korrelationen identifiziert und quantifiziert werden. Als Eingangssatensatz für die Regressionsrechnungen stehen Monatssummen von Niederschlagsmeßstationen des "Meteorological Service Namibia" und Geopotentialdaten für mehrere atmosphärische Niveaus (1000hPa-300hPa) aus NCEP/NCAR Reanalysen zur Verfügung. Um den Einfluß tropischer und außertropischer Zirkulation auf die namibischen Niederschläge mit einzubeziehen, werden Gitterpunkte zwischen  $20^\circ\text{N}$   $80^\circ\text{W}$  und  $50^\circ\text{S}$   $100^\circ\text{E}$  (in  $2,5^\circ$  meridionaler und zonaler Auflösung) aus dem globalen Datensatz extrahiert. Um statistische Modelle für Namibia zu erhalten, werden Regressionsrechnungen für einzelne Niederschlagsstationen mit Hauptkomponenten der Geopotentialdaten als Regressoren für einen 30-jährigen Kalibrierungszeitraum (1968-1997) durchgeführt. Die erhaltenen Regressionsmodelle bilden die Basis für die Abschätzung zukünftiger Niederschläge und werden im Verifikationszeitraum (1951-1967) auf Güte und Stabilität getestet. Die zugrundeliegenden statistischen Zusammenhänge werden auf veränderte Klimabedingungen übertragen, indem anstelle rezenter Geopotentialdaten Modelldaten aus der ECHAM3-T42 Gleichgewichtssimulation

für dreifach erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration (als Regressoren) in jene Gleichungen eingesetzt werden, die sich im Verifikationszeitraum als zuverlässig erwiesen. Die Modellierung deutet auf eine verkürzte Regenzeit hin, da für den Fall 3-facher CO<sub>2</sub>-Konzentration deutliche Niederschlagsabnahmen im März zu erwarten sind. Resultate kanonischer Korrelationen unter Verwendung der transienten ECHAM4-Simulation bestätigen diese Abschätzung. Eine mögliche Intensivierung der Niederschläge in den übrigen Monaten (Nov.-Feb.) wird untersucht.

## C. Klima im öffentlichen Interesse

### **Das Wissen der Medien und die Erwartungen an die Wissenschaft: gesellschaftliche Wahrnehmung von Klimawandel**

Anita Engels, Peter Weingart (Institut für Wissenschafts- und Technikforschung, Universität Bielefeld)

Wissenschaftliche Beobachtung, massenmediale Berichterstattung und öffentliche Aufmerksamkeit – wie hängen diese Bereiche miteinander zusammen? Die Erzeugung öffentlicher Aufmerksamkeit ist das tägliche Geschäft der Medien. Kann die Forschung die Medien systematisch nutzen, um Aufmerksamkeit für ihre Ergebnisse zu erzeugen? Sind die Medien geeignet, wissenschaftliche Warnungen vor drohenden Umweltproblemen zu amplifizieren? Werden dadurch unnötig Ängste geschürt, oder notwendige Einsichten und Handlungsbereitschaften erst entwickelt? Welche Erwartungen entstehen durch die Berichterstattung, wie wirken sie auf die Wissenschaft zurück? Der Vortrag wird überblicksartig sozialwissenschaftliche Forschung zu diesen Fragebereichen vorstellen und aus den Ergebnissen einige Schlußfolgerungen ziehen, die zur Diskussion gestellt werden.

### **Das Modellprojekt Brundtlandstadt Viernheim - die Umsetzung einer nachhaltigen Klimaschutzstrategie aus der Sicht staatlicher Umweltpolitik**

Rüdiger Schweer (Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten)

Die Klimaschutzstrategie des hessischen Umweltministeriums zielt auf eine verstärkte Kooperation insbesondere mit dem Handwerk und Gewerbe vor Ort sowie auf eine Regionalisierung von Klimaschutzprojekten. Dabei stehen vor allem die Aspekte des

Marketings und die Verdeutlichung einer langfristigen Perspektive, die auch wirtschaftliche Chancen bietet, im Vordergrund. Drei wesentliche Elemente stützen den Hessischen Ansatz für eine moderne und wirtschaftlich effiziente Klimaschutzstrategie:

- Regionalisierung von Klimaschutzprojekten
- Entwicklung flexibler Klimaschutzinstrumente (z.B. CO<sub>2</sub>-Emissionshandel, Quotenmodelle)
- Kooperation mit der Industrie, dem Handwerk, den Kammern und Verbänden im Rahmen der Umweltallianz

Die Stadt Viernheim war 1. Preisträger in dem Kommunal-Wettbewerb „Hessische Energiespar- / Klimaschutzstadt“ von 1994. In den folgenden vier Jahren wurden verschiedene lokale Klimaschutzprojekte im Rahmen des „social marketing“ realisiert und ein kommunales Wärmedämmprogramm für Altbauten erfolgreich durchgeführt. Im Rahmen einer Entwicklungsmaßnahme entstand ein neues Wohngebiet in Niedrigenergie- und Passivhaus - Bauweise mit 800 Wohneinheiten. Für klimaschützendes Verhalten gab es GRO-Marken in einem Rabattmarkensystem. Eine sozialwissenschaftliche Begleituntersuchung ergab eine hohe Akzeptanz der Bevölkerung für das Klimaschutzthema. Aus dem Pilotprojekt entstand der Arbeitskreis „Hessische Klimaschutzstädte“.

Seit 1999 unterstützt das hessische Umweltministerium für drei Jahre das Demonstrationsprojekt „KlimaschutzRegion Hessisches Ried“ im Kreis Bergstraße. Im Modellprojekt dienen „Effizienzprämien“ für Wärmeschutz und rationelle Stromverwendung, Qualifizierungs- und Marketingmaßnahmen für das Handwerk dazu, im richtigen Investitionszeitpunkt einen Anreiz für wirtschaftliche Klimaschutzmaßnahmen zu schaffen und in der handwerklichen Praxis zu verankern.

Hierbei werden die Industrie, das Gewerbe, die Energieversorger, die Kammern, regionale Weiterbildungseinrichtungen und Verbände einbezogen. Ein regionales Klimaschutzkonzept zeigt die mittel- und langfristige Umsetzung einer regionalen Klimaschutzstrategie als Beitrag zur lokalen Innovations- und Wirtschaftsförderung auf. Mit den Programmen können Investitionen in Höhe von ca. 15 bis 20 Mio DM angestoßen werden.

Wesentliches Ziel dieses und weiterer Projekte mit dem Lahn-Dill Kreis, dem Landkreis Gießen und drei südhessischen Kommunen ist es, die Übertragbarkeit auf andere Hessische Kommunen und Kreise zu testen.

## **Zukunftsentwürfe und Gestaltungspotentiale für die Insel Sylt angesichts möglicher Klimaänderungen**

Wolf R. Dombrowsky

In einem dreijährigen interdisziplinären Verbundprojekt im Rahmen des BMBF-Forschungsprogramms "Klimaänderung und Küste" wurde am Beispiel der Insel Sylt untersucht, ob und wie mögliche Klimaänderungen und deren Auswirkungen wahrgenommen, bewertet und in Entscheidungen umgesetzt werden.

Dazu wurden im Rahmen eines modifizierten Bürgergutachtens ("Planungszelle" nach Dienel) Sylter Bürger entlang strukturierter "Inputpfade" zur Planung ihrer Inselzukunft befragt. Inputpfade waren a) die Beschreibung der Insel und ihrer Nutzung durch statistische Kennzahlen, b) die Darstellung der klimabedingten Veränderung der Inselgestalt durch geologische Forschungsergebnisse, c) die aus wissenschaftlicher Sicht notwendigen Veränderungen aktiver und passiver Küstenschutzmaßnahmen sowie d) deren mögliche Auswirkungen auf die Inselökonomie, insbesondere den Tourismus und den Verkehr, auf die Sozialstruktur (Einheimische/Besucher; Saison/Normalzeit; Infrastruktur) und auf die natürlichen Ökosysteme. Die so gewonnenen Ergebnisse werden vorgestellt und diskutiert. Sie belegen, dass die sogenannten Laien in zentralen Teilbereichen über größere Gestaltungspotentiale verfügen, als institutionelle Instanzen, deren Zukunftsentwürfe häufig in selbstreferenziellen Vorgaben und Zwängen befangen bleiben (müssen).

## **Some Economics of Climate Change**

Richard S.J. Tol (Hamburg, Vrije and Carnegie Mellon Universities)

The impacts of climate change need to be monetized so as to trade-off the avoided costs of global warming with the costs of greenhouse gas emission reduction. There is great uncertainty about climate change impacts, future vulnerabilities are speculative, and valuation is controversial. Nonetheless, current estimates of the impact of climate change do show broad, robust patterns of vulnerability and bounds can be placed on the optimal control of greenhouse gas emissions. It is found that the current international agreements, laid down in the Kyoto Protocol, are at odds with economic efficiency.

*Anthropogener Klimawandel – Eine beunruhigende Vorstellung seit dem 18. Jahrhundert*

Prof. Dr. Hans von Storch, Nico Stehr

Since about 10 years the concept of anthropogenic climate change has left academic circles and become a major public concern. Some people consider „global warming“ as the major environmental threat of the planet. Even though mostly considered an novel threat, a look into history tells us that it is not, at least not in European thinking. Climate change, due to natural and anthropogenic reasons has often been discussed from classical times to the time of renaissance. Environmental change including climate change was seen by some as a biblical mandate, to „complete the Creation“. In line with this view, the prospect was considered as a promising challenge in more modern times. Only since the middle of the 20<sup>th</sup> century, anthropogenic climate change became a menacing prospect. The concept of anthropogenic climate change seems to be deeply embedded in public thinking, at least in Europe, which resurfaces every now and then after scientific discoveries. As such climate change research is bound to be a post-normal science. Of course, the present threat may be much more real than any of the historical predecessors, which turned out to be overestimated.

## **Klimaschwankungen als Ursache von Völkerwanderungen?**

Burkhard Frenzel (Institut für Botanik, Universität Hohenheim)

Es wird häufig angenommen, daß Verschiebungen, Überlagerungen von Bevölkerungen klimatisch ausgelöst worden seien. Dies gilt für nahezu alle Klimazonen der Erde. Es stellt sich jedoch die Frage, wie weit und wie sicher dies nachweisbar ist. Die zunehmende Sicherheit in der Datierung und Quantifizierung ehemaliger Klimaschwankungen wirft hierbei manche Fragen auf. Bei Berücksichtigung jährlich, bzw. jahreszeitlich aufgelöster Klimaindikatoren (stabile Isotope in Jahrringen, oder in Jahresschichten des Inlandeises, Jahrring- und Warvenbreite Schwankungen) wird deutlich, daß das Klima mindestens der nördlichen gemäßigten Breiten im Holozän (Nacheiszeit) äußerst variabel gewesen ist, vielfach mit Periodenlängen von etwa 200 Jahren. Dies betrifft u.a. Sommertemperaturen, wie auch die Niederschläge, wobei die jeweiligen

Amplituden gebietsweise recht unterschiedlich gewesen sein können. Dem steht, etwa in Europa und Zentralasien, eine mindestens seit 2000 v.Chr. faßbare, oft jedoch nur ungenau datierbare Zahl größerer und kleinerer Bevölkerungsverschiebungen gegenüber. Angesichts der hohen Variabilität des Klimas gelingt es leicht, Korrelationen zwischen Klimaschwankungen und Bevölkerungsverschiebungen festzustellen, doch bleibt die Frage offen, ob diese – zeitweisen – Korrelationen etwas über die Kausalität aussagen. An den Grenzen der Ökumene wirken sich Klimaschwankungen bei gleicher Amplitude sicher viel stärker auf die jeweilige Bevölkerung aus, als unter generell günstigen klimatischen Bedingungen, doch ist die Bevölkerungszahl an den Grenzen der Ökumene viel geringer als in Gebieten besserer Bedingungen, damit ist aber auch der etwa vom Klima ausgelöste Druck einer beunruhigten Bevölkerung dort viel geringer als im Bereich im Mittel günstigerer klimatischer Bedingungen. Andererseits können Zeiten eines günstigen Klimas durch Anwachsen der Bevölkerung und der Viehzahlen einen ähnlichen Unruhefaktor darstellen, wie Zeiten schlechter Klimate. Im Vortrag werden Beispiele genannt. Es kommt offenbar darauf an, bei Beantwortung der eingangs gestellten Frage, nicht nur die jeweiligen Bevölkerungszahlen quantifizieren zu können, sondern auch die für sie unter den gegebenen wirtschaftlichen Bedingungen notwendigen Nutzflächen, wobei zu berücksichtigen ist, daß auch schon frühere Kulturen einem Druck der Umwelt durch landwirtschaftliche und technische Maßnahmen entgegenwirken konnten. Von diesen Quantifizierungsmöglichkeiten sind wir noch weit entfernt, zumal da zu berücksichtigen ist, daß der Mensch auch vom Klima unabhängig erhebliche politische und wirtschaftliche Pressionen auf seine Umgebung ausüben kann und dies auch schon sehr lange getan hatte. Dies alles besagt, daß die Beantwortung der eingangs gestellten Frage ein multidisziplinäres, fachlich und regional sehr weit gefächertes Forschungsvorhaben erfordert.

*Der Klimawissenschaftler als Prophet –  
Die kulturelle Dimension des Klimas*

Martin Döring (Institut für Romanistik,  
Universität Hamburg)  
Werner Krauß (Institut für Ethnologie,  
Universität Hamburg)

In unserem Beitrag loten wir die Rolle der Kultur- und Geisteswissenschaften in einer interdisziplinären Klimaforschung aus. Wir stellen die These auf, daß auch unsere Wahrnehmung des Klimas – sowohl die alltägliche als auch die wissenschaftliche – selbst kulturspezifisch ist.

Ausgangspunkt sind Beispiele für die kulturelle Wahrnehmung von Klima aus ethnologischer und medienwissenschaftlicher Sicht. In unserem Beitrag gehen wir auf die Geschichte der Klimawissenschaft und die spezifische Rolle des Klimawissenschaftlers in unserer Kultur ein. Wir führen aus, wie harte Daten der Klimawissenschaften im öffentlichen Diskurs permanent mit kulturellen Symbolen aufgeladen werden. Dadurch wird deutlich, daß Klimawissenschaft weit über die Erforschung natürlicher Prozesse hinaus zu einem Wahrheitsproduzenten im umfassenden Sinne wird. Sie bringt ein Weltbild hervor, das den Glauben an eine rein technologische Lösbarkeit des Klimaproblems nährt und wirkt damit gleichzeitig als eine „anti-politics machine“. Der Klimawissenschaftler wird damit – willentlich oder unwillentlich – zum Propheten.

Eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Kultur- und Geisteswissenschaften einerseits und „harten“ Klimawissenschaften andererseits kann nicht nur in einer bloßen Addition bestehen, vielmehr muß das selbstreflexive Moment der Geistes- und Kulturwissenschaften in die Klimaforschung eingebracht werden. Gegenstand der Forschung ist dann nicht mehr nur die „reine“ Natur, sondern auch die Kultur der Natur.

**Verschiebung der Klimagebiete im  
letzten Jahrhundert**

Werner, P.C.<sup>1</sup>, Gerstengarbe, F.-W.<sup>1</sup>,  
Fraedrich, K.<sup>2</sup> (1 Potsdam-Institut für  
Klimafolgenforschung e.V., Telegrafenberg, PF  
601203, 14412 Potsdam, 2 Meteorologisches  
Institut, Universität Hamburg, Bundesstraße  
55, 20146 Hamburg)

Im Rahmen der aktuellen Klimaänderungsdiskussion stellt sich die Frage, ob es bereits eine nachweisbare Veränderung der Klimagebiete der Erde in Lage und Größe gibt. Um diese Frage zu beantworten wurde auf der Basis der Köppen'schen Klimadefinition (Köppen 1936) und eines Datensatzes der Climate Research Unit of the University of East Anglia, Norwich (New, Hulme 1997), die Verteilung der Klimagebiete kontinentweise in ihrer zeitlichen

Änderung berechnet und diskutiert. Es konnte gezeigt werden, daß es für einige Klimatypen zu deutlichen Veränderungen gekommen ist, die sich durch entsprechende statistische Tests sichern ließen. Die Größenordnung dieser Veränderungen lagen zwischen 3 und 8 % der Flächen der jeweiligen Kontinente. Besonders betroffen sind die Klimatypen Tundra (starke Abnahme) und Wüste (starke Zunahme). In Europa ist eine deutliche Verschiebung vom kontinentalen zum maritimen Charakter zu beobachten. Dabei sind die stärksten Änderungen innerhalb der letzten 15 Jahre des Beobachtungszeitraumes aufgetreten. Außerdem ließ sich nachweisen, daß es einen Zusammenhang zwischen dem zeitlichen Verlauf der PDO bzw. der NAO (Pacific Decadal and North Atlantic Oscillation) und einigen Klimaverschiebungen gibt, die Abnahme der Tundra invers zur globalen Temperaturentwicklung verläuft und die Wüstenbildung im südlichen Afrika parallel zum Niederschlagsrückgang in dieser Region verläuft. Klimamodellrechnungen zur CO<sub>2</sub>-Verdopplung modellieren eine ähnliche Entwicklung in den Änderungen der Klimagebiete im Verlauf des 21. Jahrhunderts. Aus diesen Ergebnissen läßt sich die Schlußfolgerung ziehen, daß die aufgrund der globalen Erwärmung prognostizierten zukünftigen Änderungen im Klimaregime bereits eingesetzt haben.

#### Die Klimaänderung aus der Sicht der Tourismuspraxis

Rolf Bürki, Geographisches Institut der Universität  
Zürich

Der alpine Wintertourismus zählt zweifellos zu den Wirtschaftszweigen, die am stärksten von einer Klimaänderung bedroht sind. Insbesondere tiefergelegene Skigebiete in den Voralpen müssen mit einer gravierenden Verschlechterung der Schneesicherheit rechnen. Als Folge wird sich die touristische Nachfrage noch stärker auf die am besten geeigneten Top-Skigebiete in höheren Lagen verschieben. Die Touristiker werden diesen Veränderungen nicht tatenlos zusehen.

Doch wie wird die Tourismuspraxis, das heisst Tourismusverantwortliche auf betrieblicher, unternehmerischer, organisatorischer und politischer Ebene, auf die klimatischen Veränderungen reagieren? Ihnen bietet sich eine breite Palette von Anpassungsstrategien, die von der Sicherung des Skisports über Alternativen zum schneegebundenen Wintertourismus bis zum aktiven Rückbau des Skigebietes reicht.

Der Vortrag zeigt auf, wie die Touristiker die Thematik 'Klimaänderung' wahrnehmen und welche Anpassungsprozesse erwartet werden

müssen. Denn die entscheidenden Folgen einer Klimaänderung für den Tourismus beruhen weniger auf der physischen Änderung von Klimavariablen als vielmehr auf dem 'sozialen Konstrukt Klimaänderung'. Die Klimaänderung wird deshalb in der touristischen Praxis leicht zu einem Spielball wirtschaftlicher und politischer Interessen. Die Resultate basieren auf Untersuchungen mit sogenannten Fokusgruppen. Es sind moderierte Gruppendiskussionen, die auf ein Thema fokussieren und mit einem Input (z.B. Kurzreferat) stimuliert werden. Die Auswertung erfolgt mittels qualitativer Inhaltsanalyse der gefilmten Gespräche.

#### Die Klimaänderung als Bedrohung für den alpinen Tourismus

Hans Elsasser (Geographisches Institut der  
Universität Zürich)

Der Tourismus zählt in der Schweiz zu den bedeutendsten Wirtschaftszweigen. Die Schneesicherheit ist ein ganz wesentliches Element des touristischen Angebotes im Alpenraum. Es waren insbesondere die schneearmen Winter Ende der achtziger Jahre, die im Tourismus und in den Medien für Aufsehen gesorgt haben. Die Schneearmut Ende der achtziger Jahre hinterliess deutliche Spuren in der Tourismuswirtschaft (Seilbahnunternehmen, Beherbergungsgewerbe, Skischulen, Wintersportartikelmarkt). Von den heutigen Skigebieten der Schweiz können gegenwärtig 85% als schneesicher bezeichnet werden. Verschiebt sich als Folge der Klimaänderung die Höhengrenze der Schneesicherheit auf 1800 m.ü.M., sind noch 44% der Skigebiete als schneesicher zu beurteilen. Besonders gefährdet sind der Jura, die Ost- und Zentral-schweiz, das Tessin sowie die Waadtländer und Freiburger Alpen. Kaum vor grössere Probleme gestellt werden die Skigebiete in den Kantonen Wallis und Graubünden. Die Klima-änderung wird zu einem neuen Mosaik skitouristischer Gunst- und Ungunsträume führen. Wirklich gute Perspektiven besitzen nur diejenigen Gebiete, die mit bodenunabhängigen Transportanlagen Höhenbereiche von über 2000 m ü.M. erschliessen. Trotz globaler Erwärmung sind für die Zukunft schneereiche Winter nicht auszuschliessen (Beispiel Winter 1998/99, insbesondere Februar 1999). Das Beispiel Alpinismus zeigt, dass Klimaänderungen auch den alpinen Sommertourismus tangieren können, dass aber mögliche Auswirkungen im Vergleich zum Wintertourismus geringer sein dürften. Auf Klimaänderungen werden nicht allein touristische Anbieter reagieren, sondern auch die Nachfragerinnen, die Touristinnen und Touristen. Die Klimaänderung wird nicht als etwas sehr abstraktes, das erst in weiter Zukunft Auswirkungen haben wird, wahrgenommen.

Schadensberechnungen zeigen, dass in der Schweiz der Tourismus derjenige Bereich ist, der mit grossem Abstand am stärksten von einer Klimaänderung negativ betroffen ist. Die Klimaänderung stellt eine neue Herausforderung für den Tourismus dar. Die Klimaänderung muss als Katalysator betrachtet werden, der den touristischen Strukturwandel verstärkt und beschleunigt. Heute dominieren im Tourismus immer noch Anpassungsstrategien. Der Tourismus als Wirtschaftszweig, der vom Klimawandel sehr stark betroffen ist, muss sich aber vermehrt Vermeidungsstrategien zuwenden. Dies gilt ganz besonders für den Tourismusverkehr.

## **Küstenschutz 2000**

**Andreas Schwarz (Stiftung Deutscher Küstenschutz)**

In vielen Gebieten der Welt zeigen Meeresspiegelanstieg, lokale Absenkungen, zunehmende Regen- und Sturmfluten und Überbevölkerung eine additive Wirkung, die insbesondere in den tiefliegenden Staaten Asiens bereits heute dramatische Ausmaße annehmen. Neben der direkten Bedrohung sind hier in der Folge erhöhte Verschmutzung der Resource Oberflächen-, Trink- und Grundwasser, abnehmende Versorgungspotentiale auch erhöhte Seuchengefahren und verschiedenste Erkrankungen die Folge.

Neben diesen unmittelbaren Konsequenzen für den Menschen werden hier in Brackwasserzonen und Küstenzonen die Lebens-, Brut- und Aufzuchtbereiche vieler Arten gefährdet. Besonders bedroht sind hier die empfindlichen Biotope wie Lagunen, Watten, Ästuare und Korallenriffe.

Die weltweit intensive Nutzung der Ufer und Strände ist ebenfalls eine Entwicklung des 20. Jahrhunderts. Leere Strände füllten sich in nur 50 Jahren auf der ganzen Welt mit Touristen, wachsenden Metropolen und künstlichen Betonburgen, die nur in seltenen Fällen mit Kläranlagen oder einer adäquaten, geregelten Müllentsorgung ausgestattet sind. Malerische Fischerdörfer wichen einer großindustrialisierten Fang- und Vertriebsindustrie, deren Scheerbretter und Schleppnetze ganze Muschelbänke und Seegraswiesen abrasierten.

In diesem Spannungsfeld sind konventionelle Küstenschutzmethoden oft der Tropfen auf den heißen Stein; wo bereits eutrophiert wurde, verringert die Spundwand biologisch aktive Flächen und verdrängt den Filter des ewigen „Pumping & Suction“ natürlicher Strände. Die Bühne drängt den

küstenparallelen Sediment-, Nahrungs- und Organismentransport in die offene See und hinterläßt „Strömungskäfige“, in denen lokale Stoffeinträge aufkonzentrieren und explosionsartig Algenblüten wechseln lassen. Die Sandvorspülung hinterläßt detritusgefüllte Wunden in der Bank des Entnahmegebietes und macht Vorspülbereiche für Wochen und Monate biologisch wertlos. Eisenbahn-, Strassen- und Schutzdämme stören die Strömungsgleichgewichte in küstennahen Biotopen und hinterlassen tiefe Rinnen und ausgeräumte Watten. Hier befinden wir uns erst am Anfang der erforderlichen Entwicklung integrierter Schutz und Managementkonzepte des Küstenraumes, die dringend durch neue technische Lösungen ergänzt werden müssen.

## **From Science to Policy: Climate Change Perceptions in the German Context**

Dennis Bray (GKSS Forschungszentrum Geesthacht)

Drawing from the results of two survey questionnaires, one of the German climate science community and one of the German climate policy making community, this presentation discusses some of the problematic aspects concerning the production and consumption of scientific knowledge in the context of climate change. In the first section of the presentation, issues within the climate science community will be discussed, providing a basis on which to determine areas of consensus and contention. Subsequently, issues within the policy making community will be assessed in a similar manner. The policy making community is further subdivided into Länder and Bund to determine differences and similarities between national and regional interests. In the concluding section of the presentation, the process of knowledge to policy will be discussed, addressing issues regarding the nature of the interface between science and policy and the respective perceptions of the relationship between science and policy.

## **„DEKLIM – das neue BMBF-Förderprogramm der Klimaforschung“**

Ulrich Katenkamp (Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bonn)

Die Projektförderung des BMBF stützt sich auf zeitlich befristete Fördermaßnahmen im Rahmen entsprechender Förderprogramme, deren konzeptionelle Ausrichtung in regelmäßigen Abständen entsprechend den

förderpolitischen Intentionen des Ministeriums sowie der Entwicklung des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes neu definiert wird.

Mit dem Auslaufen des bisherigen Programms „Angewandte Klima- und Atmosphärenforschung“ wurde Anfang 2000 ein neues Förderprogramm veröffentlicht mit dem Titel „Klimaentwicklung – Vom Verständnis der Variabilität zur Prognose“ (deutsches Klimaforschungsprogramm DEKLIM). DEKLIM, das im Rahmen des Programms der Bundesregierung ‚Forschung für die Umwelt‘ entwickelt wurde, ist auf ein besseres Verständnis der natürlichen Klimavariabilität und der Stabilität des Klimasystems ausgerichtet mit dem Ziel, den Einfluss des Menschen auf das Klima und die entsprechenden Auswirkungen genauer zu erfassen. Dies ist eine Voraussetzung für den Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung.

Im Rahmen von DEKLIM sollen vor allem interdisziplinäre Projekte gefördert und die Einbindung nationaler Vorhaben in internationale Forschungsprogramme verstärkt werden. Ein für alle DEKLIM-Bereiche gültiges Querschnittskriterium ist die Aufforderung, Modelle und Daten intensiver zu koppeln. Erstmals wurden in DEKLIM durch einen integrativen Ansatz Klimasystemforschung, Klimawirkungsforschung und Nachwuchsförderung miteinander verknüpft. Auf der Basis der ersten vorliegenden Begutachtungsergebnisse wird eine Analyse der Resonanz auf die Ankündigung dieses Förderprogramms durchgeführt.

## D. Modellkonzepte

### **Die neuen hochauflösenden Wettervorhersagemodelle des Deutschen Wetterdienstes**

Gerhard Adrian (Deutscher Wetterdienst, Geschäftsbereich Forschung und Entwicklung, Offenbach)

Der Deutsche Wetterdienst setzt seit Ende 1999 seine neue Modellkette bestehend aus dem globalen Modell GME und dem nichthydrostatischen Modell LM über Europa für die numerische Wettervorhersage operationell ein. Damit wurde für die numerische Wettervorhersage der gesamte Bereich zwischen der globalen Skala und der regionalen Skala (Mesoskala  $\gamma$ ) erschlossen. Die Gitterweiten liegen derzeit bei 60 km im globalen Modell GME und bei 7 km im „Lokalmodell“ LM. Die in den Modellen verwendeten, teils für atmosphärische Modelle neuartigen numerischen und physikalischen Konzepte lassen in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Rechnerleistung noch

deutlich höhere Auflösungen in der Zukunft zu. Mit diesen Modellen stehen mindestens für Anwendungen in der regionalen Klimatologie neuartige Werkzeuge zur Verfügung, deren Möglichkeiten aber noch methodisch erschlossen werden müssen. Es ist absehbar, dass viele Fragestellungen der regionalen Klimatologie, die bisher mit spezialisierten Modellen bearbeitet worden sind, mit den Ergebnissen der numerischen Wettervorhersage beantwortet werden können.

### **Climate Models with reduced complexity**

Dirk Olbers (AWI Bremerhaven)

The climate system of the earth is one of the most complex systems presently investigated by scientists. The physical compartments - atmosphere, hydrosphere and cryosphere - can be described by mathematical equations which result from fundamental physical laws. The other 'nonphysical' parts of the climate system, as e.g. the vegetation on land, the living beings in the sea and the abundance of chemical substances relevant to climate, are represented by mathematical evolution equations as well. Comprehensive climate models spanning this broad range of coupled compartments are so complex that they are mostly beyond a deep reaching mathematical treatment, in particular when asking for general analytical solutions. Solutions are obtained by numerical methods for specific boundary and initial conditions. Simpler models have helped to construct these comprehensive models, they are also valuable to train the physical intuition of the behavior of the system and guide the interpretation of the results of numerical models. Simple models may be stand-alone models of subsystems, such stand-alone general circulation models of the ocean or the atmosphere or coupled models, with reduced degrees of freedom and a reduced content of the physical processes. They exist in a wide range of structural complexity but even the simplest model may still be mathematically highly complicated due to nonlinearities of the evolution equations. The lecture presents a selection of such models from ocean and atmosphere physics.

### **Datenassimilation in der Erdsystemmodellierung**

Detlev Mueller (MPIMET, Hamburg)

Datenassimilation verbindet die Datenströme der satellitengestützten Fernerkundung mit den Modellen der Erdsystemforschung. Der derzeitige Entwicklungsstand der Modelle zusammen mit

Software Entwicklungen auf dem Gebiet des Automatischen Differenzierens ermöglichen heute die optimierende Synthese grosser Datensätze. Durch Parameteroptimierung gewährleistet diese Verbindung die Modelloperation in enger Nachbarschaft zu den Daten, während andererseits Beobachtungen durch das Modell physikalisch bewertet werden. Dynamische Extrapolation in der Raumzeit ebenso wie im Phasenraum ermöglicht so eine realistische Zustandsschätzung selbst schwer beobachtbarer Klimakomponenten, wie etwa des Ozeaninneren. Fortgesetzte Schätzungen dieser Art bilden den Kern umfassender Klima Monitore, die in naher Zukunft den Zustand des Klimasystems und seine Veränderungen kontinuierlich bilanzieren werden. Vorhersagbare Klimavariabilität wird vor allem durch Prozesse im Ozeaninneren kontrolliert und Datenassimilation liefert die Grundlage für längerfristige Prognosen, wie sie zum Teil schon heute von verschiedenen operationellen Zentren angeboten werden. Die volle Ausschöpfung dieser neuartigen Möglichkeiten erfordert den Aufbau einer supranationalen Infrastruktur, die den kontinuierlichen Fluss, aktueller Datenströme in die Assimilation hinein sichert und Assimilationsprodukte, namentlich Zustandsbewertungen und Langfristprognosen, Benutzern in Wissenschaft, Politik und Wirtschaft als operationellen Service zur Verfügung stellt. In Europa hat EUMETSAT begonnen, eine solche Infrastruktur zu entwickeln.

### **Vereinfachte Atmosphärenmodelle mit realistischer Variabilität**

U. Achatz (Leibniz-Institut fuer Atmosphärenphysik an der Universität Rostock, Kuehlungsborn)

J.D. Opsteegh, R. Haarsma (KNMI, De Bilt, Niederlande)

Bedingt durch das Ziel, eine moeglichst realistische Simulation des Klimas zu erreichen, fussen allgemeine Zirkulationsmodelle (GCMs) im allgemeinen auf einer gewaltigen Zahl von Freiheitsgraden. Dies schränkt die Transparenz ihres Verhaltens ein, ebenso aber auch ihre Anwendbarkeit fuer die Untersuchung der längeren Zeitskalen der Klimavariabilität (> 1000 a). Es besteht deshalb ein Bedarf nach Klimamodellen mittlerer Komplexität, die zwar Ozean und Atmosphäre in ihrer vollen räumlichen Struktur nahezu so realistisch simulieren wie konventionelle GCMs, aber unter Verwendung vereinfachter Beschreibungen insbesondere der Atmosphäre. Nach neueren Erkenntnissen von Corti et al. (1999) scheint es dabei wichtig zu sein, dass auch fuer Untersuchungen von langzeitskaligen Klimaschwankungen, die wie

der Wechsel zwischen Warm- und Eiszeiten moeglicherweise extern angetrieben sind, die interne Variabilität auf Zeitskalen bis hin zum täglichen Wetter miterfasst wird. Zur Zeit gibt es noch kein Klimamodell mittlerer oder niedriger Komplexität, das eine vollständige Beschreibung der Variabilität fuer alle Breitenregionen liefert.

Eine interessante Moeglichkeit bieten hier sogenannte reduzierte Modelle, die mit vergleichsweise grober Aufloesung in der Vertikalen realistische dynamische Gleichungen mit einem optimalen Satz von Freiheitsgraden und einer Parametrisierung von räumlichen Skalen und physikalischen Prozessen kombinieren, die im Modell nicht explizit beschrieben werden. Die optimalen Freiheitsgrade werden dabei so gewählt, dass sie den Klimaattraktor moeglichst vollständig erfassen, die Verwirklichung eindeutig unrealistischer Zustände aber nicht notwendigerweise auch beschreiben koennen. Empirische orthogonale Funktionen (EOF) sind dafuer, neben anderen Moeglichkeiten wie PIPs (Hasselmann, 1988) ein natuerlicher Kandidat. In einer Vorläuferarbeit (Achatz und Branstator, 1999) konnte gezeigt werden, dass mittels statistisch-empirischer Verfahren aus Datensätzen Parametrisierungsschemata abgeleitet werden koennen, deren Verwendung ein reduziertes Modell in seinem Verhalten so verbessert, dass es sehr realistisch wird.

Darauf aufbauend ist ein EOF-Modell entwickelt worden, das erstmals durch die Verwendung der primitiven Gleichungen auch die nichtlineare Tropendynamik beinhaltet. Die EOFs wurden aus halbtägigen Atmosphärendaten ermittelt, die aus einer 2000-Jahre Integration des gekoppelten Ozean-Atmosphärenmodells ECHAM3/LSG stammen (Voss et al., 1998). Zur Analyse wurden drei sigma-Schichten herangezogen. Es wurde eine eigens dafuer entwickelte Energiemetrik verwendet, mit deren Hilfe sich Winde und Temperaturen aus verschiedenen Hoehenbereichen dynamisch sinnvoll miteinander verknuepfen lassen. Es zeigt sich, dass 500 Muster ausreichend sind um mehr als 90% der ueber den Jahresgang hinausgehenden Varianz des untersuchten Datensatzes zu beschreiben.

Ein reduziertes Modell basierend auf den ersten 500 EOFs ist unter Verwendung einer empirisch-statistischen Parametrisierung in der Lage, alle wichtigen Klimagroessen gut zu beschreiben. Dies gilt sowohl fuer den mittleren Zustand in seiner jahreszeitlichen Abhängigkeit als auch fuer den Jahresgang der Fluesse. Noch stärker reduzierte Modelle (mit deutlich weniger als 100 Freiheitsgraden) sollen ebenfalls besprochen werden.

## **Erdsystemmodellierung - neue Modellkonzepte**

Martin Claussen (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)

Der Begriff des Erdsystems, und damit der Erdsystemmodellierung, stammt ursprünglich aus der Geophysik der festen Erde, wird jedoch heute zunehmend auf die globale Umweltproblematik angewandt. In der Literatur gibt es Vorschläge die Erdsystemmodellierung als die Wissenschaft zu definieren, die sich mit der Wechselwirkung zwischen der Atmosphäre und dem Klimasystem befasst. In diesem Vortrag werde ich mich nur mit Modellen des natürlichen Erdsystems beschäftigen, also letztlich mit der Modellierung der nichtlinearen Wechselwirkung zwischen den Untersystemen Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre, Biosphäre, Pedosphäre und Lithosphäre.

Angesichts der sehr unterschiedlichen charakteristischen Zeitskalen der Untersysteme ist die Erdsystemmodellierung außerordentlich aufwendig. "Herkömmliche", komplexe Klimamodelle stoßen rasch an ihre Grenzen. Daher werden ergänzend neue Modellsysteme aufgebaut, die so genannten EMICs (Earth System Model of Intermediate Complexity). EMICs stehen in ihrer Komplexität zwischen den rein induktiven, konzeptionellen Modellen und den quasi-deduktiven, komplexen GCMs (General Circulation Models). Sie beschreiben viele Prozesse, die in den GCMs direkt abgebildet werden, in parameterisierter Form. Doch im Gegensatz zu den konzeptionellen Modellen ist die Anzahl der Freiheitsgrade der EMICs wie bei den GCMs erheblich größer als die Anzahl der einstellbaren Parameter. Die Rechenzeit der EMICs liegt um einige Größenordnungen unter der der GCMs, weshalb die EMICs vorzugsweise in der Paläoklimamodellierung angewandt werden.

Mittlerweile ist die EMIC-Aktivität im IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme) bekannt und anerkannt. Im Vortrag werde ich das Spektrum der zurzeit operationellen EMICs sowie einige Anwendungsbeispiele vorstellen.

Applying climate impact response functions in integrated assessment models of climate change

### **Hans-Martin Fuessel (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)**

By the term climate impact response function (CIRF), we denote the dose-response relationship between a small number of climatic, and possibly socio-economic, variables on the one hand, and an indicator for sectoral impacts of climate change on the other hand. CIRFs are an efficient means of representing simulated impacts of climate change across a wide range of plausible futures. They are

derived from simulation runs of state-of-the-art impact models for a representative sample of future states or scenarios. The scaled scenario approach is applied to concisely describe future climate states while taking into account the spatial and seasonal variability in the climate anomalies as simulated in transient GCM experiments.

There are two fundamental applications of CIRFs in integrated assessment models of climate change (IAMs), such as the ICLIPS model. Firstly, CIRFs are used in a "forward mode" to depict the effect of changes in important climatic and other variables on important impact indicators, both individually and in combination. Secondly, CIRFs are used to translate constraints for climate impacts (so-called "impact guard-rails") into restrictions for climate variables (so-called "climate windows"). Such an "inverse application" is particularly relevant in the context of the Tolerable Windows Approach (TWA), a decision-making framework which aims to determine the entire set of admissible climate evolutions that are compatible with specific minimum requirements normatively defined by decision-makers.

For reasons of computational complexity, the online computation of climate impacts by a complex impact model will typically not be feasible in a TWA application. The translation of impact guard-rails into the corresponding climate windows by means of a CIRF is an efficient way of incorporating results from sophisticated impact models computed offline into the ICLIPS integrated assessment model. In the first part of this paper, we discuss important requirements for the modelling of climate change impacts in the context of the TWA. The focus of this discussion lies on obtaining compact descriptions for future states of the world, on the choice of appropriate impact indicators, and on the handling of various aspects of uncertainty. In the second part, we present exemplary CIRFs for natural vegetation, agriculture, and water availability that cover a wide range of spatial and thematic aggregation levels. Relevant aspects of a CIRF to be used in the forward and inverse mode are visualized by response surface diagrams and impact isoline diagrams, respectively. We also report the results of various sensitivity tests conducted in order to assess the effects of different climate scenarios, aggregation levels, and assumptions for adaptation potentials on the CIRFs and the admissible climate windows derived from them.

### **Skalenanalyse, Mehrskalenasymptotik und numerische Verfahren**

**Rupert Klein, Nicola Botta, Anthony Owinoh  
(Potsdam Institut für Klimafolgenforschung,  
Abteilung Data & Computation)**

Viele wichtige meteorologische und ozeanographische Phänomene sind durch Mehrskaligen-Wechselwirkungen gekennzeichnet, bei denen die kleinste und die grösste relevante Längen- und/oder Zeitskala sich um mehrere Grössenordnungen unterscheiden können. Zwar erlaubt der Einsatz von Höchstleistungscomputern die gleichzeitige numerische Auflösung eines immer breiteren Bandes von Längen- und Zeitskalen. Eine einfache Verfeinerung der Rechengitter und Zeitschritte im Gleichklang mit dem Anstieg der verfügbaren Rechenkapazitäten führt aber aus folgenden Gründen nicht zum erwünschten Ziel verbesserter rechnerischer Aussagen:

1. Wohl bekannt ist die Tatsache, dass diejenigen Gleichungssysteme, die in der Praxis zur Darstellung gross-skaliger Bewegungen herangezogen werden, für wesentlich kleinskaligere Phänomene ihre Gültigkeit verlieren.
2. Umgekehrt ist etwa die direkte Simulation synoptischer oder globaler Strömungsbewegungen in der Atmosphäre auf der Basis der voll dreidimensionalen Gleichungen für kompressible Strömungen extrem subtil. Der Grund ist, dass auf diesen grossen Skalen (singuläre) Gleichgewichte einiger weniger Terme der vollständigen Gleichungen vorherrschen, und dass sich diese Gleichgewichte nur sehr schwer aus einer numerischen Summe von Termen extrahieren lassen, die zwischen dominanten und untergeordneten Korrekturtermen nicht diskriminiert. Erschwerend kommt, beispielsweise im Regime quasi-geostrophischer Strömungen, hinzu, dass die Balancen führender Ordnung noch keine vollständige Beschreibung der zeitlichen Entwicklung der Strömung liefern. In solchen Fällen sind die fehlenden Zusatzinformationen aus den Termen höherer Ordnung zu ermitteln, was ein klassisches Anzeichen für ein singular gestörtes Problem mit sehr schlechter numerischer Kondition darstellt. Dieser Beitrag stellt eine numerische Strategie vor, die darauf abzielt, diese Diskrepanzen aufzulösen. Die Grundidee ist es, wohletablierte Erkenntnisse klassischer Skalenanalysen sowie Ergebnisse, die mit Hilfe der i.allg. noch weitergehenden Mehrskalenasymptotik erzielt wurden, gewinnbringend in ein numerisches Verfahren zur Lösung der vollständigen Gleichungen zu integrieren.

Der Beitrag erläutert zunächst den von uns verfolgten Ansatz anhand des verwandten, bereits erfolgreich bearbeiteten Problems von schwach kompressiblen Strömungen kleiner Mach-Zahl. Anschliessend fassen wir die wesentlichen Komponenten zum Aufbau eines Verfahrens zusammen, das auf einen horizontalen Skalenbereich von 10km bis ca. 1000km abzielt. Die Konzipierung und Implementierung eines solchen Verfahrens sind derzeit in Arbeit.

### **Lagrangian Transport of Tracers**

Christian Reithmeier, Robert Sausen (DLR Oberpfaffenhofen, DLR-Institut fuer Physik der Atmosphaere, Oberpfaffenhofen, 82234 Wessling)

A fully Lagrangian transport scheme for passive tracers (ATTILA --- Atmospheric Tracer Transport In a Lagrangian model) based on the chemistry-transport model STOCHEM has been implemented in the Global Circulation Model ECHAM4. It uses about 187000 cells of equal mass (at T30 resolution) which are moved along trajectories. Tracer concentrations are given in these cells. Parameterizations of convective transport, boundary layer mixing and diffusion are included, and an algorithm which maps the tracer concentrations from the parcels to the model grid is provided.

This scheme is well suited for studies involving a great number of tracers (e.g. when modelling chemistry), because the CPU time needed for transporting the tracers does not increase with the number of tracers. Compared to the operational semi-Lagrangian scheme of ECHAM, ATTILA has the additional advantages of being strictly mass conserving and non-diffusive.

Compared to other Lagrangian models like STOCHEM, ATTILA runs online in the GCM ECHAM and thus, it is possible to run fully coupled model simulations.

ATTILA was evaluated by several passive tracer experiments (Rn-222, C-14O2, SF6), and some results of this evaluation are presented. Compared to the semi-Lagrangian scheme, ATTILA shows a reduced downward transport from the stratosphere to the troposphere and reduced diffusion in the tropopause region, which is in better agreement with observations.

Complex Climate Models and the macroscopic behavior of the climate

*Jin-Song von Storch (Meteorologisches Institut der Universität Hamburg)*

A closed system can be efficiently described by a few parameters, such as the total energy of the system. For an open system or a component of a complex system, the conventional parameters used to characterize simple closed system lose their physical significance. New parameters must be defined instead. This paper suggests that the new parameters should be defined in conjunction with statistical equilibrium state of the climate. It is a macroscopic state involving a balance between energy sources and sinks obtained for a given constant external forcing (e.g. the present-day solar radiation). As the sources and sinks operate on different time scales, the balance is not steady and can only be established over a sufficiently long time interval. The parameters of such a state characterize the macroscopic behavior of the climate, including the variability over a broad range of time scales. These parameters can be studied with complex models which take all degrees of freedom and therefore energy exchanges on all possible time scales into account, but not with simple models which concentrate only on a few degrees of freedom.

## VOS

Zur Anwendung neuronaler Netze in der Klimatologie: Methoden, Probleme, Ergebnisse

*A. Walter und C.-D. Schönwiese (Institut für Meteorologie und Geophysik, J.W. Goethe Universität Frankfurt a.M.)*

Neuronale Netze stellen eine interessante, wenn auch in ihrer Komplexität gegenüber physikalischen Modellen stark vereinfachte, Alternative zu herkömmlichen Modellierungskonzepten dar. Hierbei werden Erkenntnisse der Neurobiologie in mathematische Konzepte gefaßt, um so „lernfähige“ Simulationsmethoden zu entwickeln.

Es werden in einem ersten Schritt diverse neuronale Modellarchitekturen (Backpropagation, Backpropagation mit Momentum-Term, Counterpropagation, Simulated Annealing, etc.) vorgestellt und auf ihre Einsatzmöglichkeiten in der Diagnose des anthropogenen Einflusses auf die globale sowie hemisphärischen Temperaturzeitreihen 1856–1998 hin getestet. Hierbei werden Signalabschätzungen der anthropogen verursachten Störungen (CO<sub>2</sub> Äquivalentkonzentrationen und SO<sub>2</sub> Emissionen) des Klimasystems erhalten. Es zeigt sich, daß im untersuchten Zeitintervall der anthropogene Einfluß mit Amplituden von .54° bis .79° auf der globalen -, .62° bis .86° auf der nordhemisphärischen – und .51° bis .70° auf der südhemisphärischen Skala

physikalisch plausibel abgeschätzt wird. Die Residuen zeigen keine Struktur und können demnach als Zufallsrauschen interpretiert werden. Beim Einsatz neuronaler Methoden auf diesem Gebiet entstehende Probleme werden diskutiert und Vorschläge zu deren Lösung gegeben.

In einem zweiten Schritt werden ausgewählte Modellarchitekturen auf räumlich feiner aufgelöste Daten (globaler Datensatz 80 flächengleicher Boxen 1892-1995) angewandt. Dieser Datensatz wird mit orthogonalen Transformationen (EOF) vorverarbeitet und somit in einem seiner Variabilität angepaßtem Koordinatensystem untersucht. Auch hier zeigt sich, daß adaptive neuronale Algorithmen prinzipiell in der Lage sind sinnvolle regionale Signale zu extrahieren. Es werden zudem ausgewählte räumliche Signalmuster natürlicher Klimastörungen (ENSO Ereignisse, Vulkanausbrüche) vorgestellt. Die eingesetzten Methoden liefern auch hier plausible räumliche Verteilungen und Amplituden der Temperatursignale.

## Monsun-Modellklimata

Dr. Peter Carl (Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei im Forschungsverbund Berlin e.V.)

Intrasaisonale Zyklen im 5-60 tägigen Bereich, die in einem konzeptionellen AGCM, wie in der realen Welt, durch in planetaren Wellen organisierte Konvektion konstituiert werden, synchronisieren beim Monsuneinsatz zu einem niederdimensionalen Zirkulationsregime von toroidaler Phasenraumstruktur. Ebenfalls analog zur Beobachtung verläuft dieser saisonale Übergang in mindestens zwei Stufen und ist verbunden mit abrupten Veränderungen im Zirkulations- und Niederschlagsregime, die auf planetarer Skala kontrolliert werden durch rhythmische Verlagerungen und Intensitätsänderungen der troposphärischen Strahlströme. Unter Bedingungen, die dem heutigen Klimaregime ähnlich sind, weist das System beim Verlassen des Monsunregimes im borealen Herbst drei Klassen von Rückzugstrajektorien auf: (i) als Normalzustand den zonal asymmetrischen Zirkulationstyp "Altweibersommer" (in mittleren Breiten), mit verzögertem Übergang in die Winterzirkulation, (u) den glatten Sommer-Winter Übergang, der zur Herausbildung La Nina ähnlicher Zirkulationen neigt, und (in) den "El Nifio Trigger" Typ, einem 'Dissipationspfad' mit ostwärts laufenden Zirkulationszellen, als Folge eines tendenziell symmetrischen Antriebs aus der Monsunregion. Unter veränderten Randbedingungen verändert sich die Häufigkeit und Abfolge dieser drei Typen, und damit das Variabilitätsregime. Ordnungsparameter ist die

"Rotationszahl", d.h. die Anzahl von Oszillationen im 40-60 tägigen Band während der Saison. Resonante Zustände treten bei ganzzahliger Rotationszahl auf und wurden für "La Nina"- und "El Nino"-artige Herbstzirkulation durch Veränderung der Solarkonstante des Modells im Bereich um 2-5% Prozent gefunden. Der Zustand des Atmosphäre-Land (Monsoon-) Systems favorisiert dann Jahr für Jahr denselben Typ Herbstklima. Diese sich graduell entwickelnden, auch in der spektralen Präferenz des Systems sichtbaren Veränderungen können abgelöst werden durch Strukturwechsel, wenn sich die topologische Situation verändert, d.h. wenn der Monsoon durch eine veränderte Anzahl kritischer Übergänge (Torus-Ordnung im Phasenraum) von der Frühjahrs- und Herbstzirkulation abgesetzt ist. Interessante Telekonnektionen zwischen asiatischer Monsoonregion, Nordatlantik und Nordostpazifik werden im Modell-Analogen zum heutigen Prämonsoon-Regime sichtbar. Dieser Klimatyp ist mit qualitativen Veränderungen in der Dynamik der troposphärischen Jets verbunden; er erfordert bei heutigen klimatologischen Randbedingungen allerdings eine Verringerung der Einstrahlung um mehr als 10%.

### **Modellierung der Wasserverfügbarkeit**

Nicole Mölders (LIM, Institut für Meteorologie, Universität Leipzig)

Mit MM5, das um ein hydro-thermodynamisches Boden-Vegetationsmodell erweitert wurde, werden für Europa die Auswirkungen von Landnutzungsänderungen auf das regional für die Ökosysteme verfügbare Wasser systematisch untersucht. Dabei untersucht, wie sich (1) im Gebiet der Landnutzungsänderungen selbst und (2) im Fernfeld durch veränderte Advektion von Niederschlag die Wasserverfügbarkeit ändert. Die Ergebnisse einer ausgekoppelten Version des hydro-thermodynamisches Boden-Vegetationsmodell werden mit Beobachtungen verglichen. Es zeigt sich, dass im langjährigen Mittel der Fehler der von HTSVS berechneten Evapotranspiration geringer als 15 % und der Grundwasserneubildung geringer als 10 % ist.

### **Stochastischer Generator für hochfrequente signifikante Wellenhöhen in der Nordsee.**

Arnt Pfitzenmayer (GKSS-Forschungszentrum)

Ein stochastischer Generator zur Erzeugung hochfrequenter signifikanter Wellenhöhen und

den dazugehörigen Richtungen wurde entwickelt. Das autoregressive Modell ist auf die grossräumige atmosphärische Zirkulation konditioniert. Eine Validierung an unabhängigen Daten zeigt, dass realistische Wellenszenarien produziert werden. Mit Hilfe des statistischen Modells lässt sich das Wellenklima vor der deutschen Nordseeküste für dieses Jahrhundert rekonstruieren. Aussagen über die zukünftige Entwicklung bei veränderten globalen Klima sind möglich.

### **Vergleich der Ergebnisse eines interaktiv gekoppelten Klima-Chemie-Modells mit Beobachtungen**

M. Dameris, M. Ponater, V. Grewe, R. Hein, C. Schnadt, R. Sausen (DLR-Institut für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen)  
B. Steil, C. Brühl (Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz)

Das gekoppelte Klima-Chemie-Modell ECHAM-4.L39(DLR)/CHEM wird eingesetzt zur Untersuchung der Kopplung von dynamischen und chemischen Prozessen in der Troposphäre und unteren Stratosphäre, der Entwicklung der stratosphärischen Ozonschicht und der Wirkung von Emissionen des Flugverkehrs auf die Atmosphäre. Anhand von Vergleichen mit Beobachtungen wird gezeigt, dass das Modellsystem in der Lage ist, die gegenwärtige Atmosphäre realistisch zu beschreiben. Rechnungen zur Beschreibung der Veränderungen in den letzten Jahren zeigen darüber hinaus, dass Trends richtig erfasst werden.

### **Statistische Entdeckung des anthropogenen Treibhaussignals in beobachteten globalen und regionalen Klimadatenfeldern**

T. Staeger, J. Grieser und C.-D. Schönwiese (Institut für Meteorologie und Geophysik, J.W. Goethe Universität Frankfurt a.M.)

Diese Studie befaßt sich mit der statistischen Analyse von Klimabeobachtungsdaten der letzten rund 100 Jahre und ihrer Zuordnung zu anthropogenen sowie natürlichen Steuerungsfaktoren. Die Klimadaten umfassen die bodennahe Lufttemperatur, den Luftdruck in Meeresspiegelhöhe sowie den Niederschlag in monatlicher (bzw. jahreszeitlicher bzw. jährlicher) Auflösung, beginnend mit global gemittelten Temperaturdaten, weiterhin mit flächenbezogenen Temperatur- und Luftdruckdaten in globaler Abdeckung und europäischen Gitterpunktdaten aller drei Klimaelemente. Dabei werden die Felddaten zunächst einer PCA/EOF - Analyse unterzogen (Hauptkomponentenanalyse, empirische ortho-

gonale Funktionen). Die resultierenden zeitlichen PCs und örtlichen EOFs werden dann in einer sukzessiven Regression mit folgenden Einflußgrößen gekoppelt: Treibhausgase (GHG), troposphärisches Sulfataerosol (beides anthropogene Einflußfaktoren), explosivem Vulkanismus, Sonnenaktivität, ENSO (El Niño / Southern Oscillation) und NAO (Nordatlantik-Oszillation).

Es ergeben sich daraus für jede Einflußgröße und jede Klimavariablen räumliche Felder von erklärten Varianzen, Signalstärken und Signal-Rausch-Verhältnissen. Dabei werden die unerklärten Klima-Varianzen in strukturierte und nicht strukturierte (und somit Rausch-) Anteile zerlegt. Es zeigt sich, daß sowohl die insgesamt erklärte als auch die dem Treibhausgasantrieb zuzuordnende Varianz bei der global gemittelten Lufttemperatur am höchsten ist und mit zunehmender Regionalisierung bzw. beim Übergang auf andere Klimaelemente systematisch abnimmt (minimal bei den europäischen räumlich-zeitlichen Niederschlagsstrukturen) während gleichzeitig der Rauschanteil zunimmt. Die Entdeckung des anthropogenen Treibhaussignals in der global gemittelten Lufttemperatur gelingt auf diese Weise bereits für das Jahr 1970 mit über 99,9 % Wahrscheinlichkeit, während in den europäischen Daten die NAO dominiert. Es bleibt offen, ob es eine GHG-NAO Beziehung gibt, die neben dem hohen Rauschanteil die Entdeckung des GHG-Signals in den europäischen Datenfeldern verhindert. In den räumlich-zeitlichen Strukturen des globalen Temperaturdatensatzes gelingt die Entdeckung des GHG-Signals dagegen durchaus, und zwar mit über 95 % Wahrscheinlichkeit in 42 von insgesamt 72 zur Verfügung stehenden Flächenelementen. Unter den natürlichen Antriebsmechanismen erweist sich der solare Einfluß generell als sehr schwach.

#### **Detection of "hidden" regimes in a stochastic model of soil moisture dynamics**

**Volkmar Wirth (Meteorologisches Institut, Universität München)**

Regional climate is sensitive to soil moisture. The feedback between soil moisture and precipitation is likely to play an important role in this context. With idealized models of soil moisture dynamics, such feedback can result in multiple regimes, viz. the existence of preferred dry and moist states.

Here, we consider a simple stochastic model for the temporal evolution of soil moisture. The

model is externally forced by the seasonal cycle, rendering the time series of precipitation and soil moisture cyclostationary. Generally, in this case the presence of multiple regimes during a particular season is not necessarily reflected in the shape of the probability density function (PDF), because the regimes may be too short-lived for the PDF to adjust. We hypothesize that multiple regimes owing to the soil moisture precipitation feedback are likely to be hidden, since the feedback is restricted to the summer season.

An algorithm is presented which allows one to detect hidden regimes in cyclostationary Markovian time series. The method involves the analysis of an appropriately windowed time series, from which the drift and diffusion coefficients of the related Fokker-Planck equation are estimated. The success of the algorithm is illustrated using synthetic time series with both additive and multiplicative noise. Application of the method to observed time series is discussed.

#### **Tropical Convective Variability as 1/f-Noise**

**Jun-Ichi Yano (Meteorologisches Institut Universität Hamburg)**

Long memory of  $1/f$ -noise associated with the tropical convective variability has significant implications for the global climate modelling, particularly for the ENSO predictions. Evidences are presented that the tropical convective variability behaves as  $1/f$ -noise for a range of 1–30 day-period. This is shown by analysing the time series of convective available potential energy (CAPE), which measures the degree of convective instability, as well as the boundary layer moisture and temperature for the four months period over the Western Pacific during Tropical Ocean/Global Atmosphere Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment (TOGA-COARE). A simple conceptual model is proposed to explain the  $1/f$ -noise behaviour.

#### **E Paläoklima**

Warm, kalt, feucht, trocken: Das Klima des Phanerozoikums

**William W. Hay (GEOMAR, Christian-Albrechts-Universität, Kiel)**

Die Zeit, in der wir jetzt leben, ist eine Ausnahme in der Klimageschichte der Erde. Wir leben in einem Interglazial, das einem Glazial unmittelbar folgt. Es gab mehr als 70 solcher Glazial-Interglazial Zyklen in den letzten 3 Millionen Jahren.

Das letzte Glazial und das heutige Interglazial unterscheiden sich von den vorherigen dadurch, daß sie wärmer bez. kälter und länger gewesen sind. Die Vereisung der nördlichen Hemisphäre hatte vor etwa 8 Millionen Jahren in Grönland ihren Anfang, aber die regelmäßige Ausdehnung und das Abschmelzen der Eisschilde auf Skandinavien und Nordamerika hat erst vor 3,5 Millionen Jahren begonnen. Im ganzen Phanerozoikum (die letzten 545 Millionen Jahre) hat die Erde eine solche bipolare Vereisung nur in der jüngsten Zeit.

Zwischen 3,5 und 34 Millionen Jahre, sowie zwischen 325 und 255 Millionen Jahre hatte die Erde eine unipolare Vereisung am Südpol. In der jüngeren Zeit ist dies auf die Antarktis beschränkt. Im späten Paläozoikum hat die Vereisung größere Gebiete des Südkontinents von Gondwana betroffen. Spuren davon sind in Südamerika, Afrika, Indien und Australien zu finden.

Warm und feucht war es in der Kreidezeit und im älteren Känozoikum (142 - 34 Millionen Jahre). Die viel höhere Luftfeuchtigkeit hat dafür gesorgt, daß die Erde ein viel effizienteres Wärmetransportsystem hatte. Warm und trocken war es während der Trias (248-205 Millionen Jahre), als sich alle Kontinente in dem riesigen Kontinent Pangaea vereinigten. Aufgrund ihrer Größe war der Wassertransport bis ins Innere von Pangaea sehr schwierig, und daher bestanden große Teile des Kontinents aus Wüsten. Die Sedimente, die damals abgelagert waren, sind rot und erinnern uns an den Mars.

Die Erde hat während des Phanerozoikums viele verschiedene Klimaextreme und Klimawandlungen durchgemacht.

#### Radiokohlenstoff in Baumringen – Ein Monitor für solare und ozeanische Variabilität

Dr. Bernd Kromer (Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Institut für Umweltphysik, Heidelberg)

Dendrochronologisch jahrgenau datierte Baumringserien reichen jetzt bis 12.000 Jahre vor heute zurück. Sie sind ein ideales Archiv zur Rekonstruktion des atmosphärischen  $^{14}\text{C}$ -Pegels, in dem wir Schwankungen auf Zeitskalen von Dekaden bis Jahrtausenden beobachten. Die langfristigen Zyklen werden Änderungen des Erdmagnetfelds zugeschrieben. Für die Klimaforschung von besonderem Interesse sind die Signale im Bereich von Dekaden bis wenigen Jahrhunderten, weil hier zwei potentiell klimarelevante Prozesse einwirken, nämlich (1) Änderungen der  $^{14}\text{C}$ -Produktion durch variablen Sonnenwind und (2) Verschiebungen in der Verteilung von Kohlenstoff zwischen Atmosphäre/Biosphäre und dem großen ozeanischen Kohlenstoffreservoir.

Allein aus den beobachteten  $^{14}\text{C}$  Schwankungen im Holozän sind Produktions- und Reservoiränderungen nicht zu trennen. Der Vergleich mit anderen höhenstrahlerzeugten Nukliden, insbesondere dem  $^{10}\text{Be}$  aus polaren Eiskernen, legt aber nahe, daß in den eindeutig belegten, kurz- und mittelfristigen  $^{14}\text{C}$  Signalen die Variabilität des solaren Dynamo dominant ist. Ausgelöst durch die Koinzidenz von hohem  $^{14}\text{C}$  und der Kaltphase der 'Kleinen Eiszeit' haben verschiedenen Autoren versucht, auch frühere  $^{14}\text{C}$ -Schwankungen mit Klimaschwankungen im Holozän zu synchronisieren; allerdings haben oft eine unzureichende Zeitauflösung oder die Beschränkung auf lokale Klimaschwankungen einen überzeugenden Beweis verhindert.

In den neuen, hochaufgelösten Belegen von Kaltphasen im Nordatlantik (IRD-Ereignisse) steht nun ein weiterer Proxy für Klimaschwankungen im Holozän zur Verfügung. Wir diskutieren die zeitliche Relation von IRD-Ereignissen zu den isotopischen Signalen und gehen mit den neuen Befunden der alten Frage eines solaren Einflusses auf das Klimasystem der Erde nach.

#### Modellierung der Klimaänderungen der letzten 130.000 Jahre

Martin Claussen (Potsdam Institut für Klimafolgenforschung)

Modellierung der Klimaänderungen über viele Jahrtausende bedeutet Modellierung des gesamten Klimasystems, also der Atmosphäre, der Hydrosphäre, der Biosphäre, der Pedosphäre, der Kryosphäre und der Litho- und Astenosphäre. Diese Aufgabe lässt sich nur mit vereinfachten, meist 2-dimensionalen Modellen bewältigen, wie sie Anfang der 90er Jahre in Louvain-la-Neuve und Bern entwickelt worden sind. Mittlerweile gibt es aber auch 3-dimensionale Modelle mittlerer Komplexität, die der Paläoklimatologie zur Verfügung stehen.

Die Aufgabe der Paläoklimatologie besteht nicht nur darin, rekonstruierte vergangene Klimazustände zu beschreiben. Vielmehr sollte der Einfluss verschiedener externer Antriebsgrößen auf das Klimasystem, wie z.B. die Änderung der Erdbahn um die Sonne und die Schwankungen der Leuchtkraft der Sonne, analysiert und damit der Wirkungspfad zwischen Antrieb und Reaktion des Klimasystems verstanden werden. Dazu muss die Reaktion der nichtlinearen Wechselwirkungsprozesse zwischen den Klimasystemkomponenten auf Änderungen des externen Antriebs detailliert untersucht werden.

Wie eine solche Paläoklimasystemanalyse durchgeführt werden kann, dazu werden 3 Beispiele angeführt: Eine Analyse des Klimasystems des mittleren und späten Holozän, der Inlandeisbildung

am Ende des Eem, sowie eine Untersuchung des Einflusses verschieden hoher atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf den Gang und Amplitude eines glazialen Zyklus. Diese Beispiele stammen im Wesentlichen aus Arbeiten der Gruppen des Institut d'Astronomie et de Géophysique Georges Lemaître (Université Catholique de Louvain) und des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.

Wendezeiten und Weltbilder:  
Zur Deutung und Instrumentalisierung von Klimaextremen in Geschichte und Gegenwart.

*Christian Pfister, Historisches Institut, Universität Bern*

Die historische Klimatologie rekonstruiert Witterungsverläufe und Klimaparameter vor der Errichtung staatlicher Messnetze (um 1860) anhand von Aufzeichnungen und untersucht die Wirkungen von Klimaeinflüssen auf die betroffenen Gesellschaften. Vor dem Hintergrund des rekonstruierten mitteleuropäischen Klimas seit 1500 wird die Deutung und Instrumentalisierung von Klimaereignissen in drei Perioden diskutiert, in denen Anomalien und Naturkatastrophen häufig auftraten. Das Thema „Klimawandel“ durchlief in der Öffentlichkeit entsprechend den Erkenntnissen der Kommunikationstheorie jeweils eine „Karriere“, die von einer latenten Phase über eine Diskussionsphase zur Phase des (politischen) Handelns führte, worauf das Thema die Aktualität verlor („tote Phase“). Deutungsmuster, Massnahmen und Interessenlagen änderten sich mit den jeweils vorherrschenden Weltbildern.

### **1. Das mythische Weltbild: Hexenverbrennungen 1560-1630**

Von 1560 bis 1630 wurden in Mitteleuropa einige 10'000 meist weibliche „Hexen“ systematisch verfolgt, gefoltert und verbrannt. Unglück, Krankheit und Tod häuften sich auf diesem zweiten Höhepunkt der „Kleinen Eiszeit“. Klimahistorisch einzigartige, in der Erfahrung der Betroffenen „unnatürliche“ Anomalien lösten die Suche nach „Schuldigen“ aus. Ein früher Bestseller, der „Hexenhammer“ (1481) lieferte das Deutungsmuster: Eine Verschwörung von Hexen unter Leitung des Teufels. Die Initiative zu den an sich ungesetzlichen Verfolgungen ging von den Unterschichten aus, die davon profitierten. Starke Obrigkeiten vermochten sie zu unterdrücken (vgl. *W. Behringer, Hexen, München 1998*).

2. Das szientistische Weltbild:  
Überschwemmungen und Entwaldung 1830-1880  
Von 1830 und 1880 häuften sich Überschwemmungen von Flüssen aus dem Alpenraum. Dieses unerklärliche Phänomen wurde von der Wissenschaft mit dem gleichzeitig zu beobachtenden Raubbau an alpinen Wäldern und der raschen Bevölkerungszunahme erklärt. Das „Entwaldungs-Paradigma“ wurde in Frankreich, später auch in anderen Ländern durchgesetzt, teilweise wider besseres Wissen, und führte nach 1850 zu den von den Förstern angemahnten Bestimmungen zum Schutze der Gebirgswälder und zur Subventionierung von Aufforstungen. Als Ursache der Überschwemmungen wird heute eine Zunahme der herbstlichen Niederschläge vermutet. Das heisst: Die Diagnose war wohl falsch, die präventive Therapie dagegen richtig (vgl. *C. Pfister, Wetternachhersage, Bern 1999*).

3. Das Weltbild der Risikogesellschaft: Treibhaus-Paradigma (seit 1988)

In der Risikogesellschaft (Ulrich Beck) werden die Risiken herausgestrichen, die sich als ungewollte Folgen der Modernisierung ergeben. Die Karriere des Themas „Treibhauseffekt“ begann 1988 unter dem Einfluss des damals einsetzenden globalen Erwärmungsschubs. Zunächst begünstigte die öffentliche Diskussion die Klimaforschung und leitete die Inangriffnahme einer internationalen Klimapolitik ein. Heute hat das Treibhaus-Paradigma seinen Neuigkeitswert verloren. Die Kritik daran hingegen verspricht die von den Medien erwünschten Konflikte. Lange haben die Verfechter des Treibhaus-Paradigmas von diesem Medien-Mechanismus profitiert. Nun sind es die Klima-Skeptiker. Die Desinformation und Verunsicherung lähmt eine auch in anderer Hinsicht („no regret Strategien“) sinnvolle präventive Klimapolitik.

### **Frühholozäne Klimaoszillationen in jahreszeitlich geschichteten Sedimenten des Holzmaares**

Uta Brathauer, Bernd Zolitschka und Jörg F. W. Negendank (GeoForschungszentrum Potsdam)

Weite Teile des Klimasystems wirken auf subdekadischen Zeitskalen, z. B. die "North Atlantic Oscillation" (NAO) oder die "El Niño - Southern Oscillation" (ENSO). Deshalb ist es notwendig, bei paläoklimatischen Untersuchungen eine jährliche Auflösung zu erreichen. Für das späte Holozän liegen eine Reihe von paläoklimatischen Zeitserien aus Eiskernen, Korallen oder Baumringen mit

annueller bzw. saisonaler Auflösung vor. Für ältere Zeiträume gibt es nur sehr vereinzelt derartig hochauflösende Zeitreihen. Die jahreszeitlich geschichteten See-Sedimente des Holzmaares stellen in diesem Zusammenhang ein einzigartiges Klimaarchiv über die letzten 23.000 Jahre dar. Die in unterschiedlichen Jahreszeiten gebildeten Sublaminae der Warven ermöglichen es, die Auswirkungen von Klimaschwankungen bis in das saisonale Klimamuster hinein nachzuvollziehen. Betrachtet man die Klimaentwicklung im frühen Holozän in jährlicher Auflösung, so ist festzustellen, daß der nach der Jüngerer Dryas einsetzende Trend der Klimaerwärmung durch zwei kurze, etwa 200 bis 300 Jahre andauernde, Klimarückschläge unterbrochen war. Die Wechsel zwischen diesen Klimamodi fanden innerhalb von Dekaden statt. Etwa 300 Jahre nach dem Beginn des Holozäns (Präboreal) kam es zu dem ersten Klimawechsel, der sogenannten Präborealen Oszillation. 800 Jahre nach der Präborealen Oszillation zeigen die Ergebnisse aus dem Holzmaar eine weitere klimatische Oszillation, die wir als Boreale Oszillation bezeichnen. Aus den drastischen Änderungen in der Warvendicke lassen sich kühlere und feuchtere Umweltbedingungen für die Präboreale und die Boreale Klimaoszillation ableiten. Diese Klimaschwankungen stehen wahrscheinlich im Zusammenhang mit Abkühlungsereignissen im Nordatlantik, die einen verringerten atmosphärischen Wärmetransport nach Europa zur Folge hatten.

#### **Abrupte spätglaziale Klimaschwankungen in Westeuropa und Grönland – Eine Telekonnexion jahresgeschichteter Klimaarchive**

Achim Brauer, Thomas Litt, Jörg F.W. Negendank und Martina Stebich (GeoForschungszentrum Potsdam)

Jahreszeitlich geschichtete (warvierte) Seesedimente sind hochauflösende Archive von Klimaschwankungen in der Vergangenheit und deren Auswirkungen auf die Umwelt in heute von Menschen dicht besiedelten Regionen. Eine präzise sedimentologische Analyse und Auszählung der Jahres-schichtungen ermöglicht die warvenchronologische Datierung dieser Klimaarchive. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die genaue zeitliche Einordnung von Klimaveränderungen sowie die Bestimmung der Dauer von Phasen starker Änderungen des Klimasystems. Ein solches Archiv natürlicher Klimavariabilität ist die lange, bis ins letzte Glazial zurückreichende Sedimentfolge des Meerfelder Maares in der Eifel. Am Beispiel des letzten Glazial/Interglazial Übergangs (Spätglazial)

zwischen 14.600 und 11.600 Jahren vor heute wird gezeigt, daß sich drastische Klima- und Umweltveränderungen innerhalb weniger Jahre bis Jahrzehnte vollzogen haben. Zwischen zwei deutlichen Erwärmungsphasen sind vier Phasen kälteren Klimas mit einer Dauer von wenigen Dekaden bis zu >1000 Jahren in den Sedimenten dokumentiert. Physikalische, chemische und biologische Parameter der Sedimente des Meerfelder Maares reflektieren ein komplexes Signal des Sees auf Änderungen der äußeren Bedingungen. **Die im Meerfelder Maar nachgewiesenen Änderungen werden in Beziehung zu den stabilen Isotopenkurven grönländischer Eiskerne gesetzt, die als Temperaturproxies interpretiert werden. Dieser Vergleich unterschiedlicher paläoklimatischer Archive basiert allein auf den unabhängig voneinander erstellten Zeitskalen in Kalenderjahren. Danach verliefen die vier signifikanten Kälteperioden während des Beobachtungszeitraums in Grönland und der Eifel im Rahmen der Datierungsungenauigkeiten zeitgleich. Daraus kann nicht nur abgeleitet werden, daß Klimaschwankungen in Westeuropa und Grönland synchron verlaufen sondern auch, daß die Geo-/Biosphäre direkt und ohne Zeitverzögerung auf veränderte atmosphärische Bedingungen reagiert. Allerdings zeigt sich auch, daß die durch klimatische Abkühlungen ausgelösten Umweltveränderungen im Bereich des Meerfelder Maares variabel und komplexer als die Temperaturänderungen in Grönland waren. Dafür können mehrere Gründe verantwortlich sein, (1) Bodenentwicklung im Einzugsgebiet des Sees und Vegetationssukzessionen, (2) Veränderungen der Niederschlagsmuster und (3) unterschiedliche Ursachen der Klimaschwankungen.**

#### **Stable isotopes in organic lake Sediments for climate reconstructions: a case study at Lake Holzmaar, Germany**

Andreas Lücke & Gerhard H. Schleser (Forschungszentrum Jülich GmbH)

Stable isotope investigations on lake Sediments are often used to deduce past environmental and climatic conditions. However, translation of isotope ratios into quantitative environmental data still remains problematic due to the multitude of parameters influencing the respective isotope values. Moreover, informations on the signal transfer between the atmosphere and the Sediments is not yet satisfactorily clarified especially because nonlinear Steps are partly included in the chain of transformation Steps. To improve our interpretation capability, Sediment trap investigations have been performed at Lake Holzmaar, Germany, with the aim to document the transfer of atmospheric Signals, like air temperature or precipitation into isotope ratios of settling organic matter in the lake. Seasonal and inter-year behaviour of carbon isotope values in relation to lake internal and

atmospheric parameters will be presented. The development and utilization of the corresponding transfer functions will be discussed.

### **Deep Sea Corals: Archives of deep sea N.A.**

#### **ventilation since the LGM**

Augusto Mangini and Michael Lomitschka (Heidelberger Akademie der Wissenschaften)

Eleven deep sea corals from the North-Eastern Atlantic which grew between 39,200 and 9,200 years ago, were precisely dated with Th/U (TIMS) and  $^{14}\text{C}$  (AMS). In the time period from the LGM to the early Holocene ventilation ages derived via the new method described by Lomitschka & Mangini (1999) show abrupt variations from few 100 years up to 1,300 years. The higher ventilation ages suggest periodic enhanced supply of southern component water. Aging of the deep water follows pulses of melt water discharge into the North Atlantic, as predicted from numerical models [RAHMSTORF, 1994; STOCKER & WRIGHT, 1998]. These results confirm the rapid changes of oceanic circulation in the past that were deduced from sediments from the North Atlantic [HUGHEN ET AL., 1996, 1998].

#### **A high-resolution record of a stalagmite from Oman reveals a common driving mechanism for the Indian Ocean Monsoon and atmospheric $\Delta^{14}\text{C}$**

U. Neff<sup>1</sup>, A. Mangini<sup>1</sup>, S. Burns<sup>2</sup>, D. Fleitmann<sup>2</sup>, A. Matter<sup>2</sup>, M. Mudelsee<sup>3</sup> (<sup>1</sup> Heidelberg Academy of Sciences, Heidelberg; <sup>2</sup> Geological Institute, University of Bern, Bern; <sup>3</sup> Institute of Meteorology, University of Leipzig, Leipzig)

The modern climate of Oman on the southern part of the Arabian Peninsula is arid to semi arid. Modern stalagmites in Hoti Cave in northern Oman show  $\delta^{18}\text{O}$  values in the range of  $-2$  to  $+0.5$  ‰ PDB corresponding to the present arid climate (Burns et al. 1999).

However, in the past, the monsoon rainfall belt must have been shifted periodically far well north of its modern location (Ritchie et al., 1985, Liu et al., 1998), including covering the area of Hoti Cave in northern Oman (Burns et al., 1998).

Past periods of monsoonal rainfall in Oman are marked by speleothem growth and characteristically negative oxygen isotope

ratios of speleothem carbonate with values between  $-4$  and  $-8$  ‰ PDB (Burns et al., 1999, Gat, 1996, Rozanski, et al., 1993). The most recent period of monsoonal rainfall in northern Oman occurred during the early Holocene, 6 - 10 ka BP. This period is recorded in stalagmites deposited in Hoti Cave (Burns et al., 1998, Burns et al., 1999), and is also recorded in other terrestrial and marine archives from across the Sahel regions of Africa, through Arabia and into India (Anderson and Prell, 1993, Clemens et al., 1996, Overpeck et al., 1996, Bryson and Swain, 1981, Fontes et al., 1996).

Here we present a high resolution oxygen isotope record of a stalagmite from northern Oman reflecting variability of the monsoonal intensity during the early Holocene. The record covers the time span between 9.6 to 6.1 ka BP (thousand years before present) with an average resolution of 4.1 a (years), dated with 12 Th/U ages via TIMS (Thermal Ionisation Mass Spectrometry). The similarity of the  $\delta^{18}\text{O}$  record to atmospheric  $\Delta^{14}\text{C}$  suggests a common driving mechanism for both tracers. Our results show a strong link between the Indian Ocean Monsoon and  $\Delta^{14}\text{C}$  demanding an explanation for the interaction of solar variability and earth's climate.

#### **Climate History of the Tibetan Plateau for the last 1500 Years as inferred from tree-ring studies**

G. Helle, G. H. Schleser (Forschungszentrum Jülich); A. Brauning (Institut für Geographie, Universität Stuttgart)

Extensive tree-ring studies have been carried out on juniperus and spruce trees from Qamdo, Eastern Tibet. The investigated sites are located at the timberline, where tree growth is known to be primarily controlled by temperature.

Multiple tree-ring proxies including ring width, maximum latewood density (spruce) and stable carbon as well as and oxygen isotopes give evidence of the climate history of the Tibetan Plateau for the last 1500 years. Climatic changes as represented by the 'Medieval Climatic Optimum' and the 'Little Ice Age' occurred in eastern Tibet essentially like in Middle Europe, although regional particularities are evident from the results received.

#### **Rekonstruktion von Bodenluftdruckfeldern über Europa zurück bis AD 1500**

J. Luterbacher<sup>1</sup>, C. Schmutz<sup>1</sup>, D. Gyalistras<sup>1</sup>, E.

Xoplaki<sup>1,2</sup> & H. Wanner<sup>1</sup> (<sup>1</sup> Geografisches Institut, Universität Bern, Bern, Schweiz; <sup>2</sup> Institut für Meteorologie und Klimatologie, Universität Thessaloniki, Thessaloniki, Griechenland)

Klimarekonstruktionen sind von zentraler Bedeutung wenn es darum geht, die anthropogene Klimamodifikation vom 'natürlichen' Klimasignal zu unterscheiden. Studien über die Variabilität der atmosphärischen Zirkulation im nordatlantischen-europäischen Raum sind aus diesem Grunde von grossen Interesse. Diese reichen im Augenblick bis 1780 zurück. Hier präsentieren wir die Resultate von objektiven basierten monatlichen und jahreszeitlichen Rekonstruktionen des Bodendrucks für die vergangenen 500 Jahre.

Bodenluftdruck, Lufttemperatur und Niederschlagsmengen sind die geeignetsten Variablen, um das grossräumige Bodendruckfeld zu charakterisieren. Gemessene Stationsdaten existieren zurück bis 1659. Daneben gibt es aus verschiedenen Regionen Europas hoch aufgelöste Niederschlags- und Temperaturreihen (monatlich oder jahreszeitlich), welche im Rahmen verschiedener internationaler Forschungsprojekte aus Witterungsbeschreibungen und Proxydaten rekonstruiert wurden. Diese sind teilweise bis AD 1500 vorhanden. Die Kombination dieser Klimainformationen aus unterschiedlichen Regionen erlaubt es für verschiedene sogenannte Gitternetzpunkte über dem nordatlantischen-europäischen Raum den Bodendruck zu rekonstruieren. Dabei wird die Technik des 'Upscalings' gewählt. Die daraus resultierenden Gitternetzbodendruckkarten sind nicht nur für die nähere geografische Umgebung, sondern auch über 10 bis mehrere hundert Kilometer repräsentativ.

In einem ersten Schritt wird für eine Kalibrierungsperiode (1901-1960) ein mathematisch-statistischer Zusammenhang (Hauptkomponentenanalyse mit nachfolgender Kanonischer Korrelationsanalyse) zwischen Messdaten sowie dem gegitterten Bodendruck (1°x1° Gitter) über den östlichen Nordatlantik und über Europa (30°W-40°E; 30°N-70°N) hergestellt. In einem zweiten Schritt werden die so erhaltenen Beziehungen auf die Stationsdaten des Verifikationszeitraumes 1961-1990 übertragen um die Bodendruckverhältnisse an den jeweiligen Gitternetzpunkten zu rekonstruieren. Mithilfe verschiedener statistischer Masszahlen können die Qualität und Zuverlässigkeit des Kalibrierungsmodelles abgeschätzt werden. In einem dritten Schritt wird der statistische Zusammenhang zwischen gegittertem Bodendruck und den Stationsdaten von 1901-1990 auf die Stationsdaten der Periode 1500-

1900 angewendet. Damit erhält man die geschätzten monatlichen (zurück bis 1659) und jahreszeitlichen (1500-1658) Druckfelder für den 400-jährigen Zeitraum. Die wechselnde Anzahl der Klimareihen über die vergangenen 400 Jahre macht die Berechnung von rund 300 verschiedenen Modellen nötig. Die Verifikationsresultate zeigen, dass vor allem für die Wintermonate über weiten Teilen Europas zuverlässige Rekonstruktionen erzielt werden, währenddem weniger gute Rekonstruktionen erwartungsgemäss für Räume ausfallen, von denen keine Daten vorliegen sowie allgemein für die Sommermonate. Diese hochaufgelösten Bodendruckrekonstruktionen werden dann synoptisch-klimatologisch von Jacob et al. weiterverwendet und ausgewertet.

### **Historical Climatology and climate fluctuation in the pre-instrumental period in Europe**

Rudolf Brázdil, Department of Geography, Masaryk University Brno, Czech Republic

Different approaches to delimitation of historical climatology as a branch of science are discussed. Basic groups of data sets divided into man-made and natural sources are characterised. The general method of the historical-climatological analysis documented on some examples of temperature reconstruction is described. Annual and seasonal temperature and precipitation fluctuations, based on several European series compiled from documentary evidence, dendroclimatological data and borehole temperatures, are presented for the last millennium and its different parts. Obtained results are discussed with regard to reliability of proxy data and spatial variability of European climate including climate paradigm of the last millennium (the Medieval Warm Epoch, the Little Ice Age). Possibilities of utilisation of historical climatological data for study of meteorological extremes based on their impacts on nature and society are shown.

### **Die räumliche und zeitliche Variabilität des Klimas in Europa zwischen 1675 – 1995**

Stefan A. Pohl (PIK Potsdam)

Mit Hilfe langer Klimazeitreihen und einer geeigneten statistischen Methode wird eine zeitliche und räumliche Klimaeinteilung vorgestellt. Der hier betrachtete Ausschnitt erstreckt sich von 70° - 30° N und 30°W - 40°E mit einer Auflösung von 1°. Als Klimaparameter wurden Temperatur und Niederschlag auf monatlicher Basis verwendet. Diese rekonstruierten (1675-1900) und rezenten (1901-1995) Daten wurden in zeitlich einheitliche und sinnvolle Abschnitte eingeteilt

und mit Hilfe der nicht-hierarchischen Clusteranalyse in statistisch abgesicherte Gruppen unterschiedlicher klimatologischer Ausprägung eingeteilt. Durch diese Möglichkeit der statistischen Analyse konnte eine kontinuierliche Veränderung der räumlich zeitlichen Parameter über Europa dargestellt werden. Die so entstandenen Zeitreihen bilden eine Diskussionsgrundlage, die klimatologisch relevanten Veränderungen seit dem Mittelalter bis heute über unterschiedliche jahreszeitliche Ausschnitte besser verstehen zu können. Darauf aufbauend soll diskutiert werden, ob aus dem statistisch klimatologischen Ansatz eine interdisziplinäre Aufgabenstellung in sozio-historischer oder agrar-ökonomischer Hinsicht betrachtet werden kann.

#### **A multiproxy reconstruction of atmospheric circulation**

**Jones, J.M., Gonzalez-Rouco, F., Widmann, M., Zorita, E. and von Storch, H. (GKSS-Forschungszentrum Geesthacht)**

This presentation complements that of Zorita et al. ('Rekonstruktion des Klimas der letzten 1000 Jahre durch Datenassimilation in Klimamodellen'), and is focussed on the construction of upscaled climate patterns from palaeoclimate proxy data, which are to be used to force the ECHAM4/HOPE-G climate model, using the DATUN (Data Assimilation through upscaling and nudging) methodology. It is aimed to reconstruct those large-scale patterns of extratropical circulation which are strongly linked to variability in the proxy data. Current work is centered on the Antarctic circumpolar circulation, and the North Atlantic Oscillation (NAO). As these reconstructions are to be assimilated into the ECHAM model, the choice of variables to be reconstructed is guided by which variables are best suited to force the model. These are upper atmospheric temperature and vorticity.

First results for the southern hemisphere show promising relationships between tree ring chronologies from Argentina, Chile and New Zealand, and large-scale climate patterns representing the Antarctic circumpolar circulation for sea level pressure, 850mb temperature and 850mb vorticity taken from NCEP/NCAR reanalysis data. An NAO sea level pressure reconstruction from Scandinavian and North American ring-width data has been completed which is in reasonable agreement with ice core reconstructions. The suitability of ice-core and coral data for incorporation into these reconstructions is also being investigated.

#### **Atmosphärische Zirkulationsvariabilität im europäisch-atlantischen Sektor seit Mitte des 17. Jahrhunderts**

J. Jacobeit<sup>1</sup>, H. Wanner<sup>2</sup>, J. Luterbacher<sup>2</sup>, C. Beck<sup>1</sup>, A. Philipp<sup>1</sup> & K. Sturm<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Geographisches Institut, Universität Würzburg; <sup>2</sup>Geographisches Institut, Universität Bern)

Auf der Basis mittlerer monatlicher Bodenluftdruckfelder, die von Luterbacher et al. zurück bis ins Jahr 1659 objektiv rekonstruiert worden sind, werden statistische Untersuchungen zur langfristigen Zirkulationsvariabilität im Grossraum Nordatlantik-Europa durchgeführt. Die Bestimmung monatlicher Zirkulationsmuster erfolgt über T-modale Hauptkomponentenanalysen, die zeitliche Variabilität wird hinsichtlich folgender Eigenschaften für gleitende dreissigjährige Zeitfenster erfasst:

- Variationen der relativen Bedeutsamkeit der einzelnen Zirkulationsmuster; dazu werden musterspezifische gleitende Summen der jeweils führenden Zeitkoeffizienten herangezogen.

- Variationen der musterinternen Strömungskonfiguration; dazu wird ein regionalskaliger Index der relativen Vorticity verwendet.

- Variationen der Strömungsintensität; dazu werden musterspezifische Druckgradienten zwischen den jeweiligen Hauptaktionszentren des betreffenden Zirkulationsmusters errechnet.

- Variationen der musterinternen Klimakennwerte; dazu werden gleitende Temperatur- und Niederschlagsindizes mit Bezug auf die einzelnen Zirkulationsmuster herangezogen.

Aus den resultierenden Zeitreihen lassen sich die zeitlich variierenden Anteile von Bedeutsamkeitsverschiebungen zwischen den einzelnen Zirkulationsmustern einerseits und musterinternen Variationen andererseits erschliessen. Weiterhin wird auf die Bedeutung der erfassten Zirkulationsvariabilität für die Klimaentwicklung in den letzten dreieinhalb Jahrhunderten und auf die Frage nach der Stationarität von Zirkulations-Klima-Beziehungen eingegangen.

#### **Klimarekonstruktion des oberen Miozäns (Tertiär) mittels gekoppelter Klimamodelle**

A. Steppuhn (Universität Tübingen), M. Lautenschlager (DKRZ, Hamburg), V. Mosbrugger (Universität Tübingen), A. Ganopolski (PIK, Potsdam)

Zur Erklärung und zum besseren Verständnis der Paläoklimasituation im oberen Miozän (Zeitscheibe Torton datiert mit ca. 8 Ma BP)

wurden zwei Modelle mit unterschiedlicher Komplexität verwendet. Auf der einen Seite wurde das komplexe atmosphärisches Modell ECHAM (DKRZ) gekoppelt mit einer ozeanischen Durchmischungsschicht zur Untersuchung herangezogen, auf der anderen Seite wurden weiterführende Sensitivitätsstudien mit dem 2 1/2 dimensionalen Modell CLIMBER (PIK) durchgeführt. Das Klima der ausgewählten Zeitscheibe unterscheidet sich wesentlich von der heutigen Situation. Eine entscheidende Ursache hierfür ist in der existierenden Meeresverbindung zwischen Atlantik und Pazifik zu finden. Proxy-Daten geben gegenüber heute eine Reduktion der nordatlantischen Zirkulation an. Gleichzeitig belegen geologische und paläontologische Proxy-Daten einen im Gegensatz zu heute wesentlich wärmeren polaren Region mit einer entsprechend geringmächtigeren nordhemisphärischen Meereisdecke. Um diese scheinbar paradoxe Klimasituation des oberen Miozäns zu analysieren und zu verstehen wurde in dieser Arbeit der ozeanische Wärmetransport auf der Datenbasis von planktonischen Foraminiferen verändert. Entsprechend der aus den Kalkschalen gewonnenen Paläotemperaturen wurde die Flusskorrektur im Modell variiert. Die Ergebnisse liefern übereinstimmend mit terrestrischen Proxy-Daten, deutliche Temperaturerhöhungen für den europäischen und nordamerikanischen Kontinent. Über das ganze Jalir hinweg liegen die Temperaturwerte in hohen Breiten über denen von heute und weisen auf eine voluminöse Reduktion des Meereises hin. Zusätzlich sind die mittleren Breiten von einer verstärkten Westwinddrift geprägt. Mit der Abschwächung des ozeanischen Wärmetransportes im Nordatlantik verstärkt sich die Tiefdrucktätigkeit in diesem Bereich und führt vor allem in den Wintermonaten feuchtere und wärmere Luftmassen in den europäischen Raum. Das mit einer groben Auflösung ausgestattete Modell CLIMBER liefert im Einklang mit den ECHAM-Simulationen ebenfalls höhere Temperaturen in den nördlichen hohen Breiten. Zudem stellt das Modell eine Möglichkeit zur Verfügung, die Rolle der Vegetation im Klimasystem zu untersuchen. Im oberen Miozän haben sich boreale Nadelwälder weit in den Norden erstreckt, die ebenfalls zu erhöhten Temperaturen in hohen Breiten beigetragen haben.

Ein reliefspezifisches Eiszeitentstehungsmodell auf der Basis hebungsbedingter Gletscherflächen und Albedozunahme sowie ihrer positiven klimatologischen Rückkopplung durch die Globalstrahlungsgeometrie

Matthias Kuhle (Institut für Geographie, Universität Göttingen)

## 1: Einleitung

Seit 1973 hat der Autor auf 22 Forschungsreisen nach Hochasien anhand von glazialmorphologischen Untersuchungen nachweisen können, daß während der Eiszeit vom Zagros über den Hindukush, Karakorum und Himalaya im S und vom Pamir und Kuenlun über den Tianshan und Quilian Shan bis zu den Sayan-Bergen in S-Sibirien sowie auf dem gesamten Tibet-Plateau eine abdeckende Inlandvergletscherung von über 2,4 Mio km<sup>2</sup> bestanden hat (KUHLE 1974-1997). Es handelt sich um ein semiarides Gebiet mit enormer subtropischer Globalstrahlungsenergie von bis zu 1400 W/m<sup>2</sup>, das heute mit weniger als einem Prozent jener Inlandeisfläche vergletschert ist. Während man früher daraus rein deduktiv auf eine auch eiszeitlich annähernde Gletscherfreiheit Tibets geschlossen hat (v. WISSMANN 1959, FLOHN 1959, CIINE ed. 1981, SHI YAFENG et al. 1991), zeigen die neuen Befunde, daß der durch diese Insolation bewirkte Monsun nur ein interglaziales Phänomen ist, das hochglazial durch die Eisbedeckung ausgesetzt hat.

## 2. Ergebnisse

Es wurden in Hochasien 11 Klimastationen mit 12 Eingängen installiert und bis zu mehrwöchige Messungen in 3900-6650 m ü.M. durchgeführt.

Die Stationen der Typen Lambrecht und Thies arbeiteten 1984 und 1989 in S-Tibet am Xixabangma und Mt. Everest (KUHLE et al. 1988), im Karakorum am W-Rand Tibets 1986, in Zentral-Tibet sowie in SE-Tibet am Namche Bawar 1989 und im Winter 1988/89 im E-Himalaya. Die Messungen erfolgten über alpinem Rasen, Schutt, Obermoräne, grauem Gletschereis sowie Firneis und Neuschnee oberhalb der Schneegrenze. Die Figuren 1 und 2 bilden repräsentative Globalstrahlungs- und Albedowerte ab. Die in Tibet auftreffende Einstrahlung erreicht beinahe die Solarkonstante an der Obergrenze der Atmosphäre. Die jährliche Einstrahlungssumme ist aufgrund der Höhe und subtropischen Lage 4- bis 5-mal größer als bei 60°N, so daß durch die Gletscherabdeckung des Plateaus 70% der Energie, die heute der Erwärmung der Erdatmosphäre zugute kommt, als kurzweilige Strahlung in den Weltraum zurückgeworfen worden ist.

Auf diesen Meßergebnissen und den glazialmorphologischen Befunden basiert die folgende – hier stark vereinfacht dargestellte – Eiszeithypothese: 1. plattentektonisch induziert

wurde Tibet über die Schneegrenze gehoben, so daß sich eine 2,4 Mio km<sup>2</sup> große Hochlandeisfläche bildete; 2. von dieser wurden 80-90% der subtropischen Einstrahlung kurzweilig in den Weltraum zurückgeworfen; 3. die resultierende Abkühlung ließ die Schneegrenze global absinken und dort Inlandeisflächen von über 26 Mio km<sup>2</sup> entstehen, wo diese die Tieflandfläche berührte, nämlich in N-Amerika und N-Eurasien. 4. Die Milankovic'schen Strahlungsanomalien und die glazialisostatischen Absenkung der Gletschergebiete bewirkten die Abschmelzung aller Inlandeise. In diesen Zwischenzeiten wurde die heutige Strahlungsbilanz wiederhergestellt. 5. Die erneute glazialisostatische und tektonische Hebung Tibets über die Schneegrenze ließ eine neue Eiszeit entstehen. 6. Gemäß der rezenten Hebungsgeschwindigkeit von 1 cm/J wird in 20 000 – 40 000 Jahren die nächste Totalvereisung Tibets und damit die nächste Eiszeit einsetzen.

#### **Entwicklung von Downscaling Modellen zur Schätzung von "Künstlichen Eiskernen"**

##### *Traute Crueger (Meteorologisches Institut der Universität Hamburg)*

Ziel dieser Arbeit ist die Ableitung von "Künstlichen Eiskernen" anhand von Daten aus Allgemeinen Atmosphäre/Ozean-Zirkulationsmodellen (GCMs). Hierzu werden Regressionsmodelle für die jährlichen Akkumulationsraten von 3 Eiskernen entwickelt. Als Prediktoren dieser Regressionsmodelle werden EOF-Zeitreihen der saisonal gemittelten grossräumigen Stromfunktion benutzt. Zur Entwicklung der Parameter der Regressionsmodelle werden die NCEP-Reanalysen und jährliche Akkumulationsraten von 3 Eiskernen aus Zentral- und Nordgrönland von 1948 bis 1992 verwendet. Die erklärte Varianz der validierten geschätzten Eisakkumulation liegt zwischen 56 und 74%. Zur Abschätzung "Künstlicher Eiskerne" werden die Regressionsmodelle auf Daten verschiedener GCM-Läufe angewendet, die unter Verwendung verschiedener Parameter durchgeführt wurden ("heutiger" Zustand, solare Einstrahlung, CO<sub>2</sub>-Anteil).

#### **Variationen von H<sub>2</sub><sup>18</sup>O und HDO in ECHAM Paläo-Simulationen**

Martin Werner (MPI Meteorologie Hamburg)

Die stabilen Wasserisotope H<sub>2</sub><sup>18</sup>O und HDO werden in der Paläoklimatologie im allgemeinen als Proxy für Temperaturänderungen verwendet. Um aus gemessenen Variationen der isotopischen Zusammensetzung des Niederschlags (angegeben als δ<sup>18</sup>O und δD) quantitativ Temperaturänderungen bestimmen zu können, muß jedoch die Temperatur-Isotopen-Relation (T-δ<sup>18</sup>O-Relation) für die jeweilige Klimaperiode und geographische Region bekannt sein. Die a priori Annahme, daß beobachtete, rezente T-δ<sup>18</sup>O-Relationen in verschiedenen Regionen auch für andere Klimaperioden gültig sind, ist im allgemeinen nicht zulässig. Sie kann durch eine unabhängige Modellierung der isotopischen Zusammensetzung des Niederschlag und Oberflächentemperaturen mit Hilfe von atmosphärischen Zirkulationsmodellen (AGCM) überprüft werden. Neue Zeitscheibenexperimente mit dem Hamburger AGCM ECHAM-4 für sechs verschiedene Klimaperioden (0, 6, 11, 14, 16, 21 ka B.P.) zeigen deutliche räumliche und zeitliche Variationen in der Isotopen-Temperatur-Beziehung. Diese Variationen können durch Zirkulationsänderungen und zum Teil auch durch eine veränderte Saisonalität des Niederschlags erklärt werden.

#### **Simulation der atmosphärischen Zirkulation vor 2000 Jahren mit ECHAM 4 unter Berücksichtigung der anthropogen ungestörten Vegetationsverteilung**

S. J. Lorenz und B. Grieger (Universität Bremen)

Als Beitrag zum HGF-Projekt "Klima in historischen Zeiten" (KIHZ) werden an der Universität Bremen Simulationen des Holozäns, das vor etwa 10 000 Jahren begann, durchgeführt. Dazu soll das atmosphärische Zirkulationsmodell in seiner aktuellsten Version (ECHAM 4), das am Max-Planck-Institut für Meteorologie und am Deutschen Klimarechenzentrum vorliegt (Roeckner et al. 1996, MPI-Report 218), mit beschleunigten Randbedingungen betrieben werden. Dadurch kann ein Klimaübergang über mehrere 1000 Jahre auch mit einem Atmosphärenmodell simuliert werden, das auf den derzeit verfügbaren Rechnern nur einige Jahrzehnte integriert werden kann. Als Randbedingungen, die im Holozän relevante Änderungen erfahren haben, gehen in das Modell die Einstrahlung am Oberrand der Atmosphäre, die Konzentration der Treibhausgase sowie über Land die von der Vegetation abhängigen Bodenparameter ein. Über den Ozeanen muß eine Meeresoberflächentemperatur mit Eisbedeckung vorgeschrieben werden. Es wird ein Experiment mit

dem ECHAM zur atmosphärischen Zirkulation vor 2000 Jahren vorgestellt, das den jüngsten Klimazustand mit anthropogen ungestörten Randbedingungen repräsentiert. Zu dieser Zeit war nicht nur die Konzentration der Treibhausgase sondern auch die Vegetationverteilung vom Menschen noch unbeeinflusst. Als Randbedingung gehen neben der Einstrahlung auch die Biom-Rekonstruktion für diese Zeitscheibe von Crowley (Glob. Biogeochem. Cycles, 9, S.377, 1995) ein, die in die entsprechende Bodenparameter für das Modell eingehen. Die Meeresoberflächentemperaturen werden von einem einfachen Modell für die Deckschicht des Ozeans auf der Basis des heutigen Wärmetransportes der globalen Ozeanzirkulation geliefert. Die Unterschiede zu einem Kontrolleexperiment für das heutige Klima können mit terrestrischen Proxydaten, wie sie auch im Rahmen KIHZ gewonnen werden, verglichen werden. Außerdem soll dieses Zeitscheibenexperiment als Basis für einen transienten Lauf des Modells mit beschleunigten Randbedingungen dienen.

**Modellierung des Einflusses von Klimavariationen im Pleistozän auf die isotopische Zusammensetzung von Luftsauerstoff (Dole Effekt) : GCM Simulationen für 6kyr, 11kyr, 14kyr, 16kyr, 21kyr und 175 kyr vor heute**

Georg Hoffmann 1, Christine Weber 2, Philippe Ciais 1, Pierre Friedlingstein 1, Martin Heimann 3, Jean Jouzel 1, Jörg Kaduk 4, Ernst Maier-Reimer 2 (1. Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Centre d'Etudes de l'Orme des Merisiers; 2. Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg; 3. Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena; 4. Carnegie Institution of Washington, Stanford University)

Paläoklimatische Untersuchungen mit allgemeinen Zirkulationsmodellen sind recht schwierig auf globaler Skala zu bewerten. Die Vergleichsdatensätze, die in manchen Gegenden trockenere/feuchtere oder auch wärmere/kühlere Bedingungen anzeigen, sind im Allgemeinen rar und von unterschiedlicher Qualität. Eine global von GCMs berechnete Masszahl eines z.B. um 4 Grad kühleren letzten glazialen Maximums lässt sich daher kaum angemessen validieren. Einige Größen des " Earth Systems " sind aber sowohl mit hoher Präzision rekonstruierbar als auch von grosser Bedeutung um dieses System zu kennzeichnen, wie etwa die atmosphärische Konzentration von etwa CO<sub>2</sub> oder Methan. Die isotopische Zusammensetzung von atmosphärischem Sauerstoff ist ein global einheitlicher Wert, der in den letzten 250.000 Jahren um ca 0.5‰ um seinen heutigen Mittelwert von 23.5‰ schwankte. Diese starke isotopische Anreicherung des Luftsauerstoffs relativ zu dem größten Sauerstoffreservoir, den

Weltozeanen, die einen Mittelwert von ca. 0‰ aufweisen, wird auch nach seinem Entdecker als Dole Effekt bezeichnet. Langjährige Prozessstudien ist es gelungen aufzuweisen, daß der Dole Effekt massgeblich vom Verhältnis ozeanischer zu terrestrischer Produktivität, der geographischen Verteilung terrestrischer Produktivität sowie der ebenfalls stark vom Klima bestimmten globalen Verteilung der Wasserisotope kontrolliert wird. Wir stellen hier ein Verfahren vor, mittels der Kombination von AGCM Simulationen, die eine spezielle Diagnostik zur Berechnung der Wasserisotope einschliessen, mit Modellen, die die Berechnung der biosphärischen Sauerstoffflüsse erlauben, den Dole Effekt zu unterschiedlichen Zeitpunkten zu berechnen. Unsere Studie präsentiert Resultate fuer 6Kyr, 11 kyr, 14kyr, 16kyr, 21kyr und 175kyr vor heute. Ihr Ziel ist einerseits ein besseres Verständnis der stark mit der Praezession korrelierten Variabilitaet des Dole Effekts zu entwickeln und andererseits den entsprechenden Modellsimulationen eine global einheitliche Masszahl zuzuordnen, die in integrativer Weise sinnvoll den Zustand des Erdsystems beschreibt und zudem beobachtbar ist.

## A. Klimatologie

### **Variabilität von Temperatur und Niederschlag in Mitteleuropa seit 1780 als Folge von Häufigkeitsveränderungen und typinternen Variationen nordatlantisch-europäischer Zirkulationsmuster**

Christoph Beck (Geographisches Institut der Universität Würzburg)

Auf der Grundlage einer automatischen Großwettertypenklassifikation rekonstruierter monatlicher Bodenluftdruckfelder des nordatlantisch-europäischen Bereichs für den Zeitraum 1780-1995 und langer regionaler mitteleuropäischer Temperaturreihen wird untersucht, inwieweit sich die diagnostizierten mittleren Temperaturunterschiede zwischen der sogenannten frühinstrumentellen Periode (1780-1860) und diesem Jahrhundert (1915-1995) - signifikant höhere/niedrigere Winter-/Sommertemperaturen in diesem Jahrhundert - als Folge unterschiedlicher Auftrittshäufigkeiten verschiedener Großwettertypen ergeben und in welchem Ausmaß typinterne zeitliche Veränderungen der Temperaturcharakteristik einzelner Großwettertypen als verursachende Faktoren in Betracht zu ziehen sind.

Der Vergleich der mittleren monatlichen Auftrittshäufigkeiten von 18 Großwettertypen in der frühinstrumentellen Periode und in diesem Jahrhundert liefert nur für einen Teil der festgestellten Temperaturdifferenzen einen hinreichenden Erklärungsansatz. Eine einfache empirische Modellierung der mittleren Temperaturverhältnisse des Zeitraums 1915-1995 unter Verwendung der Auftrittshäufigkeiten der 18 Großwettertypen im entsprechenden Zeitraum und der mit ihrem Auftreten verknüpften Temperaturverhältnisse in der frühinstrumentellen Periode verdeutlicht, daß die zeitliche Stationarität der Kopplungen zwischen dem thermischen Klima in Mitteleuropa und maßgeblichen Zirkulationsmustern (Großwettertypen) nicht gegeben ist. So führt beispielsweise die Realisierung eines Zirkulationsmusters mit ausgeprägter Zonalkomponente (Westlage) in den Wintermonaten dieses Jahrhunderts zu deutlich höheren Temperaturen als im historischen Zeitraum. Zusammenfassend ergeben sich die Temperaturdifferenzen zwischen den beiden betrachteten Zeiträumen zu etwa vergleichbaren Anteilen aus Häufigkeitsänderungen und typinternen Modifikationen der 18 Großwettertypen.

### **Coral records of the northern Red Sea: proxies for marine climate variability in the Middle East**

Thomas Felis<sup>1</sup>, Jürgen Pätzold<sup>1</sup>, Yaser A. Moustafa<sup>2,1</sup>, Yossi Loya<sup>3</sup>, Gerold Wefer<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen; <sup>2</sup>National Institute of Oceanography and Fisheries, Suez, Egypt; <sup>3</sup>Department of Zoology, Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel)

Corals from modern and fossil reefs of the northern Red Sea provide an opportunity for annually resolved paleoclimatic reconstructions of a marine environment located

within the African-Asian desert belt. Modern corals

provide marine climate records extending back several 100 years from the present. Well preserved fossil corals

provide information on climate variability during time-windows throughout the Holocene.

A 245-year coral oxygen isotope record from Ras Umm Sidd (Egypt, ~28°N) provides a bimonthly-resolution time series from 1750-1995. The mean annual signal apparently reflects varying proportions of both sea surface temperature and seawater oxygen isotopic variability. In conjunction with instrumental observations the coral record suggests that the northern Red Sea and the southeastern Mediterranean display opposite aridity anomalies on interannual and longer timescales which are associated with cold/warm periods in the entire region. A 70-year oscillation of probably North Atlantic origin dominates the coral time series. Interannual to interdecadal variability is correlated with instrumental indices of the North Atlantic Oscillation, the El Niño-Southern Oscillation, and North Pacific climate variability. The results suggest that these modes consistently contributed to Middle East climate variability since at least 1750, preferentially at a period of ~5.7-years.

Oxygen isotope time series of a set of mid-Holocene corals dated between 4450 and 5750 <sup>14</sup>C-years BP from Eilat, Israel (~29.5°N) reveal a higher average seasonal amplitude compared to modern corals from the same location. This suggests a stronger seasonality of the sea surface temperature and an increased variability of the oxygen isotopic composition of the seawater due to changes in the precipitation and evaporation regime during the mid-Holocene. A likely explanation is that summer monsoon rains influenced this area during the mid-Holocene.

### **Dendroklimatologische Analyse zweier Jahrringbreitenreihen aus dem Gebiet Südbrandenburg/Nord-sachsen für das 11. bis 20. Jahrhundert**

Susanne Haeseler (J. W. Goethe-Universität Frankfurt am Main)

Das Baumwachstum, insbesondere das Jahrringbreitenwachstum, wird durch eine Vielzahl von Einflußfaktoren bestimmt, die in biotische und abiotische sowie in aus dem Luftraum und aus dem Boden wirkende aufgeteilt werden können und die wiederum untereinander in Beziehung stehen können. Desweiteren spielen auch bauminterne Größen, d.h. Erbanlagen, eine Rolle.

Ziel der dendroklimatologischen Analyse ist es, für einen Anpassungszeitraum eine Beziehung zwischen den Jahrringbreiten und dem Klima zu finden und anhand dieser das Klima vergangener Zeiten zu rekonstruieren. Als Einflußgrößen werden hier nur Temperatur- und Niederschlagswerte verwendet, und zwar Mitteltemperaturen, Minimumtemperatursummen, Maximumtemperatursummen, Niederschlagssummen und Regenfaktoren für bestimmte Perioden sowie ihre quadratischen Terme und Mischterme. Die Jahrringbreitenwerte stehen in Form

zweier Chronologien (Eiche, Kiefer) des Deutschen Archäologischen Institutes (Berlin) zur Verfügung. Aus diesen werden als weitere Baumringreihen eine Differenzenreihe, eine Quotientenreihe, eine Residuumsreihe und die 1.PC-Reihe einer Hauptachsentransformation konstruiert.

Für die Analyse wird vorausgesetzt, daß sich der Zusammenhang zwischen Baumringwerten und Klimawerten in Form einer Regressionsgleichung darstellen läßt, mit einem Baumringwert als Zielgröße und den Klimawerten als Einflußgrößen. In dem angewandten Verfahren werden zunächst sukzessive Korrelationen zwischen Zielgröße und Einflußgrößen durchgeführt, um signifikante Einflußgrößen zu selektieren, wobei als Grenze das Signifikanzniveau 90% gewählt wird. Aus einer anschließenden multiplen linearen Regression ergibt sich eine Regressionsgleichung, deren erklärte Varianz entscheidet, ob die Untersuchung mit erhöhtem Signifikanzniveau wiederholt wird.

Mittels der auf diese Weise ausgewählten „besten“ Regressionsgleichungen können aus den Baumringdaten einzelne Klimawerte berechnet werden. Dabei ergeben sich meist mehrere Lösungen für einen Klimawert, deren „richtigste“ durch ein spezielles Auswahlverfahren bestimmt wird. Zur Verifizierung kann die sich ergebende Klimarekonstruktion nun mit anderen historischen Informationen verglichen werden.

### **Reconstructing latitudinal shifts of the Southern Westerlies from marine sediment studies along the Chilean continental margin**

Frank Lamy, Dierk Hebbein, Carsten Rühlemann, Gerold Wefer (Fachbereich, Geowissenschaften, Universität Bremen); Margarita Marchant (Depto. Zoología, Fac. Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Chile)

Southern South America is a key region to study past climates of the Southern Hemisphere mid-latitudes which resulted in considerable effort by the terrestrial paleoclimate community, e.g. within the PAGES PEP I transect. However, little attention has been paid so far to the marine paleoclimate record present in continental margin Sediments along the west coast of southern South America. Marine Sediments along the Chilean continental margin provide a unique opportunity to study both the continental paleoclimate of mid-latitude Chile and the paleoceanography of the Peru-Chile Current System. Terrigenous Signals in marine Sediments, e.g., source areas, weathering conditions, and mode of sediment input can clearly be related to the strong climatic zonation of Chile and allow its reconstruction in the past. The biogenic components provide on one hand a good potential for dating, both by  $^{14}\text{C}$  AMS and  $\delta^{18}\text{O}$  isotope stratigraphic methods. On the other hand they allow for a reconstruction of e.g. sea surface temperatures and paleoproductivity within the coastal ocean.

Due to the large differences in the amount of supplied terrigenous material, our sediment core records from the Chilean continental slope allow past climate reconstructions on very different times-scales so that we can provide a consistent picture of the history of shifts of the Southern Westerlies ranging from Milankovitch, i.e.

precessional cycles during the last 120,000 years, to decadal time-scales within the Holocene. These data will be compared to the paleoceanographic record.

### **Problematik der Analyse von Klimatrends auf der Basis von Stationszeitreihen**

Jörg Rapp (Institut für Meteorologie und Geophysik, J.W.Goethe-Universität, Frankfurt am Main)

Jede klimatologische Trendanalyse auf der Basis von Stationszeitreihen ist Fehlerquellen ausgesetzt, die, falls sie bekannt sind, korrigiert, zumindest aber bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden sollten. Im wesentlichen existieren drei Arten potentieller Datenfehler, die den Trend verfälschen und zu "virtuellen" Trendkomponenten führen können: Sporadisch auftretende (1) Datenlücken und -ausreißer sind aufgrund ihrer zeitlich eng begrenzten Wirkung weniger problematisch, als die Folgen (2) systematischer Messfehler oder (3) zeitlicher Inhomogenitäten, die die Qualität der ganzen oder eines Teils der Zeitreihe verringern.

Zeitpunkt und Dauer bzw. zeitliche Abfolge der Lücken und Ausreißer, zusätzlich der Merkmalswert von Ausreißern, beeinflussen die Verfälschung des Trends. Der Einfluss von Datenlücken ist an den Rändern der Zeitreihe größer als in der Mitte. Eine Lücke in der ersten Hälfte der Zeitreihe kann genauso zu einem virtuellen negativen Trend führen wie in der zweiten Hälfte und umgekehrt. Bei zunehmender Zahl direkt aufeinanderfolgender Datenlücken und ansteigender Variabilität der Zeitreihe wird die Wahrscheinlichkeit, dass der Trend verfälscht wird, größer. Wie bei Datenlücken modifizieren einzelne Ausreißer am Anfang und Ende einer Zeitreihe den linearen Trend stärker als solche in der Mitte des Intervalls. Ausreißer nach oben führen in der ersten Hälfte des Zeitintervalls zu einer Trendabschwächung, in der zweiten Hälfte zu einer Trendverstärkung. Bei Ausreißern zu niedrigeren Werten ist es umgekehrt.

Die Messung der Niederschlagshöhe ist im Gegensatz zur Lufttemperatur und zum Luftdruck mit erheblichen Schwierigkeiten und Fehlern verbunden. Neben dem dominierenden Windeinfluss (Herauswehen durch Turbulenz und Wirbelbildung) können der Aufbau und die Eigenschaften des Messinstrumentes (Maße, Installationshöhe, Form, Material, Farbe, Alter, Isolation) sowie eventuell auftretende Gerätefehler (Herausspritzen, Verdunstung, Kondensation, Benetzung, Lecks) und Beobachterfehler (Ablesung) zu systematischen Messfehlern führen, die bei festem Niederschlag weitaus größer sind als bei flüssiger Phase. Bei einem langfristigen Trend der Lufttemperatur ändern sich die Anteile der Niederschlagsphasen an der "wahren" Niederschlagshöhe, falls Windgeschwindigkeit und Niederschlagshäufigkeit konstant bleiben. Eine Rückrechnung der korrigierten in die theoretisch gemessene (das heißt „wahre“) Niederschlagshöhe ermöglicht den Vergleich mit der real Gemessenen. Bei einem Klimatrend von z. B. +1 C, wie er in den letzten 100 Jahren in Deutschland real gemessen wurde, fällt mehr Niederschlag in flüssiger als in fester Form, der Gesamtfehler verkleinert sich, so dass die beobachteten Niederschlagstrends einen virtuellen Zusatztrend von ca. 2 % der Niederschlagshöhe beinhalten.

Inhomogenitäten einer Zeitreihe schließlich, die auf graduellen oder abrupten, auf jeden Fall nicht-klimatologischen Einflüssen beruhen und eine permanente Änderung statistischer Charakteristika (Momente wie Mittelwert, Varianz, usw.; aber auch Autokorrelationsfunktion, Varianzspektrum, u.a.) zeigen, können ebenfalls den Trend modifizieren. Inhomogenitäten, die in der Mitte des Untersuchungsintervalls liegen, verfälschen den Trend wesentlich stärker als solche, die zu Beginn oder am Ende des Intervalls auftreten. Dies steht im Gegensatz zur Wirkung von Datenlücken und -ausreißern. Liegt eine inhomogene Zeitreihe ( $t_0$  Anfangszeitpunkt,  $t_n$  Endzeitpunkt) mit dem linearen Trend  $T_1$  und dem Inhomogenitätssprung  $I$  zum Zeitpunkt  $t_1$  vor ( $t_1$  und  $I$  lassen sich durch verschiedene relative Homogenitätstests, z.B. nach Alexandersson, bestimmen), lässt sich sofort der lineare Trend der homogenen Zeitreihe  $T_H$  berechnen:

$$T_H = T_1 + \frac{6I}{(3t_0 + t_n)^2} \left( t_1 + \frac{1}{2}(t_n - t_0) \right)^2 - \frac{3}{2}I.$$

Dies illustriert, dass zwar eine Homogenitätsprüfung zwingend, eine Homogenisierung von Stationszeitreihen zum Zwecke der Trendanalyse dagegen nicht unbedingt notwendig ist.

### Hochwasserhäufigkeit in Mitteleuropa seit 1500

*Katrin Sturm (Geographisches Institut der Universität Würzburg)*

Im Rahmen des an der Universität Würzburg, im Verbund mit dem PIK Potsdam und den Universitäten in Halle, Bern und Brno, laufenden DFG-Projektes sollen die Hochwasserereignisse des 500jährigen Untersuchungszeitraumes nach ihrer Auftrittshäufigkeit und Stärke klassifiziert und mit dem witterungsklimatologischen Verlauf in Zusammenhang gebracht werden. Als Datenbasis dienen die an der Universität Würzburg erstellte historische Klimadatenbank HIS-KLID für den Zeitraum 1500-1800, Pegelmeßdaten diverser Stationen in Mitteleuropa für das 19. und 20. Jhd., als auch an der Universität Bern objektiv rekonstruierte monatliche (seit 1659) und jahreszeitliche (seit 1500) Felder des Bodenluftdrucks, der Temperatur und des Niederschlags. Es werden Phasen vermehrter bzw. verminderter Auftrittshäufigkeit von Hochwasser ausgegrenzt. So treten zum Beispiel am Main von ca. 1535-1590 und von ca. 1630-1690 gehäuft mittelschwere und extreme Winterhochwasser auf, während sich die Jahre 1500-1535, 1695-1730 und 1765-1800 durch unterdurchschnittliche Hochwasserhäufigkeit in den Monaten Dezember bis Februar auszeichnen. Weiterhin wurden für den historischen Zeitraum 1500-1800 typische Zirkulationsmuster sowohl für alle Monate als auch für Hochwassermonate mittels t-modaler Hauptkomponentenanalysen bestimmt und miteinander verglichen. Als erste Ergebnisse ergibt sich ein erhöhter Erklärungsanteil des Hochs über Mitteleuropa in Wintermonaten mit Hochwasser am Main (24% im Vergleich zu 15%) sowie ein völliges Fehlen des Musters West zonal als typische Zirkulationsform für mittlere und extreme winterliche Mainhochwasser. Im Frühjahr tritt letzteres zwar auf, zeigt jedoch im Falle des Mains einen wesentlichen geringeren Erklärungsanteil.

Im weiteren Verlauf des Projektes sind ähnliche Untersuchungen einerseits für weitere Flußeinzugsgebiete (z. B. Saale, Weser, Rhein, Donau), andererseits für den Zeitraum ab 1800 sowie Analysen zum Zusammenhang zwischen Hochwasserhäufigkeiten und atmosphärischen Zirkulationsindices geplant.

### Ein neues Verfahren zur stationsbezogenen Korrektur täglicher Niederschlagsmeßdaten hinsichtlich systematischer Meßfehler mit spezieller Berücksichtigung der Niederschlagsphase

*T. Fuchs (1), B. Rudolf (1) und F. Rubel (2) ((1) Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie (WZN), Deutscher Wetterdienst, Offenbach/Main; (2) Arbeitsgruppe Biometeorologie, Institut für Medizinische Physik und Biostatistik, Veterinärmedizinische Universität Wien*

Auf konventionellen Messungen beruhende Niederschlagsanalysen müssen bezüglich des systematischen Meßfehlers der Geräte, zum Großteil verursacht durch Windeinfluß und Verdunstungsverluste, korrigiert werden. Dies ist unerlässlich vor Verwendung dieser Analysen zur Kalibrierung und Verifikation von Satelliten- und Modelldaten sowie für Wasserbilanzabschätzungen. Das WZN verwendete bisher mittlere monatliche Korrekturfaktoren auf einem 0,5°-Raster, basierend auf statistischen Abschätzungen der Korrekturfaktoren von weltweit mehr als 25000 Niederschlagsmessern (Legates, 1987). Aus synoptischen Daten können die zur ereignisbezogenen Korrektur am Stationsstandort nötigen Parameter Windgeschwindigkeit, Höhe der Aufstellung des Windmessers, Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Niederschlagsintensität direkt oder indirekt abgeleitet werden. Vor kurzem wurde eine entsprechende Korrekturmethode des systematischen Meßfehlers auf Tagesbasis für alle Niederschlagsmesser in den Ländern des Ostsee-einzugsgebietes entwickelt (Rubel und Hantel, 1999).

In einem Projekt des WZN wurde diese Methode auf alle weltweit verwendeten Niederschlagsmesser übertragen. Hierzu wurden für jedes Land aus der Literatur bekannte Informationen zur Art und Aufstellungshöhe des verwendeten Niederschlagsmessers erfaßt. Gleichzeitig wurde eine auf mehr als 600 000 globalen synoptischen Daten aus 16 Wintermonaten beruhende Analyse durchgeführt, die basierend auf gemeldetem aktuellem Wetter eine Zuordnung der wahrscheinlichen Verteilung von fester, flüssiger und gemischter Niederschlagsphase zu Temperatur und Taupunkt ermöglichte. Damit kann der systematische Meßfehler der Niederschlagstagesumme festgestellt und von der Phase und Intensität abhängige, ereignisbezogene Korrekturterme für den Windeinfluß sowie klimatologische Korrekturterme für den Benetzungs- und Verdunstungsverlust addiert werden. Die operationelle Einbindung der neuen Methode zur stationsbezogenen Korrektur der täglichen Niederschlagshöhe, basierend auf synoptischen Daten von weltweit mehr als 6000 täglich über das Global Telecommunication System (GTS) meldenden Stationen, wird zu einer wesentlichen Verbesserung der Niederschlagsanalysen des WZN beitragen. Dies soll auf der 5DKT am Beispiel aktueller Niederschlagsereignisse demonstriert werden.

## "Niederschlagsschwankungen im Karibischen Raum - Das Beispiel Dominikanische Republik"

Dr. Martin Kappas (Geographisches Institut Universität Mannheim)

Der Vortrag behandelt die Ergebnisse einer statistischen Analyse der klimatologischen Hauptstationen der Dominikanischen Republik seit Aufzeichnungsbeginn. Es handelt sich hierbei um einen Datensatz des "Oficina Nacional De Meteorologica (ONAMET)", der insgesamt 50 Stationen beinhaltet. Der durchschnittliche Aufzeichnungszeitraum reicht dabei vom Anfang der 30er Jahre bis heute. Der Vortrag soll zunächst einen Überblick über die zeitliche und räumliche Verteilung der Niederschläge auf der Dominikanischen Republik liefern. In diesem Zusammenhang soll auch untersucht werden, ob die gängigen Aussagen über das Niederschlagsgeschehen im Land (z.B. der März als trockenster Monat in allen Regionen der Insel, zwei Niederschlagsmaxima im Jahresablauf etc.) anhand des Datenmaterials durchweg bestätigt werden können. Der zeitliche Verlauf der Niederschläge über das Jahr ist zum Beispiel für den Agrarbereich von immenser Bedeutung. Weiterhin sollen die längsten Niederschlagsreihen anhand von Zeitreihenanalysen auf mögliche Veränderungen bzw. Trends untersucht werden. Ein weiterer Untersuchungspunkt stellt ein potenzieller Einfluß von El Nino-Ereignissen dar. Hätten El Nino-Ereignisse in der Dominikanischen Republik einen größeren Einfluß, so könnte sich dieser in der Zukunft durch häufiger auftretende Ereignisse als in der Vergangenheit durchaus verstärken, was dann auch Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Anbauflächen haben könnte; damit verbunden auch auf die Ernährungssituation der Bevölkerung und auf den Devisen bringen Export landwirtschaftlicher Produkte (sozioökonomischer Aspekt eines Niederschlagswandels auf der Dominikanischen Republik).

## Stadtklima und Lufthygiene in Cochabamba/Bolivien

Prof. Dr. Reinhold Lazar, Karl-Franzens-Universität Graz

Im Rahmen eines Forschungsprojektes der Österreichischen Akademie der Wissenschaften werden im Becken von Cochabamba Untersuchungen über das Stadtklima und die Luftgüte durchgeführt. Der Start erfolgte im Sommer 1999 ein vorläufiger Abschluß ist für den Sommer 2000 vorgesehen. Die Untersuchungen werden vom Magistrat der Stadt Cochabamba logistisch unterstützt; die Ergebnisse dienen der Stadtplanung für die Überarbeitung ihres Flächenwidmungsplanes und der Einrichtung eines Luftgütemeßnetzes mit dem Ziel, die Luftgüte in der Stadt zu verbessern. Derzeit verursachen viele Klein- und Mittelbetriebe ohne emissionsmindernde Maßnahme lokal eine recht hohe SO<sub>2</sub> und Staubbelastung und das Verkehrssystem bedingt zusätzlich NO<sub>x</sub>-Emissionen. Wegen der Seehöhe der Stadt (2600m) und der randtropischen Lage (16° s. Br.) mit hoher Sonneneinstrahlung sind ferner erhöhte Ozonkonzentrationen zu erwarten.

Die Erfassung des Stadtklimas stützt sich methodisch auf die Errichtung eines Sonderstationsmeßnetzes, Meßfahrten und Fesselballonsondierungen. Die bisherigen Daten bestätigen die Existenz einer Wärmeinsel mit einem

Ausmaß von 5 bis 6 K in klaren Nächten und eigenbürtige Lokalwinde mit einem hohen Beitrag für die Schadstoffausbreitung. Typisch sind weiters recht kräftige Bodeninversionen, nicht zuletzt bedingt durch die Beckenlage und die klaren Nächte speziell in der Trockenzeit von Mai bis September.

Die Luftgütemessungen beruhen auf integralen Methoden (Bergerhoff für Staub, Badgesampller für NO<sub>x</sub> und SO<sub>2</sub>, Ozonkerzen mit Indigopapier für Ozon). Die bisherigen Ergebnisse lassen auf punktuell recht hohe Schadstoffbelastung schließen, so etwa in der Nähe von Ziegeleien und Glasfabriken, aber auch im Einflußbereich wichtiger Straßen (hohe Staub- und NO<sub>x</sub>-Belastung).

## Eine Methode zur Berechnung der Tagessumme der Globalstrahlung mittels Regressionsbeziehungen

H.Österle (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V. (PIK))

Häufig werden für Modelle der Klimawirkungsforschung Tagessummen der Globalstrahlung in einer größeren räumlichen Auflösung, als es durch das Meßnetz abgedeckt werden kann, benötigt. Die bisher verwendeten Methoden zur Berechnung solcher Tageswerte ist sehr ungenau. Deshalb ist eine Methode entwickelt worden, mit der die Globalstrahlung unter Verwendung eindimensionaler bedingter oder unbedingter Regressionsgleichungen berechnet werden kann. Als Predictoren werden die Sonnenscheindauer oder der Bedeckungsgrad oder die tägliche Amplitude der Temperatur benutzt. Ist außerdem die relative Luftfeuchte vorhanden, werden bedingte Regressionsgleichungen verwendet.

Die Entwicklung und Validierung der Regressionsgleichungen wurde anhand der Daten von 42 deutschen Strahlungsstationen durchgeführt. Der mittlere jährliche quadratischen Fehler (RMSE) zwischen den berechneten und beobachteten Werten beträgt 1.6 MJ m<sup>-2</sup>Tag<sup>-1</sup> bei der Verwendung der Sonnenscheindauer und 3.0 MJm<sup>-2</sup>Tag<sup>-1</sup> bei der Verwendung der Tagesamplitude der Lufttemperatur als Predictor. Das entspricht bei einer mittleren Streuung der Globalstrahlung von 4.6 MJ m<sup>-2</sup>Tag<sup>-1</sup> einem relativen Fehler von 40 bzw. 70%. Bei den bisher üblichen Berechnungsmethoden ist dieser Fehler in der Regel > 70%.

Mit dieser Methode wurden die deutschen Klimastationen im Datenbanksystem um die Globalstrahlung sofern sie nicht vorhanden war, erweitert.

## Regionale Klimadifferenzierung und Gletschermassenhaushalt im Bereich der andinen Kordilliere Patagoniens - ein Beitrag zur Erfassung aktueller Klimaschwankungen

Christoph Schneider<sup>1</sup>, Gino Casassa<sup>2</sup>, Rolf Kilian<sup>3</sup>  
(<sup>1</sup> Institut für Physische Geographie, Universität Freiburg im Breisgau)

Im Bereich der andinen Kordilliere des südlichen Südamerikas treten innerhalb weniger Zehner Kilometer scharfe Klimagegensätze auf. So ergibt sich an der pazifischen Westküste ein Niederschlag von bis zu 6000 mm, während an der Ostabdachung der Jahresniederschlag auf

unter 500 mm sinkt. Mit der hier vorgestellten Arbeit liegen erstmals klimatologische Messungen für den Bereich um 53° südlicher Breite am Gran Campo Nevado im Zentrum der Kordilliere vor, die es ermöglichen, das klimatologische Ost-West-Profil dieses Raum erheblich differenzierter darzustellen. Dabei ergibt sich unter anderem ein Jahresniederschlag von über 10.000 mm für die Kammbereiche des Gebirges. Mit Hilfe von Daten umliegender meteorologischer Stationen (Punta Arenas, Isote evangelistas und Bahia Felix) wird die regionale Klimadifferenzierung und deren Auswirkung auf den Landschaftshaushalt dargestellt.

Relativ hohe Jahresmitteltemperatur und sehr hoher Niederschlag führen zu einem spektakulären Massenumsatz der Gletscher im Untersuchungsgebietes. Dieser hohe Massendurchsatz an Eis bewirkt auch eine hohe Klimasensitivität der Gletscher des Gran Campo Nevado. Es wird abgeleitet, wie die Faktoren Strahlung, Temperatur, Wind und Niederschlag auf die Energie- und Massenbilanz des Gletschers einwirken. Die Gewichtung und Trennung dieser Einflußgrößen ermöglicht dann Aussagen zur Klimavariabilität dieses bisher weitgehend unbeobachteten Raumes.

## B. Regionalisierung

### Trends des bodennahen Ozons zwischen 1980 und 1997

Dr. Wolfgang Enke (F+E-Vorhaben Nr. 204 02 848 des Umweltbundesamtes: „Analyse historischer Immissionsmeßreihen“, I.D.E.A. – Gelsenkirchen)

Zur Identifizierung möglicher Trends in Bodenozone-Meßreihen wurde in folgenden Schritten vorgegangen:

Validierung der Datenreihen in drei Stufen:

1. Subjektive Bewertung der einzelnen Reihen und Beseitigung nicht plausibler Werte.
  2. Kennzeichnung von Werten, die das dreifache der Streuung gegenüber dem Mittelwert über- oder unterschreiten.
  3. Automatische Korrektur von systematischen Fehlern und Brüchen in den Zeitreihen
- Fehlwertersetzung von Ausfällen in den Meßreihen
  - Wetterbereinigung
  - Trendanalyse

Ergebnisse:

Aus der Vielzahl der Untersuchungen werden nur die Trends der Überschreitungshäufigkeiten verschiedener Schwellenwerte als Mittel über alle Stationen und Stunden für das Sommerhalbjahr präsentiert. Daraus lassen sich folgende Aussagen gewinnen:

- Es gibt drei Zeiträume (80/85, 85/94, 94/97) mit unterschiedlichen Trends.
- In der Periode 85/94 ist über alle Schwellenwerte hinweg ein Anstieg zu verzeichnen.
- Ab 1990 ist eine Abnahme der hohen Ozonwerte, ab 1994 in allen Bereichen zu verzeichnen.
- Über den Gesamtzeitraum betrachtet ist eine deutliche Zunahme der Überschreitungen zwischen 70- und 90 g/m<sup>3</sup> zu beobachten.
- Es gibt deutliche regionale Unterschiede im Trendverhalten.
- Die steigende Zahl der Meßstationen zwischen 1980 und

1997 hat keinen wesentlichen Einfluß auf die Trends.

Die Energiebilanz des Bodens in orographisch gegliedertem Gelände

F. Fiedler (Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Universität Karlsruhe/Forschungszentrum Karlsruhe)

Das Klimasystem wird zu einem erheblichen Teil durch den Energieaustausch zwischen Boden und Atmosphäre gesteuert. Selbst bei ebenen und quasi-homogenen Grenzflächen sind die Berechnungsmethoden noch relativ ungenau. Besondere Schwierigkeiten für die Berechnung des Energieaustausches ergeben sich bei inhomogenen Oberflächen, insbesondere wenn sie durch ein rauhes Relief gekennzeichnet sind.

In dem Forschungsvorhaben REKLIP (Regionales Klimaprojekt) sind im Gebiet Vogesen-Rheingraben-Schwarzwald experimentelle Untersuchungen und Modellsimulationen zur Bestimmung der Energiebilanz des Erdbodens durchgeführt worden.

Die Ergebnisse dienen einesteils zur Beurteilung von Maßnahmen der Regionalplanung, sie sind aber auch für die Bewertung von Berechnungsverfahren des Energieaustauschs in globalen Klimamodellen von Bedeutung.

Insbesondere werden zeitliche Verläufe der Energiebilanzkomponenten und ihre Höhenabhängigkeit aufgezeigt.

Das wichtigste Ergebnis des inhomogenen Energieaustauschs ist die Anregung von Sekundärzirkulationen, die ihrerseits eine neue Größenordnung im Mechanismus für den Energietransport schaffen, der von großer Bedeutung ist. Bisher wurden die Sekundärzirkulationen jedoch in den Parametrisierungen nicht berücksichtigt.

## C. Klima im öffentlichen Interesse

Bioklimakarten als Werkzeug für die Klimafolgenforschung

Birger Tinz, (Berlin), Gerd Jendritzky (Deutscher Wetterdienst, Freiburg)

Von den meteorologischen Größen, die den Wärmehaushalt des Menschen beeinflussen, spielen neben der Lufttemperatur die Windgeschwindigkeit, die Luftfeuchtigkeit sowie die kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse eine Rolle. Diese Größen werden im Klima-Michel-Modell des Deutschen Wetterdienstes mit der körperlichen Aktivität des Modellmenschen und seiner Bekleidung verknüpft. Die beschreibende thermophysiological relevante Größe ist die Gefühlte Temperatur (die Temperatur einer Standardumgebung mit gleichem Wärmeaustausch). Während sich der Mensch durch Verhaltensanpassung (Bekleidung, Behausung etc.) relativ gut auf Kältereize einstellen kann, ist Wärmebelastung in der Regel weniger leicht entrinnbar. Hitzewellen sind deshalb auch in gemäßigten Klimaten mit einer spürbar erhöhten Mortalität verbunden, wobei hiermit nur die "Spitze des Eisbergs" in der Bedeutung für die Gesundheit der Bevölkerung beschrieben wird. Um einen Einblick in das Ausmaß der mit einer Klimaänderung verbundenen thermisch bedingten gesundheitlichen Risiken zu gewinnen, wurden Europa- und Weltkarten der Gefühlten Temperatur zu 12 Uhr mittlerer

Ortszeit (MOZ) berechnet. Als Eingangsdaten standen Synop-Meldungen von knapp 1.000 Stationen aus Europa und den südlichen Mittelmeeranrainern (1966-1998) sowie Modelldaten der EZMWF-Reanalysen (1979-1993) und zweier Zeitscheiben des Hamburger Klimamodells ECHAM4 (1971-1980 bzw. 2041-2050) jeweils in der Auflösung T106 zur Verfügung. Als problematisch erweist sich die statistische Regionalisierung, d.h. die Verknüpfung der auf Beobachtungen beruhenden Europakarten mit den globalen Karten der Klimasimulation sowie der Bezug der Daten auf gleiche mittlere Ortszeit (12 MOZ) aus den im Abstand von 6 Stunden vorliegenden Modelldaten. Unter der Annahme, dass die gemäß ECHAM4 simulierte Klimaänderung tatsächlich eintritt, ergeben sich zwischen den Dezennien 1971-1980 und 2041-2050 regional und jahreszeitlich unterschiedlich, z.T. sehr deutlich ausgeprägte Änderungen der Gefühlten Temperatur, wobei die positiven Abweichungen deutlich dominieren. Für die auf der Basis solcher Szenarien abgeschätzte Änderung der Mortalität (ohne Adaptation) zeigen sich zum Beispiel im Juli insbesondere im westlichen Mittelmeerraum substantielle Erhöhungen des Gesundheitsrisikos.

## D. Modellkonzepte

### Modell-Klimavariabilität und 'systemdynamischer Kern' eines AGCMS

Dr. Peter Carl (Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei im Forschungsverbund Berlin e.V.)

Der Jahresgang der globalen Zirkulation der Atmosphäre ist Objekt topologischer Studien an einem nicht 'getunten', konzeptionellen AGCM, das im Regime hoher dynamischer Anregung, d.h. in "Chaosnähe" 'gefahren' wird. Es ist angetrieben von einem in Monatsmitteln vorgegebenen Szenarium der unteren Randbedingungen; dargestellt werden klimatologische Studien. Seit längerem bekannt für dieses Modell ist die intrasaisonale Entwicklung der Attraktormenge im Nordsommer, während dessen sich das System aus einem getriebenen Grenzzyklus im Frühjahr in ein Torus-Segment höherer Ordnung 'aufbläht', mit chaotischem Juli-Regime und rückwärts durchlaufenem Periodenmultiplikations-Szenario während der Saison, das interessante Analoga zur beobachteten Monsundynamik im 5-60 tägigen Bereich zeigt. Im Herbst entartet das Torus-Segment in eine strukturell intrasaisonale Südliche Oszillation, bevor das System in die Winterzirkulation 'kippt'. Der Monsunrückzug im Herbst ist auf dieser Modellwelt Quelle interannueller bis multidekadischer Variabilität, die sich über Jahrhunderte nicht abschwächt. Wesentlicher Mechanismus dieser Selbstorganisation aus dem kurzperiodischen Spektralbereich heraus, der in Wechselwirkung mit dem zyklischen Antrieb ein Langzeit-Gedächtnis des Atmosphäre-Land Systems konstituiert, ist ein "atmender Jahresgang". Im Unterschied zur Vorstellung von 'Gedächtnisleistung' als Erinnerung an Amplituden-Störungen, stellt dessen systematische Phasenmodulation eine energetisch günstige Form der Signalübertragung dar. Sie ist gebunden an den skizzierten intrasaisonalen Organisationsgrad des Systems und an die Tatsache seines zyklischen Antriebs, und ist ohne die Dimension(en der) "Modulation" im Signalraum nicht

geeignet erfaßbar. Es werden Modellzeitreihen mit Methoden der Zeit-Frequenz (-Scale-Modulations) Analyse untersucht, wie sie für Studien zum dynamischen Typus der Klimaentwicklung anhand von Zeitreihen der realen Welt verwendet werden. Nimmt man diese Modellwelt als Quelle für konzeptionelle Hinweise ernst, dann liefert die Atmosphäre ein reichhaltiges Modenspektrum, aus dem sich das gekoppelte System das 'Passende' auswählen kann. Dies wird anhand von Massenverlagerungen, Drehimpulsänderungen, Niederschlägen und speziell des Vergleichs der Indices der Südlichen Oszillation in Modell und Realität vorgeführt.

### Das Klimasignal durch arktisches Aerosol: Simulationen mit einem Regionalmodell

M. Fortmann, A.Rinke, K.Dethloff (AWI, Forschungsstelle Potsdam)

During late winter and spring the phenomenon Arctic Haze is observed: aerosol particles are transported from midlatitude industrial areas into the Arctic. The direct influence of this aerosol on the radiative balance and the monthly mean circulation in the Arctic is investigated using the Global Aerosol Data Set (GADS) in the regional climate model HIRHAM4.

HIRHAM4 is applied on the Arctic Basin north of 65 degrees, with a horizontal resolution of ~50 km and 19 vertical levels. It is forced at the lateral and lower boundaries by ECMWF analyses. Arctic Haze is described by the following 3 GADS components: water-soluble, soot, and sea-salt. Simulations were performed for the months March to May for different years. The calculations show a pronounced interannual variability of the aerosol signal in the near surface temperature. The mean temperature change in March is up to 1 K over the Arctic Ocean, but with an ensemble standard deviation of 2 K. The specific meteorological condition (clouds, humidity, ...) is responsible for the different signal. The influence of the aerosol absorption and distribution is discussed. Further it is shown, that the calculated aerosol signal strongly depends on the used cloud parameterization. The use of the ice cloud parameterization of Ebert et al. (1992) instead that of Rockel et al. (1991) leads to an opposite signal in the near surface temperature aerosol forcing.

### Natürliche Klimavariabilität in einer Hierarchie von Klimamodellen

Dörthe Handorf, Antje Weisheimer, Klaus Dethloff (Stiftung A.-Wegener-Institut, Forschungsstelle Potsdam)

Als ein Beitrag zum Verständnis natürlicher Klimavariabilität auf dekadischen und längeren Zeitskalen wird in dieser Studie die bei konstanter äußerer Anregung intern erzeugte niederfrequente Variabilität der Atmosphäre und des gekoppelten Systems Atmosphäre-Ozean untersucht. Dazu werden die Ergebnisse von Langzeitintegrationen über 1 000 bis 10 000 Jahre mit verschiedenen Klimamodellen unterschiedlicher Komplexität analysiert. Die Modellhierarchie umfaßt quasi-geostrophische atmosphärische Spektralmodelle niedriger Ordnung, ein gekoppeltes Atmosphäre-Ozean-Zirkulationsmodell moderater Kom-

plexität sowie komplexe gekoppelte Atmosphäre-Ozean-Zirkulationsmodelle. Die Analyse der raum-zeitlichen Variabilität mit Methoden der multivariaten Statistik (Empirische Orthogonale Funktionen) und der Zeit-Frequenzanalyse (Wavelettransformation) weisen nach, daß in allen Modellen intermittierende, zeitweise signifikante Signale auf den Zeitskalen von Jahren, Jahrzehnten bis zu Jahrhunderten in allen Atmosphärenschichten bis in die Stratosphäre nur durch die interne nichtlineare Dynamik der Atmosphäre bzw. des Systems Atmosphäre-Ozean erzeugt werden. Die dominanten räumlichen Muster sind durch großskalige Zirkulationsstrukturen, wie z.B. die Nord-Atlantik-Oszillation gekennzeichnet. In den atmosphärischen Modellen niederer Ordnung konnten als Ursachen der langperiodischen Schwankungen orographisch und thermisch bedingte Instabilitäten, die interne dynamische Kopplung der Wellen mit der zonalen Grundströmung und der Wellen verschiedener räumlicher Skalen untereinander sowie nichtlineare chaotische Übergänge zwischen persistenten Zirkulationsanomalien bestimmt werden. Demgemäß ist es auch möglich, die Variabilität der realitätsnäheren Modelle des gekoppelten Systems durch Änderungen der Häufigkeit des Auftretens bevorzugter Zirkulationsregime zu beschreiben. Für die Ergebnisse der Läufe dieser Modelle werden die Wahrscheinlichkeitsverteilungen atmosphärischer Variablen in einem reduzierten Phasenraum berechnet, um bevorzugte Zirkulationsregime zu identifizieren. Die Multimodalität der verschiedenen Modelle wird diskutiert und mit bekannten Analysen beobachteter Daten verglichen.

### **Regionale Klimamodelle: Interpolation globaler Modelsergebnisse oder mehr?**

Klaus Keuler (Lehrstuhl Umweltmeteorologie, BTU Cottbus)

Das regionale Klimamodell REMO wird verwendet, um die Ergebnisse einer zehnjährigen globalen Klimasimulation mit dem Modell ECHAM4/T106 über Mitteleuropa zu regionalisieren. Die Ergebnisse der globalen Simulation werden dabei kontinuierlich in Form zeitabhängiger Randwerte an das regionale Modell übergeben (dynamische Nestung). Beide Modelle verwenden die gleichen physikalischen Parametrisierungen (ECHAM4-Physik) mit leichten Modifikationen auf Grund der Unterschiede in der räumlichen Auflösung der skaligen und subskaligen Prozesse. Die horizontale Auflösung des regionalen Modells ist rund fünf mal feiner als die des globalen Modells. Damit werden auch die Geländestrukturen, die Bodeneigenschaften sowie die Land-Meer-Verteilung im regionalen Modell deutlich feiner und genauer erfasst. Durch Vergleich beider Simulationen wird untersucht, in welcher Weise die regionale Simulation die globalen Ergebnisse verändert. Die zentrale Frage dabei ist: Werden die globalen Klimamuster durch das regionale Modell lediglich detaillierter abgebildet oder weisen regionale Flächenmittel der Klimaparameter beider Simulationen systematische Unterschiede auf?

Die Ergebnisse belegen, dass das regionale Modell keine „eigenschaftserhaltende“ Interpolation der bodennahen Klimawerte des globalen Modells darstellt. In Teilregionen können sich die Mitteltemperaturen deutlich voneinander unterscheiden. Auch die integralen Niederschlagssummen

weisen erhebliche Unterschiede auf. Insbesondere in Gebirgsregionen können die Abweichungen 50 % und mehr betragen. Signifikant ist auch der Unterschied in der Intensitätsverteilung der Tagesniederschläge. So produziert das regionale Modell einen wesentlich größeren Anteil am Gesamtniederschlag in intensiveren Niederschlagsereignissen an insgesamt weniger Niederschlagstagen als das globale Modell.

Das Poster fasst einige wesentliche Ergebnisse des Simulationsvergleiches zusammen und quantifiziert die klimatologischen Unterschiede zwischen beiden Simulationen. Es soll zur Diskussion anregen, ob und in welchem Maße antreibende und genestete Klimasimulation voneinander abweichen dürfen oder sogar müssen.

### **A reduced-form model for the transient response of the thermohaline circulation to global warming**

*Kirsten Zickfeld (Potsdam Institute of Climate Impact Research)*

The Atlantic thermohaline circulation (THC) transports large amounts of heat northward, acting as a heating system for the northern North Atlantic and north-western Europe. A large number of model simulations have shown the THC to be self-sustaining within certain limits, with well-defined thresholds where the circulation shuts down. Manabe and Stouffer (1993), for example, have simulated a complete shutdown of the THC for a quadrupling of atmospheric CO<sub>2</sub>. Because of the possibly severe consequences that a collapse or even a weakening of the THC would have for the North Atlantic and north-western Europe, Integrated Assessment Models (IAMs) are demanded to explore the ecological and socio-economic impacts associated with such an event. Since most models representing the THC are too complex to be incorporated in an IAM framework, a computationally efficient reduced-form dynamic model has been developed, which, although simplified compared to the comprehensive, coupled ocean atmosphere circulation models, is able to reproduce key features of their results.

The model is a dynamic version of a four-box extension of the classic Stommel model (1961) – a conceptual model that has already been successfully applied for the investigation of bifurcations and the stability of the THC (Rahmstorf, 1996). The reduced-form system is represented by a set of ordinary differential equations for the temperature and salinity of each of the four boxes. The flow is simulated as a closed loop driven by density gradients between the northern and the southern boxes. The model, which is calibrated by comparison with results obtained with the coupled ocean-atmosphere CLIMBER model (Petoukhov et al., 2000), is driven by scenarios of average global temperature. The latter is used to scale the changes in freshwater fluxes and regional temperatures (the scaling factor between average global temperature and the freshwater flux entering the North Atlantic is in the following referred to as „hydrological sensitivity“).

Scenarios of average global temperature can then be prescribed and the response of the thermohaline circulation diagnosed. Because of its computational efficiency, the model allows for the investigation of a multitude of climate scenarios and the performance of a comprehensive sensitivity analysis (with respect to, e.g., the rate of

temperature increase, the hydrological sensitivity and the initial strength of the circulation).

Under moderate increase in temperature and low hydrological sensitivity the thermohaline circulation is reduced. After the temperature is stabilized, the circulation recovers until the original value is restored. This is consistent with recent experiments by Manabe and Stouffer (1999), who demonstrated that the control and the equilibrium  $2\times\text{CO}_2$  circulation are very similar. For larger hydrological sensitivities, the response of the thermohaline circulation diverges, falling in two categories: those in which the overturning recovers and those in which it collapses. This is in line with the experiments performed with CLIMBER (Rahmstorf and Ganopolski, 1999), where a critical value for the hydrological sensitivity was determined.

Further, it is found that the THC as simulated in the box model is sensitive to the rate of climate change: The greater the rate of temperature increase, the more the circulation weakens and the longer it takes to recover after temperatures have stabilized. For a fixed hydrological sensitivity, the final amount of temperature change that can be reached without a shutdown of the circulation is higher for a slower temperature increase. The model here reproduces convincingly the results by Stocker and Schmittner (1997), who discovered that the stability of the THC is dependent upon the rate of climate change.

### **Rekonstruktion des Klimas der letzten 1000 Jahre durch Datenassimilation in Klimamodelle**

E. Zorita, F. Gonzalez-Rouco, J. Jones, M. Widmann, H.v. Storch (GKSS-Forschungszentrum)

Die globale klimatische Entwicklung der letzten 1000 Jahre wird durch zwei Simulationen mit einem gekoppelten Klimamodel durchgeföhrt. In einer ersten Simulation, wird das Model ausschliesslich durch externe Faktoren angetrieben: solare Variabilität, Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre, orbitale Parameter sowie stratosphärische Aerosolkonzentrationen vulkanischen Ursprungs. Dieser externe Antrieb wird meistens durch Analyse von Eisbohrkerndaten bzw. Sonnenfleckenbeobachtungen abgeschätzt.

Diese Simulation liefert aber nur eine mögliche Realisation des Klimas als stochastisches System, die nicht unbedingt vollständig mit den klimatischen Zeitserien der letzten tausend Jahre übereinstimmen muss. Das Klimamodel kann allerdings an die tatsächlich stattgefundene Realisation durch Assimilation von klimatischen Proxy-Daten herangeföhrt werden.

Ein neues Datenassimilationsverfahren -data assimilation through upscaling and nudging, DATUN- wird zu diesem Zweck benutzt: großskalige klimatische Muster (z.B. die NAO) werden durch statistische Transferfunktionen mit lokalen Variablen in Verbindung gebracht. Dafür werden Beobachtungszeitserien benutzt. Diese Transferfunktionen werden dann auf die lokalen Proxy-Daten angewandt, um die Intensität der großskaligen Strukturen (z.B. des NAO Index) in den letzten Jahrhunderten abzuschätzen. Die dynamischen Gleichungen des Klimamodel werden dann durch einen zusätzlichen Nudging-Term ergänzt, damit die simulierten großskaligen Strukturen so nah wie möglich an den durch die Proxy-Daten geschätzten Felder liegen. Das Nudging-Verfahren wird dann hoffentlich das kurzskalige

und hochfrequente "Wetter" nicht direkt beeinflussen. Erste Ergebnisse aus diesen zwei Simulationen werden vorgestellt.

### **E. Paläoklima**

#### **Late glacial and Holocene climate changes in the northern Red Sea: teleconnections to the North Atlantic**

Helge W. Arz and Jürgen Pätzold (Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen)

We present well-dated, high-resolution marine paleoclimate records from the northern Red Sea retrieved during RV METEOR cruise M44/3 in spring '99. Continuous high-resolution paleoenvironmental data from the northern Red Sea region are still rare. Our study therefore provides an important link to, e.g., climate reconstructions from the Dead Sea area and the Arabian Sea. Because of its restricted, desert surrounded location, the northern Red Sea and its northernmost extension, the Gulf of Aqaba, suffered extreme oceanographic changes in the past, resulting in an amplification of paleoclimatic signals in the marine sediments. The continuous deposition of wind-blown and fluvially transported terrigenous material provides a high temporal resolution of changes in the aridity of the adjacent continent. A proxy for changes in the aridity in the Northern Red Sea area is the variation in the terrigenous sediment input. Such changes are documented by independent indicators, i.e. variations of the bulk-sediment chemistry (Fe and Ti content determined by profiling XRF measurements) and magnetic susceptibility. Based on these data, two major periods of more humid conditions (7500 to 5000 and around 2000 yrs B.P.) are documented in the terrigenous proxies. The first one corresponds to the Mid-Holocene humid climate optimum and the second one to the Roman Warm Period. Besides this major periods, centennial to millennial scale variations occur, with dominant periodicities centered near 1600, 600, and 300 yrs, which correspond to similar Holocene climate cycles known from the North Atlantic region. Changes in the marine environment are best documented in the high-resolution (sedimentation rates up to of 0.5 mm/yr) brine sediments recovered from the Shaban Deep. The repeated occurrence of partially laminated, organic-rich, sediments suggests that ventilation of the small basin and therefore the renewal of deep-water was episodically interrupted. Atmospheric processes notably control deep-water formation in the northern Red Sea. Altogether, our records provide evidence of a strong coupling of both aridity changes in the Near East and paleoceanographic conditions in the northern Red Sea to the Late Glacial and Holocene climate evolution in high latitudes of the Northern Hemisphere.

## Teilnehmerliste

(Stand: 15.09.2000)

Ulrich Achatz  
Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik  
an der Universität Rostock e.V.  
Schlossstr. 6  
18225 Kühlungsborn  
[achatz@iap-kborn.de](mailto:achatz@iap-kborn.de)  
Tel.: 03 82 93 – 6 83 40 / Fax: 03 82 93 / 68 50

Gerhard Adrian  
Deutscher Wetterdienst  
Frankfurter Straße 135  
63067 Offenbach  
[gerhard.adrian@dwd.de](mailto:gerhard.adrian@dwd.de)  
Tel. 0 69-80 62 27 21

Helge Arz  
Universität Bremen  
Fachbereich Geowissenschaften  
P.O.Box 330 440  
28334 Bremen  
[helge.arz@allgeo.uni-bremen.de](mailto:helge.arz@allgeo.uni-bremen.de)  
Tel.: 04 21 - 2 18 71 70 / Fax: - 31 16

Wilfrid Bach  
Abt. für Klima- und Energieforschung  
FB Geowissenschaften  
Universität Münster  
Robert-Koch-Str. 26  
48149 Münster  
[bach@uni-muenster.de](mailto:bach@uni-muenster.de)

Christoph Beck  
Geographisches Institut der Universität Würzburg  
Am Hubland  
97072 Würzburg  
[christoph.beck@mail.uni-wuerzburg.de](mailto:christoph.beck@mail.uni-wuerzburg.de)

E. Becker  
Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik  
an der Universität Rostock e.V.  
Schlossstrasse 6, 18225 Kuehlungsborn  
[becker@iap-kborn.de](mailto:becker@iap-kborn.de)  
Tel: 03 82 93 – 6 83 10 / Fax: -6850

Björn Beckmann  
Royal Netherlands Meteorological Institute  
(KNMI)  
Postbus 201  
3730 AE De Bilt  
The Netherlands  
[beckmann@knmi.nl](mailto:beckmann@knmi.nl)  
Tel. + 31 (0) 30 2206 402

Rosemarie Benndorf  
Umweltbundesamt  
Bismarkplatz 1  
14193 Berlin

Franz. H. Berger  
Technische Universität Dresden  
Institut für Hydrologie und Meteorologie  
Lehrstuhl für Meteorologie  
Pienerstr. 9  
01737 Tharandt  
[berger@forst.tu-dresden.de](mailto:berger@forst.tu-dresden.de)  
Tel.: 035203-38 145 /Fax.: 1302

Gerhard Berz  
Münchener Rückversicherungsgesellschaft  
Königinstraße 107  
80791 München  
[gberz@munichre.com](mailto:gberz@munichre.com)  
Tel.: 089 – 38910

Ulrike Beyer  
Geographisches Institut  
Universität Würzburg  
Am Hubland  
97074 Würzburg  
[ulrike.beyer@mail.uni-wuerzburg.de](mailto:ulrike.beyer@mail.uni-wuerzburg.de)  
Tel: 09 31 - 8 88 46 90 / Fax: - 55 44

Peter Bissolli  
Deutscher Wetterdienst  
FE 24 c1  
Postfach 100465  
63004 Offenbach  
[pbissolli@dwd.d400.de](mailto:pbissolli@dwd.d400.de)  
Tel.: 069-8062-0 / Fax.: -4484

Prof. Dr. Böhme  
Kunersdorfer Strasse 16  
14473 Potsdam

Uta Brathauer  
GeoForschungszentrum Potsdam  
Telegrafenberg  
14473 Potsdam  
[brath@gfz-potsdam](mailto:brath@gfz-potsdam)  
Tel.: 03 31- 2 88 13 79

Achim Brauer  
Geoforschungszentrum Potsdam  
PB 3.3-Sedimente und Beckenbildung  
Telegrafenberg  
14473 Potsdam

Dennis Bray

GKSS Forschungszentrum  
GAS Geb. 38  
Max-Planck-Straße  
21502 Geesthacht  
[bray@gkss.de](mailto:bray@gkss.de)  
Tel.: 04152-87-1849 / Fax.: -1888

Rudolph Brázdil  
Department of Geography  
Masaryk University  
Kotlářská 2  
611 37 Brno  
Czech Republic  
[brazdil@porthos.georg.muni.cz](mailto:brazdil@porthos.georg.muni.cz)

Klaus Britzkow  
Diplom-Meteorologe  
Berghof  
Illasbergstrasse 27  
87642 Halblech

Rolf Bürki  
Geographisches Institut Universität Zürich  
Wintherthurerstr. 190  
CH- 8057 Zürich  
[buerki@geo.unizh.ch](mailto:buerki@geo.unizh.ch)  
oder: [buerki@fire.dkrz.de](mailto:buerki@fire.dkrz.de)  
Tel.: 0041 -1- 635 52 44

Udo Busch  
DLR-Institut für Physik der Atmosphäre  
Oberpfaffenhofen  
82234 Weßling  
[Udo.Busch@dlr.de](mailto:Udo.Busch@dlr.de)  
Tel.: 08153-28 2519 / Fax.: -1841

Peter Carl  
Projekt „Klimadynamik“  
c/o Forschungsverbund Berlin  
Hausvogterplatz 5-7  
10117 Berlin  
[pcarl@spclim5.wias-berlin.de](mailto:pcarl@spclim5.wias-berlin.de)  
Tel.: 030-20377466 / Fax.: -470

Martin Claussen  
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung  
Postfach 601203  
124412 Potsdam  
[claussen@pik.potsdam.de](mailto:claussen@pik.potsdam.de)  
Tel. 03 31-288-2522 / Fax.: -2600

Ulrich Corsmeier  
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Institut für Meteorologie und Klimaforschung  
Universität Karlsruhe  
Postfach 3640  
76021 Karlsruhe

Traute Crueger  
Meteorologisches Institut

Universität Hamburg  
Bundesstr. 55  
20146 Hamburg  
[crueger@dkrz.de](mailto:crueger@dkrz.de)

Michael Denhard  
Institut für Meteorologie und Geophysik  
J.W. Goethe Universität  
Postfach 111932  
60054 Frankfurt a.M.  
[denhard@meteor-uni-frankfurt.de](mailto:denhard@meteor-uni-frankfurt.de)  
Tel.: 0 69-798-2 21 58 / Fax.: -2 24 82

Ulrich Cubasch  
Deutsches Klimarechenzentrum  
Bundesstr. 55  
20146 Hamburg  
[cubasch@dkrz.de](mailto:cubasch@dkrz.de)  
Tel.: 040-41173-376 / Fax.: -441751

Klaus Dethloff  
AWI Potsdam  
Telegrafenberg A 43  
14473 Potsdam  
[dethloff@awi-potsdam.de](mailto:dethloff@awi-potsdam.de)  
Tel: 03 31-2 88 21 04

Mathias Deutsch  
Martin-Luther-Universität  
Halle-Wittenberg  
Institut für Prähistorische Archäologie  
Brandenburgweg 23 c  
06099 Halle/S.

Wolf Dombrowsky  
Institut für Soziologie der Universität Kiel  
Christian-Albrechts-Universität Kiel  
Wilhelm-Seelig-Platz 1  
24098 Kiel  
[wdbro@soziologie.uni-kiel.de](mailto:wdbro@soziologie.uni-kiel.de)  
Tel.: 04 31-8 80 34 65

Wolfgang Dorn  
Alfred-Wegener-Institut  
Forschungstelle Potsdam  
Telegrafenberg A 43  
14473 Potsdam  
[wdorn@awi-potsdam.de](mailto:wdorn@awi-potsdam.de)  
Tel.: 03 31 - 2 88 21 31/ Fax: -78

Alexander Dreves  
Kollwitzring 18  
22115 Hamburg  
[alex@drevesnet.de](mailto:alex@drevesnet.de)

Ralf Ebinghaus  
GKSS Forschungszentrum Geesthacht GmbH  
Institut für Physikalische und Chemische Analytik  
Max-Planck-Str. 1  
21502 Geesthacht

[ralf.ebinghaus@gkss.de](mailto:ralf.ebinghaus@gkss.de)  
Tel.: 0 41 52 - 87 23 54

Sabine Eckert  
Universität Rostock  
Fachbereich Landeskultur und Umweltschutz  
AG Angewandte Meteorologie u. Klimatologie  
Justus-von-Liebig-Weg 6  
18051 Rostock  
[Sabine.gelb@t-online.de](mailto:Sabine.gelb@t-online.de)

Josef Egger  
Meteorologisches Institut  
Universität München  
Theresienstr. 37  
80333 München  
[j.egger@lrz.uni-muenchen.de](mailto:j.egger@lrz.uni-muenchen.de)  
Tel.: 089-23944571 / Fax.: -2805508

Hans Elsasser  
Geographisches Institut  
Universität Zürich  
Winterthurstr. 190  
CH- 8057 Zürich  
[elsasser@geo.unizh.ch](mailto:elsasser@geo.unizh.ch)  
Tel: +41 -1- 635 51 80 – 81 / Fax: - 68 48

Wilfried Endlicher  
Geographisches Institut  
Humboldt-Universität Berlin  
Unter den Linden 6  
10099 Berlin  
[endlicher@rz.hu-berlin.de](mailto:endlicher@rz.hu-berlin.de)

Anita Engels  
Institut für Wissenschafts- und  
Technikforschung  
Universität Bielefeld  
Postfach 10 01 31  
33501 Bielefeld  
[engels@iwt.uni-bielefeld.de](mailto:engels@iwt.uni-bielefeld.de)  
Tel: 05 21 -106 46 72

Wolfgang Enke  
Institut für Meteorologie  
FU Berlin  
Carl-Heinrich-Becker-Weg 6 – 10  
12165 Berlin  
[wenke@bibo.met.fu-berlin.de](mailto:wenke@bibo.met.fu-berlin.de)  
Tel.: 0 30 - 83 87 11 34 / Fax: 0 30 / 85 93 90 95

Sylke Ernst  
Unterfeldring 46  
37085 Göttingen

Peter Fabian  
Lehrstuhl für Bioklimatologie und  
Immissionsforschung  
Universität München  
Am Hochanger 13

85354 Freising  
[Fabian@met.forst.tu-muenchen.de](mailto:Fabian@met.forst.tu-muenchen.de)  
Tel.: 0 81 61 - 71 47 40

Thomas Felis  
Fachbereich Geowissenschaften  
Universität Bremen  
Postfach 33 04 40  
28334 Bremen  
[tfelis@allgeo.uni-bremen.de](mailto:tfelis@allgeo.uni-bremen.de)  
Tel.: 04 21 / 2 18 77 69 / Fax: 04 21 / 2 18 31 16

Frauke Feser  
Gebäude 38 (GUA)  
GKSS Forschungszentrum  
Max-Planck-Strasse  
21502 Geesthacht  
[feser@gkss.de](mailto:feser@gkss.de)  
Tel.: 04152-87-2816 / Fax.: -1888

Franz Fiedler  
Institut für Meteorologie und Klimaforschung  
der Universität Karlsruhe(TH)  
Kaiserstr. 12 (Physikhochhaus)  
76128 Karlsruhe  
[F.Fiedler@phys.uni-karlsruhe.de](mailto:F.Fiedler@phys.uni-karlsruhe.de)  
Tel.: 0721-608-3355/ Fax.: -6102 (Uni)  
Tel.: 07247-82-2800 /Fax.: -4742

Martin Fortmann  
Alfred-Wegener-Institut  
Forschungsstelle Potsdam  
Telegrafenberg A 43  
14473 Potsdam  
[m.fort@awi-potsdam.de](mailto:m.fort@awi-potsdam.de)  
Tel.: 03 31 - 2 88 21 64 / Fax: -78

Heiko Freitag  
Geologisches Institut  
Abt. Sedimentologie  
Universität zu Köln  
Zuelpicher Str. 49 a  
50674 Köln  
[heiko.freitag@uni-koeln.de](mailto:heiko.freitag@uni-koeln.de)  
Tel.: 02 21 - 4 70 61 01

Burkhard Frenzel  
Universität Hohenheim  
Botanisches Institut (210)  
Garbenstr. 30  
70599 Stuttgart

Hans-Jürgen Fuchs  
Geographisches Institut  
Johannes-Gutenberg-Universität  
Becherweg 21  
55099 Mainz  
[hans.fuchs@uni-mainz.de](mailto:hans.fuchs@uni-mainz.de)  
Tel.: 0 61 31 - 3 92 44 91

Tobias Fuchs  
Global Precipitation Climatology Centre  
c/o Deutscher Wetterdienst  
P.O. Box 10 04 65  
63004 Offenbach/Main  
[tobias.fuchs@dwd.de](mailto:tobias.fuchs@dwd.de)  
Tel.: 069-80622872, Fax.: - 3759

Hans-Martin Fuessel  
Potsdam Institute for Climate Impact Research  
(PIK)  
Telegrafenberg A26  
P.O.Box 60 12 03  
14412 Potsdam  
[fuessel@pik-potsdam.de](mailto:fuessel@pik-potsdam.de)  
oder: [MartinFuessel@web.de](mailto:MartinFuessel@web.de)  
Tel.: 03 31 - 288 25 37; Fax: - 2570

Katharina Gabriel  
HU-Berlin  
[ka-ga@gmx.de](mailto:ka-ga@gmx.de)  
Lübecker Nachrichten

Friedrich Wilhelm Gerstengarbe  
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung  
Telegrafenberg A26  
P.O.Box 60 12 03  
14412 Potsdam  
[gerstengarbe@pik-potsdam.de](mailto:gerstengarbe@pik-potsdam.de)  
Tel.: 0331-288-2586 / Fax.: -2695

Jürgen Grieser  
Institut für Meteorologie u. Geophysik  
Universität Frankfurt  
Postfach 11 19 32  
60054 Frankfurt  
[Grieser@meteor.uni-frankfurt.de](mailto:Grieser@meteor.uni-frankfurt.de)

Dimitros Gylistras  
Geographisches Institut  
Universität Bern  
Hallerstr. 12  
CH – 3012 Bern  
Tel.: +41-31-631880  
[Gyalistras@giub.unibe.ch](mailto:Gyalistras@giub.unibe.ch)

Susanne Haeseler  
Institut für Meteorologie und Geophysik  
J. W. Goethe - Universität Frankfurt /Main  
Robert- Mayer- Str. 1/ V,  
60325 Frankfurt /Main  
[S.Heseler@em.uni-frankfurt.de](mailto:S.Heseler@em.uni-frankfurt.de)  
Tel.: 0 69-798-2 33 75 / Fax 0 69 798 224 82

Dörthe Handorf  
Stiftung A. Wegener Institut  
Forschungsstelle Potsdam  
Telegrafenberg A 43  
14473 Potsdam

[dhandorf@awi-potsdam.de](mailto:dhandorf@awi-potsdam.de)  
Tel: 03 31 - 288 21 31 / Fax: - 78

Christoph Hartmann  
Lindenweg 4  
65817 Vockenhausen

William Hay  
GEOMAR Kiel  
Wischhofstr. 1-3  
24148 Kiel  
[whay@geomar.de](mailto:whay@geomar.de)  
Tel. 04 31-880-28 20

Hermann Held  
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung  
Postfach 60 12 03  
14412 Potsdam  
[Held@pik-potsdam.de](mailto:Held@pik-potsdam.de)  
Tel.: 0331-288-2564

Gerhardt Helle  
Forschungszentrum Juelich GmbH  
ICG – 4, Isotopengeochemie & Paleoklima  
Leo-Brandt-Strasse  
52425 Juelich  
[g.helle@fz-juelich.de](mailto:g.helle@fz-juelich.de)  
Tel.: 0 24 61 - 61 45 90

Georg Hoffmann  
Laboratoire des Sciences du Climat et de  
l'Environnement  
D.S.M./Orme des Merisiers/Bat. 703/piece 22  
C.E. Saclay  
91191 Gif-sur-Yvette, cedex  
France

Michael Hollinde  
Wissenschaftsredakteur  
Herrenholz 10 – 12  
23556 Lübeck

Moses G. Iziomon  
Meteorologisches Institut der Universität Freiburg  
Werderring 10  
79085 Freiburg i. Br.  
[Iziomon@uni-freiburg.de](mailto:Iziomon@uni-freiburg.de)  
Tel.: 07 61-203-35 90

Jucundus Jacobeit  
Geographisches Institut  
Universität Würzburg  
Am Hubland  
97074 Würzburg  
[jucundus.jacobeit@mail.uni-wuerzburg.de](mailto:jucundus.jacobeit@mail.uni-wuerzburg.de)  
Tel.: 0391-888-5586 / Fax.: -5544

Daniela Jakob  
Max-Planck-Institut für Meteorologie  
Bundesstr. 55

20146 Hamburg  
[Jacob@dkrz.de](mailto:Jacob@dkrz.de)  
Tel.: 040-41173-313

Gerd Jendritzky  
Deutscher Wetterdienst  
Business Unit Human Biometeorology  
Stefan-Meier-Str. 4  
79104 Freiburg  
[gerd.jendritzky@dwd.de](mailto:gerd.jendritzky@dwd.de)  
Tel.: 7 61-2 82 02-54 / Fax.: -90

Julie Jones  
Institut für Gewässerphysik  
GKSS Forschungszentrum  
Max-Planck-Strasse  
21502 Geesthacht  
[jones@gkss.de](mailto:jones@gkss.de)  
Tel.: 04152-87-1845 Fax.: -1888

Martin Kappas  
Geographisches Institut  
Universität Mannheim  
L9, 1-2  
68131 Mannheim  
[Kappas@RUMMS.UNI-MANNHEIM.DE](mailto:Kappas@RUMMS.UNI-MANNHEIM.DE)  
Tel. 0621-181-1972, Fax.: -1955

Fritz Kasten  
Jochim-Wells-Weg 17  
22339 Hamburg

Ulrich Katenkamp  
BMBF/ Ref. 442  
Heinemannstr. 2  
53175 Bonn-Bad Godesberg  
[Ulrich.Katenkamp@BMBF.BUND.DE](mailto:Ulrich.Katenkamp@BMBF.BUND.DE)  
Tel.: 0228-57-3189 / Fax.: -3601

Seyed M. Kazem Maraschi  
Oceanography Faculty of University Chamran  
Golestan 6 Nr. 28  
IR- 19847 Velenjak Teheran IRAN

Michael Kerschgens  
Bereich Meteorologie  
Universität Köln  
Kerpener Str. 13  
50937 Köln  
[mk@meteo.uni-koeln.de](mailto:mk@meteo.uni-koeln.de)  
Tel. 02 21-4 70-36 83

Klaus Keuler  
Lehrstuhl Umweltmetereologie  
Brandenburgische Techn. Universität Cottbus  
Burger Chaussee, Haus 215  
Postfach 101344  
03013 Cottbus  
[Keuler@tu-cottbus.de](mailto:Keuler@tu-cottbus.de)  
Tel.: 0355-7813-114 / Fax.: -128

Rupert Klein  
Potsdam Institut für Klimafolgenforschung  
Abteilung Data & Computation  
Telegrafenberg C4  
14412 Potsdam  
[rupert.klein@pik-potsdam.de](mailto:rupert.klein@pik-potsdam.de)  
Tel.: 03 31 - 288 26 47 / Sekr: -26 37 / Fax: -26 00

Reinhard Kleßen  
Geographisches Institut  
Humboldt-Universität zu Berlin  
Chausseestr. 86  
Unter den Linden 6-8  
10099 Berlin  
[reinhard.klessen@rz.hu-berlin.de](mailto:reinhard.klessen@rz.hu-berlin.de)  
Tel. 0 30-3 08 75-6 43

Wolfgang Knorr  
MPI für Biogeochemie,  
PO Box 100164  
07701 Jena  
[wknorr@bgc-jena.mpg.de](mailto:wknorr@bgc-jena.mpg.de)  
Tel.: 0 36 41-64 37 45

Gerhard Koslowski  
Kurt-Schumacher-Straße 95  
21629 Neu Wulmsdorf

Werner Krauß  
Institut für Ethnologie  
Rothenbaumchaussee 64  
20148 Hamburg

Bernd Kromer  
Heidelberg Academy of Sciences  
INF 229  
69120 Heidelberg  
[Bernd.Kromer@iup.uni-heidelberg.de](mailto:Bernd.Kromer@iup.uni-heidelberg.de)  
Tel. +49 - 62 21 - 546 357 / Fax.: - 405

Joachim Krohn  
GKSS Forschungszentrum  
Max-Planck-Strasse  
21502 Geesthacht  
[Krohn@gkss.de](mailto:Krohn@gkss.de)  
Tel.: 04152-87-1665 / Fax.: -1723

Matthias Kuhle  
Geographisches Institut  
Universität Göttingen  
Goldschmidtstraße 5  
37077 Göttingen

Thomas Kuhn  
Universität Bremen  
FB 1  
Kufsteiner Straße 1  
28359 Bremen  
[tkuhn@uni-bremen.de](mailto:tkuhn@uni-bremen.de)

Tel.: 0421-218 4657

Werner Lahmer  
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.  
(PIK)  
Telegrafenberg C4  
PF 601203  
14412 Potsdam  
[Werner.Lahmer@pik-potsdam.de](mailto:Werner.Lahmer@pik-potsdam.de)  
Tel. 03 31-288-25 24

Frank Lamy  
Universität Bremen  
Fachbereich Geowissenschaften  
P.O.Box 330 440  
28334 Bremen  
[frankl@allgeo.uni-bremen.de](mailto:frankl@allgeo.uni-bremen.de)  
Tel.: 04 21 - 218 71 70 / Fax: - 31 16

Norbert Lanfer  
Geographisches Institut  
ASt. Landschaftsökologie  
Goldschmidtstr. 5  
37077 Göttingen

Heike Langenberg  
Nature (Editorial)  
Porters South  
4-6 Crinan Street  
London, N1 9XW  
UK  
[H.Langenberg@nature.com](mailto:H.Langenberg@nature.com)

Reinhold Lazar  
Institut für Geographie  
Karl-Franzens-Universität Graz  
Heinrichstr. 36  
A-8010 Graz  
[Reinhold.Lazar@kfunigraz.ac.at](mailto:Reinhold.Lazar@kfunigraz.ac.at)  
Tel.: +43 - 316 - 51 40

Christina Lefebvre  
Deutscher Wetterdienst  
Niederlassung Hamburg  
Jenfelder Allee 70A  
22043 Hamburg  
[Clefebvre@dwd.de](mailto:Clefebvre@dwd.de)  
Tel.: 040-6690-1460

Hans J. von Lengerke  
Volkswagen-Stiftung  
Kastanienallee 35  
30519 Hannover

Walter Lenz  
Zentrum für Meeres- und Klimaforschung  
Universität Hamburg  
Bundesstr. 55  
20146 Hamburg  
Tel. 040-42838-4523

[Walter.lenz@dkrz.de](mailto:Walter.lenz@dkrz.de)

Stephan Lorenz  
Universität Bremen  
Postfach 330 440  
28334 Bremen  
[lorenz@dkrz.de](mailto:lorenz@dkrz.de)

Walter Lükenga  
Fachgebiet Geographie im  
Fachbereich Kultur- und Geowissenschaften  
Universität Osnabrück  
Seminarstr.19  
49069 Osnabrück  
[wluengkeng@uos.de](mailto:wluengkeng@uos.de)

Jürg Luterbacher  
Geografisches Institut  
Universität Bern  
Hallerstr. 12  
CH-3012 Bern  
[juerg@giub.unibe.ch](mailto:juerg@giub.unibe.ch)  
Tel.: +41-316 - 31 85 45 / Fax.: - 11

Andreas Lücke  
Forschungszentrum Juelich GmbH  
ICG – 4  
52425 Juelich  
[a.luecke@fz-juelich.de](mailto:a.luecke@fz-juelich.de)  
Tel.: 0 24 61 - 61 45 90

Cornelia Marx  
Möhringer Landstrasse 65  
70563 Stuttgart

Augusto Mangini  
Heidelberger Akademie der Wissenschaften  
Im Neuenheimer Feld 229  
69120 Heidelberg  
[augusto.mangini@iup.uni-heidelberg.de](mailto:augusto.mangini@iup.uni-heidelberg.de)  
Tel.: 0 62 21 - 54 63 08 / Fax: - 54 64 05

Gunter Menz  
Meckenheimer Allee 166  
53115 Bonn  
[Menz@rsrg.uni-bonn.de](mailto:Menz@rsrg.uni-bonn.de)  
Tel. 02 28 - 73 97 00

Arne Micheels  
Institut für Geologie und Paläontologie  
SFB 275 TP B5  
Universität Tübingen  
Sigwartstraße 10  
72076 Tübingen  
[micheels@gmx.de](mailto:micheels@gmx.de)  
Tel. 07071-2973081

Nicole Mölders  
Institut für Meteorologie  
Universität Leipzig

Stephanstrasse 3  
04103 Leipzig  
[moelders@curie.meteo.uni-leipzig.de](mailto:moelders@curie.meteo.uni-leipzig.de)  
Tel.: 03 41 - 973 28 72 / Fax: - 99

Detlev Müller  
Max-Planck-Institut für Meteorologie  
Bundesstraße 55  
20146 Hamburg  
[detlev.mueller@dkrz.de](mailto:detlev.mueller@dkrz.de)  
Tel.: 040-41173-306

U. Neff  
Heidelberger Akademie der Wissenschaften  
Im Neuenheimer Feld 229  
69120 Heidelberg  
Tel.: 0 62 21 / 54 63 08 / Fax: - 54 64 05

Jörg Negendank  
GeoForschungszentrum Potsdam  
Postfach 60 07 51  
14407 Potsdam  
[neg@gfz-potsdam.de](mailto:neg@gfz-potsdam.de)  
Tel.: 0331-288-1301 / Fax.: -1302

Heinrich Niederböster  
Margeritenweg 7  
21360 Vögelsen

Dirk Olbers  
Alfred Wegener Institut für Polar- und  
Meeresforschung  
Postfach 12 01 61  
27515 Bremerhaven  
[dolbers@AWI-Bremerhaven.de](mailto:dolbers@AWI-Bremerhaven.de)  
Tel. 04 71-48 31 17 60

H. Österle  
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.  
(PIK)  
Telegrafenberg C4  
PF 601203  
14412 Potsdam  
[Oesterle@pik-potsdam.de](mailto:Oesterle@pik-potsdam.de)  
Fax: 331 / 28 82 26 95

Jürgen Paetzold

Gerhard Petschel-Held  
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.  
(PIK)  
Telegrafenberg C4  
PF 601203  
14412 Potsdam  
[gerhard@pik-potsdam.de](mailto:gerhard@pik-potsdam.de)  
[gerhard.petschel@pik-potsdam.de](mailto:gerhard.petschel@pik-potsdam.de)  
Tel.: 03 31 – 288- 25 13

Andreas Pfeiffer  
Meteorologisches Institut

Universität München  
Lehrstuhl Prof. Egger  
Theresienstrasse 37  
80333 München  
[a.pfeiffer@lrz.uni-muenchen.de](mailto:a.pfeiffer@lrz.uni-muenchen.de)  
Tel.: 0 89 - 23 94-46 36 / Fax: - 2 80 55 08

Christian Pfister  
Historisches Institut der Universität Bern  
Lerchenweg 36  
CH – 3000 Bern 9  
[Christian.Pfister@hist.unibe.ch](mailto:Christian.Pfister@hist.unibe.ch)  
Tel. +41 – 31- 631-83 84 / Fax.: -4866

Arnt Pfitzenmeyer  
GKSS Forschungsinstitut  
Max-Planck-Strasse  
21502 Geesthacht  
[pfitz@gkss.de](mailto:pfitz@gkss.de)

Andreas Philipp  
Geographisches Institut  
Universität Würzburg  
Am Hubland  
97074 Würzburg  
[andreas.philipp@mail.uni-wuerzburg.de](mailto:andreas.philipp@mail.uni-wuerzburg.de)

Stefan Pohl  
Potsdam-Institut für Klimaforschung (PIK)  
Telegrafenberg C4  
PF 601203  
14412 Potsdam  
[pohl@pik-potsdam.de](mailto:pohl@pik-potsdam.de)  
Tel.: 03 31-288-26 84, Fax.: - 95

Piia Post  
Department of Environmental Physics  
University of Tartu  
Ulikooli 18  
51014 Tartu, Estonia  
[piia@physic.ut.ee](mailto:piia@physic.ut.ee)  
Tel.: +372 -7 - 37 55 52 / Fax: -556

Jörg Rapp  
Institut für Meteorologie und Geophysik  
J. W. Goethe- Universität Frankfurt /Main  
Postfach 11 19 32  
60054 Frankfurt/ Main  
[Rapp@meteor.uni-frankfurt.de](mailto:Rapp@meteor.uni-frankfurt.de)  
Tel.: 0 69 – 80 62 28 75 / Fax.: - 798 224 82

E. Raschke  
GKSS-Forschungszentrum  
Institut für Atmosphärenphysik  
Max-Planck-Straße  
21502 Geesthacht  
[raschke@gkss.de](mailto:raschke@gkss.de)

Christian Reithmeier  
DLR-Institut für Physik der Atmosphäre

Oberpfaffenhofen  
82234 Wessling  
[Christian.Reithmeier@dlr.de](mailto:Christian.Reithmeier@dlr.de)  
Tel.: 0 81 53 - 28-25 61

Annette Rinke  
Alfred-Wegener-Institute  
Forschungsstelle Potsdam  
Telegrafenberg A 43  
14473 Potsdam  
[arinke@awi-potsdam.de](mailto:arinke@awi-potsdam.de)  
Tel.: +49 - 331 – 288-2130/ Fax: -2137

Erich Roeckner  
Max-Planck-Institut für Meteorologie  
Bundesstr. 55  
20146 Hamburg  
[roeckner@dkrz.de](mailto:roeckner@dkrz.de)

Birgit Röttgen  
Seumannstrasse 177  
45141 Essen

Bruno Rudolf  
Global Precipitation Climatology Centre  
c/o Deutscher Wetterdienst  
P.O. Box 10 04 65  
63004 Offenbach/ Main  
[bruno.rudolf@dwd.de](mailto:bruno.rudolf@dwd.de)  
Tel.: 069 - 80 62 27 65 / Fax: - 37 59

Robert Sausen  
DLR-Institut für Physik der Atmosphäre  
Oberpfaffenhofen  
82234 Weßling  
[robert.sausen@dlr.de](mailto:robert.sausen@dlr.de)  
Tel.: 08153-28-2501 / Fax.: -1841

Dirk Schäfer  
Geographisches Institut  
Johannes-Gutenberg-Universität Mainz  
Becker Weg 21  
55099 Mainz  
[Dirk.Schaefer@uni-mainz.de](mailto:Dirk.Schaefer@uni-mainz.de)

Carolyn Scheurle  
FB 5 – Geowissenschaften  
Universität Bremen  
Postfach 33 04 40  
28334 Bremen  
[scheurle@uni-bremen.de](mailto:scheurle@uni-bremen.de)  
Tel.: 0421 - 2189132

Christoph Schneider  
Institut für Physische Geographie  
Universität Freiburg i.Br.  
Werderring 4  
79085 Freiburg i.Br.  
[chri@ipg.uni-freiburg.de](mailto:chri@ipg.uni-freiburg.de)  
Tel.: 07 61 - 203 35 48 / Fax: - 35 96

Christian-D. Schönwiese  
Institut für Meteorologie und Geophysik  
J. W. Goethe Universität  
Postfach 11 19 32  
60054 Frankfurt a.M.  
[schoenwiese@meteor.uni-frankfurt.de](mailto:schoenwiese@meteor.uni-frankfurt.de)  
Tel. 0 69-798-2 35 78 / Fax.: -2 24 82

Corinna Schrum  
Institut für Meereskunde  
Universität Hamburg  
Tropelwitzstr. 7  
22529 Hamburg  
[schrum@dkrz.de](mailto:schrum@dkrz.de)

Evi Schuepbach  
CABO, Phys. Geogr.  
Universität Bern  
Hallerstr. 12  
CH-3012 Bern

Andreas Schwarz  
Stiftung Deutscher Küstenschutz  
Arnold-Heise-Str. 25  
20249 Hamburg  
Tel. 0 40-48 34 16 / Fax.: - 26

Ingeborg Schwarzl  
Institut für Meteorologie und Geophysik  
Hohe Warte 38  
A – 1190 Wien

Rüdiger Schweer  
Referat Klimaschutz  
Hessisches Ministerium für Umwelt,  
Landwirtschaft und Forsten  
Mainzer Str. 80  
65189 Wiesbaden  
[r.schweer@mulf.hessen.de](mailto:r.schweer@mulf.hessen.de)  
Tel.: 06 11-815 11 71

Tilo Semmler  
MPI für Meteorologie  
Bundesstr. 55  
20146 Hamburg

Alexander Siegmund  
Geographisches Institut  
Lehrstuhl für Physische Geografie und  
Länderkunde  
Universität Mannheim,  
68131 Mannheim  
[siegmund@rumms.uni-mannheim.de](mailto:siegmund@rumms.uni-mannheim.de)  
Tel.: 06 21 – 181 19 73 / Fax.: –19 55

Markus Sommerfeld  
Fichtenstrasse 7  
63526 Erlensee

Vera Stadie  
Dillstr. 6  
20146 Hamburg

Tim Staeger  
Institut für Meteorologie und Geophysik  
AG Meteorologische  
Umweltforschung/Klimatologie  
Universität Frankfurt  
Postfach 111932  
60054 Frankfurt/M.  
[staeger@meteor.uni-frankfurt.de](mailto:staeger@meteor.uni-frankfurt.de)  
Tel.: 0 69 – 79 82 – 89 89

Anke Steppuhn  
Institut und Museum für Geologie und  
Palaeontologie  
Sigwartsstraße 10  
72076 Tübingen  
[anke.steppuhn@uni-tuebingen.de](mailto:anke.steppuhn@uni-tuebingen.de)  
Tel.: +49 -7071 - 2973081

Thomas Stocker  
Physikalisches Institut  
Abt. Klima und Umweltphysik  
Sidlerstr. 5  
CH-3012 Bern  
[stocker@climate.unibe.ch](mailto:stocker@climate.unibe.ch)  
Tel. 03 16 31 44 62

Hans von Storch  
GKSS Forschungszentrum  
Institut für Gewässerphysik  
Postfach 11 60  
21494 Geesthacht  
[storch@gkss.de](mailto:storch@gkss.de)  
Tel.: 04152-87-1831 / Fax.: -2832

Jin-Song von Storch  
Institut für Meteorologie  
Universität Hamburg  
Bundesstr. 55  
20146 Hamburg  
[Jinsong.von.Storch@gkss.de](mailto:Jinsong.von.Storch@gkss.de)  
Tel.: 0 41 52 - 87-18 34 / Fax – 28 18

Katrin Sturm  
Institut für Geographie  
Universität Würzburg  
Am Hubland  
97074 Würzburg  
[geog150@mail.uni-wuerzburg.de](mailto:geog150@mail.uni-wuerzburg.de)  
Tel: 09 31 - 8 88 46 90

Jürgen Sündermann  
Institut für Meereskunde  
Universität Hamburg  
Tropowitzstr. 7  
22529 Hamburg  
[suendermann@ifm.uni-hamburg.de](mailto:suendermann@ifm.uni-hamburg.de)

Silke Trömel  
Institut für Meteorologie und Geophysik  
Universität Frankfurt am Main  
Robert-Mayer-Strasse 1  
60325 Frankfurt/Main  
[s.troemel@meteor.uni-frankfurt.de](mailto:s.troemel@meteor.uni-frankfurt.de)  
Tel.: 0 69-798-2 51 12

Manfred Töpfer  
Deutscher Wetterdienst  
Niederlassung Weimar  
Postfach 20 04  
99401 Weimar

Richard Tol  
„Sustainability and Global Change“  
Universität Hamburg  
Bundesstraße 55  
22146 Hamburg  
[tol@dkrz.de](mailto:tol@dkrz.de)  
Tel.: 040-42838-7007/8, Fax.: –9

Heinz Vos  
Forschungszentrum Juelich GmbH  
ICG – 4  
52425 Juelich  
[h.vos@fz-juelich.de](mailto:h.vos@fz-juelich.de)  
Tel.: 0 24 61 - 61 23 03

Reinhard Voss  
Max-Planck Institut für Meteorologie  
Bundesstrasse 55  
20146 Hamburg  
[reinhard.voss@dkrz.de](mailto:reinhard.voss@dkrz.de)  
Tel.: 040 - 4 11 73 - 106 / Fax: 040 - 44 17 51

Andreas Walter  
Institut für Meteorologie und Geophysik  
Universität Frankfurt/Main  
Postfach 11 19 32  
60054 Frankfurt/Main  
[a.walter@meteor.uni-frankfurt.de](mailto:a.walter@meteor.uni-frankfurt.de)

Heinz Wanner  
Geographisches Institut  
Klimatologie und Meteorologie  
Hallerstr. 12  
CH – 3012 Bern  
[wanner@giub.unibe.ch](mailto:wanner@giub.unibe.ch)  
Tel.: +41 – 31 - 88 85 / Fax.: -11

Peter Weingart  
Fakultät für Soziologie  
Institut für Wissenschafts- und Technikforschung  
Universität Bielefeld  
Postfach 10 01 31  
33501 Bielefeld  
[weingart@uni-bielefeld.de](mailto:weingart@uni-bielefeld.de)  
Tel.: 05 21 - 106-46-55

Ulrich Wendling  
Deutscher Wetterdienst  
GB FE  
Kaiserleistr. 42  
63067 Offenbach/M.  
[ulrich.wendling@dwd.de](mailto:ulrich.wendling@dwd.de)  
Tel.: 069-8062-2702

Peter C. Werner  
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung  
Telegrafenberg C4  
PF 60 12 03  
14412 Potsdam  
[werner@pik-potsdam.de](mailto:werner@pik-potsdam.de)  
Tel. 03 31-288 25 87

Martin Werner  
MPI Meteorologie Hamburg  
z.Zt. Department of Meteorology  
Stockholm University  
S-10691 Stockholm  
[Werner@dkrz.de](mailto:Werner@dkrz.de)  
Tel. +046-8-15 24 12 / Fax:- 92 95

Martin Widmann  
GKSS Forschungszentrum  
Institut für Gewässerphysik  
Max-Planck-Straße  
21502 Geesthacht  
[widmann@gkss.de](mailto:widmann@gkss.de)  
Tel.: 0 41 52 - 87 - 18 35 / Fax.: - 1888

Volkmar Wirth  
Meteorologisches Institut  
Universität München  
Theresienstr. 37  
80333 München  
[volkmar@meteo.physik.uni-muenchen.de](mailto:volkmar@meteo.physik.uni-muenchen.de)  
Tel. 0 89 - 23 94 43 69 / Fax.: -2 80 55 08

Katja Woth  
GKSS Forschungszentrum  
Max-Planck-Straße  
21502 Geesthacht  
[Woth@gkss.de](mailto:Woth@gkss.de)  
Tel.: 04152-87-2828 Fax.: -1888

Yano, Jun-Ichi  
Meteorologisches Institut  
Universität Hamburg  
Bundesstrasse 55  
20146 Hamburg

Zahnen, Barbara  
Geografisches Institut  
Humboldt-Universität Berlin  
Chausseestr. 86  
Unter den Linden 6-8

10099 Berlin  
[barbara.zahnen@rz.hu-berlin.de](mailto:barbara.zahnen@rz.hu-berlin.de)  
Tel. 0 30-3 08 75-642

Kirstin Zickfeld  
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung  
Postfach 60 12 03  
14412 Potsdam  
[Zickfeld@pik-potsdam.de](mailto:Zickfeld@pik-potsdam.de)

Peter Zimmermann  
MOGUNTIA Global Modelling  
Ludwigstr. 10  
65479 Raunheim  
[zimmermann@funke-consult.de](mailto:zimmermann@funke-consult.de)  
Tel.: 06142-22777

Eduardo Zorita  
GKSS-Forschungszentrum  
Max-Planck-Straße  
21502 Geesthacht  
[Eduardo.Zorita@gkss.de](mailto:Eduardo.Zorita@gkss.de)  
Tel.: 04152-87-2828 / Fax.: -1888