

TRADITIO ET INNOVATIO



DAS FORSCHUNGSMAGAZIN DER UNIVERSITÄT ROSTOCK

8. JAHRGANG • HEFT 1/2003 • 4,50 EURO

KLIMAVARIABILITÄT

DAS KLIMA IM WANDEL

Ohne Kabel mit Highspeed surfen und 200 € sparen.

Steigen Sie jetzt ein.

Jetzt können Sie mit T-DSL zu Hause von jedem Raum aus superschnell ins Internet, und das ohne Kabel. Das T-Sinus 130 DSL datapack mit integriertem T-DSL Modem macht's möglich. Sie können sogar von Ihrer Terrasse aus schnurlos über T-DSL online gehen. Auch mit mehreren PCs gleichzeitig. Drucker und Festplatten können gemeinsam genutzt werden. Also, surfen Sie da, wo Sie wollen.

T-Sinus 130 DSL datapack

Nur **199,99 €***

Das T-Sinus 130 DSL datapack für Notebooks ist ebenfalls für 199,99 € erhältlich.*

Preis ohne Anschluss
und Rechnung Online
399,99 €.

Sie sparen 200,- €.



Infos und bestellen

www.telekom.de/aktion

Ein Klick für alles



*Preis gilt nur in Verbindung mit der Beauftragung von Rechnung Online und einem T-DSL Anschluss, durch den weitere Kosten entstehen. Monatl. Grundpreis ab 12,99 € zzgl. nutzungabhängiger Online-Erlöse. Einmaliger Bereitstellungspreis bei Selbstmontage 99,95 €. T-DSL ist in vielen Anschlussbereichen verfügbar.

Weitere Infos auch unter freecall 0800 33 01300 oder im T-Punkt!

T-Punkt Business Rostock
Doberaner Straße 10 - 12
18057 Rostock

T-Punkt Business Schwerin
Grabenstr. 10
19061 Schwerin

T-Punkt Stralsund
Osseneyer Str. 44 - 45
18439 Stralsund

T-Punkt Greifswald
Schuhagen 21
17489 Greifswald

T-Punkt Wismar
Hinter dem Rathaus 10
23966 Wismar

So geht man heute ins Internet

T · · · DSL · · ·

KLIMAVARIABILITÄT

DAS KLIMA IM WANDEL



Prof. Dr. Wolfgang Riedel
Vorsitzender des
Wissenschaftsverbundes
Um-Welt der
Universität Rostock

Wer das Leitthema dieses Forschungsmagazins bei einer der acht Fakultäten unserer Universität festmachen will, merkt sehr schnell beim Blättern, Lesen und Studieren der Autoren, dass er sich im Reich der Inter- und Multidisziplinarität befindet. Die Forschungsschwerpunkte der Universität, die bewusst in den letzten Jahren zu Motoren der fachlichen Entwicklung und Drittmittelforschung unserer Universität herangereift sind, kennen das hier dargestellte Forschungsgebiet in der Form nicht. Es wird aber sehr erfreulich deutlich, wie höchst geeignet eine breit ausgebildete Wissenschaftsstruktur einer Volluniversität ist, auf gesellschaftliche Fragen und Herausforderungen durch ein hohes Maß an Grundlagenforschung und darauf basierender anwendungsbezogener Forschung zu reagieren. Den Autoren, die aus den verschiedensten Fakultäten (Agrar- und Umweltwissenschaftliche, Medizinische, Mathematisch-Naturwissenschaftliche) sowie den mit der Universität in vielfacher Synergie verbundenen An-Instituten und Forschungseinrichtungen stammen, sei herzlichst gedankt. Dieses Heft ist gewissermaßen ein Auftrag an den Wissenschaftsverbund Um-Welt der Universität, dieses Themenfeld weiter zusammenzuführen und zu entwickeln, auch um die Leistungsfähigkeit der Rostocker Universität in diesem Bereich, die vielfach noch gar nicht erkannt worden ist, zu dokumentieren und zu fördern.

Im Blick auf das Thema des Heftes kann festgestellt werden: In der Öffentlichkeit wird vielfach kontrovers über Vermutungen und angeblich endgültige Beweise diskutiert, wobei natürliche Klimaschwankungen und klimatisch bedingte Umweltveränderungen oft durcheinander gebracht werden. Das der Mensch heute das Klima mit beeinflusst, ist durch gesicherte Erkenntnisse nicht mehr von der Hand zu weisen. Von abschließenden Beweisen sind wir jedoch noch weit entfernt. Dieses Heft gibt ein farbiges Mosaik von Forschungsergebnissen, von der Meteorologie bis zur Darstellung der Klimadynamik, von den Auswirkungen des Klimas in vielfältiger Art auf Pflanze, Tier und Mensch bis hin zur Entwicklung der gesamten Atmosphäre. Das Thema ist für eine Universität unentbehrlich!

Die Agenda 21, 1992 auf der Konferenz der Vereinten Nationen in Rio beschlossen, von 170 Staaten unterzeichnet, weist den Bereichen Wissenschaft und Technik eine Schlüsselrolle zu und fordert in den Kapiteln 35 und 36 Hochschulen und Universitäten zu konkreten Lösungen für die globalen Herausforderungen auf! Auch die Universität Rostock hat sich diesem Ziel verschrieben und setzt es in Forschung und Lehre um, für viele deutlich, für viele noch unbemerkt. Auch die Nachhaltigkeitsarbeit über die Fächergrenzen hinweg an der Universität Rostock, die sich mit selbst scheinbar banalen Themen der Nachhaltigkeit im technischen Bereich einer Universität beschäftigt, wird dargestellt.

Zur nachhaltigen Entwicklung der Universität sind alle ihre Mitglieder aufgerufen. Das Thema dieses Forschungsmagazins wird uns auch in Zukunft weiter begleiten.

Prof. Dr. Wolfgang Riedel

Vorsitzender des Wissenschaftsverbundes
Um-Welt der Universität Rostock

OBEN ANKOMMEN

wo studieren am schönsten ist
studieren am meer



www.uni-rostock.de

UMWELTSYSTEM

Klimaschwankungen,
Klimaveränderungen,
Klimawirkungen
Ein Diskurs zur Methodologie
der Umweltsystemforschung

Seite 4

DAS BODENNAHE OZON

Ein Leitindikator der
Klimaveränderung
und seine Wirkung
auf Pflanzen

Seite 7

OZEANOGRAPHIE

Klimavariabilität und
Fischbestandsschwankungen

Seite 12

KLIMATHERAPIE

Klimareize helfen heilen

Seite 17

KLIMAVARIABILITÄT

Klimadynamik
und
Ozonvariabilität

Welchen Einfluss hat die
beobachtete großräumige
Änderung des Klimas auf
die Ozonänderung?

Seite 20

DERMATOLOGIE

Sonne und Haut

Bedeutung von Sonne und
UV-Strahlen für die Dermatologie

Seite 24

GLOBALE ERWÄRMUNG:

Wegbereiter für tropische
Infektionskrankheiten
auch in Deutschland

Seite 28



BIOLOGIE

Habitatfragmente als Modellsysteme
Biodiversitätsforschung im
Zeitalter des globalen Wandels

Seite 32

WINDKRAFT

Forschungsvorhaben – Rechtliche Problem-
stellungen bei der Planung und
Genehmigung von Offshore- Windener-
gieanlagen im Küstenmeer und der
Ausschließlichen
Wirtschaftszone (AWZ)

Seite 38



LEUCHTENDE WOLKEN

Trends in der
oberen Atmosphäre

Seite 40



NACHHALTIGKEIT

AGENDA 21

Nachhaltige Entwicklung an der
Universität Rostock

Seite 44

NACHRICHTEN

Mit Archimedes hart am Limit
Wettbewerb der besten
Papier-Bootsbauer

Seite 47



Veranstaltungen

Seite 48

10. Papierbrückenwettbewerb
der UNI Rostock

Seite 48

Neue Konzepte für die Konstruktion
von Implantatoberflächen

Seite 48

Impressum

Herausgeber:

Der Rektor der Universität Rostock

Wissenschaftlicher Beirat:

PD Dr. Siegmund Adomssent
Prof. Dr. Dr. Volker Bienengraber
Prof. Dr. Wilfried Erbguth
Dipl.-Phys. Renate Kurth
Prof. Dr. Karl-Heinz Meiwes-Broer
Prof. Dr. Hermann M. Niemann
Prof. Dr. Wolfgang Riedel
Dr.-Ing. Olaf Wild

Redaktion:

Presse- und Informationsstelle
der Universität Rostock
Dr.-Ing. Karl-Heinz Kutz (V.i.S.d.P.)
Universitätsplatz 1, 18051 Rostock
Tel. 0381/4 98 10 12, Fax: 0381/4 98 10 32
e-mail: pressestelle@uni-rostock.de

Gesamtherstellung: Hinstorff Verlag GmbH
Lagerstr. 7, 18055 Rostock

Druck: Stadtdruckerei Weidner GmbH

Auflage: 3000

ISSN-Nr.: 1432-1513

Erscheinungsweise: zweimal jährlich

Heft II/2003 (8. Jg.) erscheint im Nov. 2003

Redaktionsschluss für das Heft I/2003:
16. Juni 2003.

Die Rechte der veröffentlichten Beiträge
einschließlich der Abbildungen, soweit nicht
anders gekennzeichnet, liegen
bei der Universität Rostock. Copyright
nur bei vorheriger Anfrage in der der
Redaktion und mit Angabe der Quelle.

Bildnachweis:

Der Nachweis der Abbildungen und Fotos
wird von den Autoren in den einzelnen
Beiträgen geführt.



KLIMASCHWANKUNGEN, KLIMAVERÄNDERUNGEN, KLIMAWIRKUNGEN

EIN DISKURS ZUR METHODOLOGIE DER UMWELTSYSTEMFORSCHUNG

● Otto Stüdemann ● Sandra Ody ● Sabine Eckert

Gegenwärtig vollzieht sich ein Paradigmenwandel vom Ressourcenschutz zum holistischen Ansatz des System- und Prozessschutzes unserer Umwelt. Dadurch entsteht ein Erfordernis der Prüfung und Entwicklung der Methodologie und Analytik der Umweltsystemanalyse. Einher geht das Definieren von Zielen, Gegenständen, Methoden und Begriffen der sich entwickelnden neuen Wissenschaftsgebiete und ihre Stellung im Wissenschaftsprofil des 21. Jahrhunderts.

Today a change of paradigm from protection of resources to a holistic approach of system- and process protection of our environment takes place. Thereby the verification and development of the methodology and the analytic of environmental system analysis is necessary defining aims, objects, methods and terms of the recent fields of research and their position in the research profile of 21st century.

Die Wissenschaftler der AG „Angewandte Meteorologie und Umweltsystemanalyse“ am Fachbereich Landeskultur und Umweltschutz bedurften in den letzten zehn Jahren bei ihren Forschungen immer wieder der Klärung von Ursachen der Klimavariabilität.

Forschungsthemen der AG „Angewandte Meteorologie und Klimatologie“ über Klimawirkungen sind

1. Bodenerosion – ein gerichteter Stofftransport
2. Innerstädtisches Klima – Klimageografie verschiedener Prozessskalen
3. Bodennahes Ozon – subregionale Raum-Zeit-Variabilität
4. Phytotoxischer Ozongrenzwert – irreversible Schadeffekte
5. Geographisches Muster phytotoxischer Ozonwirkungspotentiale – Landschaftsökologisches Phänomen

Der statistische bzw. der wahrscheinlichkeitsstatistische Ansatz kann nur Aussagen über Signifikanzen der zeitlichen und räumlichen Homogenität oder Heterogenität liefern. Der Ansatz nach dem Kausalitätsprinzip und Hierarchiekonzept war erfolgversprechend. Es galt, nach diesem kombinierten Ansatz ein Kategoriensystem zu entwickeln, das uns in die Lage versetzen sollte, Prozesse umfassend zu charakterisieren (Tab. 1). An welcher Stelle komplizierter Prozessstrukturen waren die Effekte eines Subprozesses in einem Schwankungsbereich, ohne dass sich die Struktur oder die Prozesscharakteristik veränderte; welche

Ursache führte im System zu Emergenzen, zu gerichteten oder alternierenden Rückkopplungen; wo traten irreversible Effekte der Dosis-Wirkungs-Beziehungen auf; welche Schwellenwerte sind systememanent? Solche und ähnliche Fragen waren zu beantworten, um Systemrahmen für die Klärung einzelner Phänomene zu entwickeln.

Wir schufen uns ein Kategoriensystem zur Charakterisierung eines Prozesses, genauer formuliert: eines Subprozesses. Damit waren wir in der Lage, die Multiskale Analyse für die Prozessforschung zu definieren:

Die Multiskale Analyse ist eine Analyse eines landschaftsökologischen Phänomens, mit deren Hilfe jeweils nach speziell zu entwickelnden hierarchischen Hypothesensystemen

die Prozesshierarchien

das Wirkungsgefüge von Prozesspotentialen

die prozessauslösenden Faktoren

die Steuergrößen –

skalen- und phänomenbezogen erkannt werden können.

Das Ziel der Multiskalen Analyse ist die Bestimmung dimensionsspezifischer prozessauslösender Faktoren.

Prozesskategorie	Inhalt	Methodologische Aspekte und Notizen
Prozess - generer	- Existenzfähigkeit der Prozesse von: • Elementarprozessen • physikalisch-geographischen Prozessen, bio-geographischen Prozessen, geographischen Prozessen • geogenen Prozessen • gesellschaftlichen Prozessen	kognitiver Ansatz: • additive Geodaten • Flächkopplungswerte • Fernerkundungsdaten • typologische Geodaten • Subjektivität der „physikalischen Träger“ (B&L, 1993: 2) Kriterien: • positive, negative oder alternierende Rückkopplung • Intensität und -dauer der Wirkung des Prozessverändernden Faktors bei anthropogen bedingten Rückkopplungen • Selbstverstärkung, Schwelchen- und -bremsung • subjektive und gesellschaftliche Beobachtungs- und Interpretation
Prozess - elementare	- Raum-Zeit-dimensionale Größenänderungen von Prozessen • einzelner Punktprozesse der Geosphäre • Klimatische, Hydrologische, Pedologische, Biologische, Soziologische • über die Landschaftswissenschaft hinausgehend • Entwicklung von Subsystemsketten • -Systemverfall bei gering anthropogen gestörten, natürlichen	Informationsbasis der Landschaftswissenschaft (HERZ, 1973): • Prozessraum und -zeit für Abstraktionsniveau, Klimologie, Informationslogik und Gesellschaftswissenschaften • Raum-Ökologie und -ökologie, Prozessökologische Faktoren • Systemverfall im -logischen System • Zeitraum zwischen dem Elementen aus Anfangswertprozessen und einer mehrfachen Antwort zur Bedeutung des Werteprozesses
Prozess - komplexifizieren	• Stellung eines Prozesses im Beziehungsgeflecht der Gesamtheit • Stellung eines Prozesses in einer Prozesskette • Stufe der Komplexität in der Landschaftswissenschaft und der Bedeutung von einflussreichen Eingriffen in die Geosphäre • Querschnitt-Studien von Prozessen	Methodik analysiert und -sücht von Prozessen, Heranziehen Monitoring (B&L&L, 1993) • Direkte und Logische Analyse der Charakteristika von Analysen • geographische Abhängigkeiten • Beziehungen zwischen geographischen Mustern und Prozessen • Selbstgeographie
Prozess - funktion	- Mittler und verbindende Wirkung von Prozessen • Ausbildung und -transfer von Wasser-, Stoff- und Energiegehaltungen, von räumlichen, -räumlichen und -räumlichen • Ausbildung und Veränderung von Raummustern, topographischen Eigenschaften von Böden und Fließgewässern • Arten der Migration mobiler Organismen • Darstellung der Interaktion (Gesellschaft - Natur) • Wechselwirkungen zwischen Ökosystemen • Systemisierung von Prozessen	Funktionale, -struktural und -prozessual für verschiedenen Prozessanalysen: nach -dimensionalen und -dimensionalen Faktoren
Prozess - regulatorisch	- Regelung und Steuerung von Prozessen • Kennzeichnung -prozessualer -gesamtheit und -gesamtheit -gesamtheit • Entwicklung der -gesamtheit -gesamtheit -gesamtheit • Entwicklung der -gesamtheit -gesamtheit -gesamtheit • Entwicklung der -gesamtheit -gesamtheit -gesamtheit	• Dynamische und -dimensionale Prozesskette • Variations- und -dimensionale Bedeutung von Prozessen • -dimensionale Bedeutung von Prozessen • -dimensionale Bedeutung von Prozessen

Tabelle 1: Kategoriensystem zur Charakterisierung eines Prozesses nach dem holistischen Ansatz

Zusammen mit der Formulierung des Landschaftsökologischen Axioms war die Ausarbeitung des Rostocker prozessorientierten hierarchischen Ozon-Monitoringsystems (RHOMS) zum Nachweis anthropogener Klimaveränderungen gegeben.

Alle landschaftsökologischen Phänomene entstehen durch hierarchisch geordnete Prozesse unterschiedlicher Raum-Zeit-Skalen.

Mit diesen Fortschritten in der Entwicklung der Methodologie der Umweltsystemanalyse waren wir in der Lage, die Klimavariabilität durch die Begriffe Klimaschwankung und Klimaveränderung zu differenzieren.

Klimaschwankungen sind durch Variationsbreiten der räumlichen Heterogenität und / oder der zeitlichen Variabilität statistischer Parameter der Zeitreihen meteorologischer Elemente und Komponenten gekennzeichnet, die auf ein und derselben Prozesscharakteristik beruhen.

Die Darstellung der Variationsbreite kann durch Kontrast- und / oder Distanzmatrizen erfolgen (inventarbezogen). Zur Beschreibung der Dynamik skalarer und vektorieller Größen eignen sich Raum-Zeit-Gradienten.

Klimaschwankungen bedingen keine qualitative Umstellung klimaabhängiger Systeme. Es erfolgt keine Veränderung der Systemstruktur. Der Impuls oder die Anregung von Prozessen ist nicht stark genug, die Prozesscharakteristik zu verändern.

Ursachen der Klimaschwankungen bestehen in der Dynamik sich selbst stabilisierender Rückkopplungsprozesse (alternierend, Langzeitvariabilität) sowie in der Persistenz von gekoppelten Klimasystemen (Trägheits- bzw. Sensitivitätsverhalten, Quellen- und Senkenfunktionen)

Klimaveränderungen beruhen auf systemverändernden natürlichen oder anthropogenen Anregungen des Atmosphäre-Hydrosphäre-Biosphäre-Pedosphäre- Kopplungssystems des Klimas.

Effekte der Klimaveränderung sind:

Qualitative Veränderung der Systemstruktur
Effekte anthropogener Aktivitäten oder die Erzeugung synthetischer Stoffe führen zu neuen Prozessstrukturen bzw. völlig neuen Stoffhaushaltsbilanzen

Anthropogene prozessauslösende und prozessmodifizierende Faktoren haben eine Quellen- oder Senkenfunktion in der Bilanzgleichung der Atmosphäre.

Durch den Menschen bedingte Klimaveränderungen können durch kausale Prozesssequenzen nachgewiesen werden. Effekte subregionaler Klimaveränderungen können anhand anthropogener Stoffe mittels hierarchischer Prozess-Monitoringsysteme nachgewiesen werden (z. B. Trichloressigsäure TCA, Peroxiacetylnitrat PAN, Ozon O₃).

Der Raumbezug und die Ursächlichkeit von Imbalancen bzw. Inhomogenitäten in meteorologischen Feldern können durch Trajektorien oder Gradienten dargestellt werden.

Die Ursachen der Klimaveränderungen sind in der Tabelle 2 zusammengefasst.

Bevor einzelne besonders (attraktive) bekannte Beispiele der Klimavariabilität nach Klimaschwankung und Klimaveränderung – letztere nach natürlichen oder anthropogenen Ursachen – erläutert werden, einige Ausführungen zum Begriff Klima.

Ursachen der Klimaveränderung

natürlich

- Zyklische Veränderung
 - der Neigung der Erdatmosphäre zur Erdumlaufbahn,
 - der Exzentrizität der Erdumlaufbahn und
 - des Zeitpunktes des Sommereintritts auf einer Halbkugel zum sonnennächsten oder sonnfernsten Punkt auf der Erdbahn
- Extreme Veränderung der Intensität des Sonnenlichts und des von der Sonne ausgehenden Teilchenstroms
- Sprunghafte Erhöhung von Stäuben und Gasen in der Atmosphäre z. B. durch Super-Vulkanausbrüche

unnatürlich

- Ausblendung und Schwächung bestimmter Wellenlängen der Sonnenstrahlung durch anthropogene Gase,
- Erhöhung der Reflexion der Temperaturstrahlung von Oberflächen synthetischer Aerosole in der Troposphäre,
- Entstehung neuer (giftiger) Gase – Produktion von Vorläufergasen für Trichloressigsäurebildung,
- Mehrfache Konzentrationserhöhungen toxischer Gase in der unteren Atmosphäre – Produktion von Vorläufergasen der Ozon (O₃)- und Peroxiacetylnitrat (PAN)-bildung
- Bildung reaktiver Radikale, wie Peroxiradikale H₂O₂, O und OH-Radikale
- Eingriff in regionale Wasser- und/oder Wärmehaushaltsbilanzen

Tabelle 2

Mit dem Begriff Klima beschreiben wir die Verhältnisse der atmosphärischen Vorgänge und deren Wandlungen im Jahresverlauf mit ihren Effekten im mittleren und wahrscheinlichen Verhalten. Wir können zur Kennzeichnung und Beurteilung des Klimas einerseits die Prozesse der Klimagenese und andererseits die Variabilität physikalischer und chemischer Eigenschaften der meteorologischen Elemente, die durch statistische Parameter der stochastischen Messreihen gekennzeichnet werden, berücksichtigen. Die Untersuchungen beziehen sich auf den vertikalen Aufbau der Atmosphäre, insbesondere hinsichtlich der Ausprägung des Strahlungshaushaltes, der thermischen und hygrischen Profile, der photochemischen Reaktionsmuster, der physikalischen und chemischen Eigenschaften gasförmiger und partikelartiger Luftbeimengungen (Aerosole), sowie auf vertikale Transportvorgänge. Die horizontale Differenzierung erfolgt durch die planetaren Eigenschaften und Positionen der Erde in unserem Sonnensystem (Tages- und Jahreszeiten), durch die physikalischen Eigenschaften der räumlich unterschiedlich angeordneten Oberflächen unserer Erde (Absorption und Reflexion der Sonnenstrahlen, Wärmekapazität, Temperaturleitfähigkeit u. a.), durch die Intensität und Lage von Quellen und Senken von Wasserdampf sowie natürlicher und anthropogener Emissionen und letztlich durch den fühlbaren und latenten Wärmetransport. Bei Beachtung dieser Komplexität, kann man erahnen, dass z. B. die Beschreibung von Chemie-Transport-Prozessen äußerst kompliziert ist.

und Nebelwassers. Auch wenn gegenwärtig die SO₂-Konzentrationen erheblich gesunken sind, stiegen und steigen die NO_x-Konzentrationen, vor allem in den Schwellenländern. Das Phänomen „saurer Regen“ wird noch lange zu den anthropogenen Klimaveränderungen gehören.

Die Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht: Eine bisher in ihrer Tragweite noch nicht abschätzbare anthropogene Klimaveränderung geht von der Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht aus. Ursache des Ozonabbaus ist das katalytische Verhalten von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW), besonders von Freon-11 (CFCl₃) und von Freon-12 (CF₂Cl₂). Die Störung der photochemischen Gleichgewichtsreaktionen der O₂-Spaltung und O₃ Bildung aus O₂ und dem entstandenen Radikal O* und der Spaltung von O₂ durch UV-C Strahlen erfolgt durch die Spaltung eines Ozonmoleküls durch ein Chloratom. Es entsteht Chlormonoxid (ClO) und molekularer Sauerstoff O₂. Die gegenüber der bei natürlichen Gleichgewichtsreaktionen nicht verbrauchten Quanten der UV-C Wellenlängen gelangen ungehindert durch die Troposphäre auf die Erde. Die erhöhte UV-C Strahlung ist ein bedeutender Indikator der anthropogenen Klimaveränderung.

Die photochemische Bildung von bodennahem Ozon: Eine weitere außerordentlich dramatische, aber weniger spektakuläre (weil von den Medien

noch nicht aufgegriffene) negative Zivilisationser-scheinung ist die photochemische Bildung von bodennahem Ozon aus anthropogenen NO_x-Verbindungen (primäre Vorläufgase) und anthropogenen und natürlichen biogenen Kohlenwasserstoffen (sekundäre Vorläufgase). Das Ozon ist allein und vor allem im Mix mit anderen Schadgasen und mit Partikelaerosolen Hauptursache für Augenreizungen und Atemwegsschädigungen, besonders bei sensiblen Menschen und medizinisch definierten Risikogruppen. Ozon gilt zu Beginn des 21. Jahrhunderts als der stärkste phytotoxisch wirkende Luftschadstoff.

Die Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Bildungsanteile des Ozons bei sommerlichen und winterlichen Ozonepisoden in Mecklenburg-Vorpommern.

Die Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes: Als viertes überzeugendes Beispiel einer anthropogenen Klimaveränderung ist die Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes (Reflexion und Absorption der Wärmestrahlung in der Troposphäre) zu nennen. Sie beruht auf der anthro-

Jahreszeit	Mittlerer Anteil in der natürlichen Atmosphäre*		Mittlerer anthropogener Anteil			
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%
Winter	35 – 45	40 – 50	50 – 60	50 – 60	Keine Emission von bVOC	
Sommer	35 – 50	20 – 25	50 – 60	25 – 30	100 – 120	45

* Zeitraum vor 1950

Tabelle 3: Ozonkonzentration und Ozonbildungsanteile während der Ozonepisoden in Mecklenburg-Vorpommern an der Gesamtkonzentration des bodennahen Ozons (Stüdemann & Ody, 2001)

pogenen Konzentrationserhöhung von natürlich vorkommenden Gasen und der Emission synthetischer, natürlich nicht vorkommender partikulärer und gasförmiger Aerosole. Das grundlegende Verständnis zur Strahlungsübertragung in der Erdatmosphäre, dem wissenschaftlichen Problem des Treibhauseffektes, wird im Heft promettiert der meteorologischen Fortbildung von BAKAN und RASCHKE (2002) als „lückenfrei und schlüssig“ eingeschätzt; und „[...]“, dass die für die exakten Berechnungen geeigneten Methoden bekannt und die notwendigen Parameter in genügender Genauigkeit verfügbar sind und dass die Qualität der

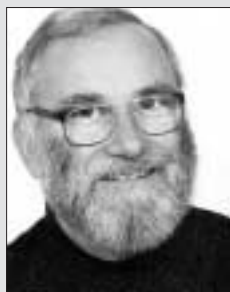
nötigen Anwendung in Klimamodellen durch internationale Initiativen ausreichend sichergestellt wird. Dies wird immer noch von einflussreichen Kritikern der Klimaforschung gelegentlich infrage gestellt.“

Fazit

Klimaschwankungen und Klimaveränderungen sind klar voneinander abgrenzbar.

Für den Schutz des Klimas bedarf es eines System- und Prozessschutzes nach holistischem Ansatz.

Die Autoren



Prof. Dr. habil. Otto Stüdemann, geb. 1944, Studium des Meliorationswesens in Rostock; promovierte 1972 über Witterungs-Ertrags-Modelle für Winterweizen

und Kartoffeln; zwei Jahre als Projektant im Meliorationskombinat Rostock; 1984 Promotion zum Dr. sc. mit einer Arbeit über die Theorie der geographischen Forschungsmaßstäbe und der Klimakennzeichnung für die Pflanzenproduktion und das Meliorationswesen. Facultas docendi für Standortkunde, Agrar- und Hydrometeorologie. Profilierte unter Prof. Olbertz und Prof. Wertz die Rostocker Schule der Standortkunde. 1992 Berufung zum Professor für Agrarmeteorologie. Studienaufenthalte und Lehrtätigkeit an den Universitäten Debrecen, Giessen, Jerewan, Odessa, Szczecin, Wrocław. Sechs Jahre Gastlehrer in Kiel. Forschungsschwerpunkte:

1. Verschiedene Themen der Angewandten Meteorologie, 2. Ozonvariabilität und Ozonwirkungen, 3. Methodologie und Analytik der prozessorientierten Umweltsystemanalyse



Diplom-Agrarin-geineurin Dr. agr. Sabine Kappes (geb. Eckert), Jahrgang 1966,

studierte Pflanzenproduktion von 1985–1990 an der Universität Rostock; während der Promotionszeit Studium der Elektronenmikroskopie 1990 bei Frau Prof. Hecht-Buchholz an der TU Berlin und bei Herrn Prof. Jonas (Univ. Rostock); promovierte 1994 bei Prof. Borchmann auf dem Gebiet Pflanzenphysiologie über die Symptomatologie des Cu- und Mn-Mangels auf mikroskopischer Ebene; arbeitete 1993–1995 am Fachbereich Biologie über „Ersatz giftiger Unterwasseranstriche durch biogene Alternative“; seit 1995 Mitglied der AG von Prof. Stüdemann „Angewandte Meteorologie und Umweltsystemanalyse“; Ausarbeitung der Lehrstrecke „Angewandte Stress- und Ökophysiologie“; und Übungen zur Fuzzy-Simulation, Lehraufträge an den Universitäten Rostock und Kiel; zahlreiche Publikationen, Vorträge auf Tagungen der Europäischen Gesellschaft für Geophysik.



Diplom-Ingenieurin Dr. agr. Sandra Ody, Jahrgang 1975, studierte Landeskultur und Umweltschutz von 1993–1998 an der Universität

Rostock. Während der Promotionszeit Studium der Elektronenmikroskopie bei Herrn Prof. Jonas (Univ. Rostock), Stress- und Ökophysiologie bei Frau Dr. Eckert und Theorie der Landschaftslehre und Landschaftsökologie bei Prof. Stüdemann; seit 1997 Mitglied seiner AG „Angewandte Meteorologie und Umweltsystemanalyse“, Promotion im Jahr 2002 an der Fakultät für Agrar- und Umweltwissenschaften auf dem Gebiet Landschaftsökologie über das „Geographische Muster phytotoxischer Effekte des bodennahen Ozons – Ozon-Biomonitoringsystem“; arbeitet ab 4/03 über aerobe Bakteriengranulate der biologischen Abwasserbehandlung bei Prof. Pfeiffer, FH Wismar; zahlreiche aktive Kongressteilnahmen und Vorträge auf Weiterbildungsveranstaltungen der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft (DMG). Lehraufträge zur Stress- und Ökophysiologie und Fuzzy - Simulation an der Univ. Rostock

Kontaktadresse: Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Fachbereich Landeskultur und Umweltschutz
Justus-von-Liebig-Weg 6, 18051 Rostock · Tel.: 0381/4 98 21 80, Fax.: 0381/4 98 21 78
e-mail: otto.stuedemann@auf.uni-rostock.de · www.auf.uni-rostock.de/ll/Mitarbeiter/stuede/meteo.htm

DAS BODENNAHE OZON – EIN LEITINDIKATOR DER KLIMAVERÄNDERUNG UND SEINE WIRKUNG AUF PFLANZEN

• Otto Stüdemann • Sandra Ody • Sabine Eckert

Bei sommerlichen Hochdruckwetterlagen treten seit den 70er Jahren verstärkt durch den Menschen bedingte Sommersmogepisoden in der bodennahen Luftschicht auf, deren Leitsubstanz die reaktive Sauerstoffverbindung Ozon ist. In den letzten 100 Jahren stieg die Konzentration des bodennahen Ozons auf das 2 bis 3-fache. Dieser Trend hat sich in den letzten Jahren weiter verstärkt, insbesondere hinsichtlich der Mittelwertkonzentrationen.

Während das stratosphärische Ozon wegen der Absorption von kurzwelliger UV-Strahlung lebensnotwendig ist, sind in der Troposphäre bereits niedrige Konzentrationen phytotoxisch relevant. In der Literatur werden $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als pflanzenschädigend angegeben. Heute gilt Ozon als das mit Abstand wichtigste direkt wirkende Pflanzenschadgas. Die stärksten Ozonwirkungen im Freiland werden bei 80 bis $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Ozon festgestellt. Aufgrund der stetigen Zunahme dieser pflanzenphysiologisch äußerst wirksamen mittleren Ozonkonzentration werden sich die ozonbedingten Schadeffekte verstärken.

Zum Schutz der Vegetation müssen Richtwerte formuliert werden, unterhalb derer es zu keiner Beeinträchtigung kommt. Ein Kompromiss zwischen einer Forderung auf Einhaltung der Grenzwertdefinition für ozonbedingte irreversible Schädigungen des pflanzlichen Gewebes und einer entsprechend des gesellschaftlichen Kurses festgelegten Ozonkonzentration ist der Ozonrichtwert. Die Formulierung solcher Richtwerte ist mit einer Standortkennzeichnung und -beurteilung verbunden und muss pflanzenspezifisch erfolgen.

Rostocker Beitrag zur Ozonwirkungsforschung

Für die Untersuchung von ozonbedingten Pflanzenschädigungen wurde von der AG Angewandte Meteorologie und Systemanalyse unter der Leitung von Prof. Dr. O. Stüdemann das Rostocker prozessorientierte hierarchische Ozon-Monitoringsystem (RHOMS) entwickelt und erprobt, dessen Konzipierung aus der Spezifik landschaftsökologischer Systeme resultiert. Ziel war die Definition einer prozessauslösenden Ozonkonzentration für die Bildung irreversibler Zellschädigungen (Grenzwert) und die Formulierung von Wirkungsfaktoren für die Anwendung des ermittelten Grenzwertes unter Freilandbedingungen zur Ableitung von Richtwerten. Es galt dabei folgende

Die Wissenschaftler der AG „Angewandte Meteorologie und Umweltsystemanalyse“ bewiesen mit Hilfe des von ihnen entwickelten „Rostocker prozessorientierten hierarchischen Ozon-Monitoringsystems (RHOMS)“:

1. Phytotoxisch relevante Ozonepisoden gelten als Merkmal einer anthropogenen Klimaveränderung. Sie bilden sich subregional signifikant verschieden aus.
2. Der Grenzwert der Ozon – Dosis-Wirkungsbeziehung bei dem keine primären irreversiblen Schäden durch O- und/oder OH-Radikale an der repräsentativen ozonsensiblen Indikatorpflanze *Nicotiana tabacum* L. Bel W 3 auftreten beträgt $1000 \mu\text{g O}_3/\text{m}^3$ über eine Andauer von zwei Tagen ohne Überschreitung von $80 \mu\text{g O}_3/\text{m}^3$.
3. Das standortspezifische phytotoxische Ozonwirkungspotential kann als geographisches Muster dokumentiert werden.
4. Jahres- und Monatsmittelwerte sowie Perzentile der Ozonkonzentration sind keine prozessrelevanten Parameter der Beschreibung pflanzenphysiologischer Wirkungen des Ozons. Sieben Standorte repräsentieren das Untersuchungsgebiet zwischen Zingst (südliche Ostseeküste) und Jellen (Nossentiner - Schwinzer - Heide), das als ein Reinluftgebiet Mitteleuropas gilt. Die Rostocker Ozonwirkungsforschung wurde über sieben Jahre durch das Kultus- und Umweltministerium von M-V, durch das Umweltbundesamt und durch den Senat der Hansestadt Rostock gefördert.

The scientists of RG "Applied Meteorology and environmental system analysis" demonstrated with the help of the self-developed "Rostock process-orientated hierarchical ozone-monitoring system (RHOM)".

1. Phytotoxicological relevant ozone episodes are considered to be a feature of anthropogenic climate change. In subregions ozone episodes form significantly different.
2. The threshold of the ozone dose-effect-relation showing no primary irreversible damages referring to O and/or OH-radicals at the representative ozone sensitive indicator *Nicotiana tabacum* L. Bel W3 is $1000 \mu\text{g O}_3/\text{m}^3$ during 2 days without an exceeding of $80 \mu\text{g O}_3/\text{m}^3$.
3. The location specific phytotoxical ozone effect potential is due to a geographic pattern.
4. The yearly and monthly mean values and the percentiles of ozone concentrations are not process related parameters describing the plant physiological effects of ozone. 7 locations represent the investigating area between Zingst (Southern Baltic Coast) and Jellen (Nossentiner - Schwinzer - Heide) due to a pure air region in Middle Europe. The Rostock ozone effect research was promoted by the ministry of culture and environment in Mecklenburg-Western Pomerania, by the German federal office of environment and by the senate of the Hanseatic city Rostock about 7 years.

Schwerpunkte zu bearbeiten:

1. Charakterisierung des klimatischen Ozonbildungspotenzials in Mecklenburg-Vorpommern,
2. Kausale Erklärung und statistische Absicherung der standortspezifischen Ausprägung von Ozonepisoden innerhalb einer Klimasequenz im Bereich Zingst - Stuthof - Rostock-Holbeinplatz - Gülzow,
3. Analyse des autökologischen und standortspezifischen Ozonwirkungspotenzials,
4. Entwicklung von Schadstufensystemen für die Bonitur makroskopischer und die Beschreibung mikroskopischer Schadeffekte des Assimilationsgewebes an Tabak *Nicotiana tabacum* L. Bel W3 und Bel B,
5. Analyse ozonbedingter Stoffwechselveränderungen und Elementverlagerungen mittels elektronenmikroskopischer Elementanalyseverfahren (EELS/ESI, EDX),

6. Entwicklung von Frühindikationsfaktoren für die Ozonwirkung anhand irreversibler Veränderungen und der Feinstruktur des Assimilationsgewebes.

Geographisches Muster phytotoxischer Effekte des bodennahen Ozons

Die phytotoxische Ozonwirkung ist das Ergebnis der Prozesse hochkomplexer Systeme unter Beteiligung aller Partialkomplexe der Geosphäre in einem geographisch definierten Raum. Da die Ozonaufnahme bei Pflanzen hauptsächlich über die Spaltöffnung erfolgt gilt prinzipiell, dass alle ökologischen Faktoren, die eine hohe Transpirationssrate und eine große Stomataöffnungsweite der Pflanze ermöglichen (gute Wasserversorgung, hohes Wasserdampf sättigungsdefizit der Atmosphäre, ökologisches Temperaturoptimum, hoher CO_2 -Gehalt der Atmosphäre, hohe photosynthe-

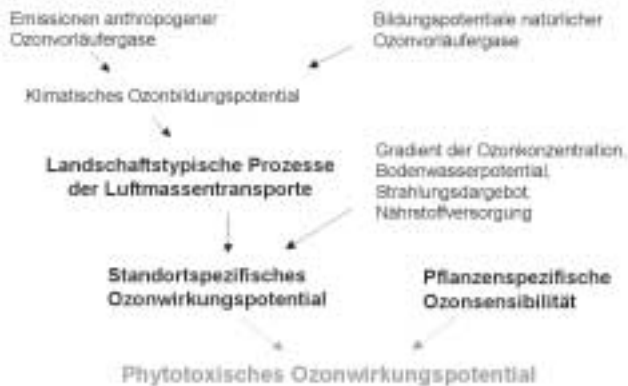


Abbildung 1: Systemrahmen komplexer und emergenter Prozesse für die Herausbildung eines geographischen Musters phytotoxischer Effekte des bodennahen Ozons

Figure 1: System of complex and emergent processes for the formation of a geographic pattern of phytotoxic effects of near ground ozone.

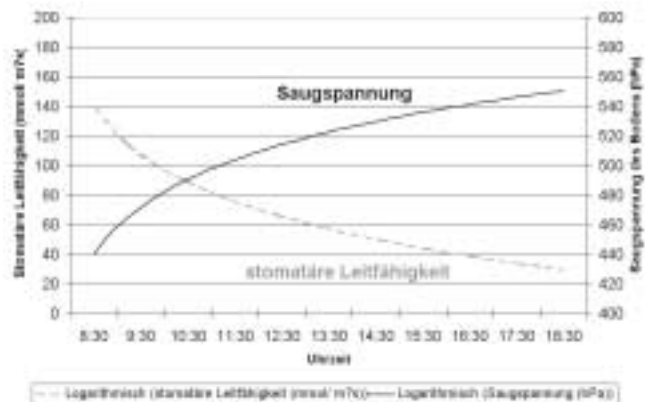


Abbildung 3: Logarithmische Trendlinie der Saugspannung in 30 cm Tiefe und der Stomatalleitfähigkeit für *N. tabacum* Bel W3 eines strahlungsreichen Tages (ECKERT, STÜDEMANN)

Figure 3: Logarithmic trend of suction power in 30 cm depth and of stomatal conductivity for *Nicotiana tabacum* Bel W3 during a radiation rich day (ECKERT, STÜDEMANN).



Abbildung 2: Lage der Untersuchungsstandorte der Ozon-Wirkungsforschung

Figure 2: Location of monitoring sites of ozone effect research.

tisch wirksame Strahlung) die passive Schadgasaufnahme verstärken und damit die mögliche Ozonschädigungen erhöhen. Je nach der Ausprägung und Schwankungen dieser ökologischen Faktoren an einem Standort im Zusammenspiel mit Ozon- und anderen Schadgaskonzentrationen sowie der Ozonsensibilität der Pflanzen kommt es dann zur Schadensausprägung.

Das phytotoxische Ozonwirkungspotential eines Standortes ergibt sich demzufolge aus der Kombination des potentiellen standortspezifischen Ozon-

wirkungspotential und der pflanzenspezifischen Ozonsensibilität (Abb. 1).

Zur Kausalitätsklärung der standörtlich differenzierten Dynamik der pflanzlichen Ozonwirkung wurde das aktive prozessorientierte hierarchische Freiland-Monitoring (RHOM) mit den Tabaksorten *Nicotiana tabacum* L. Bel W3 (sehr ozonsensibel) und *N. tabacum* Bel B (weniger ozonsensibel) über einen Zeitraum von fünf Jahren und an sechs Versuchsstandorten durchgeführt. Die Untersuchungsstandorte lagen innerhalb einer mesochorischen Klimasequenz an der südlichen Ostseeküste und befanden sich über eine Entfernung von ca. 90 km im urbanen und ländlichen Raum des mittleren und nördlichen Mecklenburgs (Abb. 2). Die Catena umfasst typische Intensitäten photochemischer Prozesse und charakteristische Luftzirkulationssysteme mit deutlich räumlich und zeitlich differenzierten Merkmalen (Tab. 1).

Das standortspezifische Ozonschädigungspotential wurde in Abhängigkeit variabler Standortfaktoren (bewässert-unbewässert, geringe-hohe Schadgaskonzentrationen bzw. Schadgasamplituden) unter-

sucht. Der standortspezifische potentielle Ozoninflux wurde anhand exemplarischer Tagesgänge der Saugspannung des Bodens und der Leitfähigkeit der Spaltöffnungen abgeleitet (Abb. 3). Die relevanten Steuergrößen des standortspezifischen Ozonschädigungspotenzials wurden mittels Multiregressionsanalyse und 3D-Simulation ermittelt (Abb. 4).

Im Ergebnis wurde festgestellt, dass die wichtigste Steuergröße der Stomataöffnungsweite die Transpiration als Funktion der Photosyntheseaktivität, des Feuchtedefizites der Luft und des pflanzenverfügbaren Bodenwasserdargebotes ist. Daraus ergibt sich eine starke räumliche Heterogenität und zeitliche Variabilität der potentiellen Ozonschadwirkung, ein sogenanntes geographisches Muster phytotoxischer Effekte des bodennahen Ozons.

Das autökologische Schädigungspotential von *N. tabacum* L. Bel W3 wurde für unterschiedliche Standortregionaltypen Mecklenburg-Vorpommerns abgeschätzt.

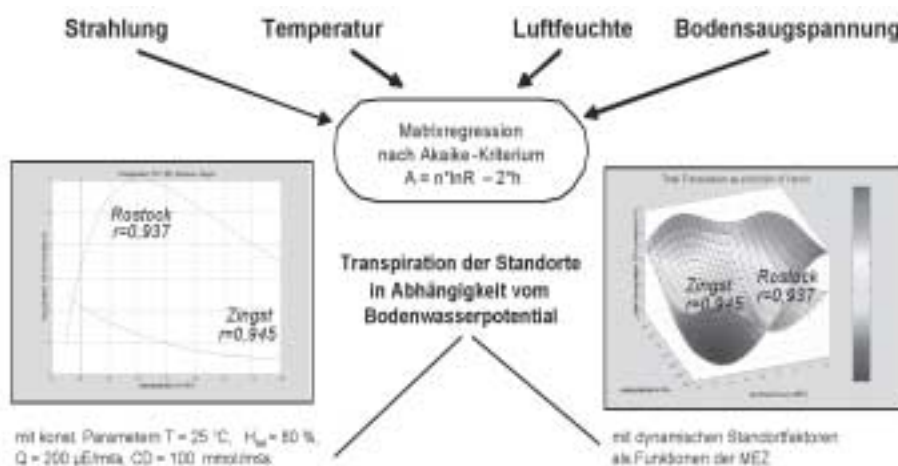
Variabilität der Ozonkonzentration im nordostdeutschen Raum

Die Ozonkonzentrationen subregionaler Naturräume treten zeitlich variabel und räumlich heterogen in Abhängigkeit der Art, der Emissionsintensität und der Vergesellschaftung der Ozonvorläufergasquellen auf. Dies spiegelt sich in der Ausprägung von signifikant unterschiedlichen Ozonepisoden wider.

Photosmog entsteht durch die Photodissoziation von NO_2 und hohen Spurengaskonzentrationen bei hohen UVa und UVb-Photonenflüssen, hohen Temperaturen und entsprechenden Schadgasakkumulationen während strahlungsreicher, windschwacher Wetterlagen und besonders ausgeprägt bei hochreichenden Lufttemperaturinversionen. Die Initialreaktion der troposphärischen Ozonbildung erfolgt durch die Photodissoziation von NO_2 , die Ozonnettoproduktion setzt bei der Störung des NO/O_3 -Gleichgewichtes ein. Die tatsächliche Ausprägung von Ozonepisoden (Dauer, Konzentrationsmaxima, Mittelwert, Perzentile) resultiert aus dem unterschiedlichen Naturrauminventar, der Anord-

Abbildung 4: Gesamttranspiration in Abhängigkeit des Bodenwassergehaltes für einen strahlungsreichen Sommertag für die Standorte: Zingst und Meteorologisches Messfeld (Rostock) (KRÜGER)

Figure 4: Total transpiration depending on the soil water content for a summer day rich in radiation for the locations: Zingst; meteorological measuring field of the Rostock University (KRÜGER)



Monitoring standorte	Lage der Standorte mit ökologischer Kurzcharakteristik	Bewertung des Ozonwirkungspotentials
Zingst	Reinluftgebiet im Bereich der Land-Seewind-Zirkulation mit Kiefern- und Buchenwäldern	grundwassernahes (6 dm u. Flur) degradiertes Litoralmoor über holozänem Seesand hoch
Stuthof	Stadtumland zwischen Rostock und einem großen Kiefern-Eichen-Waldgebiet (Rostocker Heide), Lee-Gebiet der Stadt Rostock	staunässebestimmter (4 dm u. Flur) Sandealm-Humusgley der küstennahen benen Grundmoräne hoch
Rostock-Holbeinplatz	innerstädtischer Verkehrsknotenpunkt	anthropogen veränderte Salm-Braunerde sehr niedrig
Rostock-Liebig-Weg	Stadtstrand, sehr geringer Luftaustausch	Sand-Braunerde mittel
Meteorologisches Messfeld	Stadtumland mit Freilandcharakter	staunässebeeinflusster Sandtiefflehm-Bleichstaugley natürlich: mittel bewässert: sehr hoch
Gülzow	ländlicher Raum im mittleren Mecklenburg, Siedlungsbereich	staunässebeeinflusster (8 dm u. Flur) Hortisol hoch

Tab.1: Geoökologische Kurzcharakteristik der Monitoringstandorte / Table 1: Geoeological characteristics of the monitoring sites

nung des Inventars und seiner Vergesellschaftung sowie von Ferntransporten des Ozons und/oder seiner Vorläufgase.

Der Ozonabbau erfolgt: 1. radikalisch photochemisch ($2O_3 \rightarrow 3O_2$) beim Fehlen von NO und leichtflüchtigen organischen Kohlenwasserstoffen (= VOC) (nur in maritimen Reinluftgebieten), 2. durch die Oxidation von VOC und CO, wenn $NO < 10$ ppt, 3. durch die Bildung von NO_2 und HNO_3 in NO-reicher Atmosphäre, 4. trockene Deposition an Oberflächen (Pflanzen, Boden...) und 5. durch radikalische Flüssigkeitsphasenreaktionen in Wolken. Die Reaktionen 1 bis 3 bauen ca. zwei Drittel der Ozonkonzentration ab, die Reaktion unter Punkt 4 und/oder Punkt 5 eliminieren ca. das restliche Drittel.

Die räumliche Heterogenität von Ozonkonzentrationen resultiert vor allem aus den Abständen von NO_2 -Quellen zu anthropogenen und natürlichen Vorläufgaskontrollen und deren Quellstärken sowie von Luftmassentransporten. In unmittelbarer Quellnähe dominiert die Reaktion von NO mit O_3 . Dies führt zu typisch städtischen Ozonkonzentrationsverläufen mit niedrigen Maximalwerten, hoher Oszillation der Ozonkonzentration, fast vollständigem nächtlichen Ozonabbau und weniger lang andauernden Episoden (Abb. 5 a). Durch die Ausbildung lokaler Windsysteme zwischen Stadt und Umland werden die mit Ozon und den

Vorläufgasen angereicherten Luftmassen ins Umland transportiert. Im Umland besitzt Ozon bei geringen NO -Konzentrationen lange Verweilzeiten (Abb. 5 b). Das Ozonbildungspotential des Umlandes ist wegen des hohen Strahlungsdargebotes (besonders im küstennahen Raum), der hohen Konzentration biogener Vorläufgase (aus Wäldern und Mooren) und der Ausbildung von Flurwindsystemen wesentlich höher als in der Stadt.

Die Ozonepisoden an den Untersuchungsstandorten unterschieden sich sowohl in ihrer zeitlichen Andauer als auch in ihren Spitzenkonzentrationen unabhängig von der Wetterlage signifikant voneinander. Die Ozonspitzenkonzentrationen in den Reinluftgebieten und im städtischen Umland übertrafen die Innenstadtkonzentration häufig um ein Vielfaches. Dies weist auf die bedeutende Rolle natürlich gebildeter bVOCs hin, deren hohe Konzentrationen die hohen Ozonbildungsraten des Umlandes verursachen.

Die statistische Analyse erfolgte für der halbstündigen Ozonkonzentrationen der Tage von Mai-August 1996–2000, an welchen $80 \mu g/m^3$ (= 40 ppb) zwischen 7.00–21.00 Uhr (photosynthetisch aktive Zeit) mindestens einmal als Stundenmittel überschritten wurde (Ozonepisodentage).

Die höchsten Ozonkonzentrationen (Mittelwert, mittleres und absolutes Maximum) treten fast ausschließlich an den Reinluftstationen Zingst und Gül-

zow auf. In Jahren mit einer hohen Ozonbildung (1996, 2000) konnten die Spitzenkonzentrationen in Zingst und in den Jahren mit niedrigerem Ozonregime (z. B. 1997) in Gülzow beobachtet werden.

Die Verteilungen der Häufigkeitssummen der Ozonkonzentrationen der Untersuchungsstandorte bei unterschiedlicher Episodendauer (4–6 Tage, 7–10 Tage) unterscheiden sich signifikant voneinander (Abb. 7). Die Ozonepisoden gehören demzufolge unterschiedlichen Grundgesamtheiten an und resultieren aus einem unterschiedlichen Prozessgeschehen.

Entsprechend des Chemismus der bodennahen Ozonbildung unter den vorherrschenden Klimabedingungen sind für Mecklenburg-Vorpommern folgende Einflussfaktoren wesentlich für die Ausprägung der Ozonepisoden: die Lage zum Meer, der Tagesgang des Strahlungsdargebotes, die Lage der Vorläuferemittenten, luftgebundene Stofftransporte, die Anordnung der Makro- und Mesoreliefformen bezüglich der Hauptanströmrichtung. Die Differenzierungen der Ozonkonzentrationen des landschaftlich klein gekammerten Untersuchungsraumes erfolgen in Abhängigkeit von Luftmassen, Land-See-Windzirkulation, Stadt-Umland- und Flur-Windsystemen sowie der Art und Konzentration der Vorläufgase.

Ozonwirkung

Ozon agiert als effektiver, abiotischer Prozessauslöser, welcher den Pflanzenstoffwechsel und das pflanzliche Abwehrsystem stark beeinflusst. Die herrschenden Ozonkonzentrationen in Nord- und Mitteleuropa wirken signifikant auf den unterschiedlichen organismischen Organisationsstufen: Molekularebene-Organelle-Zelle-Organ-Organismus-Population. Sie beeinflussen die Photosynthese, den Chlorophyllgehalt, den Gaswechsel, die Nährstoffaufnahme, die Enzymaktivitäten, das Wachstum, den Pflanzenenergieertrag, die mikrobielle Biomasse sowie die Abnahme der Leguminosen zugunsten der Gräser (Veränderung der Artzusammensetzung).

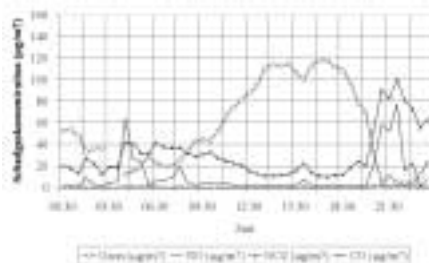


Abbildung 5a)

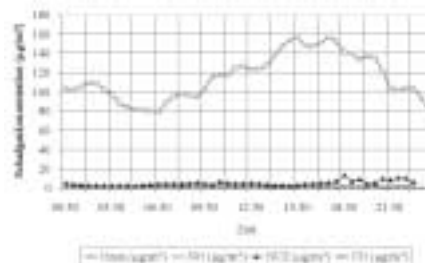


Abbildung 5b)

Abbildung 5: Tagesgang der Ozon-, Stickstoffmonoxid-, Stickstoffdioxid- und Kohlenmonoxidkonzentration bei Standorten mit geringem (a) bzw. großem (b) Abstand zu Emittenten, a) Holbeinplatz (Rostocker Innenstadt) am 27.08.1997; b) Gülzow (ländlicher Bereich) am 15.08.1997

Figure 5: Daily course of ozone-, NO-, CO₂- and CO-concentrations at sites with (a) short and (b) long distance to the emitter respectively. (a) Rostock-Holbeinplatz (city); (b) Gülzow (rural area) at the 27th of August in 1997

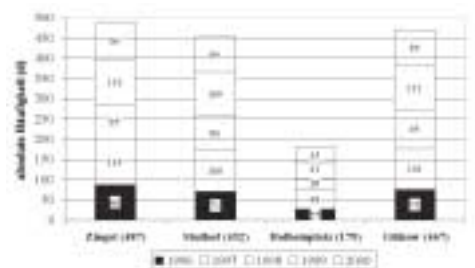


Abbildung 6: Absolute Häufigkeit der Ozonepisodentage (Tage mit mindestens einer halbstündigen Überschreitung von $80 \mu g/m^3$ bzw. 40 ppb zwischen 7.00–21.00 Uhr) an den vier Untersuchungsstandorten: Zingst, Stuthof, Rostock-Holbeinplatz und Gülzow für den Zeitraum Mai-August 1996–2000

Figure 6: Absolute frequency of ozone days during an ozone episode (days with at least one half-hourly exceeding of $80 \mu g/m^3$ [40 ppb] between 7 and 21 o'clock) at 4 investigating sites: Zingst, Stuthof, Rostock-Holbeinplatz and Gülzow from May to August 1996–2000

	Zingst ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Stuthof ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Holbeinplatz ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Gülzow ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Mittelwert	78,68	65,81	64,39	72,27
95-Perzentil	116,80	111,45	110,20	119,80
Absolutes Maximum	239,5	233,95	192,19	220,92
Anzahl der Tage (n)	487	452	179	467

Tabelle 2: Statistische Maßzahlen der halbstündigen Ozonkonzentration von Ozonepisodentagen
Table 2: Statistic numbers of half-hourly ozone concentrations during ozone episode days

Die Hauptwirkungen von Ozon bestehen in der beschleunigten Zellseneszenz und einer anhaltenden Verminderung der Assimilationsleistung - sichtbar an nekrotisiertem Gewebe und geringerem Sprosswachstum. Bei beginnender Ozoneinwirkung laufen bereits vor dem Auftreten äußerlich sichtbarer Schäden phytopathologische Stoffwechselprozesse ab, infolge derer sich insbesondere die Struktur und Funktionen der Zellmembranen verändern. Die cytologischen Veränderungen sind jedoch größtenteils ozonunspezifisch und entsprechen denen bei Seneszenzprozessen (Alterungsprozesse, die zum Tode führen). Ozonspezifisch ist der Wirkungsort innerhalb des Blattquerschnittes, d. h. die histologische Schadenssequenz: Die Schadenssymptome treten in den Zellen in unmittelbarer Nähe zu den Spaltöffnungen auf, durch welche das Ozon in das Blatinne-
re gelangt (Abb. 8a).

Mit steigendem makroskopischen Schädigungsgrad der Blätter traten in den Zellen zunehmend fibrilläre, parakristalline Ultrastrukturen auf.

Innerhalb der parakristallinen Strukturen konnten mittels des Elementanalyseverfahren der Transmissionselektronenmikroskopie EELS/ ESI Calcium-Ionen analysiert werden. Das Ca-Spektrum wurde für einen definierten Bereich von 265 eV bis 370 eV durchgeführt und zeigt die charakteristische Form der Ca-L_{2,3} Kurve (Abb. 11 b). Die Bestätigung des Spektrums erfolgte durch die Lokalisierung des analysierten Calciums innerhalb

der parakristallinen Strukturen entlang der Zellwand (Abb. 11 c).

Aufgrund des Entstehungsortes, der Größe, des detektierten Calciums und des Antioxidantienstoffwechsels sind Kristalle des Calciumoxalat-Monohydrogenat $[\text{Ca}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}]$ eine mögliche Erklärung der beobachteten parakristallinen Strukturen ozongeschädigter Zellen sein.

Schlussfolgerungen

Die Ermittlung des Ozonegrenzwertes als effekt-auslösende Schwellenwertkonzentration für den Ozonindikator N. tabacum Bel W3 erfolgte unter optimalen Ozonschadwirkungsverhältnissen für rezente standorttypische Ozonkonzentrationen in der Klimakammer. Unterhalb von $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ während einer Einwirkzeit über zwei Tage ohne Überschreitung von $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AOT30 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, AOT20 $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) traten keine irreversiblen Veränderungen des Assimilationsgewebes auf.

Für die Übertragung ins Freiland wird der induktive Ozonrichtwert von $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ über 3 Tage ohne Überschreitung des AOT30 (AOT20 $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) vorgeschlagen. Dieser Ozonrichtwert gilt für einen fiktiven Bewuchs der naturräumlichen Einheiten mit dem Ozonindikator N. tabacum Bel W3. Grundlage für die Ozonrichtwerte müssen jedoch gewichtete Ozonegrenzwerte sein, welche auf der kritischen, d. h. der ozonsensibelsten Hauptvegetationsart des jeweiligen Naturraumes basieren.

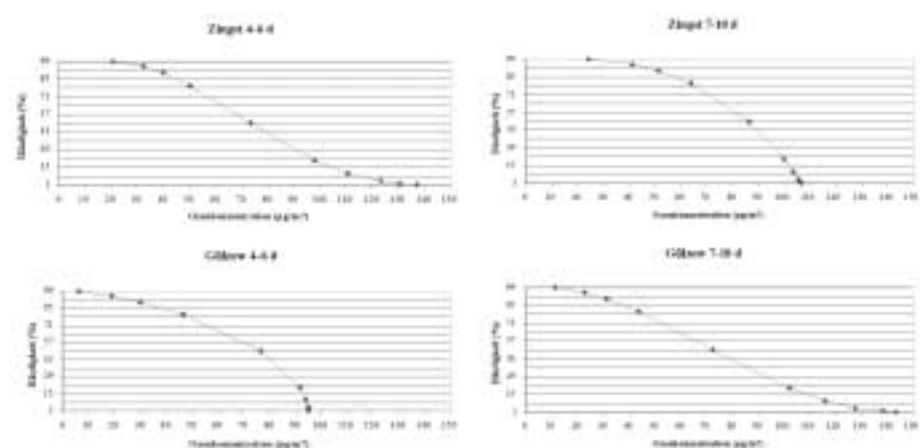


Abbildung 7: Signifikant verschiedene Häufigkeitsverteilungen ($\alpha = 0,5 \%$) der Ozonkonzentration unterschiedlich lang andauernder Episoden in Reinflutgebieten an der Ostseeküste (Zingst) und im Leebereich der Stadt Rostock (Stuthof)

Figure 7: Significantly different frequency distribution ($\alpha = 0,5 \%$) of ozone concentration during ozone episodes differing in their persistence in pure air regions near the Baltic coast (Zingst) and alee of Rostock (Stuthof)

Wirkungsort	Veränderungen
Zelle	erhöhte Membranpermeabilität; vorübergehende Assimilatdepression; veränderter Stoffwechsel mit Wachstumsdepression, Aktivitätssteigerung bzw. -minderung bei Enzymen und erhöhter Ethylenproduktion; Stoffverlagerung (Ein- und Austrag); substrukturelle Veränderung an Zellorganellen; Veränderung der Zellstruktur; Störung der Zellfunktion; Zelltod
Gewebe	Änderung in der Photosyntheseleistung, Respiration und Transpiration; Veränderung der Translokation von pflanzlichen Inhaltsstoffen; Veränderung von Wachstum und Entwicklung einzelner Organe; Chlorosen; Nekrosen; verminderte Knöllchenbildung; Störung der Mykorrhizierung; Tod oder Abwurf von Pflanzenorganen
Organismus	Veränderung/Verzögerung des Pflanzenwachstums und der Entwicklung; erhöhte Anfälligkeit gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren; Störung in der Fruktifikation; Ertrags- und Qualitätsminderung; Änderung der Konkurrenzraft
Population	Veränderung der Produktivität und Vitalität
Ökosystem	Störung der Funktionsfähigkeit; Veränderung der Genotypenzusammensetzung

Tabelle 4: Klassifikationen ebenenspezifischer Wirkungen von Ozon auf Pflanzen

Table 4: Classifications of level-specific ozone effects on plants

Die Regionalisierung dieser Ozonegrenzwertkonzentration unter optimalen Bedingungen erfolgt für die naturräumlichen Gliederungseinheiten anhand von Wichtungsfaktoren für folgende Einflussgrößen:

- Bodenwasserdargebot
- Pflanzenverfügbares Nährstoffangebot (harmonisch, Mangel)
- Ozonregime
- Strahlungsdargebot (S der photosynthetisch aktiven Strahlung, $\text{UV} < 315 \text{ nm}$)
- phänologische Phase
- Wirkung anderer Stressoren.

Zur Frühindikation irreparabler ozonbedingter Effekte eignen sich folgende ebenenspezifischen Schadenssymptome:

1. Auf zellulärer Ebene verändern bzw. schädigen einwirkende Sauerstoffradikale zuerst die Struktur und Funktion der Zellmembran. Die zahlreichen unspezifischen physiologischen Reaktionen stellen Folgereaktionen dar. Bei Ozonstress gilt insbesondere eine Veränderung der variablen Chlorophyll-Fluoreszenz als typisches Kurzzeitsignal, welches aufgrund der Ozonwirkung auf Photosystem I oder II zustande kommt. Weiterhin kommt es ozonspezifisch zur Bildung intrazellulärer Calciumoxalatstrukturen $[\text{Ca}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}]$.

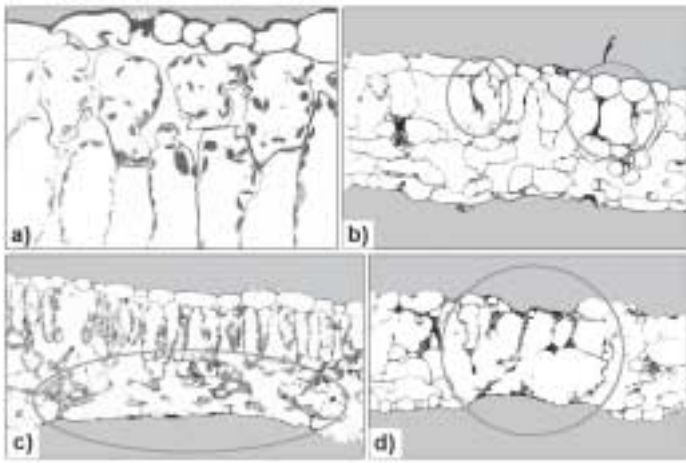


Abbildung 8: Ozonbedingte Schädigungsgrade des Assimilationsgewebes; a) Erste histologische Schädigungssymptome: die deformierten Zellwände und die fehlende Wandständigkeit des Cytoplasmaschlauches weisen darauf hin, dass die gelösten Sauerstoffradikale Membranstrukturen zerstört (Plasmalemma, Tonoplast). b) einzelne oder gruppenweise Kollabierung von Palisadenzellen, Epidermis und Schwammgewebe sind intakt. c) kollabierter Zellbereich, nicht alle Gewebearten sind betroffen, d) Querschnitt einer kleinen punktförmigen Nekrose, Alle Gewebearten sind von den Schäden betroffen.

Figure 8: Damage grades in assimilation tissue after ozone impact; (a) first histologic symptoms: the deformed cell walls and lack of wall location of the cytoplasmic tube point out that solved O-radicals destroyed membrane structures (plasmalemma, tonoplast). (b) singular or in groups collapse of palisade cells; epidermis and sponge tissue are intact. (c) collapsed cell area, not all kinds of tissue are affected. (d) cross section of a dot-like necrosis; all kinds of tissue are affected



Abbildung 9: Elektronenmikroskopische Aufnahmen unterschiedlich stark geschädigter Zellen vollentwickelter Blätter von *N. tabacum* Bel W3; a) Chloroplasten von Palisadenparenchymzellen mit ersten Seneszenzmerkmalen: große, zahlreiche und kontrastarme Plastoglobuli (Pg), aufgeweitete Thylakoidmembranen (Sw) und große Stärkekörner. Das extrazelluläre Material (ex C) zwischen den Zellwänden deutet auf einen Verlust von Cytoplasmaflüssigkeit aufgrund einer zerstörten Plasmalemma (Pl) hin; b) Schwammparenchymzelle mit strukturelosem Cytoplasmaklumpen; c) Zelle von nekrotisiertem Gewebe

Figure 9: Transelectron microscopical images of cells differing in the grade of damage originating from full developed leaves of *N. tabacum* Bel W3; (a) chloroplasts of palisade cells with first senescence signs: numerous large plastoglobuli (Pg), widened thylakoid membranes (Sw) and large starch grains. The extracellular material (ex C) between the cell walls is due to the lost of cytoplasmic liquid because of a destroyed plasmalemma (Pl). (b) sponge cells with structure less cytoplasm lump. (c) cell of necrotic tissue

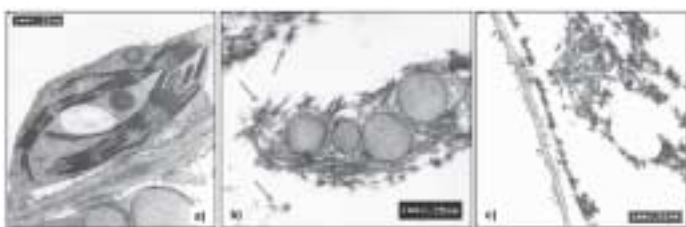


Abbildung 10: Transmissionselektronenmikroskopische Aufnahmen, a) ungeschädigter Chloroplast; b) Chloroplast mit zahlreichen nadelartigen Strukturen, ohne Hüllmembran und große Plastoglobuli; c) aufgelöster Chloroplast mit einer starken Anhäufung nadelartiger Strukturen

Figure 10: Transelectron microscopical images, a) Undamaged chloroplast, b) chloroplast with numerous needle-like structures, large plastoglobuli and without covering membrane, c) decomposed chloroplast with accumulation of needle-like structures

- Histologisch, d. h. auf Gewebeebene treten die Schädigungsgrade (Ablösung des Cytoplasmaschlauches von der Zellwand bei fehlender Wandständigkeit der Organellen, gewellte Zellwände und eingerissene Zellmembranen, Kollabierung der Zelle) in Zellen des Schwamm- oder Palisadenparenchyms nahe den Spaltöffnungen auf.

Richtlinien für den praktischen Pflanzenschutz sind nur sinnvoll, wenn die Zusammenhänge zwischen der bodennahen Stoffkonzentration und der pflanzen- und standortspezifischen Stoffdeposition bzw. -aufnahme bekannt sind. Auswirkungen der Luftschadstoffe wie Ozon manifestieren sich auf verschiedenen organismischen Organisationsebenen und können auf jeder dieser Ebenen beschrieben werden.

Fazit

Erfolgversprechende Klimawirkungsforschungen mittels Biomonitoringsysteme umfassen Feldforschungen, Feldexperimente und Laborexperimente und nutzen spezifische Untersuchungsmethoden wie die der Elektronenmikroskopie.

Successful climate effect researches with the help of biomonitoring systems consist of field researches, field- and laboratory experiments and use specific investigation methods like electron microscopy

- Vitae der Autoren und Kontaktadresse siehe Seite 6

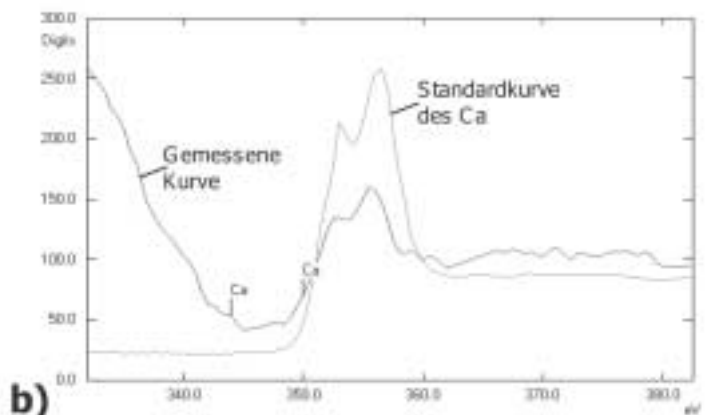
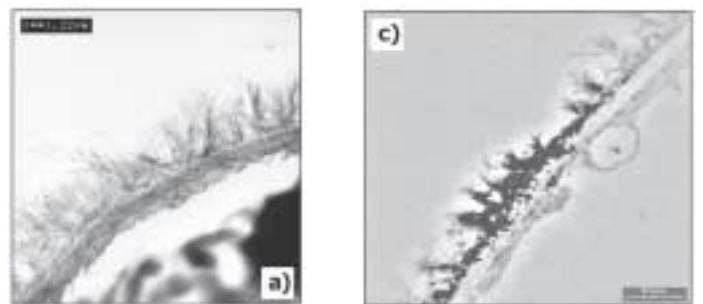


Abbildung 11: Calcium-Analyse mittels Energieverlustspektroskopie (EELS/ESI) im Transmissions-elektronenmikroskop bei 20.000facher Vergrößerung, a) Zellwand mit nadelartigen Calciumoxalatstrukturen; b) Spektrum des Calciums parakristalliner Strukturen an der Zellwand. (rot: gemessene Kurve mit der Kohlenstoffkante bei 283 eV und des Calciumpeaks bei 350 eV; grün: Standardkurve des Calciums aus dem EELS-Atlas; c) zu b) gehöriger Gewebeausschnitt mit lokaler Calciumbestimmung (rot) (ODYA, FULDA)

Figure 11: Calcium-analysis by means of Electron Energy Loss Spectroscopy (EELS) with a magnification of 20.000, Cell wall with needle-like Ca-oxalate, Ca-spectrum of paracrystalline structures at the cell wall (red: measured graph with carbon edge near 283 eV and of the calcium peak near 350 eV; green: standard peak of calcium from EELS-atlas), c) tissue specimen of b) with local calcium estimation (red) (ODYA, FULDA)

KLIMAVARIABILITÄT UND FISCHBESTANDSSCHWANKUNGEN

• Ebehard Hagen

Das gekoppelte Zusammenspiel der Energieflüsse zwischen Ozean und Atmosphäre beeinflusst nachhaltig die Klimavariabilität in Raum und Zeit. Durch die Umverteilung von Wärme aus niederen in höhere Breiten durch Wind und Meeresströmungen kommt es über veränderte Wärmefflüsse zwischen Wasser und Luft zu einer mehrjährig anhaltenden Bevorzugung von Mustern in den atmosphärischen Steuerzentren, die in den Wetterkarten durch die Lage von Hoch- und Tiefdruckgebieten abgebildet werden. Mit der Modifikation der großräumigen Windsysteme geht die der Stromsysteme des Weltmeeres einher. Die regionalen Wassereigenschaften, ausgedrückt durch Temperatur, Salz-, Sauerstoff- und Nährstoffgehalt, verändern sich und bewirken einen ständigen Wechsel der Nahrungsgrundlage vieler Nutzfische. So wird, unabhängig vom Problem der Überfischung und der wechselnden Vergabe von nationalen Fischereirechten, die Frage nach den Auswirkungen von Klimaschwankungen auf hohe und niedrige Erträge des Fischfangs weltweiter und heimischer Fischarten bejahend beantwortet.

Natural variability, occurring over a variety of time and space scales, is inherent in the functioning of marine ecosystems and understanding its role is essential if we are to manage marine living resources. Natural climate variability has substantial impact on energy fluxes in marine food chains as clearly demonstrated for the North Atlantic, the transition zone between North Sea and the Baltic Sea, and upwelling systems in the subtropical Atlantic and Pacific. Retrospective analyses of observations are currently the only method available to identify characteristic spatiotemporal scales of ecosystem variability and their rates of change due to both natural and anthropogenic forcing. This topic is discussed in terms of changes in annual landings of small pelagic fishes such as herring, anchovy, and sardine which represent about 20-25% of the total annual world fisheries catch.

Global stattfindende Klimaänderungen haben die Entwicklungsgeschichte der Menschheit beeinflusst, daran hat sich bis heute nichts geändert. Im Zeitalter des weltweiten Informationsaustausches erfahren wir unmittelbar von katastrophalen Niederschlägen und Überschwemmungen sowie mehrere Jahre anhaltende Dürreperioden und ihren Auswirkungen auf die Infrastruktur betroffener Länder. Offenbar ist die Kenntnis über die raumzeitliche Variabilität des Klimasystems unserer Erde von enormer ökonomischer Bedeutung. Vernachlässigen wir bei der Untersuchung von Klimaschwankungen die Zyklen von Jahrtausenden und mehreren Jahrhunderten, bedingt durch Änderungen der Sonneneinstrahlung infolge von Schwankungen der Erdumlaufbahn um die Sonne, dann ergeben sich aus der Analyse von langen Beobachtungsreihen klimarelevanter Größen vier charakteristische „Zeitfenster“: zwischenjährlich Änderungen von drei bis sieben Jahren, dekadische Veränderungen mit Quasi-Perioden von 10 bis 90 Jahren und Jahrhunderte anhaltende Trends. Geologischen Zeitzeugen folgend hat es derartige Klimavariabilitäten schon immer gegeben, mit mehr oder weniger ausgeprägter Intensität und Verschiebungen von einem in das andere Zeitfenster. Eine zentrale Forschungsaufgabe der Gegenwart besteht daher darin, den weltweiten Energiehaushalt des Klimasystems zu verstehen. Dazu gehört die Kenntnis über Mechanismen der atmosphärischen und

ozeanischen Zirkulation und deren Veränderungen auf den unterschiedlichsten Raum- und Zeitskalen.

Hier interessiert nun die spezielle Frage, ob Klimaänderungen die weltweiten und heimischen Fischbestände beeinflussen. Sie lässt sich nach heutigem Kenntnisstand bejahen, speziell für die heringsartigen Fische wie Hering, Sprotte, Sardine und Sardelle / Anchovy. Diese Fischarten kommen in ungeheuren Mengen vor und sind fast überall im Weltmeer zu befischen. Wir verdanken ihnen etwa 20 % bis 25 % des Weltfischerei-Jahresertrages, wobei die Sardinen mehr als 40 % beitragen. Dies sind nicht die kleinen Sardinen aus der Ölkonzerve, sondern die der subtropischen Fanggründe. Sie erreichen annähernd eine Länge von 40 cm und werden zur wichtigsten Fanggruppe in Ländern wie Japan, USA (Kalifornien), Chile, Peru, Südafrika und Namibia gerechnet. Die zweitwichtigste Fischart dieser Gruppe ist mit fast 20 % des weltweiten Fangertrages die Sardelle (Anchovy). Die Laich- und Fraßkonzentrationen beider Fischarten werden durch Klimaänderungen beeinflusst, die sich im Meer durch raum-zeitliche Umstellungen in der Meeresströmung und den damit herangeführten Meerwassereigenschaften (Temperatur, Salz-, Sauerstoff- und Nährstoffgehalt) abbilden. Unabhängig von fischereipolitischen Einschränkungen (Fangrechte, Überfischung, ...) gilt es bei der Einschätzung der Auswirkung von Klimaschwankungen auf die jährlichen Fangserträge zu klären, welche klimatischen

„Schlüsselgrößen“ die gesuchte Übereinstimmung geeignet belegen. Sind es auffällige Veränderungen der Temperatur in Luft und Wasser, des Luftdruckes, des Niederschlags mit Regen und Schnee, die Vereisung von ganzen Meeresgebieten (Eisöffnungstage der Häfen höherer Breiten) oder aber der vorherrschende Zirkulationstyp (Antizyklone / Hochdruckgebiet oder Zyklone / Tiefdruckgebiet) und die daran gekoppelten Sturmstärken und deren Häufigkeit?

Die Nordatlantische Oszillation (NAO)

Eine exakte Aufzeichnung der „Klimaelemente“ gibt es erst seit etwa 150 Jahren. Für Informationen aus früheren Zeiten ist man weitgehend auf indirekte Quellen angewiesen. Ein Beispiel dafür ist der von Lamb (1972) gebildete Index zur Beschreibung strenger und milder Winter über England und Westeuropa bei etwa 50° Nord und 6° Ost. Er basiert auf subjektive Wetteraufzeichnungen (schön, regnerisch, kalt, mild, ...) der letzten 900 Jahre, Abb. 1. Je weiter diese Kurve abwärts geht, desto strenger waren die Winter und umgekehrt. Die zeitliche Abfolge der Winterstrenge wird durch paläontologische Untersuchungen an Eisbohrkernen der Arktis und Grönlands ein-

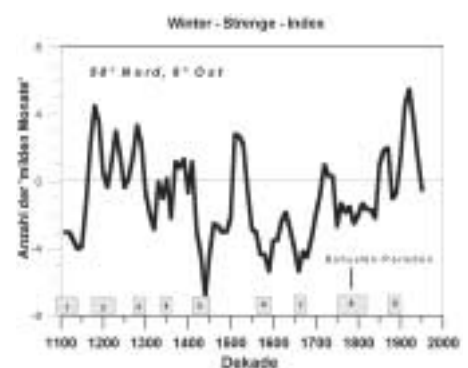


Abbildung 1: Anzahl der milden (positiv) und strengen Wintermonate (negativ) über England und Westeuropa nach Lamb (1972); neun Perioden mit enormen Vorkommen des Bohuslän-Herings wurden von Alheit und Hagen (1997, 2002) für das Übergangsgebiet zwischen Nord- und Ostsee während strenger Winter über Westeuropa nachgewiesen, speziell entlang der schwedischen Bohuslän-Küste im Skagerrak.

Frequency of mild (positive) and severe winter months (negative) over England and western Europe according to Lamb (1972); nine periods of exceptional strong catches of the Bohuslän-herring could be identified by Alheit and Hagen (1997, 2002) for the transition area between the North Sea and the Baltic Sea along the Swedish Bohuslän-coast during severe winter environmental conditions.

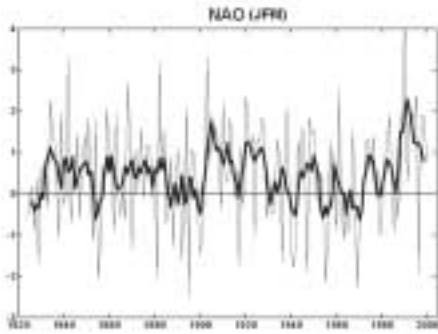


Abbildung 2: Mittlere winterliche Anomalien (Januar bis März) der Nordatlantischen Oszillation (NAO) bezüglich des klimatologischen Mittelwertes im Luftdruckgegensatz zwischen den Azoren und Island (<http://www.ideo.columbia.edu/NAO>); eine Aufeinanderfolge von Wintern mit positiven/negativen Werten wird durch eine fünfjährig übergreifende Mittlung (dicke Linie) dargestellt und beschreibt Tendenzen für intensivierte/abgeschwächte Westwinde über dem Nordatlantik (vergl. Abb. 3 a, b).

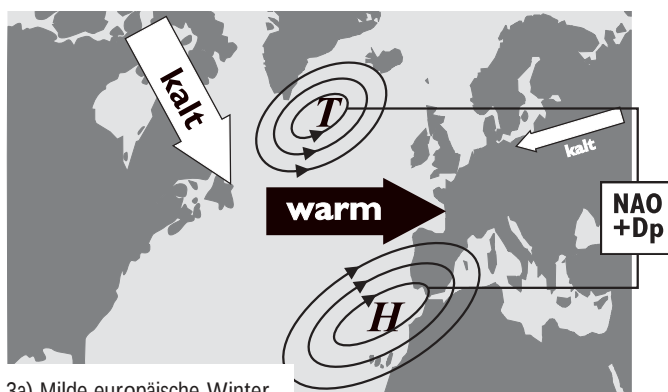
Averaged winter anomalies (January–March) of the North Atlantic Oscillation (NAO) with respect to climatic means of air pressure differences between the Azores and Iceland (<http://www.ideo.columbia.edu/NAO>); subsequent positive/negative years are shown by five year running means (bold line) and exhibit tendencies for intensified/relaxed westerlies over the North Atlantic Ocean (cf. Fig 3 a, b).

drucksvoll bestätigt (Wastl et al., 2001). Die überlieferten Perioden intensiver Heringsfänge vor der schwedischen Bohuslän-Küste im Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee (Skagerrak) wurden allesamt durch strenge, europäische Winter begleitet. Dieser „Bohuslän-Hering“ kam aus der Nordsee und suchte während der Winterzeit in großen Schwärmen die Skagerrakgewässer auf, um sie im folgenden Frühjahr wieder zu verlas-

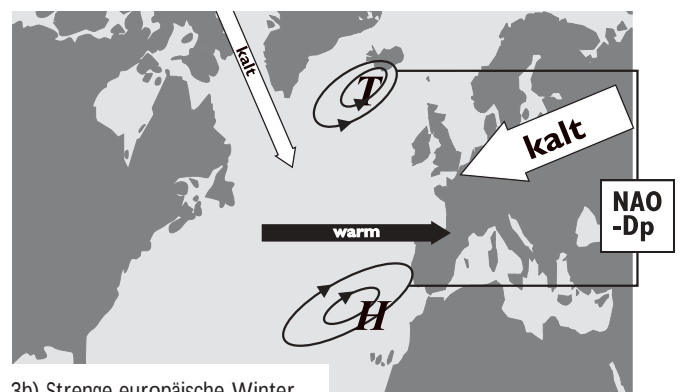
sen. Offensichtlich hatten diese Fischwanderungen etwas mit den oft mehrere Jahrzehnte andauernden Perioden strenger europäischer Winter zu tun. Wie ist dies zu erklären?

Zur Winterszeit findet in unseren gemäßigten Breiten ein ständiger Kampf von Luftmassen statt. Dabei ringt feuchte, milde Atlantikluft (Westwind) mit der trockenen, sibirischen Kontinentalluft (Ostwind) um die Vorherrschaft. Der Gewinner entscheidet schließlich über die Strenge und Dauer des Winters. Andere Windrichtungen spielen nur eine untergeordnete Rolle, da wir uns im Bereich des Westwindbandes der planetaren Frontalzone befinden, die die kalten, polaren Luftmassen von den warmen, äquatorialen Luftmassen trennt. Die dadurch bedingten Druckgegensätze zwischen hohem Luftdruck in subtropischen Breiten und niedrigem Luftdruck subarktischer Breiten legen Stärke und Ausdehnung des eingebetteten Westwindbandes fest. Zeitliche Änderungen in diesen großräumigen Nord-Süd-Druckunterschieden über dem Nordatlantik können beispielsweise durch die Aufzeichnung von Druckdifferenzen zwischen den Azoren und Island deutlich gemacht werden (Abb. 2). Je größer dieser Druckgegensatz ist, desto kräftiger weht der Westwind über dem Nordatlantik und desto mehr Wärme kann vom Wasser an die Luft abgegeben und pro Volumenelement und Zeit in Richtung Europa verfrachtet werden. Da das Wärmespeichungsvermögen des Meeres tausendfach größer ist als das der Atmosphäre und die Meeresströmungen hundertfach geringer sind als die Windgeschwindigkeit kommt es dabei zu drastischen, sich immer wiederholenden Zeitverzügen im Energieaustausch zwischen Wasser und Luft. Die so ausgelösten Schwankungen treten in Abfolgen von wenigen Jahren bis mehreren Jahr-

zehnten auf und werden als „Nordatlantische Oszillation (NAO)“ bezeichnet. Generell beschreibt die NAO zwei Zustände: In einer Folge von Jahren bleibt der Luftdruck über Island extrem niedrig aber der über den Azoren nahezu unverändert. Die Luftdruckgegensätze erreichen so extreme Werte. Hinsichtlich der klimatisch üblichen Druckunterschiede (Δp) zwischen beiden Regionen liegt in diesem Fall eine positive Anomalie vor, Abb. 3a. Das Westwindband und eingebettete Störungen intensivieren sich und die Anzahl der darin in Richtung Westeuropa wandernden „Islandtiefs“ erhöht sich. Die über dem Nordatlantik erwärmten Luftmassen verursachen dann, besonders im Winter, mildes Wetter über Zentral- und Nordeuropa. Dies ist die „maritime“ Phase der NAO. Ihre kontinentale Phase tritt dann auf, wenn der winterliche Luftdruck über Island seinen klimatologischen Erwartungswert nicht erreicht und der Druckunterschied zwischen den Azoren und Island relativ gering bleibt. Dann werden negative Anomalien im NAO beobachtet und das Westwindband über dem Nordatlantik ist nur schwach ausgebildet. Aus diesem Grunde gelangen Nord- und Zentraleuropa unter starken Zustrom kalter, trockener Luftmassen aus Sibirien und es kommt hier zu strengen Wintern, Abb. 3b. Weite Teile der heimischen Ostsee vereisen und beeinflussen Seehandel und Fischerei nachhaltig. Unter derartigen klimatischen Bedingungen wanderten die Heringe aus der Nordsee in das Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee und führten dort zu reichen Fangerträgen in der unmittelbaren Küstenzone. Hier wurde der Fang nicht mit Booten ausgeführt, sondern mit Hilfe sogenannter Strandwadern. Die Fänge wurden vorwiegend mit Salz haltbar gemacht und der Heringshandel reichte nachweis-



3a) Milde europäische Winter



3b) Strenge europäische Winter

Abbildung 3: Charakteristische Konstellationen des Islandtiefs (T) und Azorenhochs (H) über dem Nordatlantik

a) eine anhaltende positive Anomalie der NAO (+Dp) bedingt eine verstärkte Zufuhr von Kaltluft westlich Grönlands und deren Aufwärmung über dem Nordatlantik; das Westwindband ist intensiviert; das Vordringen sibirischer Kaltluft nach Europa wird unterdrückt und es werden milde Winter über Westeuropa beobachtet (maritime Phase),

b) eine anhaltende negative Anomalie der NAO (-Dp) fällt mit einer Abschwächung des Westwindbandes über dem Nordatlantik zusammen, die Zufuhr milder, feuchter, atlantischer Luftmassen nach Westeuropa wird gedrosselt und kalte, trockene Luft aus dem sibirischen Raum führt zu strengen Wintern über Westeuropa (kontinentale Phase mit weitgehender Vereisung der Ostsee).

Characteristic constellations of the Icelandic Low (T) and the Azores High (H) over the North Atlantic Ocean

a) positive anomalies of the NAO (+Dp) correspond to a strong inflow of cold air masses over the Alaska-Greenland region which are heated above the North Atlantic; westerlies accelerate and avoid the inflow cold Siberian air masses to cause mild winters over Europe (maritime mode),

b) negative anomalies of the NAO (-Dp) coincide with relaxed westerlies over the North Atlantic; the eastward transport of mild, maritime air masses drastically decreases and cold, dry, continental air masses cause severe winter over western Europe (continental mode).

lich bis Italien. Sowohl Warnemünder Fischer also auch Rostocker Kaufleute nahmen daran aktiv teil und der Heringshandel trug maßgeblich zum Wohlstand der Küstenbewohner bei. Die günstigen Fangbedingungen hielten, den Phasen der NAO folgend, 20 bis 50 Jahre an. Danach blieben die Heringsschwärme plötzlich aus und es kam vielerorts zu Armut und sozialen Nöten. Jahnke (1997)

Klimatische Fernwirkungen

Global beobachtete Klimaschwankungen im Zeitfenster von drei bis sieben Jahren sind durch die berühmten berüchtigten „El Niño“-Ereignisse bekannt geworden. Sie entstehen im tropischen Pazifik und bewirken weltweite Witterungsanomalien. Kleinste Änderungen im Wärmeverrat der Deckschicht des größten Wasserreservoirs der Erde lösen beachtliche Änderungen in den Wärmequellen vom Meer in die Atmosphäre aus und bedingen dadurch Variationen im Wasserdampfgehalt tropischer Luftmassen. Das global verzahnte Windsystem nimmt diese Information auf und gibt sie innerhalb weniger Wochen in abgeänderter Form (Luftmassentransformation) durch „Fernwirkung“ weiter.

Normalerweise schieben die beständigen Passatwinde der subtropischen Breiten über dem äquatorialen Pazifik einen riesigen Warmwasserberg in Richtung der indonesischen Gewässer.

Kaltes, reich an Nährsalzen aufquellendes Wasser aus tieferen Schichten versucht das entstandene Massendefizit vor der südamerikanischen Küste auszugleichen. Hier gelangt es in die lichtdurchflutete Deckschicht und löst über die Entwicklung von Kleinlebewesen (Plankton) eine üppige Weidengrundlage der Nutzfische aus. Lassen aber die Passatwinde in ihrer Stärke und Dauer nach, dann fehlt die Schubkraft des Windes, um das äquatoriale Warmwasser in indonesischen Gewässern zu halten. Ein gewaltiger Warmwasserberg wandert längs des Äquators auf die südamerikanische Küste zu. Satellitenbilder der Wasseroberflächentemperatur belegen dies eindrucksvoll. Das durch intensive Sonneneinstrahlung aufgeheizte, tropische Wasser ist aber recht arm an Nährstoffen. Vor den Küsten Südamerikas angekommen, ersetzt es das vormalige nährstoffhaltige Kaltwasser. Vor den Küsten Perus steigt die Wasseroberflächentemperatur innerhalb weniger Wochen um bis zu 10 °C. Dieses Warmwasser erreicht nach ein bis zwei Monaten die Küstengewässer vor Chile. Derartige Ereignisse treten regelmäßig um die Weihnachtszeit auf und wurden daher von den Küstenbewohnern „El Niño“, das Christkind, getauft. Alle drei bis sieben Jahre ist es besonders lang anhaltend und intensiv, (Latif and Barnett 1996). Dies führt dann zu drastischen Veränderungen im Ökosystem der Küstengewässer. Plötz-

lich tauchen tropische Fischarten auf und Sardellen, die an sehr viel kälteres Wasser gewöhnt sind, fühlen sich unwohl und wandern ab und / oder sterben aus. Gleichzeitig werden über Alaska sehr strenge Winter beobachtet und in der Rheinebene und in China häufen sich die Überschwemmungen während über Indonesien Dürreperioden vorherrschen (Janicot et al., 2001). Solche weltweit beobachteten Klimaschwankungen beeinflussen die Umweltbedingungen der Fanggründe um Japan, vor Kalifornien, und Peru und Chile. Untersuchungen von Schwartzlose et al. (1999) belegen, dass die Entwicklung von Fischbeständen hier über mehrere Dekaden synchron verlaufen. Im Benguela-Strom vor Südwestafrika und Namibia wird das gleiche Phänomen beobachtet, allerdings mit umgekehrten Vorzeichen, Abb. 4. Gegenwärtig wird versucht das besondere Verhalten der Fischbestandsentwicklung vor Südwestafrika durch klimatisch bedingte Veränderungen im beckenweiten Stromsystem des Südatlantiks zu erklären.



Abbildung 5: Untersuchungsgebiet im Südostatlantik über grober Topographie (km); die klimatologischen Positionen des südatlantischen Hochdruckgebietes (SAA), des Angolantiefs (AT) und des Kalaharientiefs (KT) halten den Südostpassat (SEP) und den kalten Benguela-Strom (BS) aufrecht (Pfeile); das Untersuchungsgebiet für intensiven, küstennahen Kaltwasserauftrieb (IBU) liegt zwischen 9° und 34° Süd sowie zwischen 8° und 20° Ost und wird im Norden durch einen südwärts setzenden Gegenstrom (GS) mit äquatoralem Warmwasser aus dem Golf von Guinea sowie im Süden von Warmwasser aus dem Agulhas-Strom (AS) des Indischen Ozeans eingegrenzt.

Study area in the Southeast Atlantic over rough bottom topography (km); climatic positions of the South Atlantic Anticyclone (SAA), the Angolan Low (AT), and the Kalahari Low (KT) are shown; these atmospheric centres of action maintain the southeast trade wind (SEP) and the cold Benguela Current (BS) (arrows); intense Benguela coastal upwelling (IBU) was investigated in between 9° and 34°S and 8° and 20° E; meridionally, this area is bounded by two current systems conveying warm water towards the main upwelling region: in the north, the southward counter current (GS) originates from the Gulf of Guinea while waters of the Agulhas Current (AS) of the Indian Ocean influence the south.

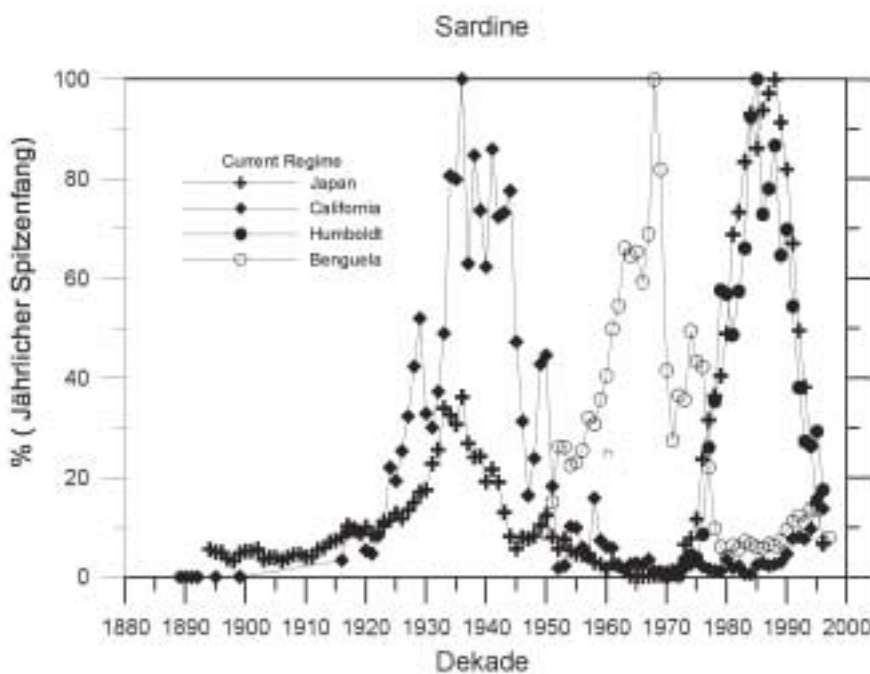


Abbildung 4: jährliche Anlandungen der Sardinenfänge aus den Gewässern vor Japan (Kreuz), Kalifornien (Rhombus), des Humboldt-Strom-Gebietes vor Peru und Chile (Punkt) und des Benguela-Strom-Gebietes vor Namibia und Südwestafrika (offener Kreis) nach Daten von Schwartzlose et al. (1999); für den regionalen Vergleich wurde die Werte prozentual auf die Spitzenfänge normiert (in Einheiten von 10³ Tonnen: Japan = 448,8; Kalifornien = 717,7; Humboldt = 5621,0; Benguela = 1507,9). (Wenn die Sardinenbestände im Pazifik zusammenbrechen, entwickeln sie sich im Südostatlantik, und umgekehrt!)

Annual Sardine landings from fishery areas off Japan (crosses), California (rhombus), Peru and Chile (dots), and Namibia and South Africa (open circles) according to data of Schwartzlose et al. (1999); plots were standardised on total peak values (10³ metric tons: Japan = 448.8, California = 717.7, Peru/ Chile = 5621.0, Namibia/South Africa = 1507.9). (Collapsing Sardine populations in the Pacific coincide with increasing populations in the Southeast Atlantic and vice versa.)

Gebiet des intensiven Benguela Auftriebs (SST < 13°C): 9°-34°S, 8°-20°E
AVHRR (1982-1999) & METEOSAT (2000-2001)

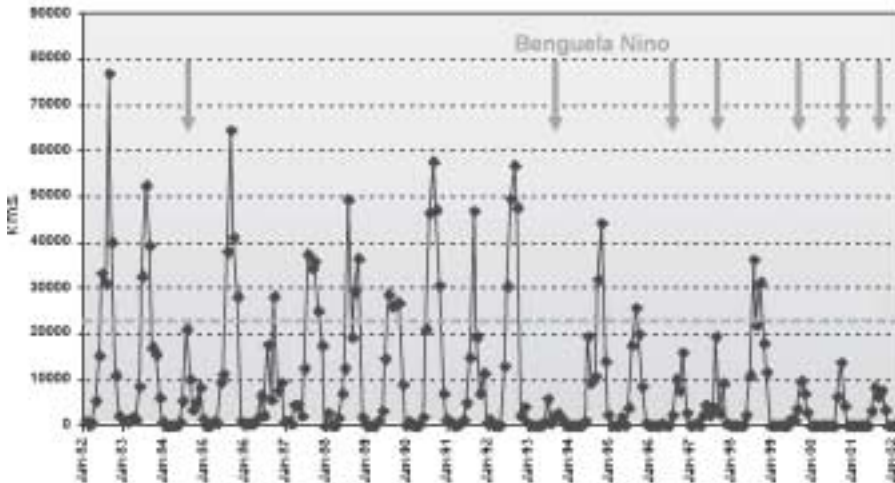


Abbildung 6: Monatliche Kaltwasserflächen (km²) mit Wasseroberflächentemperaturen (sea surface temperature = SST) gleich oder kälter als 13 °C, bestimmt aus Satellitenmessungen aus dem in Abbildung 5 ausgewiesenen Untersuchungsgebiet vor den Küsten Südwestafrikas; die Werte fallen während der Benguela Niño Jahre (senkrechte Pfeile) weit unter die Grenze aus Mittelwert plus Standardabweichung (gestrichelt) und offenbaren für die letzten 20 Jahre (1982–2002) eine abnehmende Tendenz auf der dekadischen Zeitskala.

Monthly cold water areas (km²) with sea surface temperatures (SST) equal or lower than 13°C derived from satellite measurements for the study region of intense Benguela upwelling (IBU) shown in Fig.5; values significantly fall below the total mean plus standard deviation (dotted line) for the so-called Benguela Niño events (arrows); on the decadal scale, an overall decreasing tendency results for the last twenty years (1982-1999).

Benguela-Strom-Gebiet

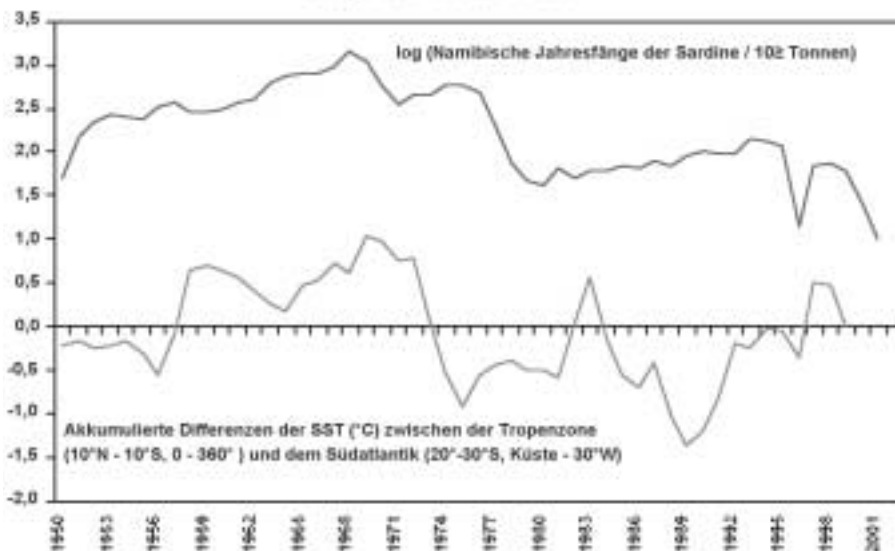


Abbildung 7: Vergleich der logarithmierten Jahresfänge der Sardine aus namibischen Gewässern (10³ Tonnen) mit der akkumulierten Differenz zwischen den global gemittelten Anomalien der Wasseroberflächentemperaturen (SSTA, ohne mittleren Jahresgang) der Tropen (10° Nord – 10° Süd, 0°–360°) und denen des Südostatlantiks (5°–15°S, 15°W–5°O); die Differenzbildung unterdrückt den Einfluss global wirkender Prozesse; die Bestandsentwicklung der namibischen Sardine (Fänge) wird auf der dekadischen Zeitskala durch Änderungen im regionalen Klima (SSTA) kontrolliert.

Comparison between logarithms of annual Namibian Sardine catches (10³ metric tons, upper curve) with accumulated differences between globally averaged anomalies of the tropical sea surface temperature (without the mean seasonal cycle) (10°N–10°S, 0°–360°) and corresponding anomalies in the Southeast Atlantic (5°–15°S, 15°W–5°E); such differences suppress the influence of globally acting processes; the development of Namibian Sardine populations is controlled by changes of the regional climate (SST), especially on the decadal scale.

Gebiet des Benguela-Stromes

Das Küstengebiet vor Südwestafrika ist eines der wichtigsten Fanggebiete der internationalen Hochseefischerei und Deutschland besitzt dort eine gewisse Tradition bei der Erkundung meteorologischer (Boss, 1941), ozeanologischer (Defant, 1936), und biologischer (Postel et al, 1995) Prozesse. Die äquatoriale Tiefdruckrinne im Norden, kontinentale Wärmetiefs im Osten (Angola-Kalahari Tief) und das Hochdruckgebiet über dem zentralen Südatlantik im Westen halten den Südostpassat vor den Küsten Namibias und Südafrikas aufrecht. Seine äquatorwärts gerichtete Komponente ist die treibende Kraft für den kalten Benguela-Strom und küstennah eingebettete Auftriebsprozesse, Abb. 5.

Im Gegensatz zu anderen Auftriebsgebieten, wie vor Marokko / Mauretanien (Kanarenstrom), Kalifornien (Kalifornien-Strom) und Peru / Chile (Humboldt-Strom) mit einer polwärts gelegenen Kaltwassergrenze ist das Kaltwassergebiet des Benguela-Stromes durch den Zustrom warmen Wassers aus dem Indischen Ozean (Agulhas-Strom) auch im Süden durch eine Warmwassergrenze abgeriegelt. Zwischenjährlich kommt es dabei zu großen Schwankungen in der Ausdehnung des eingeschlossenen Kaltwassergürtels. Nimmt beispielsweise der Südostpassat bezüglich seines langjährigen Mittelwertes drastisch ab, dann verkleinert sich das küstennahe Kaltwassergebiet. Äquatoriales Warmwasser ohne nennenswerte Nährstoffe wird durch einen südwärts gerichteten Gegenstrom aus dem Golf von Guinea in Richtung des Auftriebsgebietes geführt und warmes Wasser der atlantischen Ausläufer des Agulhas-Stromes dringen nach Norden vor. Das eingeschlossene Kaltwassergebiet schrumpft bis auf wenige, lokal fixierte Zellen zusammen. Der ausbleibende Auftrieb von Wasser aus tieferen Schichten und die dadurch gedrosselte Nährstoffzufuhr verhindern weitgehend die normale Entwicklung von pflanzlichen und tierischen Plankton. So verringert sich die Weidegrundlage der Nutzfische und es kommt zu rückläufigen Bestandsentwicklungen bis hin zum Fischsterben. In Analogie zu den Bedingungen im Pazifik wird hier auch von einem „Benguela Niño“ gesprochen. Derartige Situationen sind in Zonen zwischen 40 km und 100 km Küstenentfernung häufig durch Eruptionen von stark giftigem Schwefel-Wasserstoff aus dem mit Faulschlamm angereicherten Sediment begleitet, die das Fischsterben noch beschleunigen (Copenhagen, 1953). Über die Auslösemechanismen ist herzlich wenig bekannt und international laufende Untersuchungen, an denen auch deutsche Geologen und Ozeanographen maßgeblich beteiligt sind, versuchen gegenwärtig die wichtigsten Ursachen zu erkennen. Dabei wird aber nicht bezweifelt, dass Stärke- und Richtungsänderungen der Passatwinde als Schlüsselgrößen anzusehen sind.

Aus der Literatur und eigenen Untersuchungen mit Hilfe von Oberflächenwassertemperaturen, die von Satelliten gemessen wurden (Abb. 6), folgten Hagen et al. (2001), dass im vergangenen Jahrhundert wenigstens 12 Benguela Niño's auftraten und neun Jahre durch extrem kräftigen Auftrieb ausgezeichnet waren. Die Zeitdifferenz zwischen aufeinander folgenden Warmwasserereignissen verkürzte sich dabei im Mittel von elf Jahre zwischen 1909 und 1963 auf fünf Jahre zwischen 1974 und 1999. Hinsichtlich der günstigen Auftriebsjahre waren es im Mittel 16 Jahre zwischen 1907 und 1955 aber nur sechs Jahre zwischen 1969 und 1992. Diese Verkürzung im Zeitabstand von Extremjahren um annähernd den Faktor zwei auf der dekadischen Zeitskala wurde als Indiz für einen beschleunigten Energietransfer im globalen Klimasystem tropischer / subtropischer Breiten aufgefasst. Gleichzeitig wurde im Regime des Benguela-Stromes aber auch ein über 20 Jahre anhaltender Trend zur Verringerung der totalen Fläche des küstennahen Kaltwassergürtels beobachtet. Aus der Analyse von meteorologischen Langzeitreihen (Lufttemperatur, Luftdruck und Niederschlag), die von 1893 bis 1999 auf der St. Helena Insel (16° S, 5° 42' W) beobachtet wurden (Abb. 5), schlussfolgerten Feistel et al. (2003),

dass klimatische Zyklen mit dekadischen Perioden auch für den subtropischen Ostatlantik charakteristisch sind. Ihre Auswirkungen auf die „Trends“ in den jährlichen Fischfängen werden offensichtlich (Abb. 7). Vergleichende Untersuchungen offenbarten, dass solche Klimaschwankungen weltweit beobachtet werden und die typische Zeit für Auf- und Abbau der Fischbestände in weit voneinander entfernt liegenden Fangplätzen erklären können. Die Aufklärung der eigentlichen Zusammenhänge ist gegenwärtig Gegenstand intensiver, internationaler Forschungen. Eines ist jedoch schon heute gewiss, nur die thermische „Gedächtnisleistung“ des Weltmeeres und die globale Umverteilung der Wärme durch ozeanische Stromsysteme vermag die Wärme flüsse zwischen Ozean und Atmosphäre auf Zeitskalen von mehreren Jahrzehnten nachhaltig zu regulieren. Die ausgelösten Wärme flüsse zwischen dem thermisch trägen Meer und der thermisch flinken Atmosphäre lassen Oszillationen im Klimasystem entstehen, die sich selbst steuern und chaotischen Charakter haben. Die resultierende Variabilität der Wind- und Meeresströmungen tauscht Luft- und Wassermassen zwischen den einzelnen Klimazonen unserer Erde aus. So kommt es zur Modifikation des hydrographischen Milieus (Temperatur, Salz-, Sauerstoff-,

Nährstoffgehalt) der Hauptfischereiegebiete und deren Laich- und Fraßbedingungen. Die immer länger werdenden Zeitreihen meteorologischer und ozeanographischer Schlüsselgrößen und deren räumlich verbesserte Erfassung durch Satelliten, die immer schlagkräftiger werdende Rechnerleistungen und der immer intensiver geführte internationale Daten- und Wissensaustausch lassen für die nahe Zukunft eine deutliche Verbesserung in der Verwaltung weltweiter Fischressourcen erwarten, besonders zur Absicherung der Nahrungsbedürfnisse der wachsenden Weltbevölkerung.

Literatur

- Alheit, J. and E. Hagen (1997). „Long-term climate forcing of European herring and sardine populations.“ *Fisheries Oceanography* 6(2): 130–139.
- Alheit, J. and E. Hagen (2002). *Climate variability and historical NW European fisheries. Climate development and history of the North Atlantic realm*. G. Wefer, W. H. Berger, K. E. Behre and E. Jansen. Berlin, Springer-Verlag: 435–445.
- Boss, G. (1941). „Niederschlagsmenge und Salzgehalt des Nebelwassers an der Küste Deutsch-Südwestafrikas.“ *Bioklimatische Beiblätter* 1: 1–48.
- Copenhagen, W. J. (1953). *The periodic mortality of fish in the Walvis region*. Cape Town, Division of Fisheries: 8–35.
- Defant, A. (1936). „Das Kaltwasserauftriebsgebiet vor der Küste Südafrikas.“ *Länderkundliche Studien Festschrift W. Krebs*, Stuttgart: 52–66.
- Feistel, R., E. Hagen, et al. (2003). „Climatic changes in the subtropical Southeast Atlantic: the St. Helena Island climate index (1893–1999).“ *Progress in Oceanography* (accepted).
- Hagen, E., R. Feistel, et al. (2001). „Seasonal and interannual changes in intense Benguela upwelling.“ *Oceanologica Acta* 24(6): 557–568.
- Jahnke, C. (1997). „Heringsfang und -handel im Ostseeraum des Mittelalters.“ *Dissertation, Christian-Albrechts-Universität Kiel*, 376 S.
- Janicot, S., S. Trzaska, et al. (2001). „Summer Sahel-ENSO teleconnection and decadal time scale SST variations.“ *Climate Dynamics* 18: 303–320.
- Lamb, H. H. (1972). *Climate history and the modern world*. London, Methuen.
- Latif, M. and T. P. Barnett (1996). „Decadal climate variability over the North Pacific and North America; dynamics and predictability.“ *Journal of Climate* 9: 2407–2423.
- Postel, L., E. A. Arndt, et al. (1995). „Rostock zooplankton studies off West Africa.“ *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 49: 829–847.
- Schwartzlose, R. A., J. Alheit, et al. (1999). „Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations.“ *South African Journal of Marine Science* 21: 289–347.
- Wastl, M., J. Stötter, et al. (2001). *Sea ice-climate-glacier relationships in northern Island since the nineteenth century: possible analogues for the holocene. History and Climate, Memories of the Future*. P. D. Jones, A. E. J. Ogilvie, T. D. Davies and K. R. Briffa. New York, Kluwer Academic/Plenum Publishers: 187–200.

Der Autor



PD Dr. Eberhard Hagen
geb. 1944 in Röbel / Müritz

- 1966–71 Studium der Meteorologie / Geophysik an der Universität Leipzig
- 1971–91 Wiss. Angestellter am ehemaligen Institut für Meereskunde in Warnemünde
- 1975 Promotion in physikalischer Ozeanographie an der Universität Leipzig
- 1980 Habilitation
- 1979–82 Korrespondierendes Mitglied der SCOR WG-59: „Mathematical Models in Biological Oceanography“
- 1991 Wiss. Mitarbeiter am Institut für Ostseeforschung / Warnemünde an der Universität Rostock
- 1991 ICES Working Group on Oceanic Hydrography
- 1993 Privatdozent für angewandte Physik (physikalische Ozeanographie) im Fachbereich Physik der Universität Rostock
- 1994–98 Mitglied der SCOR-Working Group 98 / GLOBEC-International: „Worldwide Large-Scale Fluctuations in Sardine and Anchovy Populations“
- 1994 ICES Working Group on Cod and Climate

Kontaktadresse:

Universität Rostock, Institut für Ostseeforschung, 18119 Rostock-Warnemünde,
Tel. 0381/5 19 71 50
e-mail: eberhard.hagen@io-warnemünde.de

KLIMAREIZE HELFEN HEILEN

• Karin Kraft

Bei der Klimatherapie werden klimatische Reize wie Kälte oder Sonneneinstrahlung zur unspezifischen Therapie von Krankheiten verwendet. Sie ist ein wesentlicher Bestandteil kurortspezifischer Therapiemaßnahmen. In Mitteleuropa werden Hochgebirgs-, Mittelgebirgs- und Seeklima zu Therapiezwecken eingesetzt. Typische Klimaexpositionsverfahren sind Freiluftliegekur, Luftbäder, Heliotherapie und Terrainkuren. Insbesondere die Terrainkur hat als aktivierendes Therapieverfahren in den letzten Jahren eine erhebliche Aufwertung erfahren. Wegen der individuellen Antwort auf den wiederholten therapeutischen Reiz ist der indikationsspezifische Beleg der Wirksamkeit einer Klimatherapie stark erschwert.

Climatotherapy makes therapeutic use of climatic stimuli such as cold or solar radiation. It is an essential part of the typical therapeutic spectrum of health resorts. Therapeutic measures are rest in the open air, air bath, heliotherapy and terrain walk. Especially the terrain walk which is an activating therapy, has recently gained more interest. The individual reaction to a repetitive therapeutic stimulation extremely complicates the scientific evaluation of the efficacy of climatotherapy in a specific indication.

Gespräche über das Wetter sind nicht von ungefähr sehr beliebt. Auch Romane werden häufig mit einem Satz zur Wetterlage eingeleitet. Viele Menschen geben an, wetterfühlig zu sein. Tatsächlich hat die Klimaforschung herausgefunden, dass bestimmte Wetterlagen sogar eine erhöhte Sterberate im Gefolge haben, andere sich aber wiederum günstig auf das Befinden auswirken. Dass damit auch das Klima als die Summation der verschiedenen Wetterlagen einer Region ebenfalls die Gesundheit beeinflussen kann, erscheint nachvollziehbar. Tatsächlich wurden schon im Altertum neben dem Gebrauch heilkräftiger Quellen auch Seebäder und Klimawechsel bei verschiedenen Krankheiten empfohlen. Leibniz (1646–1716) untersuchte erstmals systematisch den Zusammenhang zwischen Wetter und Krankheit. Das erste deutsche Seebad wurde, um die Besonderheiten des Ostseeklimas für Heilzwecke zu nutzen, von dem Rostocker Arzt und Hochschullehrer Prof. Dr. Samuel Gottlieb Vogel in Heiligendamm bereits im Jahre 1793 im Auftrag von Herzog Friedrich Franz I. von Mecklenburg-Schwerin gegründet. Im 19. Jahrhundert wurden in Deutschland dann auch die günstigen klimatischen Bedingungen des Hochgebirges und der Mittelgebirge therapeutisch genutzt. Die wissenschaftliche Erforschung der Klimatherapie, die als die Behandlung von Krankheiten und Funktionsstörungen mittels klimatischer Faktoren definiert wird, begann An-

fang des letzten Jahrhunderts. Dabei standen vor allem die akuten Reaktionen des Körpers auf einen klimatischen Reiz wie z. B. Kälte im Vordergrund. Aus eigener Erfahrung ist aber jedem bekannt, dass der Körper je nach Jahreszeit und allgemeiner gesundheitlicher Verfassung sehr unterschiedlich



Abbildung 1:
Cirruswolken ziehen auf, ein Tiefdruckgebiet naht.
Cirrus clouds are arising indicating a low-pressure area

auf den gleichen Kältereiz reagieren kann. Während ein Eisbad mit den damit verbundenen niedrigen Umgebungstemperaturen bei Menschen, die nicht daran gewöhnt sind, in der Mehrzahl der Fälle zumindest zu starkem Frieren mit anschließendem Schnupfen, evtl. sogar zu schlimmeren Folgen führen kann, gibt es bekanntlich Leute, die Eisbäder nicht nur genießen, sondern auch einen gesundheitlichen Nutzen davon haben. Dieses Beispiel illustriert bereits, was dann auch die For-

schung der letzten 30 Jahre mit zunehmender Klarheit erbracht hat, nämlich dass es sich bei der Klimatherapie – wie auch bei den meisten anderen Naturheilverfahren – vorwiegend um eine Regulations- und Reaktionstherapie handelt, deren therapeutische Effekte auf sekundären Anpassungsreaktionen (Adaptationen) des Behandelten beruhen. Dabei ist die wiederholte und individuell dosierte Exposition gegenüber dem betreffenden Klimareiz von entscheidender Bedeutung. Dieses Erkenntnis ist für die Entwicklung weiterer Forschungsansätze zum Beleg der Wirksamkeit von derartigen Therapieverfahren bei den verschiedenen Erkrankungen sehr wichtig. So ergibt sich daraus, dass die typische klinische Prüfung mit den Postulaten der Verblindung, Randomisierung und Kontrolle mit einem Vergleichskollektiv, wie sie für die Wirksamkeitsprüfung bei Arzneimitteln gefordert wird und auch in den meisten Fällen sinnvoll ist, für viele Fragestellungen der Klimatherapie ungeeignet ist. Da diese Problematik nicht allgemein bekannt ist, erliegen gegenwärtig viele medizinische Experten dem Trugschluss, dass fehlende oder mit (in der Praxis nicht vermeidbaren) Mängeln behaftete klinische Prüfungen der Beleg für eine mangelhafte Wirksamkeit des geprüften Therapieverfahrens wie eben auch der Klimatherapie sind. Im übrigen ist eine Untersuchung des Einflusses allein der klimatischen Faktoren bzw. des Klimawechsels auf den Verlauf von Erkrankungen schon deswegen äußerst schwierig, weil die Kostenträger grundsätzlich bei von ihnen finanzierten Aufenthalten in Kurorten auf der gleichzeitigen Anwendung mehrerer Heilmittel und -verfahren bestehen.

Die Klimatherapie gehört ebenso wie die so genannten fünf Säulen nach Sebastian Kneipp (Hydrotherapie, Phytotherapie, Ernährungstherapie, Bewegungstherapie, Ordnungstherapie) zur Naturheilkunde. Ziel der Klimatherapie ist u. a. die Auseinandersetzung des Körpers mit Strahlungsreizen (Sonnenstrahlung) und klimatischen Kältereizen, deren Intensität durch Bekleidung und Verhaltensweisen beeinflusst werden kann. Klimatherapie wird typischerweise in Kurorten, d. h. Orten, die sich durch spezifische, im Wohnort nicht imitierbare Möglichkeiten wie Seeklima, kohlen säurehaltige Quellen oder Vorkommen von Moor auszeichnen, durchgeführt. Die thermische Reizstärke ist von folgenden meteorologischen Parametern abhängig: Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und kurz- und langwellige Anteile der Sonnenstrahlung. Als starke klimatische Reize, die für Abhärtung (Abnahme der Kälteempfindlichkeit, verbesserte Immunabwehr) und körperliche Leistungssteigerung verantwortlich sind, gelten insbesondere niedrige Lufttemperaturen, Wind und hohe UV-Strahlung. Dass dagegen körperliche Leistungsfähigkeit und Immunabwehr bei Smog oder starker Schwüle massiv nachlassen, kennt jeder aus Erfahrung. Deswegen sind schonende

Elemente, die zur Entlastung des Herzkreislaufsystems und zur Verbesserung der Lungenfunktion beitragen, wie saubere Luft und selten auftretende Schwüle (Wärmebelastung) auch im Sommer, Grundbedingungen für die Anerkennung als heilklimatischer Kurort. Sie bilden sozusagen das Gegengewicht zum thermischen Reiz und ermöglichen die Anwendung einer höheren thermischen Reizstärke. An heilklimatische Kurorte, Seebäder und andere Orte mit einem Anspruch auf ein gesundheitsförderndes Klima werden deshalb erhebliche Anforderungen gestellt. So muss ein heilklimatischer Kurort wissenschaftlich anerkannte und bewährte klimatische Eigenschaften, die durch Klimastationen laufend überwacht werden, sowie eine entsprechende Luftqualität, die durch Luftgütegrade gekennzeichnet wird, aufweisen. Die Anerkennung als „Heilklimatischer Kurort“ folgt entsprechend dem Landesrecht unter Berücksichtigung der „Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte u. Heilbrunnen“ des deutschen Heilbäderverbandes von 1998. Wegen seiner biometeorologischen Bedeutung darf z.B. Nebel in heilklimatischen Kurorten von April bis September nur an maximal 15 Tagen auftreten, im übrigen Jahr an nicht mehr als 50 Tagen. Auch darf im langjährigen Durchschnitt an nicht mehr als 20 Tagen im Jahr ein festgelegter Wert für eine Wärmebelastung überschritten werden. Ebenso müssen die Richtwerte für die Immission von Luftverunreinigungen eingehalten werden.

Klimaregionen

In Mitteleuropa eignen sich drei Klimaregionen, in denen diese schonenden Grundbedingungen vorliegen, zu Heilzwecken bei chronischen Krankheiten und Regulationsstörungen: Hochgebirge, Mittelgebirge und Meeresküsten.

Hochgebirgsklima:

Therapeutisch werden Höhenlagen zwischen 1000 und 2000 m über NN genutzt. Hauptwirkfaktor ist der komplexe Höhenreiz, der durch einen verminderten Luftdruck, speziell Sauerstoffpartialdruck, durch trockene Luft und relativ niedrige Temperaturen charakterisiert ist. Es fehlt die Wärmebelastung, die Luft ist insbesondere oberhalb von 1500 m sehr rein, die solare Strahlungswirkung ist ausgeprägt. Indikationen für diesen Klimabereich sind Herz- und Gefäßkrankheiten, Erkrankungen der Stütz- und Bewegungsorgane, Hautleiden, Erkrankungen der Atemwege, Erkrankungen im Kindesalter und Patienten in der Rekonvaleszenz.

Mittelgebirgsklima:

Orte mit Mittelgebirgsklima liegen 300 bis 500 m über NN. Sie zeichnen sich durch die Schonfaktoren des Waldklimas aus, d.h. geringe Temperaturgegensätze im Tagesverlauf, Windschutz, gleichmäßige Luftfeuchte, geringer Geräuschpegel, staub- und schadstoffarme Luft. Wärme- und Strahlungsbelastung sind gering. Das Mittelgebirgsklima eignet sich zur

Anwendung weiterer ortgebundener Therapieformen (Behandlung im Klima) und ist insbesondere für Patienten mit verminderter Belastbarkeit zu empfehlen. Typische Indikationen sind Herz- und Gefäßkrankungen, Atemwegserkrankungen, Magen-Darm-Erkrankungen, rheumatische Erkrankungen und Er schöpfungszustände.



Abbildung 2: Der Wald – eine schadstoffarme, windgeschützte Umgebung mit geringer direkter Sonneneinstrahlung ist ideal für ein körperliches Training.

The forest – low in harmful chemicals, sheltered from wind and low in direct solar radiation is an ideal surrounding for practice.



Abbildung 3: Am Ostseestrand wirken Kältereiz und Salz-aerosol gesundheitsfördernd

At the seaside of the Eastern Sea: Low temperature and aerosol promote health

Meeresklima:

Wegen starker regionaler Unterschiede der Klimacharakteristik müssen Nord- und Ostseeküstenklima getrennt betrachtet werden. Infolge der großen Wärmekapazität des Meeres werden typischerweise die tages- und jahreszeitlich auftretenden Temperaturunterschiede abgeschwächt. Das Nordseeküstenklima weist wegen des ständigen Windes mit starker Abkühlung und mechanischem Hautreiz eine beträchtliche Reizintensität auf, die durch kalte Seebäder noch intensiviert wird. Die Staub- und Allergenkonzentrationen sind gering, dadurch ist auch die Intensität der Himmelsstrahlung erhöht. Wegen des Windreichtums kann diese Strahlung auch bei hohem Sonnenstand ohne größere thermische

Belastung genutzt werden. Das Luftkolloid ist reich an Kochsalz und Jod, das Brandungsaerosol ist für die Freiluftinhalation gut geeignet. Dauerhaft belastende Wetterlagen sind wegen des häufigen Wetterwechsels selten.

Demgegenüber weist das Ostseeklima einige kontinentale Einflüsse auf bei gleichzeitigen Schonfaktoren, die durch die waldreiche Küste bedingt sind. Wegen des fehlenden Golfstromeinflusses kühlt die Ostsee im Vergleich zur Nordsee im Herbst schneller aus. Die Reizwirkung des Ostseeklimas ist geringer als die des Nordseeklimas und eignet sich deshalb gerade für ältere Menschen mit mehreren Erkrankungen, insbesondere auch dann, wenn weitere ortsgebundene Heilmittel wie Moor, Kreide oder Heilwässer eingesetzt werden sollen. Als Indikationen gelten Herz- und Gefäßkrankheiten, Erkrankungen der Stütz- und Bewegungsorgane, Hautleiden, Erkrankungen der Atemwege, Erkrankungen im Kindesalter und Rekonvaleszenz.

Typische Klima-expositionsverfahren

Zu den Klimaexpositionsverfahren gehören Freiluftliegekur, Luftbad, Heliotherapie und Terrainkur. Während die Freiluftliegekur heutzutage eher selten angewendet wird, hat die Bedeutung der Terrainkur zugenommen. Die Freiluftliegekur spielte insbesondere in den früheren Lungsanatorien eine große Rolle – man denke nur an den „Zauberberg“ von Thomas Mann. Sie wird auf dafür geeigneten Wiesen oder Waldlichtungen oder auch auf der Terrasse der Klinik durchgeführt. Alle vegetativen Reize, insbesondere Geräusche und Straßenlärm sind fernzuhalten. Der Patient wird gut eingehüllt und darf weder schwitzen noch frieren. Luftbäder werden heutzutage bevorzugt beim infektanfälligen Kind und bei Erwachsenen mit durch zu niedrigen Blutdruck bedingten Kreislaufproblemen angewendet. Ziel ist eine allmähliche Kälteadaptation, die durch einen wiederholten zunehmend langen Aufenthalt in nahezu unbedecktem Zustand in einer kühlen Umgebung möglichst ohne direkte Sonneneinstrahlung und möglichst windstillen Bedingungen erreicht wird. Unter Heliotherapie versteht man die Exposition der gesamten Körperoberfläche oder erkrankter Bereiche gegenüber der direkten oder diffusen Solarstrahlung in Form eines Sonnenbades. Mit der Heliotherapie werden Hautkrankheiten wie Psoriasis oder Akne behandelt, außerdem wird sie zur Linderung von rheumatischen Beschwerden und zur Behandlung der Winterdepression eingesetzt. Durch Sonnenbestrahlung wird die Vitamin D-Synthese in der Haut angeregt. Heliotherapie wirkt stabilisierend auf das vegetative Nervensystem, steigert die Leistungsfähigkeit und vermindert in kleinen Dosen die Infektanfälligkeit. Da in der Atmosphäre die biologisch besonders aktive Strahlung mit kürzerer Wellenlänge (UV-Strahlung) stark gestreut wird, genügt auch ein Aufent-

halt im Schatten. Der Kopf sollte bedeckt werden und eine optisch einwandfreie Sonnenbrille sollte getragen werden. Bei jeder Form der Heliotherapie ist sehr darauf zu achten, dass kein Sonnenbrand entsteht. Schon eine Hautrötung ist zu vermeiden, da sonst die Haut vorzeitig altert und Hauttumoren einschließlich des malignen Melanoms häufiger auftreten. Dies gilt in gleicher Weise übrigens auch für Aufenthalte in Solarien.

Die Terrainkur, d.h. das kurmäßig dosierte Gehen auf ansteigenden Wegen oder im Sand (am Strand) spielt heutzutage eine große Rolle. Hierbei werden körperliche Leistung und Klimaverhältnisse gezielt eingesetzt, um neben einer Kälteadaptation auch eine kardiovaskuläre Leistungssteigerung zu erzielen. Die Terrainkur ist nicht nur für die Behandlung von Patienten mit koronarer Herzkrankheit oder manifester Osteoporose im Sinne der Sekundärprävention einsetzbar, sondern eignet sich auch für Gesunde (gesundheitsbewusste Senioren) zur Primärprävention und Gesundheitsförderung. Die Belastung wird dabei über die Herzfrequenz dosiert, wobei beim untrainierten Menschen eine Herzfrequenz von 160 / min minus Alter zunächst nicht überschritten werden sollte. Dabei hat das Training unter kühlen Umgebungsbedingungen einen zusätzlichen günstigen Einfluss auf die Steigerung der körperlichen Ausdauer, da der aerobe Muskelstoffwechsel kälteinduziert gesteigert wird. Dabei ist ein heftiger und turbulenter Wind wesentlich günstiger zu beurteilen als ein ganz leichter Wind. Auch der UV-B-Anteil der Sonnenstrahlung wirkt während der Terrainkur stimulierend auf den Muskelstoffwechsel und das Herz-Kreislaufsystem. Unter anderem wird der Blutdruck bei Hochdruckpatienten gesenkt, der Laktatspiegel steigt unter Belastung deutlich geringer an und die Fließeigenschaften des Blutes werden verbessert. Durch die angenehme Atmosphäre während der Terraintherapie wird die Grundstimmung des Patienten positiv beeinflusst, hier spielt auch die Gruppendynamik eine große Rolle. Die Mitarbeit der Patienten

ist deshalb wesentlich besser als z.B. beim Training mit dem Standfahrrad in der Halle. Zur Durchführung von Terrainkuren ist ein ausgeglichenes ganzjährig nutzbares Wegenetz erforderlich, das eine dosierte Ganzkörperbelastung und Klimaexposition ermöglicht (Tab. 1). Die Trainierenden müssen ärztlich betreut werden, zu ihrer

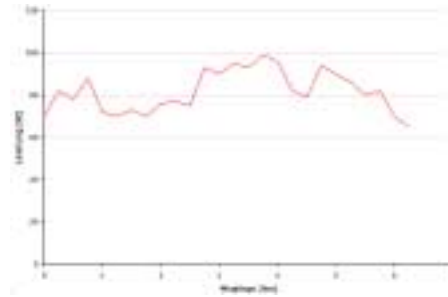


Abbildung 4: Beanspruchungsprofil bei einer Terrainkurstrecke

Profile of the physical load during a terrain walk

Begleitung auf den Wegstrecken und zu ihrer Überwachung sind Klimatherapeuten erforderlich. Der Deutsche Wetterdienst kann mit Hilfe der Bioklimakarte bei der optimalen Anlage von Terrainkurwegen behilflich sein und ermittelt auch das Beanspruchungsprofil. Berücksichtigt werden dabei sowohl die wechselnden meteorologischen Bedingungen der Wärmeabgabe als auch unterschiedliche leistungsphysiologische Anforderungen durch die Topographie und das Gehverhalten des Wanderers.

Die Klimatherapie stellt nur einen Baustein eines indikationsbezogenen naturheilkundlichen Therapieprogramms dar. Allerdings leistet der Wechsel in ein der körperlichen Konstitution angemessenes Heilklima neben einer oft eintretenden psychosozialen Entlastung sicherlich einen wesentlichen Beitrag zur Rehabilitationserfolg. Gerade bei Patienten mit den genannten chronischen Krankheiten können durch die gezielte Auswahl des Heilklimas Heilungsprozesse angeregt werden, die

Die Autorin



Prof. Dr. med. Karin Kraft wurde am 21. 6. 1952 in Göttingen geboren. Medizinstudium an der Universität Bonn 1974–1979. 1979–1983 DFG-Stipendiatin am Institut für klinische Biochemie der Universität Bonn und am Pharmakologischen Institut der Universität Heidelberg. Facharzt Ausbildung an der Medizinischen Poliklinik der Universität Bonn 1983–1989. Ab 1991 Oberärztin an der Medizinischen Poliklinik Bonn, Leitung der Abteilung für Hypertonie und der Abteilung Naturheilverfahren. Habilitation in Innere Medizin (Einfluss endogener Opiode auf die Blutdruckregulation) 1993. Arbeitsschwerpunkte: Klinische Studien zu Naturheilverfahren, insbesondere Phytotherapie. Seit 01. 12. 2002 C4-Stiftungsprofessur für Naturheilkunde an der Universität Rostock.

Kontaktadresse:

Universität Rostock, Klinik für Innere Medizin, Ernst-Heydemannstr. 6, 18057 Rostock

Oder: Rehabilitationsklinik Moorbad Bad Doberan, Schwaaner Chaussee 2, 18209 Bad Doberan. Tel. 038203/93-0, Fax. 038203/9 36 80.

e-mail: prof.kraft@moorbad-doberan.de

Tabelle 1

- Mindestens 50 km, 10 Strecken
- Unterschiedlich lange Wege (eine Stunde bis Tageswanderungen)
- Möglichst Rundwege
- Ansteigende Anforderungen
- Lage mit höchster Luftreinheit
- Wege in der Sonne und im Schatten
- Boden gelenkschonend und abwechslungsreich, keinesfalls asphaltiert
- Am Wegrand Bänke
- Ganzjährig und bei schlechtem Wetter begehbar
- Gemeinsamer Ausgangspunkt, ohne PKW erreichbar
- Klassifikation der Belastung:
 - Geographische Vermessung nach Länge und Steigung
 - Ermittlung von Referenzwerten für mittlere Belastung und der zu erwartenden Begehungszeit
 - Einteilung in Schwierigkeitsgrade
 - Normierung der Leistungskriterien; Übertragung auf Fahrrad-Ergometer-Leistung

nicht nur zu einer besseren Lebensqualität, sondern auch häufig zu einer Reduktion der bisher notwendigen medikamentösen Therapie führen kann. Es wird deshalb eine der Aufgaben des neugegründeten Lehrstuhls für Naturheilkunde an der Universität Rostock sein, die hervorragenden heilklimatischen Gegebenheiten dieser Ostseeregion, zu denen eine sehr hohe Sonnenscheindauer bei staubarmer Luft gehört, nicht nur den Studierenden näher zu bringen, sondern aus diesen lokalen Vorgaben auch Anregungen zur Strukturförderung zu entwickeln. Die Resultate aus der Erarbeitung geeigneter Untersuchungsmodelle und neuer Forschungsansätze zur Evaluation von Therapieerfolgen sollten auch die Kostenträger im Gesundheitswesen überzeugen. Die lange Tradition naturheilkundlicher Therapie in dieser Region sollte dabei Standbein, aber auch Ansporn sein.

KLIMADYNAMIK UND OZONVARIABILITÄT

WELCHEN EINFLUSS HAT DIE BEOBACHTETE GROSSRÄUMIGE ÄNDERUNG DES KLIMAS AUF DIE OZONÄNDERUNG?

● Gerhard Schmitz ● Dieter Peters ● Axel Gabriel

Die global gemittelte bodennahe Lufttemperatur erhöhte sich in den letzten Jahrzehnten. Das gesamte Ozon der Atmosphäre nimmt seit den siebziger Jahren ständig ab. Der anthropogene Treibhauseffekt wird für die beobachtete Temperaturzunahme verantwortlich gemacht und die ozonzerstörenden Fluorchlorkohlenwasserstoffe bestimmen zum großen Teil die Ozonabnahme. Das Ozon absorbiert die ultravioletten Komponenten der Sonnenstrahlung und mit der daraus resultierenden Wärmequelle ist ein genereller Zusammenhang von Klima- und Ozonänderung gegeben. Aufgabe des Beitrages ist es, die Einwirkung der beobachteten Klimaveränderung auf die beobachtete Ozonvariabilität zu zeigen und zum Verständnis von Klimaprozessen beizutragen. Für diese Untersuchung sind Beobachtungen aus allen geographischen Regionen und Höhengebieten der Atmosphäre erforderlich, die die Bestimmung von Prozessparametern zu den beobachteten Klimaänderungen ermöglichen. Mit diesen zeitlich veränderlichen Parametern werden konzeptionelle Klimamodelle zur Berechnung der Klimaänderung und der Ozonvariabilität gesteuert. Die Modellrechnungen zeigen, dass die Beiträge zur Ozonveränderung einerseits aus den ozonzerstörenden chemischen Komponenten und andererseits aus der beobachteten Klimaänderung etwa gleich groß sind.

During the last decades, the global mean surface temperature has increased. The total ozone of the atmosphere decreases continuously since the end of the 1970ies. Today it is thought that the observed increase of the surface temperature is due to the anthropogenic greenhouse effect, and a large fraction of the observed ozone depletion is due to chlorofluorocarbons. Ozone absorbs the ultraviolet components of the solar radiation, and the resulting heating rate establishes a general relation between the changes in climate and ozone. The aim of this paper is to show the influence of the observed climate changes on the observed ozone variability, and to contribute to our understanding of climate processes. For this purpose observations from different geographical- and height regions of the atmosphere are needed to determine process parameters that describe the climate change. These time-dependent parameters are used to force conceptual climate models to calculate the climate change and the connected ozone variability. The model calculations show that the contributions to the ozone change of both the ozone-depleting chlorofluorocarbons and the observed climate change are nearly the same.

Klima – Ozon

In der Erdatmosphäre befindet sich das meiste Ozon in der Ozonschicht von 8 km bis 50 km Höhe in der Stratosphäre und nur ein geringerer Anteil in der unteren Atmosphäre, der Troposphäre, Abb. 1. In der geographischen Abhängigkeit wird der größte Anteil des Gesamttons (die Summe aller O₃ Moleküle einer Säule der Atmosphäre) in mittleren und polaren Breiten beobachtet, in den Subtropen und Tropen dagegen bedeutend weniger. Dort wird Ozon aber hauptsächlich gebildet und gelangt durch die Windsysteme in höhere Breiten. Das Ozon in den beiden Höhen-

gebieten hat einen sehr unterschiedlichen Einfluss auf das Leben der Erde. Während die Ozonschicht wichtig für die Absorption der für den Menschen schädlichen ultravioletten Sonnenstrahlung (UV-B) ist, zeigt das Ozon in Bodennähe eine toxische Wirkung.

Mit der Absorption der UV-Komponenten der Sonnenstrahlung in der Stratosphäre entsteht eine Wärmequelle in der Atmosphäre, die die Temperaturverteilung und damit auch das Klima bestimmt. Die Gasphasenchemie des Ozons ist selbst von der Temperatur abhängig, so dass sich ein komplizierter Zusammenhang von klimabestimmenden Vorgängen und der Ozonverteilung ergibt. Die wesentlichen ozonzerstörenden Komponenten sind die oft in Spraydosen, Schaumstoffen und als Kühlmittel verwendeten Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), die die Ozonschicht über Transportvorgänge erreichen. Neben diesen anthropogenen Einflüssen können aber auch natürliche Prozesse, wie z. B. Vulkanausbrüche zu Schwankungen im Gesamtton führen.

Die Temperaturzunahme in bodennahen Schichten und die stratosphärische Ozonabnahme sind zwar miteinander verkoppelt, aber die Ozonabnahme ist nicht die wesentliche Ursache für die Klimaänderung. Diese resultiert in erster Linie aus der anthropogen verursachten Zunahme des Kohlendioxids. Umgekehrt könnte aber eine Veränderung des Klimas der Erde die Verteilung des Ozons in der Stratosphäre beeinflussen, aufgrund der Veränderung der meteorologischen Bedingungen und der chemischen Zusammensetzung in Folge der Klimaänderung. Dieser Einfluss auf die

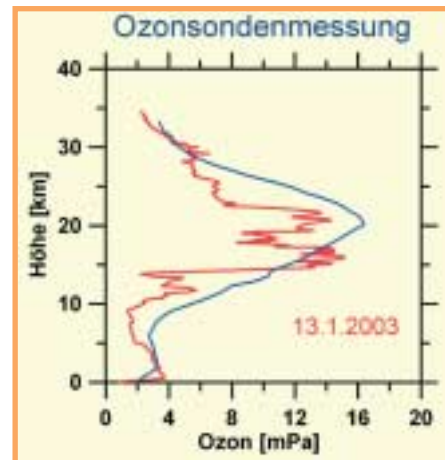


Abbildung 1: Ozonhöhenprofile. Blaue Linie – ein langjähriges Mittel (Daten Lindenberg, DWD), rote Linie – eine Messung in Kühlungsborn.

Ozone height profile. Blue line – long-term mean (data from Lindenberg), DWD, red line – one measurement made over Kühlungsborn.

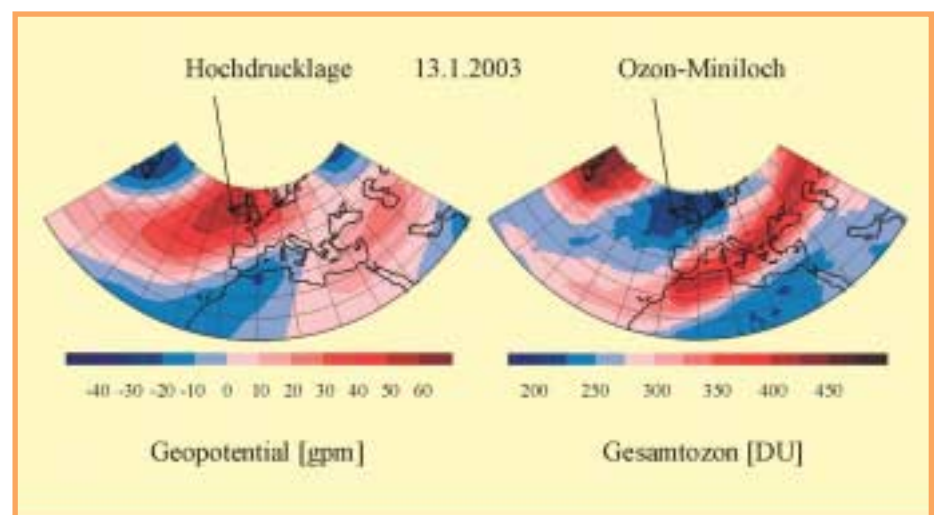


Abbildung 2: Eine Hochdrucklage über dem Ostatlantik und Westeuropa in der 250 hPa-Topographie. Gezeigt ist die Abweichung des Geopotentials ¹⁾ vom Mittel über alle Längengrade sowie die gemessene Gesamtozonverteilung ²⁾ mit dem Earth-Probe-Satelliten der NASA.

1) Das Geopotential bezeichnet eine mit der Schwerkraft der Erde gewichtete Höhe.

2) Eine Dobson Einheit: 1 DU $\equiv 2.69 \times 10^{16}$ Ozonmoleküle/cm².

High pressure system over the Eastern Atlantic and Western Europe. Shown are the deviations in the geopotential ¹⁾ at the 250 hPa topography from a mean value averaged over all longitudes, and the distribution of total ozone ²⁾ measured by the earth-probe-satellite of the NASA.

1) The geopotential is an expression for the physical height weighted with the gravity acceleration.

2) One Dobson Unit (DU) 1 DU $\equiv 2.69 \times 10^{16}$ ozone molecules/cm².

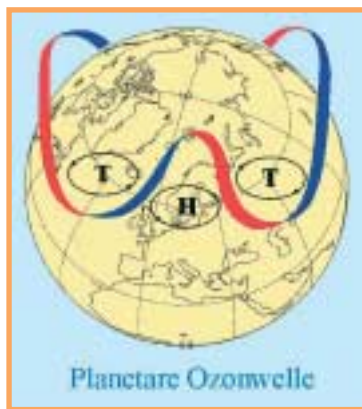


Abbildung 3: Skizze einer planetaren Ozonwelle in der Stratosphäre.

Sketch of a planetary wave of ozone in the stratosphere.

Variabilität der Ozonschicht wird im Folgenden auf der Grundlage von Beobachtungen und Modellrechnungen für die Nordhalbkugel untersucht. Das Ozonloch im Frühjahr über der Antarktis wird hier nicht betrachtet.

Es wird gezeigt, dass bei zeitlich unveränderlichen anthropogenen Emissionen (FCKW) die beobachtete Klimaänderung allein einen wichtigen Beitrag zu der beobachteten Ozonabnahme in mittleren und polaren Breiten der nördlichen Hemisphäre ergibt. Dieser Zusammenhang von Klima und Ozon wird hier für Veränderungen in charakteristischen Zeitbereichen von einigen Tagen, Monaten, Dekaden oder von über mehr als 30 Jahren (Trend) betrachtet. Die charakteristischen Zeitskalen der meteorologischen Größen sind mit räumlichen Mustern verbunden. Diese Muster sind durch dynamische Prozesse bestimmt, die das Ozon, die Temperatur und andere meteorologische Parameter transportieren.

Ozon-Minilöcher

Wettererscheinungen mit Perioden von 1–5 Tagen können zu einer lokal und zeitlich begrenzten Gesamtozonabnahme von mehr als 70 DU bei einem Mittelwert von 300 DU führen.

Ein Beispiel einer Hochdrucklage, die zusammen mit relativ geringen Werten im Gesamtozon beobachtet wurde, ist in Abb. 2 angegeben. Man bezeichnet derartige Strukturen auch als Ozon-Minilöcher, mit denen eine Zunahme der schädlichen UV-B Strahlung in der Ozonschicht über der jeweiligen Region verbunden ist. Dieses Phänomen wird für relativ kurze Zeiträume beobachtet und ist an Hochdrucklagen gebunden, mit denen subtropische ozonarme Luftmassen nordwärts transportiert werden. Besonders tiefe Werte im Gesamtozon treten auf, wenn mit der Verschiebung des Polarwirbels auch ozonarme Luft oberhalb von 20 km Höhe vom Pol herantransportiert wird. Der Polarwirbel ist ein großes Tiefdrucksystem, im Mittel zentriert um den Pol, mit dem Westwinde von mehr als 60 m/s auftreten. Unsere Analysen zeigten, dass in der 1980-Dekade diese Ozon-Minilöcher über Europa relativ häufig auftreten. Über eine Abhängigkeit der Häufigkeit der Ozon-Minilöcher von der Klimaänderung kann derzeit noch keine sichere Aussage gemacht werden.

Planetare Ozonwellen

Neben diesen Ozon-Minilöchern werden in der Ozonschicht der Stratosphäre mittlerer und polarer Breiten der Nordhemisphäre großräumige Ozon- und Temperaturwellen mit charakteristischen Wellenlängen von bis zu 10.000 km Länge beobachtet, die praktisch ortsfest verharren, deren mittlere Amplituden und Phasen aber Klimaschwankungen unterliegen. Diese planetaren Wellen ergeben sich aus der Umströmung der großen Gebirgsketten, den unterschiedlichen thermischen

Eigenschaften von Meer und Land und einem mittleren Antrieb durch wandernde Hoch- und Tiefdruckgebiete.

Wir haben nun die Frage untersucht, ob in den Amplituden und Phasen der planetaren Ozonwellen charakteristische Schwankungen auftreten, die wiederum allein aus Klimaänderungen resultieren. Ein Ergebnis ist in Abb. 4 angegeben. Die Beobachtung ergibt für den Januar in Europa eine Abnahme des Gesamtozons von 25 DU in den 80-er Jahren. Der Vergleich mit dem Modellergebnis, Abb. 4, zeigt, dass etwa die Hälfte der Gesamtozonänderung über Europa allein auf die Klimaänderung zurückzuführen ist, unabhängig von Veränderungen in der Ozonchemie. Die Modellrechnung ergibt weiter, dass diese Art der Gesamtozonänderung durch eine Klimaänderung in den planetaren Wellen des Geopotentials geführt wird. Es wäre möglich, dass das charakteristische Muster in der Ozonänderung zusammenhängt mit der Änderung der Amplitude der Nord-Atlantik-Oszillation. Diese Oszillation ist ein Klima-Schwankungsmuster, das die Wettererscheinungen auf dem europäischen Kontinent maßgeblich bestimmt. Analoge Zusammenhänge von Klimaänderung und Ozonänderung findet man auch für andere Jahreszeiten, aber weniger stark ausgeprägt.

Die Steuerung der Ozonwellen durch die dynamischen Felder kann man nutzen um die Ozone schwankungen aus Modellen auch für die Zeiträume zu bestimmen, in denen keine geeigneten globalen Ozonmessungen vorliegen, also z. B. zurück bis in die 60er Jahre. Dazu muss man aus Beobachtungen das Langzeitverhalten des Geopotentials bestimmen und kann daraus dann mit einem Modell auf die Ozonvariabilität schließen. So ergibt sich über die gesamte Periode 1960–2000 in Zentraleuropa eine Erhöhung des Geopotentials in der 250 hPa-Topographie um 100 gpm. Darüber hinaus zeigen sich Schwankungsperioden von Dekaden. So findet man in den 70er und 90er Dekaden charakteristische Muster mit einer positiven Gesamtozonänderung über Zentraleuropa, also einem zu Abb. 4 entgegengesetzten Verhalten. Dies betrifft aber nur die so aus der Klimaschwankung sich ergebende Gesamtozonänderung. Der chemisch bestimmte Anteil der Ozonänderung kann nicht ermittelt werden, da dazu keine geeigneten Ozonbeobachtungen vorliegen.

Globale Ozonschicht

Mit den wandernden Hoch- und Tiefdruckgebieten und den planetaren Wellen tritt im Mittel über alle Längengrade eine Durchmischung von Ozon zwischen tropischen und polaren Breiten und den Höhengebieten der Stratosphäre und Troposphäre auf. Diese Durchmischung ist anschaulich vergleichbar mit der mehr durch kleinräumige Strukturen geprägten Durchmischung turbulenter Strömungen.

Die Wettersysteme und großräumigen Wellen bewirken aber nicht nur eine Durchmischung von

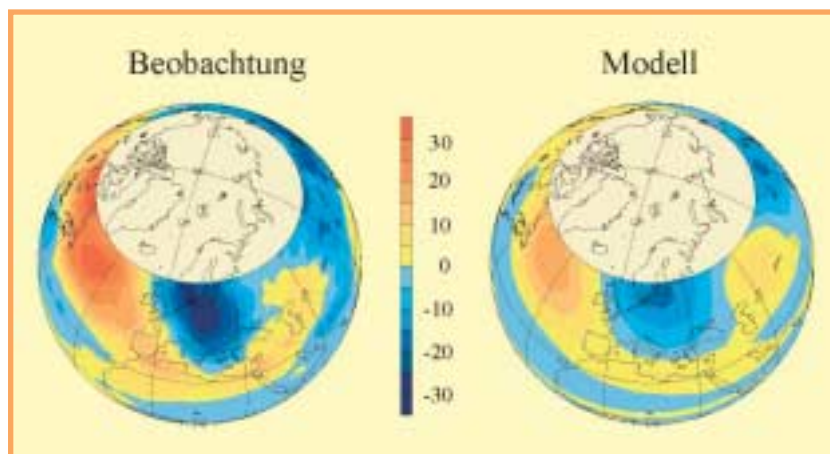


Abbildung 4: Dekadischer Trend in der Gesamt-Ozonwelle der 1980er Jahre. Beobachtung – analysiert aus Daten des NIMBUS-Satelliten der NASA. Modell – berechnet aus den längsten 4 planetaren Wellen im Geopotential. Nordwärts von 60° N liegen keine Messungen vor.

Decadal trend in the wave of total ozone during the 1980ies (in DU per 10 years). Observation – derived from the data of the NIMBUS satellite of the NASA. Model – calculated from the 4 longest planetary waves in the geopotential. There are no measurements northwards from 60° N.

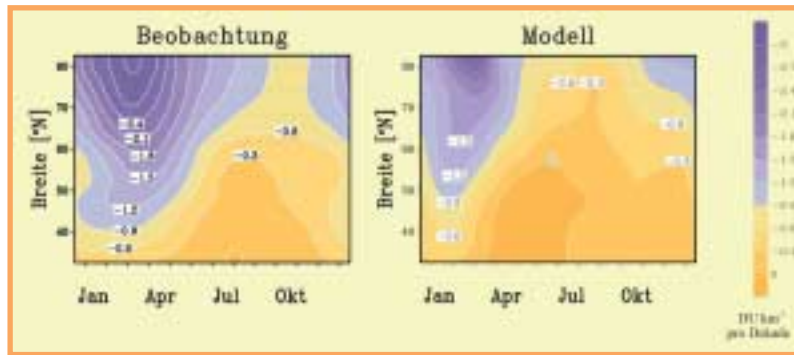


Abbildung 5: Beobachtete zonal gemittelte Ozonabnahme während der Jahre 1979–1997 in 16 km Höhe als Funktion der Breite und Jahreszeit (SPARC-Data Center), und die berechnete Ozonabnahme während der Jahre 1979–1991 in 16 km Höhe allein aufgrund der veränderten planetaren und synoptischen Wellen.

Observed zonal mean ozone decline during 1979–1997 at a height of about 16 km, as a function of latitude and seasonal cycle (SPARC-Data Center), and the calculated ozone decline during 1979–1991 at a height of about 16 km only due to the change in planetary and synoptic waves.

Spurengasen, sondern tragen auch zu einer Umverteilung von Wärme und Impuls zwischen tropischen und polaren Breiten bei. Diese Umverteilung von Impuls führt zu einem mittleren von Süd nach Nord gerichteten Wind und einer vertikalen Zirkulation. Dieses so angetriebene Windsystem kann man wie die durch eine Pumpe verursachte Luftströmung verstehen. Die Pumpe ist in den Extratropen der mittleren Stratosphäre angeordnet und sie erhält ihre Energie aus den brechenden Wellen in diesem Höhengebiet. Die Brechung dieser Wellen ist vergleichbar mit Wellen, die auf eine Küste zulaufen. In der Atmosphäre allerdings ist diese „Küste“ das Gebiet des Übergangs von Westwind in den Ostwind. Durch die Pumpe wird permanent Luft aus den Tropen aufwärts in hohe Breiten gefördert und beeinflusst damit auch die geographische Verteilung des Ozons. Die Kräfte, die die Pumpe antreiben, wie auch der Prozess der Durchmischung, so unsere Annahme, unterliegen einer Klimaänderung. Das

Bild der Beeinflussung der Ozonwellen durch Klimaänderungen erweitern wir damit auf die Ozonänderung gemittelt über alle Längengrade. Die Klimaänderung in diesen Prozessparametern wurde aus langjährigen und globalen Datensätzen bestimmt und steuert ein komplexes Klimamodell. Eine wichtige Frage soll beantwortet werden: Wie stark einerseits Veränderungen in der atmosphärischen Winterzirkulation, gegeben durch die Durchmischung und die „Zirkulationspumpe“, und andererseits FCKW-Emissionen zur Ozonveränderung beitragen. Die stärksten Ozonabnahmen der Nordhemisphäre wurden während der Winter- und Frühlingsmonate in Höhe des Ozonmaximums beobachtet, Abb. 5. Die Modellberechnungen ergeben, dass allein die Veränderung in den atmosphärischen Wellen während der letzten Jahrzehnte etwa die Hälfte der beobachteten Ozonabnahme verursacht.

Entsprechend ist die andere Hälfte auf den direkten Einfluss anthropogener Schadstoffemissionen (FCKW) zurückzuführen. Dies erfolgt

insbesondere durch die Ozonzerstörung in der Stratosphäre bei tiefen Temperaturen in Folge von chemischen Reaktionen auf der Oberfläche von Wolkenkondensations- und kleinsten Partikeln, Aerosolen.

Unser zweidimensionales Modell beschreibt die atmosphärische Zirkulation, den Spurenstofftransport, die Chemie der Atmosphäre und erfasst damit auch die Abhängigkeiten der Ozonverteilung von den unterschiedlichen chemischen Reaktionszeiten und charakteristischen Durchmischungs- und Transportzeiten. Eine Zunahme der FCKW und vergleichbar wirkender Chlor- und Bromverbindungen wurde in dem Modell nicht berücksichtigt, sondern sie wurden für diese Frage konstant gehalten, so dass eine Aussage über die alleinige Wirkung der beobachteten Klimaänderung möglich ist. Über die Ursachen der Klimaänderung selbst können wir keine Aussagen machen, da diese einfach den Beobachtungen entnommen wurden. Diese setzen sich zusammen sowohl aus Beiträgen der natürlichen Klimavariabilität als auch aus anthropogen induzierten Klimaänderungen. Das Modell erfasst ebenfalls kurzzeitige Ozonvariationen, die durch jahreszeitliche Schwankungen sowie jahresübergreifende Variationen in der atmosphärischen Zirkulation hervorgerufen werden.

Ein vollständiges Verständnis des Zusammenhangs von Klimaschwankungen und Ozonänderung ist noch nicht gegeben, wie auch eine komplexe Simulation von beobachteten Klima- und Ozonschwankungen derzeit noch nicht gelingt. Es ist auch schwierig, denn allein die beobachteten Klimamuster und deren Variabilität sind hochgradig nichtlineare Prozesse. Dazu treten die schwierigen Fragen der Beschreibung der gekoppelten Vorgänge von atmosphärischer Dynamik und Ozonchemie, sowie Fragen einer angepassten Berücksichtigung subskaliger Phänomene.

● Literatur bei den Autoren

Die Autoren



Prof. Dr. Gerhard Schmitz, geb. 1941 in Rostock, Studium der Physik in Rostock, 1967 Promotion in Theoretischer Physik, 1968–1991 wiss. Mitarbeiter am Observatorium in Kühlungsborn, 1978 Habilitation, seit 1992 Abteilungsleiter am Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik, 1995 Ernennung zum Apl.-Professor.



PD Dr. Dieter Peters, geb. 1952 in Kuhs bei Güstrow, Studium der Mathematik in Rostock, 1983 Promotion in Theoretischer Physik, 1975–1991 wiss. Mitarbeiter am Observatorium in Kühlungsborn, seit 1992 Wissenschaftler am Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik, 1999 Habilitation, 2000 Privatdozent.



Dr. Axel Gabriel, geb. 1959 in Hagen/Westfalen, Studium der Geophysik und Meteorologie in Köln und Bonn, 1993 Promotion in Meteorologie, seit 1996 wiss. Mitarbeiter am Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik.

Kontaktadresse: Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik e.V. an der Universität Rostock
Schlossstraße 6, 18225 Kühlungsborn, Tel: 038293/6 83 00, e-mail: schmitz@iap-kborn.de

SONNE UND HAUT

BEDEUTUNG VON SONNE UND UV-STRAHLEN FÜR DIE DERMATOLOGIE

• Isabell Schütze • Manfred Kunz • Gerd Gross

Der Genuß von zu viel Sonne kann für den Menschen erhebliche Gefahren in sich bergen. Die UV-Strahlen sind nach gegenwärtiger Meinung nicht nur für die Hautalterung sondern auch für einen Teil der verschiedenen Hautkrebsformen verantwortlich. Die Häufigkeit (Inzidenz) von Hautkrebs befindet sich sowohl in Deutschland als auch weltweit im Aufwärtstrend. Es kann davon ausgegangen werden, dass etwa jeder zehnte Deutsche im Laufe seines Lebens an einer der verschiedenen Hautkrebsarten erkranken wird. Besondere Bedeutung wird daher in Zukunft der dermatologischen Prävention zukommen. Trotz des potentiell schädlichen Effektes übermäßiger UV-Bestrahlung kann in der Dermatologie UV-Licht gezielt zu therapeutischen Zwecken eingesetzt werden. Künstliche Lichtquellen, die je nach Filterung vorwiegend UVA oder UVB ausstrahlen, werden zur Behandlung verschiedener Hautkrankheiten, z. B. der Psoriasis vulgaris eingesetzt. Die topische photodynamische Therapie (PDT) wird seit 1990 in der Behandlung von aktinischen Keratosen (lichtbedingten Präkanzerosen) und oberflächlichen Basalzellkarzinomen eingesetzt.

Zusammenfassend birgt übermäßige UV-Exposition das Risiko in sich, Hautkrebs zu entwickeln. Dennoch, Behandlungsverfahren mit UV-Strahlen sind ein wichtiger Bestandteil der dermatologischen Therapie.

Extensive sun exposure harbours considerable dangers for human beings. UV irradiation is not only responsible for skin aging but also for some forms of skin cancer. The frequency (incidence) of skin cancer is rising not only in Germany but also worldwide. Approximately one out of ten persons will acquire one of the different forms of skin cancer within a normal life span. In future, prevention practised by dermatologists will therefore be of special importance.

Despite the potentially harmful effects of excessive UV irradiation, treatment by UV light can be used for therapeutic purposes in dermatology. Artificial light sources which mainly generate UVA or UVB

are used for the treatment of a variety of skin diseases, e.g. psoriasis. Since 1990 photodynamic therapy (PDT) is used for treatment of actinic keratoses (precancerosis caused by UV irradiation) and superficial basal cell carcinoma.

Summarizing, excessive UV exposure bears the risk of developing skin cancer. Nevertheless, UV therapy represents an important component of dermatological therapy.

Sonnenlicht und Hautschäden

Die Sonne schickt ein ganzes Bündel unterschiedlicher Strahlen auf die Erde. Über 40 % der UV-Strahlen sind Wärmestrahlen. Die ultraviolette Strahlung betrifft einen vergleichsweise schmalen Spektralbereich, entfaltet aber eine hohe Wirksamkeit. Sie wird in drei Gruppen eingeteilt (siehe Tab.1):

Teilbereich	Wellenlängenbereich (nm)	Charakteristika
UVA	320–400 nm	energieärmer aber tiefer eindringend als UVB
UVB	280–320 nm	energiereichstes natürliches UV-Licht
UVC	100–280 nm	kommt natürlicherweise nicht auf der Erde vor

Tabelle 1

Der energiereichste aber weniger tief eindringende Teil der UV-Strahlung, die UVC-Strahlen werden in der Erdatmosphäre durch Sauerstoff und Ozon zurückgehalten. Die UVB-Strahlen werden z. T. absorbiert, erreichen aber die Erdoberfläche. Sie sind hauptsächlich verantwortlich für das UV-Erythem (Sonnenbrand) und die Pigmentierung (Bräunung) der Haut. Die UVA-Strahlen haben eine deutlich geringere erythemogene Potenz als UVB-Strahlen, tragen aber dennoch zur Pigmentierung bei.

Folgen akuter / chronischer Lichtschädigung der Haut

Die menschliche Epidermis, die äußerste Hautschicht, ist am intensivsten und unmittelbar dem UV-Licht ausgesetzt. In ihr werden 60% der einfallenden UVA- und 90% der UVB-Strahlen absor-

biert. Zu den akuten Wirkungen der UV-Exposition zählen die Vitamin D3-Synthese, das Erythem, die Bräunung und die UV-vermittelte Immunsuppression. Chronische UV-bedingte Wirkungen sind die Hautalterung und die Photokarzinogenese. Für den Hautkrebs belegen eine Vielzahl von epidemiologischen und experimentellen in-vitro und in-vivo-Untersuchungen einen eindeutigen Zusammenhang mit der UV-Exposition.

Über verschiedene molekularbiologische Mechanismen kommt es zu einem erhöhten und vorzeitigen Kollagenabbau sowie zu einer verminderten Bildung der die Haut versorgenden Gefäße. Die chronische Lichtbelastung der Haut führt weiterhin zu einem Rückgang der epidermalen Innervation, d. h. der Nervenfaserdichte. Kollagenabbau, reduzierte epidermale Gefäß- und Nervendichte sind klassische Phänomene der Hautalterung.

Präkanzerosen (Vorstufen von Hautkrebs) und Hautkrebs

Ein akuter Hautschaden wie der Sonnenbrand ist bereits bedenklich. Bleibt es bei einem Einzelfall sind keine Langzeitschäden zu erwarten. Auf stark lichtgeschädigter Haut können Tumorstadien oder bösartige Tumore entstehen. Als Tumorstadien oder Präkanzerosen gelten die aktinischen Keratosen. Diese imponieren als gerötete, raue leicht verletzliche Herde an den sonnenexponierten Arealen und können im Verlauf in ein Plattenepithelkarzinom übergehen.

In Mitteleuropa kommen die aktinischen Keratosen gehäuft bei relativ hellhäutigen Menschen vor. Hauptsächlich scheint an ihrer Entstehung UV-Licht der Wellenlänge 280–320 nm (UVB) beteiligt zu sein.

Als Beispiel für eine Hautkrankheit, die mit einer stark erhöhten Lichtempfindlichkeit einhergeht, ist die seltene (Erb-) Krankheit „Xeroderma pigmentosum“ zu nennen. Es liegt hier ein autosomal-rezessiv vererbter Defekt des DNA-Reparatursystems (Endonukleasemangel) vor. Bei geringer Sonnenexposition treten Rötungen und Blasen auf. Im Laufe von Monaten bis Jahren entwickeln sich in den lichtbelasteten Arealen aktinische Keratosen, Präkanzerosen und Hauttumoren (vor allem Plattenepithelkarzinome). Eine kausale Therapie ist zur Zeit nicht möglich. Absoluter Lichtschutz und Lichtschutzpräparate sind neben regelmäßigen dermatologischen Kontrollen die wichtigsten Maßnahmen.

Als weitere durch UV-Strahlung provozierbare Hauterkrankungen sind u. a. zu nennen: Die polymorphe Lichtdermatose (umgangssprachlich häufig als „Sonnenallergie“ bezeichnet), der Lupus erythematoses und die Porphyrien (z. B. Porphyria cutanea tarda).

Plattenepithelkarzinom

Das klinische Bild von Plattenepithelkarzinomen kann sehr variabel sein. Im späteren Stadium entwickelt sich oft eine schuppige, unscharf begrenzte tumoröse, knotige oder auch ulzerierende Hautveränderung. Histologisch erkennt man in den tieferen Hautschichten u. a. strangförmige Proliferationen von atypischen Keratinozyten. Das Plattenepithelkarzinom neigt dazu, frühzeitig Metastasen zu bilden und sich so in anderen Organen auszuweiten. (Abb.1).

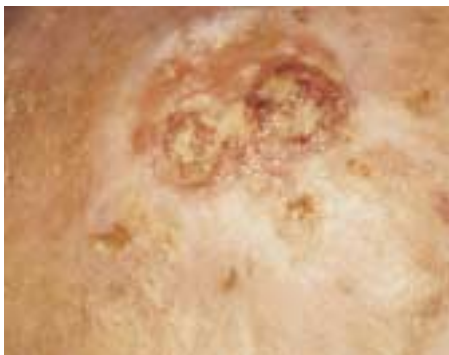


Abbildung 1: Plattenepithelkarzinom/Spinaliom squamous cell carcinoma, spinocellular carcinoma

Basalzellkarzinom (Basaliom)

Das Wachstum von Basalzellkarzinomen erstreckt sich oft über Monate und Jahre. Es handelt sich ebenfalls um eine Proliferation von Zellen der obersten Hautschicht (Epidermis), die jedoch nicht die Polymorphie des Plattenepithelkarzinoms zeigen. Es tritt zumeist in lichtexponierten Hautarealen u. a. als hautfarbener bis rötlicher, erhabener Hauttumor auf (Abb. 2). Basaliome bilden selten Metastasen und werden daher als semimaligne eingestuft. Sie können jedoch durch ein ungehindertes Wachstum umliegendes Gewebe (Knochen, Knorpel) zerstören. Nach bisherigen Erkenntnissen ist das Basaliom wesentlich durch

UV-Strahlen bedingt. Es mehren sich jedoch Hinweise, dass weitere Faktoren mitverantwortlich für die Entstehung sind.

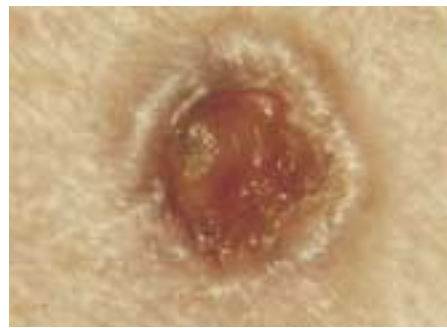


Abbildung 2: Basalzellkarzinom
Basaliom basal cell carcinoma

Malignes Melanom

Die Häufigkeit des malignen Melanoms hat in den letzten Jahren stark zugenommen. In Deutschland wurden in den 70er Jahren jährlich drei Fälle pro 100.000 Einwohner registriert, in den 90er Jahren bereits ca. 12–15 Fälle. Dies entspricht deutschlandweit einer Zahl von ca. 10.000 Neuerkrankungen pro Jahr. Risikofaktoren für ein malignes Melanom sind in Tab. 2 aufgeführt.

Das maligne Melanom, auch schwarzer Hautkrebs genannt, ist ein bösartiger, von den pigmentbildenden Zellen der Haut (Melanozyten) ausgehender Tumor (Abb. 3). 30–50 % aller Melanome entwickeln sich aus pigmentierten Naevi. Das maligne Melanom zählt zu den gefährlichsten Krebserkrankungen. Das liegt an seiner Neigung sich schon in frühen Krankheitsstadien auszubreiten und Metastasen in anderen Organen zu bilden. In diesen Stadien sind die Heilungschancen schlecht. Wir unterscheiden das superfiziell spreitende Melanom (SSM), das ca. 60 % aller Melanome umfaßt, das noduläre maligne Melanom (NMM, ca. 20 %), das Lentigo maligna Melanom (LMM, ca. 9 %) und das akrolentiginöse Melanom (ALM, ca. 4 % der Melanome).

Das Risiko des Entstehens eines malignen Melanoms hängt weiterhin von immunologischen Faktoren ab. Immunsupprimierte Patienten, wie Nierentransplantierte, HIV-Infizierte oder Patienten unter Chemotherapie haben verschiedenen Untersuchungen zufolge, verglichen mit der Normalbevölkerung, ein 3 bis 6fach höheres Melanomrisiko.

Hinweise, dass das maligne Melanom durch UV-Licht bedingt sein könnte, stammen vor allem von epidemiologischen Untersuchungen. Ein Einfluß des Sonnenlichtes auf die Melanomentstehung wurde zuerst in Australien vermutet. Hier fiel in den 50er Jahren eine vergleichsweise hohe Melanominzidenz auf. Die Analyse der Mortalität zeigte eine Zunahme mit Nähe des Wohnortes zum Äquator. Der Einfluß des Sonnenlichtes auf das Melanomrisiko wurde auch durch Einwanderungsstudien belegt. So konnte gezeigt werden, dass die Melanominzidenz bei in Australien geborenen hellhäutigen Einwohnern höher war als bei Personen, die erst im späteren Lebensalter aus Europa in diese Länder eingewandert waren. Da das maligne Melanom auch an nicht sonnenexponierten Arealen (u. a. an den Schleimhäuten) auftritt und selten auch im Kindesalter vorkommt, wird ein pathogenetischer Zusammenhang mit UV-Licht weiterhin kritisch diskutiert.



Abbildung 3: Malignes Melanom
malignant melanoma

Früherkennung und Prävention

Die Früherkennung spielt im Rahmen von Präventionskampagnen eine wichtige Rolle im Kampf gegen den Hautkrebs. Die sogenannte ABCD Regel gibt dem Dermatologen Hilfestellung, das maligne Melanom von anderen gutartigen Hautveränderungen zu unterscheiden. Dabei bedeutet „A“ Asymmetrie (das Pigmentmal hat eine asymmetrische, nicht runde oder ovale Form), „B“ Begrenzung (die Begrenzung des Pigmentmals ist unscharf oder unregelmäßig), „C“ Color (das Pigmentmal besitzt mehrere Farbtöne wie braun, dunkelbraun, grau, schwarz, rot und blau), „D“ Durchmesser (das Pigmentmal ist größer als 5 mm).

Signifikante Risikofaktoren	Erhöhung des relativen Risikos
Gewöhnliche melanozytäre Naevi >100 versus <10	7,6
Atypische melanozytäre Naevi >5 versus keine	6,1
Aktinische Lentigines viele versus keine	3,4
Haarfarbe rot versus braun / schwarz	3,5
Hauttyp I+II versus III+IV	1,4
Naevuswachstum ja versus nein	2,3

Tabelle 2: Risikofaktoren für die Entstehung eines malignen Melanoms
(Fall-Kontroll-Studie der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft)



Abbildung 4: Auflichtmikroskopie/Dermatoskopie reflective light microscopy

Ergänzend zur klinischen Untersuchung hat sich die Dermatoskopie (Auflichtmikroskopie, Abb. 4) etabliert. Mit dieser einfach anzuwendenden Methode kann bei 10facher Vergrößerung der Hauttumor analysiert werden. Sie erlaubt es, die auffälligen Strukturen deutlicher zu erkennen. Pigmentierte und nichtpigmentierte Hauttumore können im Vergleich zur Klinik mit höherer Sensitivität und Spezifität diagnostiziert werden. Zudem können mittels digitaler Bilder und dem Einsatz der Computerdermatoskopie Verlaufsbeobachtungen über Monate und Jahre durchgeführt werden (Abb. 5a + b). Ziel ist es dabei, durch computergestützte Analyse auffällige Läsionen frühzeitig zu erkennen und gleichzeitig unnötige Exzisionen gutartiger Hauttumoren zu vermeiden.

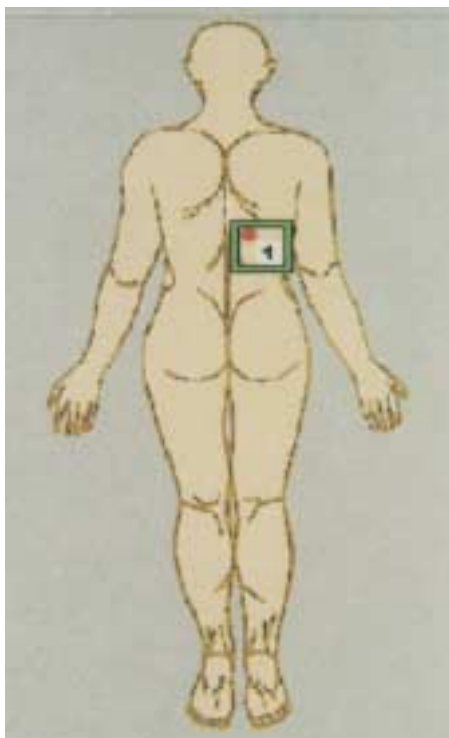


Abbildung 5a+b: Computerdermatoskopie / computer dermatoscopy

Prävention

Zur Vermeidung von akuten und chronischen Hautschäden sowie Hautumoren können u. a. Sonnenschutzmittel eingesetzt werden. Ein Reihe von tierexperimentellen Studien haben gezeigt, dass Sonnenschutzmittel gegen Hautalterung und Tumorentstehung schützen können. Es muß bei diesen Studien jedoch hinzugefügt werden, dass die experimentellen Gruppen, ganz gleich ob sie mit Sonnenschutzmittel behandelt wurden oder nicht, den gleichen UV-Dosen bzw. Expositionszeiten ausgesetzt waren. Das menschliche Verhalten ist hier jedoch häufig anders. Diejenigen, die Sonnenschutzmittel benutzen, halten sich oft länger in der Sonne auf, als diejenigen die darauf verzichten. Beim malignen Melanom wurden in den 80er Jahren große Anstrengungen unternommen, die Aufklärung (primäre Prävention) und Früherkennung (sekundäre Prävention) zu verbessern. Die erste öffentlichkeitswirksame Kampagne zur Prävention des malignen Melanoms wurde bereits in den 60er Jahren in Australien, dem Land mit der weltweit höchsten Melanominzidenz, durchgeführt. Auch in den USA und in Großbritannien wurden zahlreiche solcher Aktivitäten durchgeführt. Die erste flächendeckende Aufklärungskampagne in Deutschland wurde von der „Kommission zur Früherkennung und Prävention von Hautkrebs“ der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft (DDG) im Juni 1989 unter der Leitung von Prof. Dr. E. W. Breitbart durchgeführt. Ziel war es, das Thema Früherkennung von Hautkrebs in das öffentliche Bewußtsein zu tragen. Das Sonnenschutzverhalten der Bevölkerung sollte verbessert, Risikogruppen gezielt informiert und frühe Anzeichen von Hautkrebs, insbesondere des

Präventionsmaßnahmen für Hautkrebs und Hautalterung

1. Selbstuntersuchung
2. Meidung direkter Sonnenstrahlung v. a. zwischen 10.00 Uhr und 16.00 Uhr
3. Meidung übermäßiger UV-Exposition
4. Verwendung von Sonnenschutzmitteln
5. Schützende Kleidung (z. B. Hut mit breitem Rand, T-Shirts, Sonnenbrille etc.)

Tabelle 3

Melanoms, der Bevölkerung nahegebracht werden.

Die Klinik für Dermatologie und Venerologie der Universität Rostock führt regelmäßig Präventionskampagnen an der Ostseeküste durch und konnte bei der Untersuchung von einigen hundert Patienten eine Reihe von verdächtigen Hautveränderungen frühzeitig identifizieren und behandeln. Auch in diesem Jahr wird die Klinik eine große Kampagne durchführen. Es sollen hier besonders Kindergarten- und Schulkinder angesprochen werden.

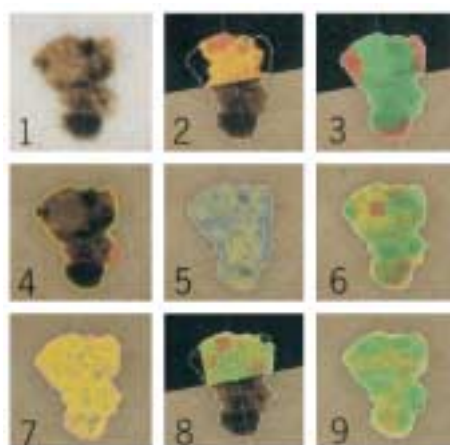
Therapie mit UV-Licht

Die UVB-Therapie ist mittlerweile ein fester Bestandteil der Psoriasisbehandlung. Ein großer Fortschritt war die Entwicklung der Kombinationstherapie von Dithranol und UVB durch Ingram. Sie ist bis heute neben der PUVA (8-MethoxyPsoralen + UVA)-Behandlung die wirksamste Form der Phototherapie bei Psoriasis. Um die Wirksamkeit der UVB-Therapie weiter zu erhöhen, wurde versucht, das Spektrum der Bestrahlungsgeräte zu verbessern. Ende der 80er Jahre wurde eine Leuchtstoffröhre eingeführt, die im UV-Bereich die Wellenlänge 311 nm emittiert. Sie besitzt bei vielen Erkrankungen (vor allem bei der Psoriasis vulgaris) besonders günstige therapeutische Eigenschaften. Behandelt werden können neben der Psoriasis auch noch viele andere Hauterkrankungen, u. a. das Atopische Ekzem (= Neurodermitis), der Pruritus sine materia (= Juckreiz unklarer Genese), die Vitiligo (= Weißfleckerkrankung), die Parapsoriasis und viele andere.

Die UVB-Therapie sollte drei bis fünf Mal pro Woche bis zur weitgehenden Rückbildung durchgeführt werden. In der Regel kann nach ca. 25 Bestrahlungen die Frequenz auf zwei Mal / Woche und dann auf ein Mal / Woche reduziert werden. Die UV-Therapie sollte immer nur gezielt unter fachärztlicher Aufsicht und kurzfristig eingesetzt werden. Prinzipiell müssen UV-behandelte Patienten einer regelmäßigen dermatologischen Kontrolle unterzogen werden (mindestens eine Untersuchung pro Jahr). (Abb. 6a + b)

Photodynamische Therapie (PDT)

Bei der sog. photodynamischen Therapie wird Licht einer bestimmten Wellenlänge mit der Anwendung eines Photosensibilisators, der auf die Haut aufgetragen wird, kombiniert. Die dadurch licht-



- 1) Normalisierte Darstellung
- 2) Asymmetrie der Farbe
- 3) Asymmetrie der Form
- 4) Bersndung
- 5) Farbvielfalt
- 6) Farbhomogenität
- 7) Strukturvielfalt
- 8) Asymmetrie der Struktur
- 9) Strukturhomogenität



Abbildung 6a+b: Psoriasis vulgaris: vor (a) und nach (b) PUVA-Therapie / psoriasis. Before and after PUVA-irradiation

empfindlich gemachten Tumorzellen werden durch die Lichteinwirkung zerstört. Der zugrundeliegende Mechanismus ist noch nicht völlig geklärt. Offenbar spielen aber Sauerstoffradikale eine wesentliche Rolle. Behandelt werden vor allem dünne aktinische Keratosen im Gesicht und an der Kopfhaut, wenn andere Therapien als weniger geeignet angesehen werden. Desweiteren kann

die photodynamische Therapie angewendet werden zur Behandlung von oberflächlichen Basaliomen. Die Behandlung umfasst zunächst zwei Sitzungen im Abstand von einer Woche. Eine etwa 1mm dicke Creme-Schicht eines Photosensibilisators (vor allem 5-Aminolaevulinsäure, ALA) wird auf die aktinische Keratose bzw. das Basaliom aufgetragen. ALA selber ist kein Photosensibi-

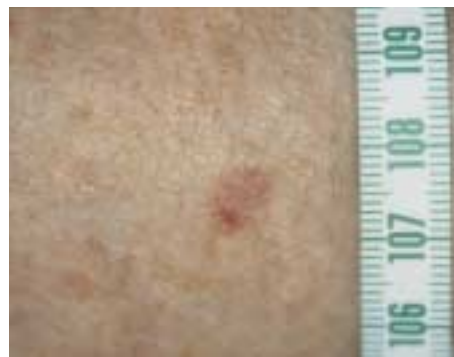


Abbildung 7a+b: Photodynamische Therapie. Vor (a) und nach (b) Behandlung. photodynamic therapy. Before and after treatment.

lisor, jedoch die aus ALA entstehenden Porphyrine. Gesundes Gewebe wird dabei weitgehend geschont (Abb. 7a + b)

Perspektiven für die Zukunft

Untersuchungen aus den vergangenen zwei Jahrzehnten haben deutlich gezeigt, dass die UV-Bestrahlung der Haut sowohl zu akuten als auch zu chronischen Schäden führen kann und dass die Schäden zum Teil viel ausgeprägter und schwerwiegender sind, als früher angenommen wurde. Öffentlichkeitswirksame Präventionskampagnen können wesentlich dazu beitragen, die Inzidenz und die Mortalität von Hautkrebs zu senken. Mit einer Änderung im Verhalten der Bevölkerung kann man jedoch erst nach längeren Zeiträumen rechnen. Das Wissen über die Gefahren von UV-Exposition ist hoch, was sich jedoch bisher wenig im Verhalten und der Einstellung niederschlägt. Somit sollten die Präventionskampagnen über weitere Wissensvermittlung eine Veränderung in der Einstellung und insbesondere im Verhalten der Bevölkerung gegenüber der Sonne und auch gegenüber der „Sonne aus der Steckdose“ (Solarien) erreichen. UV-Licht bleibt aber dennoch weiterhin ein wesentlicher Bestandteil der dermatologischen Therapie.

Der Einsatz von UV-Licht zu therapeutischen Zwecken (z. B. bei Psoriasis vulgaris und endogenem Ekzem) muß für jeden Patienten sorgfältig abgewogen und sollte unter ärztlicher (dermatologischer) Kontrolle durchgeführt werden. Stellt sich nach drei Wochen UV-Therapie kein deutlicher Erfolg ein, sollte sie abgebrochen werden.



Prof. Dr. med.
Gerd E. Gross, geb.
1948 in Stuttgart.
1976–1978 Medizinalassistent am Uniklinikum Freiburg
1978–1986 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Virologischen Institut der

Universität Freiburg und wissenschaftlicher Assistent an der Universitäts-Hautklinik
1977 Promotion zum Dr. med. und Habilitation für das Fach Dermatologie und Venerologie
1986, Heisenberg-Stipendiat
1987 Berufung auf C3-Professur für Dermatologie und Venerologie am Universitätskrankenhaus Hamburg-Eppendorf
Seit 1. November 1996 C4-Universitätsprofessor und Ordinarius für Dermatologie und Venerologie, Direktor der Universitätsklinik und Poliklinik für Dermatologie und Venerologie der Universität Rostock

Forschungsgebiete: Infektionen in der Dermatologie und Venerologie, Rolle exogener Faktoren bei der Tumorentstehung und Entwicklung

Die Autoren



Dr. med. Isabell
Schütze, geb. 1974
in Bad Reichenhall
1994 Abitur in
Bad Reichenhall
1994–2000
Studium der Humanmedizin, Universität Ulm

2000–2001 Praktisches Jahr, Klinik am Eichert, Göppingen
Dezember 2001 Promotion in Gynäkologie an der Universitätsfrauenklinik Ulm
Juli 2001 – Dezember 2002 Ärztin im Praktikum für Dermatologie im Georg von Liebig Krankenhaus Bad Reichenhall
Seit Januar 2003 Assistenzärztin an der Universitätsklinik und Poliklinik für Dermatologie und Venerologie (Direktor: Prof. Dr. med. Gerd Gross)



PD Dr. med. Manfred
Kunz, geb.
1957 in Idar-Oberstein. Studium der Humanmedizin in Homburg/Saar und Heidelberg, 1986
Promotion zum Dr. med.

1986–1987 Assistenzarzt in der Abteilung für Innere Medizin, Bundeswehrkrankenhaus Osnabrück
1992–1998 Assistenzarzt an der Uni.-Hautklinik Würzburg, seit 1998 Oberarzt an der Klinik für Dermatologie und Venerologie der Uni Rostock
1992–1998 Wissenschaftlicher Schwerpunkt an der Universitäts-Hautklinik Würzburg: Molekularbiologische Mechanismen der Tumprogression beim malignen Melanom
Juni 2001 Habilitation und Lehrerlaubnis für das Fach „Dermatologie und Venerologie“ an der Universität Rostock

Kontaktadresse: Universität Rostock, Medizinische Fakultät, Klinik und Poliklinik für Dermatologie und Venerologie, Augustenstrasse 80–84, 18055 Rostock
Tel.: 0381/494 9701, Fax: 0381/494 9702, e-mail: gerd.gross@med.uni-rostock.de

Seit etwa 200 bis 300 Jahren wird eine langsame Erwärmung auf der Erde beobachtet. Während der letzten 100 Jahre betrug sie in Afrika etwa 0,39°C, und in Europa, wo sie bisher überwiegend die Wintermonate betrifft, etwa 0,8°C. Sie wird auf den Konzentrationsanstieg von Kohlendioxid und anderer Treibhausgase in der Atmosphäre aber auch auf menschenunabhängige klimatische Veränderungen zurückgeführt. Da viele Infektionskrankheiten durch Insekten oder Zecken übertragen werden, deren Entwicklung von der Außentemperatur abhängt, wirken sich Temperaturschwankungen auf die Übertragung dieser Infektionskrankheiten aus. Das gilt besonders für tropische Infektionskrankheiten, deren Überträger (Vektoren) eine bestimmte Mindesttemperatur für ihre Entwicklung benötigen. Anhand von vier Beispielen wird erläutert, wie die globale Erderwärmung zur Ausbreitungen von Krankheiten führen kann.

During the last 200 to 300 years, the temperature on the surface of the earth has been rising. Global warming may cause infectious diseases to spread to new areas, because high temperatures accelerate the growth of infectious agents and their vectors. One example is malaria, where parasite development in *Anopheles* mosquitoes is temperature dependent. Climatic changes, including those related to the "El Niño" phenomenon, may be responsible for some malaria epidemics. During long warm summers, *Anopheles* mosquitoes have transmitted malaria sporadically even in Germany. Another example are epidemics of arthropod-borne viral diseases, triggered by unusually warm weather. Rising temperatures drastically enhance replication of Yellow Fever and Dengue viruses in *Aedes* mosquitoes, and of West Nile virus in *Culex* mosquitoes. A third example is the transmission of Lyme borreliosis in Europe and North America, which may be increased after warm winters favoring survival of *Ixodes* tick vectors. Therefore, health systems must be prepared to deal with emerging infections. Research and training in tropical and infectious diseases should be top priority.

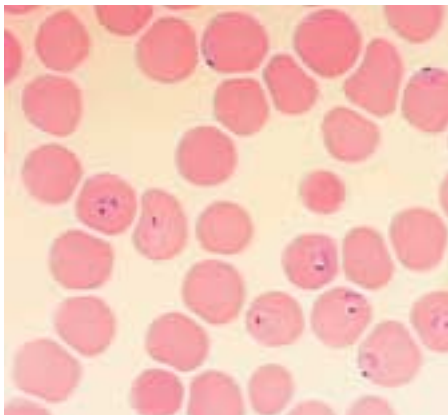


Abbildung 1: *Plasmodium falciparum*, Erreger der Malaria tropica, in roten Blutkörperchen

Globale Erwärmung: Wegbereiter für tropische Infektionskrankheiten auch in Deutschland?

- Dr. med. Christoph J. Hemmer
- Prof. Dr. Emil C. Reisinger



Malaria

Die Malaria ist die wichtigste parasitäre Tropenerkrankung. Jährlich gibt es weltweit zwischen 200 und 500 Millionen Neuerkrankungen und – vor allem in Afrika – mehrere Millionen Todesfälle, meist Kinder unter fünf Jahren. In Deutschland erkranken jährlich etwa 1000 Tropenrückkehrer an Malaria, zwischen 10 und 20 versterben an der Erkrankung.

Die Malaria wird durch *Anopheles*-Mücken übertragen. Diese entwickeln sich bei Temperaturen zwischen 16 und 33 °C und benötigen Brutstätten in stehenden oder langsam fließenden Gewässern. *Anopheles*-Mücken nehmen Malaria-parasiten beim Stechen mit einer Blutmahlzeit auf. Diese Parasiten müssen in der Mücke einen Vermehrungszyklus durchlaufen, bevor sie bei der nächsten Blutmahlzeit auf das nächste Stichopfer übertragen werden können. Das Parasitenwachstum in der Mücke hängt davon ab, dass die o.g. Mindesttemperatur wenigstens zwei bis drei Wochen lang eingehalten wird. Selbst eine geringe Temperaturerhöhung kann das Parasitenwachstum in der Mücke deutlich begünstigen. Daher wirken sich Temperaturschwankungen besonders in Gegenden aus, wo Malaria bisher nur unregelmäßig oder selten übertragen wird.

Wahrscheinlich steht der Anstieg der Malaria-Fallzahlen in Nord-Pakistan während der 80er Jahre und im Hochland von Uganda Ende der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts mit Temperaturer-

höhungen der El-Niño-Klimaschwankung im Zusammenhang. Ein Faktor, der in den Tropen einen stärkeren Einfluss auf die Malariaübertragung als die Temperatur ausübt, ist die sozioökonomische Entwicklung. In Singapur beispielsweise, einem verhältnismäßig reichen Stadtstaat, wo klimatisierte Räume vor Mückenstichen Schutz bieten und Mückeneradikationsprogramme finanziert werden können, wird die Malaria trotz der geographischen Lage in den Tropen relativ selten übertragen.



Abbildung 2: *Anopheles*-Mücke, Überträger der Malaria

Trotzdem hat es in den letzten Jahren in mehreren europäischen Ländern, darunter auch in Deutschland, vereinzelt Fälle von Malariaübertragung gegeben. Zwar waren hierfür oft Mücken verantwortlich, die als „blinde Passagiere“ in Flug-

zeugen aus tropischen Ländern nach Europa gelangt waren. Jedoch wurde in wenigstens zwei Malariafällen des Jahres 2001 gezeigt, dass die Erkrankung in Deutschland durch einheimische Anopheles-Mücken übertragen worden war. Die Malaria war bis Ende des 2. Weltkrieges in einzelnen Herden in Deutschland endemisch. Das bedeutet, dass die Übertragung von Malaria innerhalb von Deutschland auch heute prinzipiell möglich ist.

Dengue-Fieber und Gelbfieber

Nach Schätzungen der Weltgesundheitsorganisation erkranken jährlich mindestens 50 Millionen Menschen an Dengue-Fieber. Etwa 500.000 erleiden schwere Komplikationen und mindestens 12000 versterben an der Erkrankung. Besonders betroffen sind Kinder und Bewohner von Großstädten in Entwicklungsländern. Dengue-Fieber ist eine Viruserkrankung, die in tropischen Gebieten durch Moskitos der Gattung Aedes übertragen wird. Die Dengue-Viren, von denen es vier Typen gibt, gehören zur Gruppe der Flaviviren. Die Virusvermehrung im Überträger-Insekt ist stark von der Umgebungstemperatur abhängig. Nach Modellrechnungen führt der weltweite Temperaturanstieg der bis 2050 wahrscheinlich 1,6°C betragen wird, in zahlreichen Regionen zu einem Anstieg der Dengue-Fallzahlen um 31 bis 47%. Auch vorübergehende Erhöhungen von Lufttemperatur und Niederschlagsmenge, wie sie oft im Rahmen des El-Niño-Phänomens beobachtet werden, haben in den letzten Jahren zu Dengue-Epidemien geführt.

Aedes-Mücken übertragen nicht nur Dengue-Viren, sondern auch Gelbfieber-Viren, die ebenfalls zu den Flavi-Viren gehören. Gelbfieber ist eine potentiell tödliche Erkrankung, für die es keine spezifische Therapie, sondern nur eine Impfung gibt. Bei einer Außentemperatur von 18 Grad dauert es 18 Tage, bis die Aedes-Mücke Gelbfieber-Viren beim Stechen weitergeben kann. Bei einer Außentemperatur von 37°C sind die Aedes-



Abbildung 4: *Culex pipiens*, Überträger des West-Nil-Virus

Mücken bereits vier Tage nach Aufnahme des Virus infektiös. Daher ist es bei einer klimatischen Erwärmung durchaus möglich, dass sich Gelbfieber, das bisher auf tropische Regionen Südamerikas und Afrikas begrenzt ist, weiter ausbreitet.

West-Nil-Fieber

West-Nil-Fieber ist eine Viruserkrankung, die meist milde verläuft, jedoch in einigen Fällen eine schwere Hirnhautentzündung verursacht. Hier von sind vor allem Ältere betroffen. Das West-Nil-Virus kommt normalerweise in Afrika sowie im Nahen und Mittleren Osten vor. Es wird durch Stechmücken der Gattung Culex übertragen, die auch in Nordamerika und Europa verbreitet sind.

Wie im Falle verschiedener anderer Viren, die durch Mücken übertragen werden, konnte auch für das West-Nil-Virus gezeigt werden, dass die Virusvermehrung in den Überträger-Mücken stark von der Umgebungstemperatur abhängt. Daher ist es nicht überraschend, dass die Epidemie im Nordosten der USA im Jahre 1999 während eines heißen Sommers auftrat. Ein relativ warmer Winter hatte zuvor dafür gesorgt, dass zahlreiche Culex-Mücken bis zum Frühjahr überlebt hatten. Bei dieser West-Nil-Fieber-Epidemie gab es im Nordosten der USA über 2000 Erkrankte und über 100 Tote.

Lyme-Borreliose

Lyme-Borreliose wird durch den Stich von Zecken der Gattung Ixodes übertragen. Besonders häufig betroffen sind Waldarbeiter. In den USA wurden 1998 fast 16000 Fälle von Lyme-Borreliose gemeldet [6]. In Deutschland, wo keine bundesweite Meldepflicht existiert, wird ebenfalls eine fünfstelligen Zahl von Infektionen jährlich vermutet.

Warme Winter begünstigen das Überleben und die Vermehrung der Überträger-Zecken. Die globale Erwärmung betrifft in Europa besonders die Wintermonate. Es ist also zu vermuten, dass Klimaveränderungen auch zu einer Zunahme der durch Zecken übertragenen Lyme-Borreliose führen.



Abbildung 5: *Ixodes ricinus* (Schildzecke), Überträger der Lyme-Borreliose

Fazit

Die genannten Beispiele zeigen, wie stark selbst verhältnismäßig kleine Klimaveränderungen die Übertragung von wichtigen Infektionskrankheiten beeinflussen. Dies gilt nicht nur für die Tropen, sondern auch für Regionen mit gemäßigttem Klima, einschließlich Deutschland. Aufgrund der globalen Erwärmung ist konkret damit zu rechnen, dass Krankheitserreger in Gebiete vordringen können, in denen sie ausgerottet waren oder bisher nicht vorgekommen sind.

Für potentiell betroffene Gesellschaften bedeutet dies, dass das Gesundheitswesen auf bisher ungewöhnliche Erkrankungen vorbereitet sein muss, und dass Ärzte solide infektiologische Kenntnisse benötigen. Von besonderer Bedeutung ist ferner, dass ausreichend Kapazitäten nicht nur für die Diagnostik und Therapie, sondern auch für die Erforschung von Krankheitsmechanismen und Therapiemöglichkeiten für Infektions- und Tropenkrankheiten geschaffen werden müssen.



Abbildung 3: *Aedes aegypti*, Überträger von Dengue- und Gelbfiebertviren

Literatur:

A. K. Githeko, S.W. Lindsay, U.E. Confalonieri, J. A. Patz. *Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. WHO Bulletin* 2000, 78, 1136–1147

N. J. White. *Malaria. In: Manson's Tropical Diseases*, 21. Auflage, 2003, S. 1205–1295. Herausgeber: G. C. Cook und A. Zumla. Elsevier, London

R. S. Kovats. *El Niño and human health. WHO Bulletin* 2000, 78, 1127–1135

A. Krüger, A. Rech, X.Z. Su, E. Tannich. *Two cases of autochthonous Plasmodium falciparum malaria in Germany with evidence for local transmission by indigenous Anopheles plumbeus. Trop Med Int Health*. 2001, 6: 983–5.

J. A. Patz, W. J. Martens, D.A. Focks, T. H. Jetten. *Dengue Fever epidemic potential as projected by general circulation models of global climate change. Environ Health Perspect* 1998, 106: 147–153

D. J. Gubler, P. Reiter, K. L. Ebi, W. Yap, R. Nasci, J. A. Patz. *Climate variability and change in the United States. Potential impacts on vector- and rodent-borne diseases. Environ Health Perspect* 2001, 109 (suppl 2): 223–233

Die Autoren



Prof. Dr. Emil Christian Reisinger, geb. am 5. Juli 1958 in Linz, O.Ö. 1986 Promotion, 1986 Tropenkurs am Bernhard-Nocht Institut, 1986–1992 Assistenzarzt an verschiedenen Einrichtungen, 1991 United Nations Austrian Field Hospital in Iran, 1992 Habilitation, 1992 Leiter des Labors für klinische Mikrobiologie und der Arbeitsgruppe für Infektions- und Tropenkrankheiten an der Medizinischen Universitätsklinik Graz, 1994 Ltd. Oberarzt an Med. Univ. Klinik Graz, 1997 Leiter der Abteilung für Infektiologie an der Med. Univ. Klinik Graz, 1997 a.o. Universitäts-Professor für Innere Medizin, 1997–1998 Forschungsaufenthalt an der University of California at Los Angeles (UCLA), 1999 C4 Professor an der Universität Rostock, Direktor der Abteilung für Tropenmedizin und Infektionskrankheiten, 2001 Präsident der Deutschen Gesellschaft für Tropenmedizin und Internationale Gesundheit e.V., 2001 Präsident der Gesellschaft der Internisten Mecklenburgs und Vorpommerns e.V., 2002 Studiendekan an der Medizinischen Fakultät der Universität Rostock



Dr. med. Christoph Hemmer, 1984 Medizinisches Staatsexamen, 1986 Promotion, 1987–1988 Wiss. Assistent, Bernhard-Nocht-Institut f. Tropenmedizin, Hamburg, 1989–1996 Assistenzarzt an verschiedenen Einrichtungen, 1997 Clinical Research Fellow, Queen-Mary's Hospital, Sidcup, GB, 1998 Internist, Klin. Abteilung, Bernhard-Nocht-Institut, Hamburg, 1999 Forschungsstipendiat der Vereinigung der Freunde des Tropeninstitutes, Hamburg, 1999 / 2000 Ltd. Oberarzt der Abteilung für Innere und Tropenmedizin, Albert-Schweitzer-Hospital, Lambarene, Gabun, seit Aug. 2000 Wissenschaftlicher Assistent, Abteilung für Tropenmedizin und Infektionskrankheiten, Klinik für Innere Medizin, Universität Rostock

Kontaktadresse: Universität Rostock, Klinik u. Poliklinik für Innere Medizin, Abteilung für Tropenmedizin und Infektionskrankheiten, Ernst-Heydemann-Str. 6, 18057 Rostock
Tel. 49-(0)381-494-7510, Fax 49-(0)381-494-7309, e-mail: emil.reisinger@medizin.uni-rostock.de

Anzeige

TIEFSTTEMPERATUREN AN DER GEIZFRONT!

3fach Filter

Geräuscharm

Abholpreis

699,-

Statt **UVP* € 879,-** Sie sparen **€ 180,-**

BOSCH RKM 09000 B1 KLIMAGERÄT
 Leistungsaufnahme: 1180 Watt,
 Absicherung: 10A,
 Kühlleistung: ca. 2800 Watt,
 Kühlbetrieb: min. 20 Grad C - max. 35 Grad C,
 Entfeuchtungsbetrieb: min. 18 Grad C - max. 35 Grad C,
 FCKW - frei, Maße (H x B x T): 85 x 42 x 44 cm

WIR SIND FÜR SIE DA:

Mo-Fr	9.30-20.00 Uhr
Sa	9.00-18.00 Uhr
Am 1. Samstag im Monat 9.00-20.00 Uhr	

*UVP= unverbindliche Preisempfehlung des Herstellers

ROSTOCK **SATURN**

Strömpfer Str. 57, Markt-Passage Tel.: 0381/2759-0 Fax: 0381/2759-101 www.saturn.de

GEIZ IST GEIL!



QUALITÄT



Mecklenburg
Vorpommern

FRB Fleischwarenfabrik Rostock-Bramow GmbH

Erlensumpfstraße 1 ● 18147 Rostock

Tel. (03 81) 65 84-3 ● Fax (03 81) 6 58 44 47

BIODIVERSITÄTSFORSCHUNG IM ZEITALTER DES GLOBALEN WANDELS:

HABITATFRAGMENTE ALS MODELLSYSTEME

• Dethardt Goetze • Klaus Hennenberg • Annick Koulibaly • Bettina Orthmann • Stefan Porembski

Die Biodiversitätsforschung beschäftigt sich auf verschiedenen Skalenebenen u. a. mit der Entstehung und dem Erhalt der Artenvielfalt. Die weltweit zu beobachtende Tendenz der Fragmentierung ursprünglich zusammenhängender Lebensräume ist in ihren Folgen für den langfristigen Erhalt der Funktionsfähigkeit von Ökosystemen bisher nicht verstanden. Im Rahmen von vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützten interdisziplinären Studien (BIOTA AFRICA, IMPETUS) arbeiten naturwissenschaftlich orientierte Arbeitsgruppen (u. a. Botaniker) mit Ethnologen und Ökonomen eng zusammen, um in einem gemeinsamen Ansatz die komplexen Auswirkungen des globalen Wandels zu dokumentieren und analysieren sowie um Handlungsvorschläge für eine nachhaltige Nutzung der biologischen Ressourcen zu erarbeiten.

Biodiversity research aims to understand the development and maintenance of species richness on different levels of scale. The global tendency of the fragmentation of formerly contiguous ecosystems is in its consequences for the long-term functioning of ecosystems still not understood. Within the framework of interdisciplinary studies (BIOTA AFRICA, IMPETUS) that are supported by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF), different disciplines (e.g. botany, ethnology, economics) closely cooperate in order to document and analyse the consequences of global change. Based on this, management tools for the sustainable use of biological resources are developed.

Wissenschaftlicher Hintergrund

Mit dem Begriff „Biodiversität“, der von Genen bis zu Ökosystemen eine breite Palette von Hierarchieebenen umfasst, hat das Thema Artenvielfalt im letzten Jahrzehnt verstärkt Eingang in wissenschaftliche, ökonomische und gesellschaftspolitische Diskussionen gefunden. Trotz vielfältiger Forschungsaktivitäten sind wir jedoch von einem grundlegenden Verständnis dieses komplexen Forschungsgebietes noch weit entfernt. Die verstärkte Beschäftigung mit dem Thema Biodiversität beruht vor allem auf drei Gründen:

1. Der Unkenntnis der Zahl der tatsächlich auf der Erde lebenden Organismenarten.
2. Zerstörerische Eingriffe des Menschen haben ein nie da gewesenes Ausmaß erreicht.
3. Der Hoffnung auf das der Biodiversität innewohnende Nutzungspotenzial (Stichwort Bioprospektion).

Die Zerstörung von Ökosystemen und ihre Fragmentierung bilden die Hauptursache des globalen Biodiversitätsverlustes. Die Behandlung dieses Themenkomplexes berührt zentrale Fragen des

Naturschutzes, u. a. im Hinblick auf Größe, Form und Lage von Naturschutzgebieten, die Überlebensfähigkeit isolierter Pflanzen- und Tierpopulationen, die Eignung ausgewählter Arten als Indikatoren für den Zustand von Ökosystemen sowie das Einwandern nicht-indigener Organismen. Während über die genaue Zahl der Organismenarten auf der Erde nur grobe Schätzungen vorliegen, gibt es zur geographischen Verteilung der Biodiversität bereits genauere Vorstellungen. Aus allen vorliegenden Daten zur globalen Verteilung der Biodiversität geht klar hervor, dass im weltweiten Maßstab insbesondere tropische Lebensräume durch hohe Arten- und Endemitenzahlen gekennzeichnet sind, während die gemäßigten Breiten im Verhältnis dazu deutlich weniger Arten beherbergen. Die Auswirkungen der Zerstörung tropischer Lebensräume und der damit einhergehende Verlust an Biodiversität werden nicht auf diese Region beschränkt bleiben, sondern auch in den gemäßigten Breiten deutliche Wirkungen (u. a. Klimawandel) entfalten.

Räumliche Diversitätsmuster werden durch die Fragmentierung ursprünglich zusammenhängender Lebensräume lokal und regional beeinflusst mit Konsequenzen für abiotische (z. B. Bodenerosion) und biotische (u. a. Samenproduktion) Prozesse. Die Folgen der „Verinselung“ von Ökosystemen werden kontrovers diskutiert, u. a. im Hinblick auf den Zusammenhang zwischen Diversität und Stabilität. Übereinstimmung besteht darüber, dass sich Fragmentierungseffekte (z. B. Veränderungen des Mikroklimas) in kleinen Fragmenten stärker als in großen auswirken. Von einem detaillierten Verständnis der Unterschiede zwischen Habitat-„Inseln“ und zusammenhängenden Systemen im Hinblick auf ihre Raum-/zeitliche Dynamik sind wir jedoch weit entfernt. Fragmentierungsfolgen wurden z. B. anhand künstlich angelegter Waldinseln analysiert, wie im „Biological Dynamics of Forest Fragments Project“ im Amazonasbecken. Fragmentierungseffekte wurden für verschiedene Tier- und Pflanzengruppen dokumentiert (für letztere deutlich seltener!), wobei das tropische Afrika stark vernachlässigt wurde. In den meisten Regionen der Welt liegt heute ein Mosaik aus Sekundärflächen vor, in das nicht oder vom Menschen kaum beeinflusste Flächen inselartig eingestreut sind. Die Bedeutung letzterer für die Erhaltung der Biodiversität dürfte durch die Größe, Struktur und den Isolationsgrad der Habitatfragmente entscheidend bestimmt sein.

Biodiversität und nachhaltige Nutzung von Ökosystemen

Die Beschäftigung mit ozeanischen Inseln hat wichtige Einblicke in grundlegende biologische Prinzipien (z. B. Darwins Evolutionslehre) erbracht. Im Gegensatz dazu wurden terrestrische Habitatisolate im Hinblick auf ihre Rolle als Modellsysteme zum Verständnis biologischer Prozesse bisher weitgehend vernachlässigt. In den letzten Jahren zeigte sich jedoch verstärkt,

LOTTO - Ziehungen am Mittwoch und am Samstag . . . GlücksSpirale
ODDSET- Die Sportwette von LOTTO mit TOP- und KOMBI-Wette . . .
TOTO-Auswahl- und Ergebniswette . . . BINGO! . . . Spiel 77 . . . Super 6

Ich
steh` auf
LOTTO
Geld!



PLAY
www.LOTTO-mv.de

Nur wer mitspielt, kann gewinnen!



Abbildung 1: Kernuntersuchungsgebiet im Rahmen des BIOTA Afrika-Projektes in der Elfenbeinküste.
Main study region of the BIOTA Africa-projet in Ivory Coast.

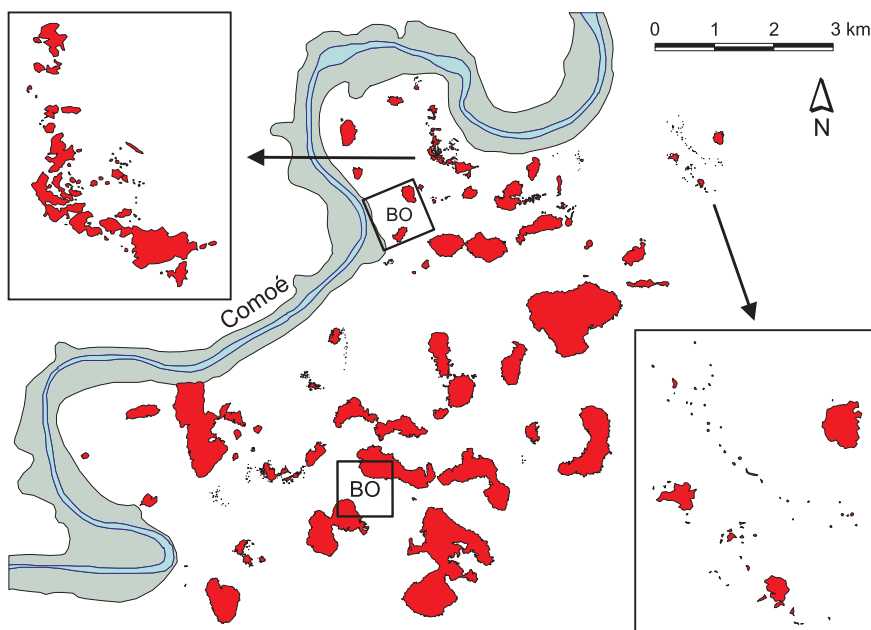
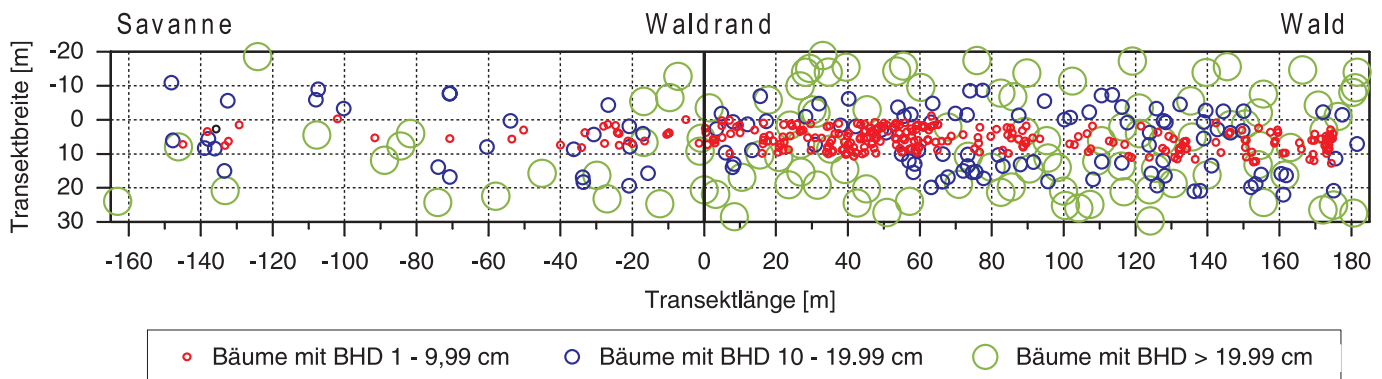


Abbildung 2: Waldinseln (rot) im Comoé-Nationalpark. BO: Biodiversitätsobservatorium. Vergrößerungen: Waldinseln in der Umgebung einer Geländekante (links oben) und auf ehemaligen Termitenhügeln, die meist in dichten Gruppen auftreten (rechts unten).

Forest-islands in the Comoé National Park. BO: Biodiversity observatory. Enlarged: Forest-islands near a ground edge (above left) and on ancient termite mounds that form dense groupings (right below).

dass auch letztere in erheblichem Umfang zum Erhalt von Biodiversität beitragen können und ihnen dabei eine Funktion im Hinblick auf die Analyse biodiversitätssteuernder Prozesse zukommt.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützten Forschungsverbundes „BIOTA AFRICA“ (Biodiversity Monitoring Transect Analysis in Africa) erfolgen zur Zeit u. a. Studien an Waldinseln in Westafrika (vor allem in Côte d'Ivoire, Abb. 1), einer Region, in der sich die Auswirkungen des globalen Wandels bereits heute deutlich zeigen. In diesem interdisziplinären Projekt arbeiten naturwissenschaftlich orientierte Arbeitsgruppen (u. a. Botanik, Zoologie, Meteorologie, Fernerkundung) mit Ethnologen und Ökonomen eng zusammen, um in einem gemeinsamen Ansatz die komplexen Auswirkungen des globalen Wandels zu dokumentieren und zu analysieren sowie um Handlungsvorschläge für eine nachhaltige Nutzung der biologischen Ressourcen zu erarbeiten. Von Savanne umgebene Waldinseln (Abb. 2) werden vergleichend innerhalb und außerhalb von Schutzgebieten untersucht, um die Auswirkungen anthropogener Einflüsse (u. a. Landwirtschaft) auf ihre Struktur und ihren Artenreichtum abschätzen zu können. Die Arbeiten vor Ort befassen sich vor allem mit der Erfassung des Pflanzenarteninventars und mit der Analyse wichtiger, die Artenzusammensetzung bestimmender Faktoren (z. B. Mikroklima, Feuer). Von besonderem Interesse ist hierbei die genaue Erfassung sogenannter Randeffekte. Diese treten an der Grenzzone zwischen Waldinseln und umgebender Savanne auf, wobei es sich um einen Faktorenkomplex aus abiotischen (u. a. Mikroklima) und biotischen (z. B. Vegetationsstruktur) Einflussgrößen handelt. Mit Hilfe von Transektstudien konnten im bisherigen Projektrahmen detaillierte Einblicke in die Vegetationsstruktur des Grenzbereichs Wald / Savanne gewonnen werden (Abb. 3). Die genaue Kenntnis der Randeffekte ist eine wichtige Voraussetzung zur Abschätzung der Dynamik des Grenzbereichs zwischen Wald und Savanne unter dem Einfluss zukünftiger Klimaveränderungen sowie verstärkter menschlicher Einflussnahme. Um die Dynamik der Waldinseln direkt erfassen zu können, wurden „Biodiversitätsobservatorien“ angelegt, die allen BIOTA-Disziplinen als Dauerbeobachtungsflächen dienen. Das Pflanzeninventar der Biodiversitätsobservatorien wird in regelmäßigen Abständen erfasst. Aus der vergleichenden Analyse zeitlich hintereinander erfolgender Erhebungen lassen sich Rückschlüsse auf dynamische Abläufe in der Vegetationsstruktur des betrachteten Gebietes ziehen. Auf einer größeren räumlichen und zeitlichen Skalenebene erfolgen mittels der Auswertung aktueller und historischer Satelliten- und Luftbilddaten ebenfalls vergleichende Analysen zur großräumigeren Vegetationsdynamik und Landschaftsdiversität in vom Menschen weitge-



hend unbeeinflussten und modifizierten Gebieten (Abb. 4). Die Satelliten- und Luftbilddaten können in einem Geographischen Informationssystem (GIS) mit weiteren Variablen (u. a. Relief, Bodentypen) verknüpft und im Hinblick auf ursächliche Zusammenhänge ausgewertet werden.

In einem weiteren interdisziplinären BMBF-Projekt (IMPETUS, Integratives Management-Projekt für einen Effizienten und Tragfähigen Umgang mit Süßwasser in Westafrika), in dem Naturwissenschaftler (Meteorologen, Geologen, Bodenkundler, Botaniker), Mediziner, Ethnologen und Ökonomen vertreten sind, werden die komplexen Wechselbeziehungen zwischen natürlicher Umwelt und der Verfügbarkeit von Süßwasser in einem anwendungsorientierten Ansatz am Beispiel eines Flusseinzugsgebietes in Benin betrachtet. Vegetationsökologische Studien leisten hierbei einen Beitrag zur Erfassung ökosystemarer Prozessabläufe und deren Überlagerung durch den wirtschaftenden Menschen (Abb. 5, Yamsanbau). Mittels Feldarbeit und unter Verwendung von Fernerkundungsdaten konnte die räumlich / zeitliche Verteilung der Vegetation detailliert beschrieben werden. Von speziellem Interesse ist in diesem Zusammenhang die Abschätzung des Regenerationspotentials von Waldbeständen, da diese hinsichtlich des Wasserhaushalts der Untersuchungsregion von großer Bedeutung sind. Durch Analysen der Keim- und Überlebensraten von Jungpflanzen repräsentativer Baumarten konnten Abschätzungen zur zukünftigen Entwicklung der Verfügbarkeit von nutzbaren Bäumen ermittelt werden. Die Beeinflussung der verfügbaren Biomasse durch unregelmäßige Holzentnahme und Beweidung steht im Mittelpunkt weiterer Studien, die in enger Kooperation mit lokalen Partnern durchgeführt werden.

Die botanisch-ökologisch ausgerichteten Arbeiten im Rahmen von BIOTA AFRICA und IMPETUS während der letzten zwei Jahre sollen in den folgenden Projektphasen verstärkt der Umsetzung der vorliegenden Resultate zur Entwicklung von Szenarien und Managementempfehlungen zur nachhaltigen, langfristigen Nutzung von biologischen Ressourcen unter den sich verändernden Rahmenbedingungen dienen. Orientiert an diesem Ziel sollen die zunächst lokal durchgeführten Analysen verstärkt regionalisiert werden. In enger

Abbildung 3: Baumindividuenverteilung entlang eines Wald-Savanne-Transektes im Comoé-Nationalpark. Die Savanne ist durch regelmäßiges Auftreten von Bodenfeuern aufgrund des hohen Grasanteils gekennzeichnet. Die Mortalitätsrate junger Bäume ist in der Savanne höher als im Wald, was zu einer höheren Baumdichte im Wald als in der Savanne führt. Die erhobenen Daten dienen zur Erstellung eines Simulationsmodells, mit dem die Reaktion des Waldrandes auf veränderte Umweltbedingungen getestet werden soll. Auf Transektbreiten von 10, 30 und 50 m wurden drei Baumdurchmesserklassen (rot, blau, grün) erfasst.

Distribution of trees along a forest-savanna transect in the Comoé National Park. Due to high grass biomass, fires occur regularly in savanna. Mortality rates of trees are thus higher in savanna than in forest what results in higher tree density in forests. These data will be used in a simulation model to predict the reaction of forest boundaries under changing environmental conditions. Three different tree diameter classes (red, blue, green) were measured at transect widths of 10, 30 and 50 m.

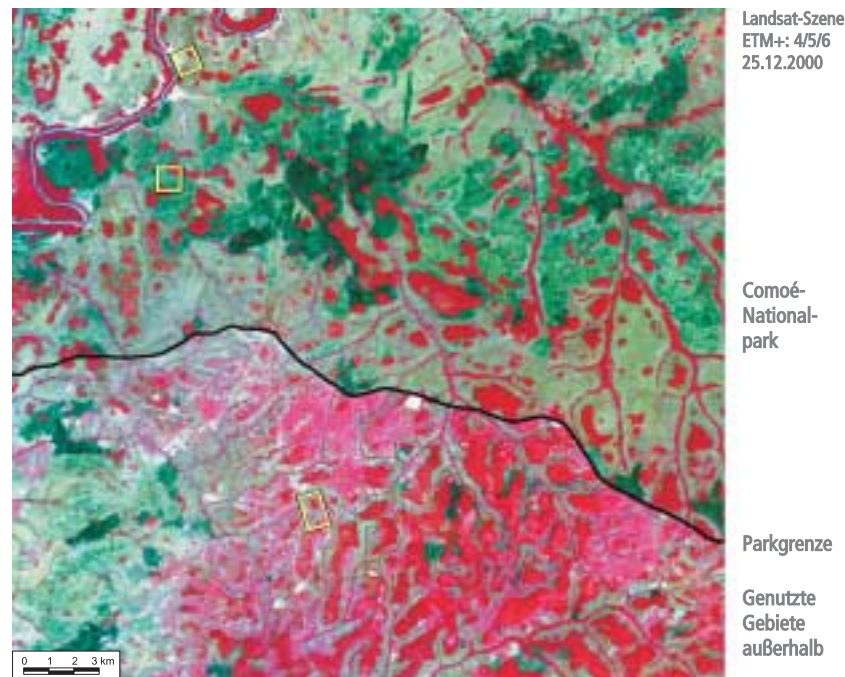


Abbildung 4: Landsat-7-Bild des Untersuchungsgebietes im Comoé-Nationalpark (oben) und genutzten Gebieten außerhalb (unten). Die Waldinseln (rot) sind gleichmäßig über den gesamten Bereich verteilt (grün: Savanne). Landwirtschaftlich genutzte Flächen im nahezu gesamten Gebiet außerhalb des Nationalparks sind an rosa Farbtönen zu erkennen. Schwarze Linie: Parkgrenze, gelbe Rechtecke: Biodiversitätsobservatorien.

Landsat-7-image of the study region in the Comoé National Park (above) and in areas outside influenced by human activities.

Vernetzung mit anderen Disziplinen sollen hierzu Modelle entwickelt werden, die es erlauben, Prognosen zur mittelfristigen räumlichen und zeitlichen Dynamik der betrachteten Untersuchungs-räume zu erstellen. Von großer Relevanz ist in diesem Zusammenhang auch das so genannte „capacity building“, d. h. die Ausbildung wissenschaftlicher Nachwuchskräfte in den afrikanischen Partnerländern.

Tropische Biodiversität und ökosystemare Stabilität in den gemäßigten Breiten

Große Teile der Biodiversität unseres Planeten sind in den Tropen konzentriert. Themenfelder wie die Verfügbarkeit von Süßwasser oder die Entwicklung von Instrumenten zur nachhaltigen Nutzung der Biodiversität, die in weiten Teilen der Tropen bereits hochaktuell sind, werden auch in den ge-



Abbildung 5: Neuangelegtes Yamsfeld in Benin. Starkes Bevölkerungswachstum führt zur Umwandlung natürlicher Vegetation in landwirtschaftliche Nutzflächen.

mäßigten Breiten zunehmend relevant. Zwar sind die genauen Konsequenzen des zur Zeit schnell voranschreitenden Verlustes der Biodiversität noch nicht in allen Einzelheiten klar benennbar, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass damit verbundene Rückkopplungen verschiedene Faktoren beeinflussen, welche die Biosphäre in ihrer Ge-

samtheit betreffen. Beispielsweise wird angenommen, dass im Gefolge des Biodiversitätsverlustes die Regelungs- und Anpassungsfähigkeit zahlreicher Ökosysteme nur eingeschränkt gewährleistet ist bzw. gänzlich verloren gehen wird, woraus sich unmittelbare Auswirkungen auf das Klima und damit u. a. auch auf die Verfügbarkeit von Süßwasser er-

geben können. Neben den damit zusammenhängenden sozio-ökonomischen Folgen (u. a. Arbeitsmigration aus armen in reiche Regionen) käme es somit auch in den gemäßigten Breiten zu spürbar steigenden Belastungen von Ökosystemen bis hin zum Verlust ihrer Anpassungsfähigkeit an z. T. schnell im Wandel befindliche Umweltbedingungen.

Die Autoren



Prof. Dr. Stefan Porembski, geb. 1960; Studium der Biologie an der Freien Universität Berlin und an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Promotion 1990 (Funktionelle Morphologie und Anatomie sukkulenter Pflanzen). Von 1991 bis 1996 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Bonn, dort 1996 Habilitation. Seit 1998 Inhaber des Lehrstuhls für Allgemeine und Spezielle Botanik und Direktor des Botanischen Gartens an der Universität Rostock. Forschungsschwerpunkte liegen auf den Feldern Biodiversitätsforschung (u. a. Analyse von Fragmentierungsprozessen) sowie Systematik, Evolution und Ökologie tropischer Blütenpflanzen.



Dr. Dethardt Goetze, geb. 1964 in Braunschweig; 1980–81 in Philadelphia, USA, Studium der Botanik, Zoologie, Limnologie, Bodenkunde, Geologie an der TU Braunschweig und Universität Freiburg i. Br. (Biologie-Diplom), Promotion 1999 an der TU Darmstadt „Zur Biodiversität von Landschaftsausschnitten: Vegetationskomplexe der Bachtäler des Oden- und Schwarzwaldes als Modellbeispiele“. 1999–2000 Naturschutzmanagement und Geschäftsführung in der Arbeitsgemeinschaft Amphibien- und Reptilienschutz in Hessen e. V., seit 2001 wissenschaftlicher Mitarbeiter und BIOTA-Teilprojektkoordinator in der Abt. Allgemeine und Spezielle Botanik an der Universität Rostock.



Klaus Hennenberg, geb. 1970; Studium der Biologie in Münster und Göttingen. Nach dem Studium freiberufliche Tätigkeit als Biologe. Seit 2001 im Institut für Biodiversitätsforschung, Allgemeine und Spezielle Botanik an der Universität Rostock als Doktorand im Rahmen des BMBF-Projektes BIOTA mit dem Arbeitsschwerpunkt Waldrandeffekte und Waldranddynamik tätig.



Annick Koulibaly, geb. 1971; Studium der Biologie an der Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire. 1991–1996, Licence d'enseignement des sciences naturelles (Génétique, Biologie, Géologie, Biochimie, Physiologie). 1996–1997, Maitrise de Botanique. 1997–2000, Diplôme d'Etudes Académiques (DEA) in Botanik (Caractéristiques de la végétation et de la flore de la savane soudanienne de Côte d'Ivoire : alentours de la ville de Korhogo). Seit 2001 als Doktorandin im Rahmen des BMBF-Projektes BIOTA tätig.



Bettina Orthmann, geb. 1972; Studium der Biologie in Mainz und Göttingen. Anschließend Tätigkeit als Reiseleiterin für naturkundliche Reisen und Erarbeitung von Tourismuskonzepten. Seit 2000 Arbeit an einer Promotion in Rostock, im Rahmen des BMBF geförderten IMPETUS-Projektes. Thema der Arbeit ist das Regenerationsvermögen von Wäldern nach Holzeinschlag in Benin (Westafrika).

Kontaktadresse: Universität Rostock, Fachbereich Biowissenschaften, Institut für Biodiversitätsforschung
Wismarsche Straße 8, 18051 Rostock, Tel 0381/4 98-62 00
e-mail: stefan.porembski@Biologie.uni-rostock.de

Vorsorge? Sparen, ohne es zu merken.

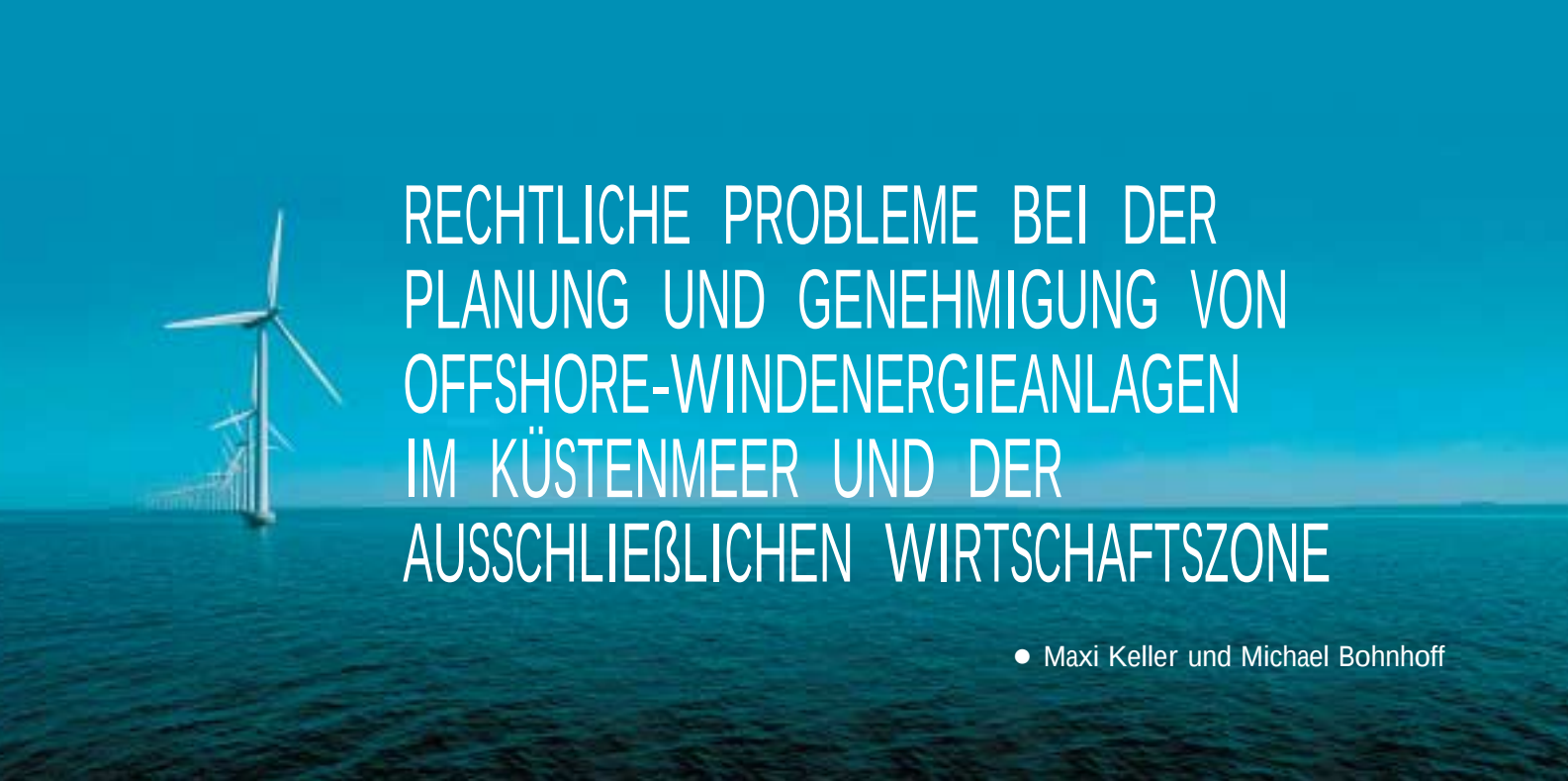
Es ist nicht jedermanns Sache,
sich damit zu beschäftigen, was
in 20, 30 Jahren sein könnte.
Trotzdem ist es in den meisten

Fällen sinnvoll. Das predigen
wir nicht, sondern zeigen Wege
auf, wie aus kleinem Geld
unbemerkt ein Vermögen wird.

Leben Sie. Wir kümmern uns um die Details.

HypoVereinsbank
VEREINS-
UND WESTBANK AG

Ein Mitglied der HVB Group

A photograph of an offshore wind turbine in the ocean under a clear blue sky. The turbine is white with three blades, and its shadow is visible on the water's surface. The horizon is visible in the distance.

RECHTLICHE PROBLEME BEI DER PLANUNG UND GENEHMIGUNG VON OFFSHORE-WINDENERGIEANLAGEN IM KÜSTENMEER UND DER AUSSCHLIEßLICHEN WIRTSCHAFTSZONE

• Maxi Keller und Michael Bohnhoff

Für die Planung und Genehmigung von Offshore-Windenergieanlagen im Küstenmeer und in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ), aber auch für den Schutz der (Meeres-)Umwelt, gelten sowohl völkerrechtliche, gemeinschaftsrechtliche als auch nationale Regelungen. Angesichts der Vielzahl der Regelungen und des teils ungeklärten Verhältnisses der Vorschriften zueinander soll in diesem Forschungsvorhaben zunächst die bestehende Rechtslage aufgezeigt, das Zusammenspiel der verschiedenen Normen skizziert und Defizite insbesondere der bestehenden und vorgesehenen nationalen Regelungen herausgearbeitet werden. Sodann sind Vorschläge im Hinblick auf die Änderung und ggf. Anpassung des nationalen Rechts an gemeinschaftsrechtliche Vorgaben, dies jeweils auch vor dem Hintergrund der bestehenden völkerrechtlichen Rahmenbedingungen, zu erörtern, um einen verbesserten Ausgleich der unterschiedlichen Nutzungsinteressen und einen effektiveren Schutz der (Meeres-) Umwelt zu erreichen.

For the planning and permission of offshore wind energy plants at the coastal sea and the exclusive economic zone and for the protection of (sea-) environment there have to be regarded the law of nations, the community law and national rules. Facing the multitude of regulations and there partly unsettled linkage to each other, the goal of this research project is to show the existing legal position, to outline the interaction of these different rules and especially to work out the deficiency between the existing national rules and those to come. Hereafter proposals concerning the changing and as necessary conformance of national law to community law, under consideration of the frame of the international law, have to be discussed in order to obtain a balance of different interests and a more effective protection of (sea-) environment.

Angesichts der weitreichenden Gefahren und Folgewirkungen des anthropogenen Treibhauseffekts ist wirksamer Klimaschutz – neben dem Ausstieg aus der Atomenergie – die zentrale Begründung für den Ausbau einer nachhaltigen Energieversorgung. Demgemäß erweist sich die umwelt- und naturverträgliche Erschließung aller Sparten erneuerbarer Energieträger als unverzichtbar.

Die Bundesregierung strebt insoweit eine Verdopplung des Anteils der erneuerbaren Energien – insbesondere der Wasser- und Windkraft, der Biomasse sowie der Sonnenenergie und Geothermie – bis zum Jahr 2010 auf 12,5 % des Primärenergiebedarfs an. Energierechtliche Grundlagen wurden sonach durch das Erneuerbare Energien-gesetz vom 1. April 2000 (EEG) geschaffen. Von besonderem Interesse ist in diesem Zusammenhang die Windenergie. Sie stellt mit einem Anteil

von zurzeit lediglich 0,5 % am Primärenergiebedarf und mit Blick auf Potenzial, technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit eine erneuerbare Energiequelle mit erheblichen Entwicklungsmöglichkeiten dar. Allerdings sieht sich die Nutzung von Windenergie im Onshore-Bereich (d.h. an Land) mit erheblichen Schwierigkeiten konfrontiert. So entstehen durch die vermehrte Nutzung der Windkraft Probleme dergestalt, als steigende Raumbeanspruchung die Endlichkeit vorhandener Nutzungsgebiete zur Folge hat und sich zudem eine wachsende Ablehnung in der Bevölkerung konstatieren lässt. D.h. der Ausbau der Windenergienutzung an Land stößt in Deutschland mittlerweile an faktische Grenzen – es stehen kaum noch geeignete Flächen zur Verfügung. Daher wird gegenwärtig versucht für die Nutzung der Windenergie neue Gebiete im Offshore-Bereich zu erschließen.

Die Windkraftnutzung auf See ist allerdings – neben technischen Herausforderungen – noch mit zahlreichen rechtlichen Unsicherheiten belastet. Im Bereich des Küstenmeeres, der sog. 12-Seemeilen-Zone, entspricht die Planung und Zulassung von Offshore-Windenergieanlagen zumindest teilweise, mit der Anwendung nationaler umwelt- und baurechtlicher Vorschriften, derjenigen von Windenergieanlagen an Land. Für die Windenergienutzung in der AWZ, dem Bereich ab Ende der 12-Seemeilen-Zone bis zu einer Ausdehnung von maximal 200 Seemeilen, kommen mit der Seeanlagenverordnung vom 23. Januar 1997 in der geänderten Fassung vom 25. März 2002 divergierende Vorschriften, da es sich hierbei nicht um einen Teil des Staatsgebiets der Bundesrepublik Deutschland handelt, zur Anwendung. Aufgrund völkerrechtlicher Rahmenvorgaben und deren

Implementierung in nationales Recht ergeben sich hierdurch erhebliche Unterschiede im Hinblick auf umweltrechtliche Standards im Gegensatz zur Errichtung innerhalb der 12-Seemeilen-Zone.

In Bezug auf die AWZ ist auf die Novellierung der Seeanlagenverordnung durch das Bundesnaturschutzneuregelungsgesetz vom 25. März 2002 und deren Auswirkung auf das Genehmigungsverfahren einzugehen. Darüber hinaus werden sich mit dem EEG-Novellierungsvorhaben der Bundesregierung weitere Problemstellungen ergeben. Neben der Anwendung nationaler Rechtsvorschriften ohne entsprechende Erstreckungsklauseln ist weiterhin klärungsbedürftig, ob umwelt- und naturschutzrechtliche Rechtsakte des sekundären Gemeinschaftsrechts Anwendung finden – etwa die Richtlinie 79/409/EWG über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten (Vogelschutzrichtlinie), die Richtlinie 92/43/EWG zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie), ebenso die Richtlinie 85/337/EWG über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten (UVP-Richtlinie) in ihrer geänderten Fassung und die Richtlinie 2001/42/EG über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme. Der Europäische Gerichtshof hat sich hierzu bislang noch nicht ausdrücklich geäußert, seine zur Erstreckung und Anwendung des Gemeinschaftsrechts außerhalb des Staatsgebiets der Mitgliedstaaten getroffenen Entscheidungen lassen diesen Schluss jedoch zu. Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob und inwieweit die Anwendung der FFH-Richtlinie und der Vogelschutzrichtlinie durch das von der Europäischen Gemeinschaft unterzeichnete Seerechtsübereinkommen, das als völkerrechtlicher Vertrag den vornehmlichen Rahmen für die Genehmigung von Offshore-Windenergieanlagen innerhalb der AWZ bildet, beschränkt ist. Des Weiteren wird zu erörtern sein, inwieweit

nationales Raumordnungsrecht im Bereich der AWZ Anwendung findet; um möglicherweise bereits auf Planungsebene Nutzungskonflikten nachhaltig entgegenwirken zu können. Abschließend wird ebenfalls auf rechtliche Fragestellungen im Bereich der gerichtlichen Überprüfbarkeit entsprechender Zulassungsgenehmigungen, z.B. unter dem Stichwort Verbandsklage, einzugehen sein.

Für die Planung und Genehmigung im Küstenmeer ist vor allem auch das Gesetz zur Umsetzung der UVP-Richtlinie, der IVU-Richtlinie und weiterer EG-Richtlinien zum Umweltschutz vom 27.07.2001, das für Windfarmen nunmehr eine immissi-



onsschutzrechtliche Genehmigungspflicht und – je nach Größe und Umweltrelevanz der Anlagen – eine UVP-Pflicht vorsieht, zu beachten. Darüber hinaus sind – wie auch bei der Planung und Genehmigung solcher Anlagen in der Ausschließlichen Wirtschaftszone – die gemeinschaftsrechtlichen Vorgaben etwa der Vogelschutzrichtlinie, der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie, der UVP-Richtlinie in ihrer geänderten Fassung und der kürzlich verabschiedeten Richtlinie über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme von Bedeutung.

Des Weiteren ergeben sich für beide Genehmigungsbereiche gleichermaßen Probleme beim Ausgleich der vielfältigen Nutzungsinteressen wie der Schifffahrt, der Fischerei, dem Meeresbergbau, der Verlegung unterseeischer Kabel- und Rohrleitungen sowie dem Tourismus. Als noch bedeutsamer erweist sich jedoch der umwelt- und naturschutzrechtliche Aspekt der Planung und Genehmigung von Offshore-Windenergieanlagen, da die Errichtung und der Betrieb solcher Anlagen erhebliche negative Auswirkungen auf die (Meeres-)Umwelt haben können. Beispiele für diese Auswirkungen können vielfältiger Natur sein, z.B. auf Vögel durch Scheuch- und Barrierewirkung, die den Verlust bzw. die Trennung von Nahrungs- und Rastflächen, die Änderung von Zuglinien sowie direkte Verluste durch Vogelschlag hervorrufen können, auf Meeressäugtiere und Fische durch Scheuchwirkung mit der Folge der Verkleinerung des Lebensraumes, auf Zoobenthos (= alle Lebewesen, die sich unmittelbar über, auf oder im Meeresgrund aufhalten) durch Bau und Überdeckung mit Sediment und nicht zuletzt auf das Landschaftsbild. In diesen Bereichen besteht zwar noch erheblicher Forschungsbedarf bezüglich der tatsächlichen Auswirkungen auf die (Meeres-) Umwelt, Berücksichtigung sollten diese indes ebenso bei der Planung und Genehmigung der Offshore-Windenergieanlagen im Rahmen eines vorsorgenden Ansatzes finden.

Schließlich stellt sich – vergleicht man die bestehende rechtliche Situation und die grundsätzlich gleiche Fragestellung im Bereich des Küstenmeeres und der Ausschließlichen Wirtschaftszone – die Frage, ob es sinnvoll wäre, die rechtlichen Anforderungen in beiden Bereichen zu systematisieren und zu harmonisieren, mithin ein einheitliches Planungs- und Genehmigungsverfahren zu schaffen.



Die Autoren

Maxi Keller

geb. am 12.07.1978 in Karl-Marx-Stadt, 1997–2002 Studium der Rechtswissenschaften an der Universität Rostock, 2003 wissenschaftliche Mitarbeiterin des Ostseeinstituts für Seerecht und Umweltrecht

Michael Bohnhoff

geb. am 17.04. 1976 in Grevesmühlen, 1996–2002 Studium der Rechtswissenschaften an den Universitäten Rostock, Aarhus (Dänemark) und Leipzig, 2002 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für öffentliches Recht unter besonderer Berücksichtigung des Verwaltungsrechts und am Ostseeinstitut für Seerecht und Umweltrecht



Kontaktadresse:

Universität Rostock, Juristische Fakultät, Ostseeinstitut für Seerecht und Umweltrecht, Richard-Wagner-Straße 31, 18119 Rostock-Warnemünde, Tel. 0381/498 82 11, Fax 0381/498 82 12





TRENDS IN DER OBEREN ATMOSPHERE

• Franz-Josef Lübken und Jürgen Bremer

In zunehmendem Maße werden weltweit Untersuchungen durchgeführt, ob und in welchem Umfang die Erdatmosphäre durch menschliche Eingriffe verändert wird. Dabei spielen Spurengase trotz ihrer geringen Konzentration eine wichtige Rolle, u. a. deswegen, weil sie aufgrund des Treibhauseffektes klimarelevant sind, oder weil sie die biologisch schädliche solare UV-Strahlung absorbieren (Stichwort Ozonschicht). Klimarelevante Spurengase, wie z. B. Wasserdampf, Kohlendioxid, Ozon und Methan, verbleiben relativ lange in der Erdatmosphäre und werden deshalb auch in den höheren Schichten der Atmosphäre wirksam. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie Absorptionsbanden im infraroten (IR) Spektralbereich aufweisen, also in jenem Bereich, in dem der Erdboden abstrahlt und in dem Strahlung durch die Erdatmosphäre transportiert wird. Im globalen Mittel verursacht die Wechselwirkung dieser IR-Strahlung mit dem Erdboden und mit der Atmosphäre bis in Höhen von 10 km eine Erwärmung der Atmosphäre (Treibhauseffekt), während sie in den darüber liegenden Schichten, d. h. in der Stratosphäre (ca. 10–50 km), in der Mesosphäre (ca. 50–100 km) und in der unteren Thermosphäre (oberhalb von 100 km) im wesentlichen zu einer Abkühlung führt. Die unterschiedliche Wirkung der klimarelevanten Spurengase (Erwärmung in der Troposphäre und Abkühlung in den darüber liegenden Schichten) liegt vereinfacht ausgedrückt daran, dass die von ihnen abgestrahlten Photonen in der Troposphäre nach sehr kurzen Wegstrecken wieder absorbiert und reemittiert werden, während sie in der oberen Atmosphäre in den Weltraum entweichen können. Es stellt sich die Frage, ob die anthropogenen langfristigen Änderungen der Häufigkeit von Spurengasen die thermische und dynamische Struktur der oberen Atmosphäre beeinflusst. Mit Hilfe unterschiedlicher Messungen und Modellrechnungen wird seit vielen Jahren versucht, einen solchen Trend in der oberen Atmosphäre nachzuweisen bzw. vorherzusagen. Das Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik in Kühlungsborn (IAP) beteiligt sich in mehrfacher Hinsicht an diesen Untersuchungen. In diesem Beitrag sollen einige neuere Ergebnisse aus dem IAP vorgestellt werden.

In the upper atmosphere an increase of greenhouse gases such as CO_2 is expected to result in a cooling of the atmosphere, different from the troposphere where they lead to a temperature increase. Various experimental and theoretical efforts are made world wide to detect and predict such a negative trend. In this paper we report on recent results obtained at the Leibniz-Institute of Atmospheric Physics (IAP) in Kühlungsborn. At polar latitudes a comparison of the first temperature measurements in the mesosphere (50–85 km) from the early 1960s with mean values from recent years shows that there is no significant trend present at these altitudes. This result is confirmed by the steadiness of the altitude range and occurrence frequency of so called „noctilucent clouds“, an optical phenomenon related to ice particles (and therefore to temperatures) at ~ 82–83 km. At mid latitudes, however, a significant temperature trend in the mesosphere is deduced from measurements in the lower ionosphere. The reflection height of a radio wave (162 kHz) at altitudes around 82 km is observed in Kühlungsborn since 1959, which is one of the oldest data records from the upper atmosphere. During these 40 years a significant lowering of the reflection height is observed. It can be shown that this lowering is an indication of a pressure decrease near 82 km caused by a temperature decrease below this height. Comparison with different rocket observations as well as lidar measurements confirm this result. The experimental temperature trends in the mesosphere at low and middle latitudes are to a large extent explained by our COMMA-IAP model taking into account the well known trends of CO_2 and O_3 . But there are also some discrepancies between observations and model results, in particular regarding the latitude dependence of the trend and the (non-existing) trend in the summer mesosphere at polar latitudes.

Temperaturtrends in der Mesosphäre

Da die natürliche Variabilität der thermischen Struktur in der Sommermesosphäre in mittleren und polaren Breiten im Vergleich zu anderen Jahreszeiten und Höhen sehr gering ist, bietet es sich an, in diesem Bereich nach Trends zu suchen. Allerdings gibt es hier aufgrund der experimentellen Schwierigkeiten nur relativ wenige Temperaturdaten. Die allerersten Messungen wurden in den 60er Jahren mit Höhenforschungsraketen durchgeführt. In Abbildung 1 ist beispielhaft ein Temperaturprofil gezeigt, welches am 16. Juni 1966 in Point Barrow (Alaska, 71° N) gemessen wurde (Kreise). Zum Vergleich ist ein mittleres Temperaturprofil für Juni in Nordskandinavien („Andoya Rocket Range“, 69° N) aufgetragen, welches aus mehreren Einzelmessungen der letzten 10–15 Jahre abgeleitet wurde (ausgezogene Kurve). Beide Profile stimmen trotz eines Zeitunterschiedes von etwa 25 Jahren erstaunlich gut überein, was darauf hindeutet, dass es in hohen Breiten keinen ausgeprägten Temperaturtrend in der Sommermesosphäre gibt. Diese Aussage wird verdeutlicht durch die in Abbildung 2 dargestellte Variation der Temperatur in einer Höhe von 82 km, die aus verschiedenartigen Raketenmessungen in hohen Breiten während des Sommers abgeleitet wurde. Man sieht deutlich, dass sich die Temperatur in polaren Breiten in dieser Höhe während der letzten 40 Jahre nicht verändert hat. Eine systematische Analyse aller vorhandenen Daten zeigt, dass dies für die gesamte Mesosphäre gilt.

Die am weitesten zurückgehenden aktiven Messungen in der Mesosphäre betreffen die Ausbreitung von Funkwellen in der Ionosphäre. Aus diesen Messungen, die seit 1959 ohne Unterbrechungen in Kühlungsborn durchgeführt werden, lassen sich auf indirekte Weise ebenfalls Aussagen über Temperaturtrends in der Mesosphäre ableiten. Das Prinzip der Messung besteht darin, die Reflexionshöhe des Signals eines weit entfernten Langwellensenders (162 kHz) zu bestimmen, indem man das in der Ionosphäre reflektierte Signal mit der am Erdboden geführten Bodenwelle interferometrisch vergleicht. Die Reflexionshöhen liegen bei ungefähr 82 km und weisen systematische Variationen mit der Tages- und Jahreszeit auf. Um diese solar bedingten Variationen in den Trendanalysen zu eliminieren, werden mittlere tägliche Reflexionshöhen bei konstantem solaren Zenitwinkel untersucht. In Abbildung 3 ist die langzeitige Variation dieser Reflexionshöhe auf der Basis von Jahresmittelwerten aufgetragen. Dabei fällt ein mittlerer Trend auf (gestrichelte Gerade), nach der die Reflexionshöhe in den vergangenen 44 Jahren um etwa 1,3 km abgenommen hat. Die Schwankungen der individuellen Jahresmittelwerte um diese Gerade sind im wesentlichen durch die im elfjährigen Zyklus variierende Sonnenaktivität bedingt.

Wie kann man aus der Reflexionshöhe Aussa-

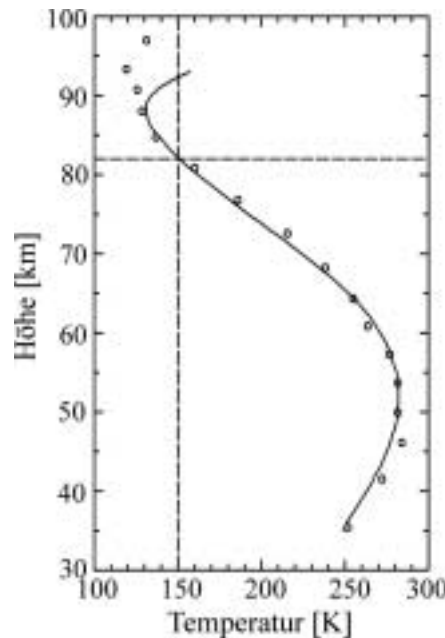


Abbildung 1: Vergleich von Temperaturprofilen nach einer raketengetragenen Messung über Point Barrow (71° N) in Alaska (Kreise) am 16. Juni 1966 mit einem mittleren Profil für Juni aus Raketenmessungen in Nordskandinavien (69° N) während der letzten 10–15 Jahre (ausgezogene Kurve).

Fig. 1: Comparison of temperature profiles from a rocket borne measurement above Point Barrow (71° N) Alaska (circles) on 16 June 1966 with a mean profile for June from rocket measurements at Northern Scandinavia (69° N) during the last 10–15 years (full curve).

gen über langfristige Veränderungen der Hintergrundatmosphäre gewinnen? Mit Hilfe einfacher Modellrechnungen über die Ionisierung der Atmosphäre durch energiereiche solare Strahlung kann man zeigen, dass die Reflexionshöhe in guter Näherung einem Niveau konstanten atmosphärischen Drucks entspricht. Die beobachtete langfristige Abnahme des Luftdrucks bei 82 km bedeutet ein „Absinken“ der darunter befindlichen Atmosphäre, was einer Temperaturabnahme in diesen Schichten entspricht.

Aus dem in Abbildung 3 dargestellten Trend weiß man zunächst noch nicht, in welchem Teil der Atmosphäre unterhalb von 82 km die Abkühlung stattgefunden hat. Um quantitative Aussagen über mesosphärische Temperaturtrends ableiten zu können, muss man zusätzliche Informationen und Annahmen verwenden, auf die hier nicht im Detail eingegangen werden kann (z.B. Berücksichtigung von Trends der 1 hPa Druckfläche aus Satellitendaten und von Informationen über den qualitativen Verlauf des Höhenprofils der Temperaturabnahme aus anderen Messungen). In Abbildung 4 sind die aus dem beschriebenen Funkwellen-Experiment abgeleiteten Profile der Temperaturtrends (rote Treppenkurven, gesondert für Sommer- und Winterbedingungen) zusammen mit den Ergebnissen anderer Beobachtungen aufgetragen. Dabei handelt es sich um Raketen Sondierungen an unterschiedlichen Stationen in äquatoria-

len und niederen Breiten (schwarze Kurven) und um Lidarmessungen in Frankreich (blaue Kurve). Beim Lidar-Verfahren (Lidar = „laser induced detecting and ranging“) werden Laserpulse in die Atmosphäre gesandt und aus den rückgestreuten Photonen Informationen über die Streuzentren abgeleitet. Man erhält z.B. die Höhenverteilung der Luftdichte und damit das Temperaturprofil der Atmosphäre. Man erkennt aus Abbildung 4, dass die mit verschiedenen Methoden bestimmten Temperaturtrends sehr gut übereinstimmen und damit die Aussage zulassen, dass es in der Mesosphäre in mittleren und niedrigen geographischen Breiten tatsächlich eine langfristige Temperaturabnahme gibt.

Leuchtende Nachtwolken

Die längste Messreihe aus der Mesosphäre stammt von der passiven Beobachtung von sogenannten „leuchtenden Nachtwolken“, die in der Fachliteratur nach ihrer englischen Bezeichnung („noctilucent clouds“) als NLC bezeichnet werden. Dabei handelt es sich um die höchsten in der Erdatmosphäre vorkommenden Wolken (ca. 82 km), die nur während der Sommermonate in hohen Breiten, gelegentlich aber auch in mittleren Breiten beobachtet werden. NLC bestehen aus Wasserteilchen mit einer Größe von etwa 20–80 nm, die nur deswegen in der Mesosphäre auftreten können, weil es hier im Sommer mit Temperaturen unterhalb von -130°C extrem kalt ist, übrigens etwa 60 bis 70 Grad kälter als im Winter. Die Frage, wieso es zu diesem merkwürdigen Jahresgang der Temperatur kommt („kalt“ im Sommer und „warm“ im Winter) ist weltweit aktiver Forschungsgegenstand.

Abbildung 5 zeigt eine Aufnahme einer leuchtenden Nachtwolke, die in der Nacht vom 9. zum 10. Juli 1997 von Kühlungsborn aus fotografiert wurde. Beobachtungen dieser Art werden bereits seit mehr als 100 Jahren durchgeführt, wobei systematische Registrierungen der Häufigkeit und der Höhe aber erst seit 1956 vorliegen. Aus den Messungen über Nordeuropa deutete sich vor einigen Jahren eine ausgeprägte Zunahme der Häufigkeit von NLCs an, was mit einer Temperaturabnahme bzw. Wasserdampfzunahme in der oberen Mesosphäre erklärt wurde. Neuere Daten aus Moskau sowie eine kritische Analyse der Messreihe von Nordeuropa haben den ursprünglich starken Trend allerdings korrigiert, so dass man heute nicht mehr von einem signifikanten Anstieg der NLC-Häufigkeit sprechen kann. Damit ist auch die bislang bestehende Diskrepanz zu den oben genannten nicht vorhandenen Temperaturtrends in hohen Breiten beseitigt.

Seit einigen Jahren werden NLC auch mit modernen Lidars beobachtet, was die Genauigkeit der Höhenbestimmung und vor allem die geographische Abdeckung deutlich verbessert hat.

Mit Lidars kann man NLCs nämlich auch bei Tageslichtbedingungen nachweisen, womit Beob-

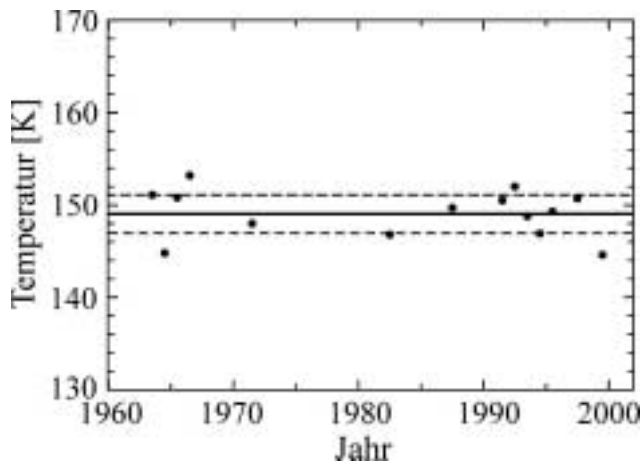


Abbildung 2: Mittlere Temperatur in 82 km Höhe aus verschiedenartigen Raketenmessungen in hohen Breiten ($69-71^{\circ}\text{N}$) zwischen 1963 und 1999 (ausgezogene Linie: Mittelwert, gestrichelte Linie: Standardabweichung).

Fig. 2: Temperature at 82 km altitude from rocket borne measurements at high latitudes ($69-71^{\circ}\text{N}$) between 1963 and 1999 (solid line: mean value, dashed lines: standard deviation).

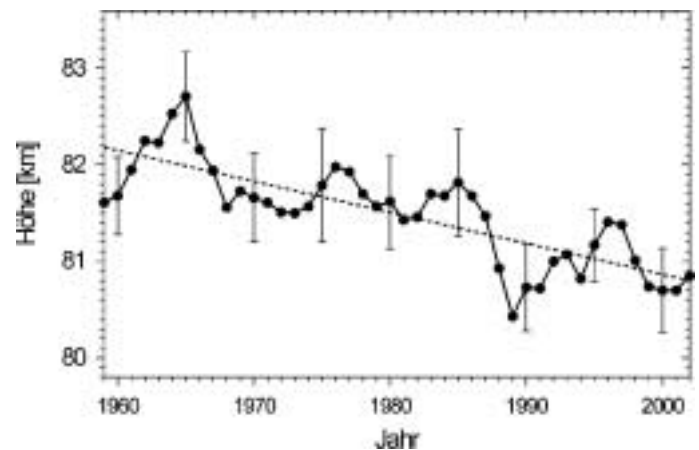


Abbildung 3: Variation der ionosphärischen Reflexionshöhe nach Feldstärkemessungen im Langwellenbereich auf 162 kHz bei konstantem solaren Zenitwinkel. Die gestrichelte Linie beschreibt den linearen Trend, die vertikalen Balken der einzelnen Jahresmittelwerte geben die jahreszeitliche Variation der Reflexionshöhe an.

Fig. 3: Variation of ionospheric reflection height from field strength measurements in the low frequency range at 162 kHz at constant solar zenith angle. The dashed line describes the linear trend. The vertical bars of the individual yearly mean values represent the seasonal variation of the reflection heights.

achtungen auch nördlich des Polarkreises möglich sind. Interessanterweise stimmen die mit Lidars bestimmten mittleren NLC-Höhen in verschiedenen Breiten sehr gut mit den bereits vor 100 Jahren durch visuelle Beobachtungen (Triangulation) bestimmten Höhen überein, was wiederum ein starkes Indiz für die Stabilität der thermischen Struktur der oberen Mesosphäre in polaren Breiten ist.

Es gibt in letzter Zeit Hinweise darauf, dass sich NLCs vermehrt bis in mittlere Breiten ausdehnen. Vor einigen Jahren wurde eine NLC visu-

ell und mit einem Lidar in den USA sogar in einer Breite von 42°N beobachtet. Aufgrund der oben erwähnten Abkühlung der Mesosphäre in mittleren Breiten (siehe Funkwellenausbreitung) ist eine geographische Ausdehnung der NLC durchaus naheliegend, allerdings liegen die mittleren Temperaturen in mittleren Breiten um etwa $15-25^{\circ}\text{C}$, in niederen Breiten sogar um mehr als 35°C oberhalb des Frostpunktes von Wasserdampf, d. h. es müssen starke Abweichungen vom mittleren Zustand vorliegen, um die Entstehung von NLCs zu ermöglichen. Mit Hilfe von

weiteren Lidarmessungen wird man in Zukunft die Frage beantworten können, ob die Häufigkeit der leuchtenden Nachtwolken in mittleren Breiten ansteigt.

Modellrechnungen

Neben den Trendanalysen auf der Grundlage unterschiedlicher experimenteller Messreihen sind Modellrechnungen für das Verständnis möglicher Trends unbedingt notwendig. Bei den am IAP durchgeführten Rechnungen mit einem globalen dreidimensionalen Zirkulationsmodell werden

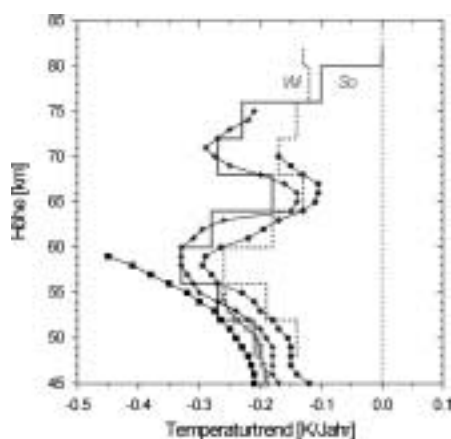


Abbildung 4: Mesosphärische Temperaturtrends aus Messungen der Reflexionshöhe im Langwellenbereich (rote Treppenkurven für Sommer (So) und Winter (Wi)), aus unterschiedlichen Raketen Sondierungen in äquatorialen und niederen Breiten (schwarze Kurven) und aus Lidarmessungen in Frankreich (blaue Kurve).

Fig. 4: Mesospheric temperature trends from measurements of the reflection height in the low frequency range (red step-like curves for summer (So) and winter (Wi)), from different rocket soundings at equatorial and low latitudes (black curves) and from lidar measurements in France (blue curve).



Abbildung 5: Leuchtende Nachtwolke über Kühlungsborn (54°N) in der Nacht vom 9. zum 10. Juli 1997. Die Wolke wird von der Sonne beleuchtet, die zu diesem Zeitpunkt etwa 11° unter dem Horizont steht.

Fig. 5: Noctilucent cloud above Kühlungsborn (54°N) during the night from 9 to 10 July 1997. The cloud is illuminated by the sun staying at this moment about 11° below the horizon.

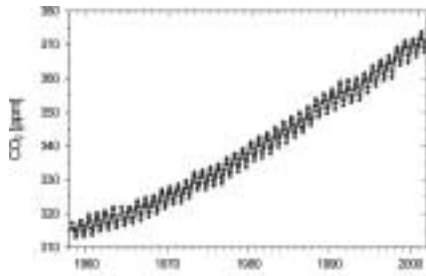


Abbildung 6: Variation des CO_2 -Mischungsverhältnisses in Erdbodennähe aus Messungen am Mauna Loa Observatorium auf Hawaii seit 1958.

Fig. 6: Variation of the CO_2 mixing ratio near the Earth's surface from measurements at the Mauna Loa Observatory at Hawaii since 1958.

dabei insbesondere die Auswirkungen der bekannten langzeitigen Änderungen der atmosphärischen Spurenbestandteile Kohlendioxid (CO_2) und Ozon (O_3) auf das atmosphärische Temperaturfeld untersucht. In Abbildung 6 ist die Zunahme des CO_2 -Mischungsverhältnisses in Erdbodennähe nach Messungen auf Hawaii dargestellt. Danach erhöht sich der CO_2 -Gehalt der Atmosphäre pro Dekade derzeit um etwa 16 ppm (ein ppm = parts per million entspricht einem CO_2 -Molekül auf eine Million Luftteilchen.). Weiterhin wurde der Einfluss der Ozonabnahme einschließlich seiner bekannten Abhängigkeit von der Höhe, der Jahreszeit und der geographischen Breite in den Modellrechnungen berücksichtigt. In Abbildung 7 sind die berechneten mittleren Temperaturtrends in Abhängigkeit von der Höhe und der geographischen Breite für Januar-Bedingun-

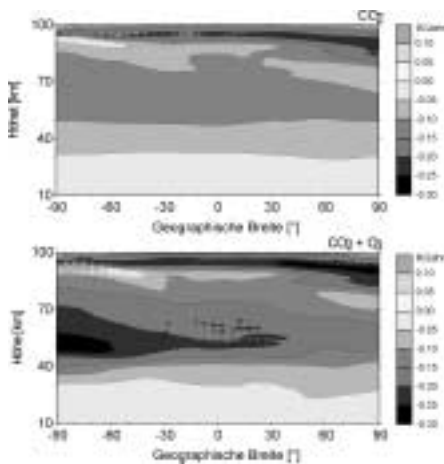


Abbildung 7: Variation der Temperaturtrends in Abhängigkeit von der Höhe und der geographischen Breite nach Rechnungen mit dem globalen Zirkulationsmodell COMMA-IAP für einen mittleren CO_2 -Trend (oberer Teil) und mittlere Trends im CO_2 und im Ozon (unterer Teil).

Fig. 7: Variation of temperature trends in dependence on height and geographic latitude after calculations with the global circulation model COMMA-IAP for a mean CO_2 trend (upper part) and for mean trends in CO_2 and in ozone (lower part).

gen aufgetragen. Diese Ergebnisse sind in der südlichen Hemisphäre also charakteristisch für den Sommer und in der nördlichen Hemisphäre für den Winter. Im oberen Teil der Abbildung 7 ist nur der Einfluss der CO_2 -Änderungen, im unteren Teil der summarische Einfluss der Kohlendioxid- und Ozontrends auf die Temperaturänderungen in der oberen Atmosphäre dargestellt. Generell werden demnach als Folge der CO_2 -Zunahme negative Temperaturtrends erwartet. Dieser Effekt wird durch die zusätzliche Berücksichtigung der Abnahme des Ozons verstärkt. Positive Trends werden nur in der sommerlichen Mesopausenregion nahe 90 km berechnet. Ein Vergleich der Trends aus den Modellrechnungen mit den experimentellen Werten zeigt in mittleren Breiten nur dann eine relativ befriedigende Übereinstimmung, wenn neben dem CO_2 auch der Einfluss des Ozons berücksichtigt wird. Das Modell kann allerdings bislang die beobachteten sehr geringen Trends in der unteren polaren Mesosphäre noch nicht erklären. In Übereinstimmung mit den Beobachtungen zeigen die Modellrechnungen, dass der Temperaturtrend in der oberen Mesosphäre im Sommer nahe Null ist, allerdings etwas oberhalb des Bereiches, wo man wegen der konstanten NLC-Häufigkeit und -Höhen stabile Bedingungen erwarten würde.

Zusammenfassung

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass sich nach derzeitigem Stand der Analyse unterschiedlicher experimenteller Messreihen und theoretischer Berechnungen ein sehr komplexes Bild bezüglich langfristiger Veränderungen in der oberen Erdatmosphäre abzeichnet. Während es in mittleren Breiten deutliche Hinweise auf eine Abkühlung in der Mesosphäre gibt, zeigen die wenigen Temperaturmessungen und die NLC-Beobachtungen in hohen Breiten praktisch keine langfristigen Veränderungen. Einzelheiten bezüglich Trends in der oberen Erdatmosphäre, deren Abhängigkeit von der Höhe, der geographischen Breite und der Jahreszeit sind aber noch nicht bekannt. Die theoretische Analyse des Einflusses klimarelevanter Spurengase auf das Temperaturfeld der oberen Atmosphäre mit Hilfe eines globalen Zirkulationsmodells beschränkt sich derzeit auf zwei Komponenten: CO_2 und Ozon. Der Einfluss weiterer Komponenten wie z. B. Methan und Wasserdampf ist in Vorbereitung. Aus dem Vergleich experimenteller und theoretischer Ergebnisse hinsichtlich des Nachweises von Trends in der oberen Atmosphäre und ihrer möglichen Ursachen gibt es derzeit Hinweise darauf, dass zumindest ein Teil der langfristigen Klimaänderungen in der oberen Atmosphäre durch anthropogene Änderungen klimarelevanter Spurenstoffe bedingt ist. Ein abschließender Beweis erfordert allerdings noch umfangreiche Untersuchungen.

Die Autoren



Prof. Dr. Franz-Josef Lübken, geb. 18. 10. 1954 in Bunnien (Kreis Cloppenburg), von 1975–1981 Physikstudium in Bonn, 1981 Diplom am Institut für angewandte Physik der Universität Bonn, 1985 Promotion am Physikalischen Institut der Universität Bonn, 1988–1989 Forschungsaufenthalt an der York University in Toronto, Canada, 1993 Habilitation im Fach Physik in Bonn, 1994 Berufung zum Universitätsprofessor an der Universität Bonn, seit 1. September 1999 Berufung zum Universitätsprofessor an der Universität Rostock und Ernennung zum Direktor des Leibniz-Instituts für Atmosphärenphysik in Kühlungsborn.



Dr. Jürgen Bremer, geb. 16. 12. 1942 in Rostock, von 1961–1966 Studium der Physik an der Universität Rostock, 1966 Abschluss mit Diplom, von 1966–1969 Aspirantur an der Deutschen Akademie der Wissenschaften in Berlin, 1969 Promotion, 1987 Promotion B, von 1966–1991 tätig am Observatorium für Ionosphärenforschung (ab 1983 Atmosphärenforschung) in Kühlungsborn, von 1992 am Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik in Kühlungsborn, seit 1995 Leiter der Abteilung „Radar-Sondierungen“.

Kontaktadresse: Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik e.V. an der Universität Rostock, Schlossstraße 6, 18225 Kühlungsborn, Tel: 038293 6 81 00
e-mail: luebken@iap-kborn.de



AGENDA 21

NACHHALTIGE ENTWICKLUNG AN DER UNIVERSITÄT ROSTOCK

• Antje Sluschny und Wolfgang Riedel

Umweltveränderungen und -katastrophen, die zunehmend mehr Menschen betreffen, zeigen, dass das Leben und Wirtschaften der Bevölkerung an einem Punkt angekommen ist, an dem es Gefahr läuft, sich seiner eigenen natürlichen Lebensgrundlagen zu berauben.

Eine langfristige und dauerhafte Verbesserung der Lebensverhältnisse für die stetig wachsende Weltbevölkerung ist nur möglich, wenn sie den schonenden Umgang mit den natürlichen Ressourcen einschließt. Nachhaltigkeit ist zum Schlagwort geworden. Doch nicht immer hat der Begriff wirklich etwas mit den Zielen der Agenda 21 zu tun. Die Agenda 21 ist das Aktionsprogramm für das 21. Jahrhundert, in dem die Bereiche Ökologie, Ökonomie und Soziale Sicherheit als Leitbild einer zukunftsfähigen Entwicklung eine untrennbare Einheit bilden.

Doch welche Aufgaben kommen den Universitäten zu, welche Rolle spielen sie im Prozess einer nachhaltigen Entwicklung, und wie wird Nachhaltigkeit innerhalb der Universität Rostock umgesetzt?

Environmental changes and catastrophes are increasingly affecting more and more persons. They show that the actual way of life has reached a stage, where it runs the risk of losing its own life basis. In order to counteract this development more than 170 countries agreed on the Agenda 21, the action programme for the 21st century, in Rio de Janeiro 1992. Besides the demands made on science by politics, the University Rostock has signed the COPERNICUS-Charter committing itself to implement sustainability at university level. With this aim a Coordination office for Agenda 21 activities at the University Rostock was set up in 1999. Short time after an Agenda 21 working group was formed. The Agenda-work at the university is carried out in different ways for the last 4 years, but always with the aim of achieving an effect inside and outside the university, by implementing a sustainable development within the University Rostock as well as spreading the university's potentials all over the region.

Grundlagen

Die Agenda 21 - das Aktionsprogramm für das 21. Jahrhundert - wurde 1992 auf der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung (UNCED) in Rio de Janeiro beschlossen. Mehr als 170 Staaten unterzeichneten das Dokument, das in 40 Kapiteln alle wesentlichen Politikbereiche einer umweltverträglichen, nachhaltigen Entwicklung anspricht.

Was versteht man aber unter nachhaltiger Entwicklung? Im Brundlandt-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (1987) heißt es: „Nachhaltige Entwicklung ist Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.“

Das Zieldreieck der Nachhaltigkeit (s. Abb. 1) macht deutlich, dass Ökologie, Ökonomie und Soziale Sicherheit eine untrennbare Einheit bilden. Diese Einheit stellt den Kern des Leitbildes der nachhaltigen Entwicklung dar, auf die sich die Staatengemeinschaft in Rio de Janeiro verständigt hat. Nachhaltig ist eine Entwicklung dann, wenn

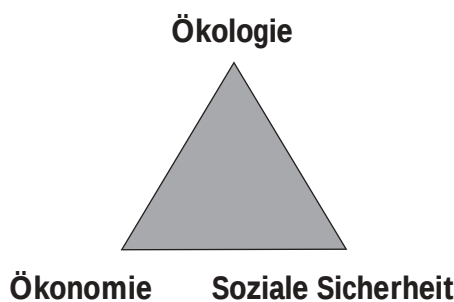


Abbildung 1:
Zieldreieck der Nachhaltigkeit
The sustainability triangle

die o. g. gleichberechtigten Aspekte zusammengeführt werden. Die Verbesserung der ökonomischen und sozialen Lebensbedingungen muss mit der langfristigen Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen in Einklang gebracht werden. Der Mensch versteht sich dabei als Teil dieses Systems.

Die Rolle der Universitäten

Bei der Definition der Rolle der Universitäten wird die Agenda 21 sehr konkret. So wird im Kapitel 31 den Bereichen Wissenschaft und Technik eine Schlüsselrolle zugewiesen und eine Stärkung dieser wichtigen Bereiche gefordert. In den Kapiteln 35 und 36 werden Hochschulen und Universitäten zu konkreten Lösungen für die globalen Herausforderungen in Forschung und Lehre aufgefordert.

Neben den genannten, von der Politik an die Wissenschaft gestellten Anforderungen leistet die COPERNICUS-Charta der europäischen Rektorenkonferenz von 1994 („COPERNICUS - The University Charter for Sustainable Development“ / COoperation Programme in Europe for Research on Natur and Industry through Coordinated University Studies) einen Beitrag, die Agenda 21 auf die Ebene der Universitäten zu transformieren. Das Projekt wurde 1988 mit dem Ziel gegründet, Umweltfragen innerhalb wie außerhalb der Universität stärker ins Bewusstsein zu bringen und Umweltbildung zu praktizieren. Zusammen mit über 200 anderen europäischen Hochschulen hat

die Universität Rostock die Hochschul-Charta für nachhaltige Entwicklung unterschrieben und sich damit verpflichtet, das Konzept der Nachhaltigkeit an der eigenen Hochschule umzusetzen. In Abbildung 2 sind verkürzt die zehn Handlungsprinzipien der COPERNICUS-Charta dargestellt.

Nachhaltige Entwicklung an der Universität Rostock

Wenn es um die Definition von Nachhaltigkeitszielen geht, wird der Wissenschaft eine bedeutende Aufgabe zuteil. Diese besteht vor allem in der Darstellung von Erkenntnissen über Zustand und Belastbarkeit der Umwelt sowie im Aufzeigen von Handlungsoptionen für politische Entscheidungen, die ökologische, ökonomische und soziale Aspekte gleichwertig berücksichtigen. Darüber hinaus haben Forschung und Lehre die Verantwortung darüber, wie die Absolventen im Berufsleben das „weiterleben“, was ihnen an der Universität vermittelt wurde. Auch die Universität Rostock versucht über verschiedene Aktivitäten der Prämissen der Agenda 21 – „Global denken-Lokal handeln“ – zu folgen und damit das Zukunftsprogramm der nachhaltigen Entwicklung umzusetzen.

Der erste Schritt zur Umsetzung der genannten Verpflichtungen, die die Universität Rostock mit ihrer Unterschrift eingegangen ist, war Anfang 1999 die Gründung der Koordinationsstelle für Agenda 21 – Aktivitäten unter Leitung von Prof. Dr. Wolfgang Riedel (damals in seiner Funktion als Prorektor für Forschung). Seit Januar 2002 hat Prof. Dr. Riedel den Vorsitz des Wissenschaftsverbundes Um-Welt der Universität Rostock übernommen, und so findet auch hier eine enge Zusammenarbeit bezüglich der Umsetzung des Agenda-Leitbildes statt.

Anhand der Zielstellungen der Koordinationsstelle für Agenda 21 - Aktivitäten, die in Abbildung 3 dargestellt sind, wird deutlich, dass die Arbeit sowohl Innenwirkung (Umsetzung einer Nachhaltigen Entwicklung innerhalb der Universität Rostock) als auch Außenwirkung (Ausstrahlung der universitären Potentiale in die Region) besitzt.

Nachfolgend verdeutlichen ausgewählte Beispiele der bereits 4-jährigen Agenda-Arbeit der Universität Rostock diesen Aspekt.

Grundlage für die **Koordinierung bestehender Agenda 21-Aktivitäten in der Universität Rostock** war eine Ist-Analyse vorhandener Aktivitäten und Projekte hinsichtlich nachhaltiger Entwicklung in den Bereichen Lehre, Forschung und Weiterbildung. Die Ergebnisse wurden in der Dokumentation „Nachhaltige Entwicklung in Forschung und Lehre an der Universität Rostock“ im Dezember 1999 veröffentlicht und dienen als Grundlage einer nachhaltigen Entwicklung an der Universität. Eine ständige Aktualisierung in diesem Bereich ist unerlässlich.

Bezüglich der Unterstützung der Nachhaltigen Entwicklung der Region durch Wissens- und Technologietransfer hat sich die Koordinationsstelle als Kontaktbasis etabliert. Im Rahmen von Ausstellungen und Tagungen werden die Potentiale der Universität in die Öffentlichkeit getragen. Ein großer Erfolg war diesbezüglich die Gemeinschaftsveranstaltung mit dem Staatlichen Amt für Umwelt und Natur (StAUN) Rostock im Januar dieses Jahres. Unter dem Motto „Die Universität Rostock als aktiver Partner von Kommunen und Regionen für eine nachhaltige Entwicklung“ wurden den Anwesenden (u.a. Vertreter aus Kreis- und Amtsverwaltungen, Städten und Gemeinden, Vereinen und Verbänden, Mitarbeiter und Studenten der Universität Rostock) konkrete Möglichkeiten der Unterstützung im Nachhaltigkeitsprozess aufgezeigt. Ähnliche Veranstaltungen sollen folgen. An dieser Stelle ist auch die aktive Unterstützung und erfolgreiche Betreuung lokaler Agenda 21 – Prozesse durch die Universität Rostock zu nennen, u.a. in Waren (Müritz) und Ludwigslust.

Im Laufe der Zeit entwickelten sich **Partnerschaften** mit regionalen Einrichtungen, Verbänden und Unternehmen. Zu nennen ist hier u. a. die Beteiligung an verschiedenen Arbeitsgruppen zur Lokalen Agenda 21 in Rostock (AK Öko-Audit und Lokale Agenda 21 des Unternehmerverbandes Rostock, AK Gemeinschaftsaktionen der AG Kommunale Gesundheitsförderung des Gesundheitssamtes Rostock). Auch die Zusammenarbeit mit dem Büro für nachhaltige Stadtentwicklung / Agenda 21 der Hansestadt Rostock wird gepflegt.

Bereits zum vierten Mal findet, in zeitlicher Nähe zum 31. Weltumwelttag (5. Juni 2003), eine „Nachhaltigkeitsausstellung“ mit verschiedenen Partnern der Region im Foyer des Universitäts-hauptgebäudes statt (03.06. bis 03.07. 2003). Das Thema in diesem Jahr lautet: „Gemeinsam Verantwortung für die Zukunft übernehmen“. Vorge stellt werden Projekte und Aktivitäten rund um Lokale Agenda 21 und Nachhaltigkeit. Auch die Aktivitäten im Rahmen der Rostocker Umwelt- und Gesundheitstage werden von der Koordinationsstelle für Agenda 21 – Aktivitäten der Universität Rostock begleitet.

Eine zentrale Zielstellung der Universität Rostock ist die **Entwicklung konzeptioneller Ansätze und die Umsetzung des Leitbildes der Nachhaltigen Entwicklung in Lehre, Forschung, Weiterbildung und Ressourcenmanagement**. Um nachhaltige, zukunftsorientierte Strategien in den genannten Bereichen zu entwickeln, bildete sich im Dezember 1999 die Arbeitsgruppe Agenda 21, ebenfalls unter Leitung von Prof. Dr. Riedel, damals Prorektor für Forschung. Diese setzt sich aus Hochschullehrern und wissenschaftlichen Mitarbeitern verschiedener Fachbereiche sowie Mitarbeitern der Verwaltung zusammen. Studenten sind ebenfalls zum Mitwirken eingeladen. Die AG sieht sich als Forum, das positive wie negative Entwicklungen an der Universität Rostock thematisiert und als Motor der Agenda 21-Arbeit.

Seit Beginn der AG-Arbeit laufen u.a. die Bemühungen, ein Umweltmanagementsystem für die Universität Rostock vorzubereiten. Denn gerade von den Universitäten mit ihrer Vorbildfunktion wird ein verantwortungsbewusster Umgang mit Ressourcen gefordert. Auch die Implementierung der Nachhaltigkeit in Forschung und Lehre zeigt sich immer mehr in den Projekten von Instituten, wie z.B. „Umweltbildung: Förderung nachhaltiger Entwicklung durch Änderung von Lebensstilen“ an der Philosophischen Fakultät, Inst. für Allgemeine Pädagogik und Sozialpädagogik. Die Forschungsschwerpunkte, z.B. „Umweltgerechte Nutzung und nachhaltige Entwicklung ländlicher Räume“ an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät, zeigen ebenfalls die zunehmende Ausrichtung am Nachhaltigkeitsgedanken. Zu nennen sind weiterhin die Fernstudiengänge „Umwelt und Bildung“ und „Umweltschutz“, die mit ihren interdisziplinären Studieninhalten die Ziele der nachhaltigen Entwicklung unterstützen.

Die interne Arbeit an Lösungen für mehr Nachhaltigkeit an der Universität Rostock kommt u.a. bei den von der AG vorbereiteten Tagungen zum Ausdruck. Als universitäre „Denkfabriken“ haben diese das Ziel, die verschiedenen Ansätze aus den unterschiedlichen Fachdisziplinen, die es in der Universität hinsichtlich Nachhaltiger Ent-

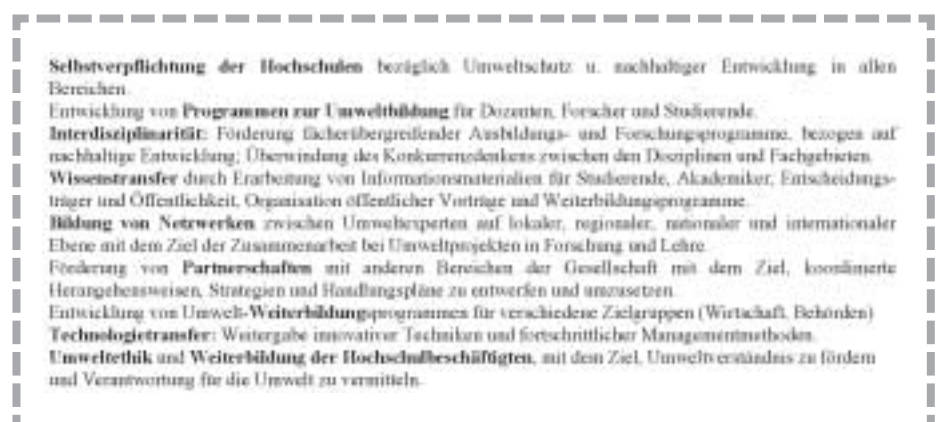


Abbildung 2: Handlungsprinzipien der COPERNICUS-Charta/Principles of action of the COPERNICUS Charter

wicklung gibt, aufzubereiten und zusammenzuführen. Eine impulsgebende Veranstaltung fand im Januar 2002 unter dem Titel „Nachhaltigkeit an der Universität Rostock“ statt. Die Tagung spiegelte kritisch den Stand der nachhaltigen Entwicklung der Universität wieder, auch hochschulinterne Problemstellungen wurden angesprochen. Die Inhalte dieser „Denkfabrik“, die in einer Tagungsdokumentation im November 2002 veröffentlicht wurden, betrafen die Bereiche Haushaltsrecht sowie Nachhaltigkeit in Forschung und Lehre. Die Referenten (vorwiegend Angehörige der Universität Rostock) stellten sehr anschaulich Ansätze ihrer Arbeit an der Nachhaltigkeit dar, die aufgrund der unterschiedlichen Fachgebiete sehr weit gefächert sind. Der Diskussionsbedarf wurde vor allem beim Thema Beschaffungswesen an der Universität deutlich. Einig war man sich jedoch über die enorme Bedeutung der Interdisziplinarität in Bezug auf Nachhaltigkeit in den Bereichen Forschung und Lehre. Der Definition des Begriffes Nachhaltigkeit wurde ebenfalls eine große Bedeutung beigemessen, denn sie ist die Grundlage bei der Vermittlung des Konzeptes der Agenda 21. Der Begriff muss mit Leben gefüllt werden. Ferner kam zum Ausdruck, dass es der Mitwirkung aller Beteiligten bedarf, das Leitbild der Nachhaltigen Entwicklung in allen Bereichen der Universität umzusetzen. Abschließend ein treffliches Zitat der Tagung von Herrn Sven Müller (Philosophische Fakultät) zum Thema Nachhaltigkeit und Umweltverhalten: „Unsere eigene Bildung, Gewöhnung und

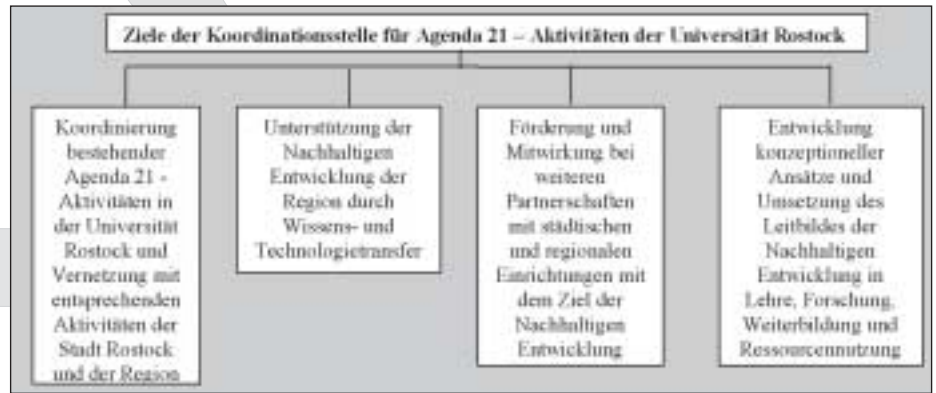


Abbildung 3: Ziele der Koordinationsstelle für Agenda 21-Aktivitäten der Universität Rostock
Aims of the Coordination office for Agenda 21 activities at the University Rostock

Erziehung und die unserer Kinder, Schüler und Studenten sind, [...], der zwar schwierigere, aber der einzig langfristig Erfolg versprechende Weg.“

Es ist deutlich geworden, welche bedeutende Rolle die Universität hinsichtlich einer Nachhaltigen Entwicklung spielt, welche Aktivitäten es innerhalb der Universität gibt, den Nachhaltigkeitsgedanken zu implementieren und Strategien zur Umsetzung des Agenda-Leitbildes in Lehre, Forschung, Weiterbildung und Ressourcennutzung zu entwickeln. Erfolge wurden angesprochen, die zeigen, auf welcher vielfältigen Weise die Universität Rostock bei der nachhaltigen Entwicklung in der Region mitwirkt und letztere dadurch fördert.

Trotzdem musste seit Ende 1999 immer wieder um die Koordinationsstelle und das Projekt gekämpft werden, da die Mittel begrenzt waren. Auch gegenwärtig müssen wieder Anstrengungen zum Erhalt der Agenda-Arbeit an der Universität Rostock unternommen werden.

Eine nachhaltige Entwicklung im Sinne der Agenda 21 bedarf der Mitwirkung aller Bereiche der Universität. Leider ist es aber bislang nur ein kleiner Kreis, der sich für eine gute Universität um nachhaltige Lösungen bemüht. Deshalb sind alle Wissenschaftler, Angestellten, Studenten etc. der Universität Rostock herzlich zum Mithandeln eingeladen.



Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Riedel
geb. 1942 in Braunschweig
1963–1972 Studium der Geographie, Bodenkunde, Archäologie in Braunschweig, Hamburg und Madrid, Dipl. Geogr., Dr. rer. nat.
1973–1994 Berufsjahre in Schleswig-Holstein als wiss. Assistent an der Universität Flensburg, als Leiter der Zentralstelle für Landeskunde und Landesbeauftragter für Naturschutz
1994 Berufung zum C4-Professor für Landschaftsplanung und Landschaftsgestaltung, Fachbereich Landeskultur und Umweltschutz der Agrarwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock →

Die Autoren

Kontaktadressen:

Universität Rostock,
Koordinationsstelle für Agenda 21 – Aktivitäten
c/o Institut für Landschaftsplanung und Landschaftsökologie
Justus-von-Liebig-Weg 6
18059 Rostock
Tel.: 0381/4 98 21 76 oder 4 98 56 45
e-mail: wolfgang.riedel@auf.uni-rostock.de
antje.sluschny@auf.uni-rostock.de



1996–2000 Prorektor für Forschung; aus dieser Zeit AG-Leiter für die Agenda-Arbeit an der Universität Rostock
seit 2001 Vorsitzender des Wissenschaftsverbundes Um-Welt der Universität Rostock

Antje Sluschny geb. 1974 in Bützow
1993–1995 Berufsausbildung zur Umweltschutztechnischen Assistentin / Landespflege
1995–2001 Studium der Fachrichtung Landeskultur und Umweltschutz / Spezialisierung Umweltschutz an der Universität Rostock, Dipl.-Ing.
seit 2001 Projektarbeit im Bereich Landschaftsplanung und -gestaltung sowie Landschaftspflege (u.a. Landschaftspflegeverband Sternberger Endmoränengebiet (LSE) e.V.)
seit Juni 2002 Mitarbeiterin im Projekt „Kooperations- und Koordinationsstelle für Agenda 21-Aktivitäten“ an der Universität Rostock

MIT ARCHIMEDES HART AM LIMIT

DIE UNIVERSITÄT ROSTOCK ERMITTELTE DIE BESTEN BOOTSBAUER UNTER DEUTSCHEN GYMNASIASTEN UND MÖCHTE DAMIT DIE JUGEND FÜR DIE INGENIEURWISSENSCHAFTEN GEWINNEN

• Eine Reportage von Regine Rachow



Ballin mit der Startnummer 10 hatte seinen Untergang gut überlebt. Nass und ein wenig geknickt wurde es aus der Wanne geborgen: ein Schiffchen aus weißem Papier, das immerhin mehr als das 60fache seines Eigengewichts trug, genauer: 679 Gramm.

Zweiundneunzig Boote versanken in den Fluten eines Versuchs-Bottichs in der Strömungshalle der Rostocker Universität. Die Papierbootsbauer aus Dachau hatten den weitesten Weg. Andere kamen aus Berlin, Kassel, Hameln.

Das Institut für Maritime Systeme und Strömungstechnik der Rostocker Universität ermittelte das Boot mit der größten Tragfähigkeit. Es durfte maximal zehn Gramm wiegen und musste – einschließlich Stützen – vollständig aus Papier gefaltet oder geklebt sein.

Nun lagen sie in der Strömungshalle auf einem Tisch neben einem Wasserbottich: rundliche und kastenartige, aus Zeitung gefertigt oder farbigem Transparent, raffinierte – etwa mit einem Stützsistem versteifte – oder eher von schlichter Bauart. Eines nach dem anderen wurde zu Wasser gelassen und solange mit Luftgewehr-Munition beladen, bis es abtauchte. Mehrere Dutzend Erbauer, Gymnasiasten überwiegend aus dem Norden, schauten tapfer zu.

1997 startete das Institut den ersten Papierbootwettbewerb. In jenem Jahr verzeichnete die Bereichsstatistik exakt einen Schiffstechnik-Absolventen. Die Technik-Abstinenz unter der Jugend stellte die Existenzberechtigung so manchen Lehrstuhls in Frage. „Wir mussten folglich an die jungen Leute in den Gymnasien ran“, sagte Robert Bronsart, Dekan der Ingenieurwissenschaftlichen Fakultät und Initiator des Projektes. Von Papier-Brücken-Wettbewerben unter Studenten hatte man schon gehört. Die Idee mit den Papierschiffen lag also nahe. Bronsart: „Es sollte Spaß machen und einfach sein, aber nicht trivial.“

Zehn Gramm Bootsgewicht – das sind etwa zwei Bögen Kopierpapier. Alte Hasen unter den Teilnehmern verwenden längst Transparentpapier oder noch dünneres Material. Mit der Tragfähigkeit kommen sie inzwischen locker an das dreihundertfache Eigengewicht ihrer Konstruktionen heran. Im wirklichen Leben schaffen Tanker, also jene Schiffstypen mit dem größten Fassungsvermögen, nur das Fünffache des Eigengewichts an Zuladung.

Das Siegermodell vom Vorjahr, Müritz-Hecht, ge-

baut von einem Elftklässler am Wossidlo-Gymnasium in Waren an der Müritz, fasste über drei

Kilogramm. Das sind zehn Päckchen Butter oder der Inhalt von zwei großen Cola-Plastikflaschen. Bei 3062 Gramm Zuladung, in der Fachwelt logischerweise als Deadweight bezeichnet, ging Müritz-Hecht im vergangenen Jahr unter. Das ist die Marke, die es zu toppen galt.

Seit Archimedes weiß jedes Kind ab der sechsten Klasse, dass ein Schiff prinzipiell nur soviel Masse tragen kann, wie es an Wasser verdrängt. Das meiste Volumen, auch das ist bekannt, umschließen Kugeln, gefolgt von Würfeln. Konstruktionen nach dem Prinzip Nusschale oder Schuhkarton aber geben schlechte Schiffe ab, also stellten die Wettbewerbs-Veranstalter ein paar „simple geometrische Randbedingungen“: Kartons und Kugeln sind ausgeschlossen.

Mit Prototypen und Probe-Versenken in der schuleigenen Versuchsanlage, einem ausrangierten Aquarium, haben die Warener Gymnasiasten ihren Schiffbau optimiert. In den zurückliegenden Jahren verging kaum eine Physikstunde ohne Bootebauen. „Es ist der krönende Abschluss zum Thema Mechanik der Flüssigkeiten und Gase“, sagte Physiklehrer Andreas Liedtke.

Sein Fach gilt als schwierig und wird zunehmend abgewählt. Es sei fraglich, ob bei 900 Schülerinnen und Schülern im nächsten Jahr noch ein Leistungskurs darin zustande kommt. Man hofft, mit dem Ausbau des Spaßfaktors die Jugend für Naturwissenschaft zu begeistern.

Die Sache selbst ist alles andere als simpel. Es gilt die Fläche zu planen, darüber das Volumen zu ermitteln, das sie umspannt. Beim Gewicht müssen Laschen und Kleber berücksichtigt werden. „Nach unserer Erfahrung schneidet nur derjenige gut ab, der wirklich ans äußerste Limit geht“, sagte Liedtke, und das heißt 10,0 Gramm Eigengewicht. Notfalls wird am Bootsrand noch ein Streifen abgeschnitten. Die Warener Schiffe waren zweifelsohne die Favoriten dieses Rennens.

In der Strömungshalle füllten die Helfer aus dem akademischen Mittelbau Boot um Boot mit Bleikugeln aus einer ausrangierten Ölkanne. War das Boot versenkt, wurde die Munition, Pardon: die Zuladung, geborgen, mit einem Fön getrocknet und gewogen. Die Daten wurden auf einen

Laptop übertragen.

„769 Gramm für Ballin“, rief eine Mitarbeiterin dem Mann am Laptop zu. In einer Ecke raunte es in der Grevesmühlener Gruppe vom Gymnasium Am Tanneberg. Ballin stammte aus ihrer Schule. Über zwei Monitorleinwände konnten alle den Test und den aktuellen Stand am Laptop verfolgen.

Im Leinwand-Großformat zeigten sich die konstruktiven Schwächen. Flache Boote fielen zuweilen an den Seiten ein, bevor die Ladung die nominelle Menge erreichte. Untenrum gerundete brachen eher auseinander. Gegen solcherart Strukturversagen helfen Zugbänder. Denn Papier, das auf Druck sofort zerkräuselt, kann Zugkräfte hingen gut aushalten.

Das Rennen machte der Kurs der 12. Klasse mit seinem Boot Wossidlo II, einem Gemeinschaftswerk. Sein Deadweight lag bei 3.328 Gramm, 28 Gramm mehr als vorausgesagt. Und Müritz-Hecht II, die new edition des Vorjahres-Champions, belegte mit 3.214 Gramm den dritten Platz. Auch der Preis für die genaueste Vorhersage der Zuladung ging nach Waren, an das Boot Raumschiff-Traumschiff, erbaut von zwei Mädchen der 9. Klasse.

Sie alle landeten wie Ballin, das Boot mit der Startnummer 10, zum Trocknen auf einem Stück Beton in der Strömungshalle neben all den anderen Schicksalsgenossen. Nur wenige machten nach der Havarie eine so gute Figur wie das Grevesmühlener Schiffchen. Nach dreieinhalb Stunden unvermeidlichen Untergangs waren viele regelrecht zerstört. Egal.

Am Ende winkten Urkunden für die Sieger in den unterschiedlichen Kategorien, von Werften und Reedereien gespendete Euro sowie Einladungen zu Probefahrten auf niegelagelneuen Schiffen und Fährüberfahrten nach Skandinavien.

Zum Nachschauen: www.paperboat.de



Der Sieger des diesjährigen Wettbewerbs: Die Wossidlo II

Ringvorlesung zum Thema „Bild“

Ort: August-Bebel-Straße 28, Hörsaal 10020 (Etage 10)
Zeit: jeweils Donnerstag 15.15 – 16.15 Uhr, Veranstalter:
Philosophische Fakultät und IUK -Wissenschaftsverbund



- | | |
|-------------|---|
| 19.06. 2003 | „Kartographie und Bildwissenschaft“ Prof. Gyula Pápay (Institut für Multimedia) |
| 26.06. 2003 | „Die Suggestivität von Notenbildern“ Dr. Andreas Waczkat (Institut für Musikwissenschaft) |
| 03.07. 2003 | „Gesehene Musik, gehörte Bilder“ Prof. Hartmut Möller (Hochschule für Musik und Theater) |
| 10.07. 2003 | „Bild in der Philosophie“ Prof. Hans Jürgen Wendel (Institut für Philosophie) |

Laserseminar im Sommersemester 2003

Großer Physikhörsaal, Universitätsplatz 3, 16.00 Uhr c.t.

- | | |
|-------------|---|
| 18.06. 2003 | „Laseruntersuchung der Atmosphäre“ Dr. Michael Gerding (Leibnitz-Institut für Atmosphärenphysik, Kühlungsborn) |
| 02.07. 2003 | „Detektion elektrisch induzierter Teilchenbewegungen per Laserlichtstreuung“
PD Dr. Jan Gimsa (Institut für Zellbiologie und Biosystemtechnik) |

NACHRICHTEN

10. PAPIERBRÜCKENWETTBEWERB DER UNI ROSTOCK

Zum zehnten Mal veranstaltete der Fachbereich Bauingenieurwesen der Universität Rostock im Mai seinen Papierbrückenwettbewerb. Ziel des Wettbewerbs war es, aus handelsüblichem Zeichenkarton und Büroleim eine Brückenkonstruktion zu erstellen, deren Gesamtmasse 150 g nicht überschreiten durfte. Dabei waren Phantasie und Kreativität sowie Wissen um die mechanischen Eigenschaften des Werkstoffes Papier gefragt. Es ging weniger um die architektonische Schönheit (die schönste Brücke bekam jedoch auch einen Preis), als um die Tragfähigkeit der Konstruktion. Gewinnen sollte die Brücke, die die größte Belastung trägt. Aufgerufen waren zu diesem Wettbewerb Studenten und Mitarbeiter der technischen Fachrichtungen der Universitäten und Fachhochschulen Mecklenburg-Vorpommerns sowie die Schüler des Landes. Für die Schüler wird seit mehreren Jahren ein eigener Wettbewerb durchgeführt, der eine gesonderte Bewertung und Prämierung erfährt. Gespannt wartete das Veranstalterteam um Prof. Dr. Wolfgang Krüger, FG Massivbau, auf die neuen Konstruktionen. Galt es doch, die maximale Belastung von 198,1 kg der Siegerbrücke von Schülern aus dem Jahr 2002 oder gar die höchste Belastung von 304 kg, die je erreicht wurde, zu überbieten.

51 Brücken, gebaut in allen Teilen Mecklenburg-Vorpommerns, gingen im Schülerwettbewerb an den Start. Ganz stark zeigten sich wieder die Gymnasiasten des David-Frank-Gymnasiums, die zum zweiten Mal am Papierbrückenwettbewerb teilnahmen und die Plätze 1 bis 3 belegten. Die beiden Schülerinnen Julia Horlach und Jacqueline Knorr aus der 11. Klasse gewannen 2003 den Papierbrückenwettbewerb. Ihre Brücke, die sie teilweise berechnet hatten, hielt ein Gewicht

von 154 kg aus. Den 2. Platz belegte das Siegerteam des Vorjahres um Marcel Albrecht mit 139,2 kg. Den Sonderpreis für die schönste Brücke erhielt Normen Brehm aus der 9. Klasse von der Schule am Turnplatz aus Wismar.

Im Wettbewerb Studenten/Mitarbeiter holte sich Dr. Thomas Schmidt, ehemaliger Student und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachbereich Bauingenieurwesen, den Sieg. Gegenüber dem Vorjahr konnte er die Tragfähigkeit seiner Brücke um 12 kg auf 158,5 kg erhöhen. Die Rekordtragfähigkeit der Brücke von Bodo Jackstell mit 304 kg aus dem Jahr 1999 (Eintrag in das Guinnessbuch der Rekorde) blieb unangetastet.

In seinem Resümee konnte Prof. Dr. Wolfgang Krüger feststellen, dass der Papierbrückenwettbewerb in den vergangenen Jahren zu einer festen Institution im Land geworden ist. Vor allem ist es gelungen, Schüler aller Altersgruppen und zunehmend auch Mädchen für technische Probleme zu interessieren und zur Teilnahme am Wettbewerb zu aktivieren.



Die Siegerbrücke im Belastungstest

NEUE KONZEPTE FÜR DIE KONSTRUKTION VON IMPLANTATOBERFLÄCHEN

Wie muss die Oberfläche von künstlichen Implantaten, wie Gefäßprothesen, Gelenke usw. beschaffen sein, die in den menschlichen Körper dauerhaft oder temporär eingesetzt werden. Mit dieser Frage beschäftigte sich ein internationales Symposium zur Biologie von Implantatoberflächen, vom 14. bis 16. Mai diesen Jahres in Rostock-Warnemünde, das von Prof. Joachim Rychly und Dr. Barbara Nebe (Medizinische Fakultät) organisiert wurde.

Durch die Teilnahme von über 170 Wissenschaftlern aus neunzehn Ländern gelang es, Biologen, Werkstoffkundler, Chemiker, Physiker und Mediziner zusammenzubringen, um interdisziplinär über neueste wissenschaftliche Konzepte zur Konstruktion von Implantatoberflächen zu diskutieren. Dabei spielt die Immobilisierung von Biomolekülen, wie Proteine oder Antibiotika, auf der Oberfläche des Werkstoffes eine große Rolle, um ein verbessertes Einwachsen in das Gewebe zu erreichen. Neben den Vorträgen von Biomaterialforschern trugen Beiträge international führender Grundlagenforscher in der molekularen Zellbiologie dazu bei, die molekularen Prozesse an der Implantatoberfläche besser zu verstehen und neue Konzepte für die Biomaterialforschung zu entwickeln.

Das hohe wissenschaftliche Niveau dieser Tagung ist bisher einmalig für dieses Wissenschaftsgebiet in Deutschland. Die Teilnehmer aus aller Welt waren sich einig in der Schlussfolgerung, dass dieses Symposium zu einer Tradition werden sollte.

Sommerakademie im Deutschen Pavillon

Ein Projekt des Instituts für Volkskunde (Wossidlo-Archiv)

der Philosophischen Fakultät der Universität Rostock

Leitung: Dr. Christoph Schmitt

Zeit: donnerstags, 15.00 – 16.00 Uhr

- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 19.06. 2003 **De Weiten - der Weizen im Brauchtum Norddeutschlands.**
Heike Mahler, Rostock
- 26.06. 2003 **Flachs und Lein. *Linum usitatissimum*:
der für den Gebrauch Geeignetste!**
Marty Krause, Neubrandenburg
- 03.07. 2003 **Hanf – eine Pflanze der Zukunft?**
Markus Brandt, Rostock
- 10.07. 2003 **Kartoffel – die Reise einer Knolle von
Südamerika auf den Mecklenburger Tisch.**
Dirk Draheim, Rostock
- 17.07. 2003 **Heilige Pflanzenriesen.
Bäume in Glaube und Alltag des Menschen.**
Gunnar John, Rostock
- 24.07. 2003 **Quer durch den Obst- und Gemüsegarten.**
Mike Friedrich, Berlin
- 31.07. 2003 **Apfel - Lebens- oder Liebesspender?**
Nadine Schuldt, Rostock
- 07.08. 2003 **Der Garten der Bäuerin – ein ländliches Idyll?**
Volker Janke, Schwerin
- 14.08. 2003 **Nixenblume & Wundereiche. Pflanzen-Legenden im Internet.**
Dr. Hartmut Schmied, Rostock
- 21.08. 2003 **Ik hal mi den'n Sommer in't Hus. Kleine Erzählungen,
Natur- und Empfindungslyrik in niederdeutscher Sprache.**
Dr. Ingrid Junghans, Rostock

Info: www/phf/uni-rostock.de/ivk

Abbildungen: Universitätsbibliothek Rostock und Wossidlo-Archiv

Willkommen · Welcome · Bienvenidos · 欢迎 · Välkommen



Die Gärten der Welt laden ein!

Gartenkunst aus
23 Nationen
erleben!

Ticket-Hotline:
☎ 0180-5000 223
(0,12 €/Min.)

Die Internationale Gartenbauausstellung in Rostock ist **das Erlebnis-Highlight des Jahres!** Schwimmende Gärten, **farbenprächtige Blumenschauen** und exotische Gartenkunst aus **über 20 Nationen** machen die IGA 2003 zur einzigartigen **Entdeckungsreise** – und das nur alle 10 Jahre in Deutschland! **Faszinierende Augenblicke** in der **Seilbahn** genießen, den geheimnisvollen **Weidendom** erkunden, Spiel- & Erlebniswelten für Kinder entdecken – und zahlreiche **Kunst- und Musik-Events live** erleben.

Lassen Sie sich von der IGA Rostock 2003 verzaubern. Sichern Sie sich Ihre Tickets – und eine **blumige Wunderwelt** wird Wirklichkeit!



IGA 2003
R O S T O C K

25.04.-12.10.2003

www.iga2003.de