

**KLIMA**  
des 21. Jahrhunderts

# Einführung in das globale Klimaproblem

*Die hier angerissenen Probleme sind von  
führenden Wissenschaftlern in dem Buch  
»CLIMATE OF THE 21ST CENTURY: CHANGES AND RISKS«  
(siehe S.19) ausführlicher dargelegt worden.*

*More Climate Protection – fewer Risks for the Future  
Mas Protección Climática – menos Riesgos para el Futuro  
Protection Climatique Renforcée – moins de Risques pour l’Avenir  
Mehr Klimaschutz – weniger Risiken für die Zukunft*



**Wissenschaftliche Auswertungen**

INHALT

	<i>Seite</i>
Vorwort . . . . .	3
<b>Unser veränderliches Klima . . . . .</b>	<b>4</b>
Ursachen von Klimaänderungen . . . . .	5
Einfluß des Klimas auf die Geschichte der Menschheit . . . . .	6
Folgen der Intensivierung des El Niño- und La Niña-Phänomens . . . . .	7
<b>Der Mensch beeinflusst das Klima . . . . .</b>	<b>8</b>
Der anthropogene Treibhauseffekt . . . . .	9
Hauptquellen der Emissionen . . . . .	9
Emissionen nach Ländern . . . . .	11
<b>Das Klima des 21. Jahrhunderts – Änderungen und Folgen . . . . .</b>	<b>12</b>
Entwicklung der globalen bodennahen Lufttemperatur . . . . .	13
Regionale Änderung der Temperatur . . . . .	14
Änderung der großen Eisschilde und Rückgang der Gebirgsgletscher . . . . .	14
Meeresspiegelentwicklung und Gefährdung von Küstenregionen . . . . .	15
Gefährdung von Pflanzen und Tieren . . . . .	15
Folgen für die Landwirtschaft . . . . .	15
Zunahme der Desertifikation . . . . .	16
Intensivierung des Wasserkreislaufes. . . . .	16
Wasserverfügbarkeit und Wasserknappheit . . . . .	16
Das Beispiel Afrika . . . . .	16
Wann gibt es den Beweis für eine Klimaänderung?. . . . .	16
Betroffen sind oft nicht die Verursacher . . . . .	17
Kioto-Protokoll . . . . .	17
Veränderung der globalen Vegetation . . . . .	17
Volkswirtschaftliche Folgen . . . . .	18
Einfluß auf die Gesundheit des Menschen . . . . .	18
Aus der Buchreihe Warnsignale: . . . . .	19

**Das Klima des 21. Jahrhunderts – Einführung in das globale Klimaproblem  
Mehr Klimaschutz – weniger Risiken für die Zukunft**

- 1. Auflage (1998) Deutsch
- 2. Auflage (2000) Deutsch, Englisch, Spanisch, Französisch
- 3. Auflage (2001) Englisch
- 4. Auflage (2002) Deutsch

<i>Herausgeber:</i>	Dr. José L. Lozán, Hamburg Prof. Dr. Hartmut Graßl, Hamburg
<i>Redaktion und Gestaltung:</i>	Die Herausgeber
<i>Sprache:</i>	Deutsch
<i>Gestaltung des Umschlags:</i>	GEO Das Reportage Magazin, Hamburg
<i>Bildnachweis (Titelseite):</i>	Max Maisch, Geographisches Institut, Universität Zürich-Irchel »Der Morteratschgletscher« (Schweiz). Das Schild zeigt seinen Stand im Jahre 1970 (vgl. auch Abb. 16)
<i>Druck:</i>	Druckerei in St.Pauli. Gedruckt auf 100% Recyclingpapier
<i>Bestellung (kostenlos):</i>	Senden Sie bitte einen mit EUR 2,- frankierten Briefumschlag (DIN A4) an das Büro: »Wissenschaftliche Auswertungen« Dr. J. L. Lozán, Imbekstieg 12, 22527 Hamburg

Aufgrund des großen Interesses erscheint die vorliegende Broschüre zum 4. Mal ergänzt und aktualisiert. Aus Anlass der Informationstage »Das Klima des 21. Jahrhunderts« vom 22. bis 24.9.1998 erschien sie zum ersten Mal und war nach kurzer Zeit vergriffen. Später für EXPO 2000 in Hannover wurde eine neue größere Auflage in englischer, spanischer und französischer Sprache gedruckt. Eine 3. aktualisierte Auflage auf englisch wurde im Jahre 2001 im Rahmen der Fortsetzung der 6. Vertragsstaatenkonferenz zur Rahmenkonvention über Klimaänderungen verteilt.

Das Heft enthält in knapper und leicht verständlicher Form Informationen über das Klima der Gegenwart und vergangener Zeiten, dessen Beeinflussung durch den Menschen und seine Bedeutung für Gesellschaft und Natur. Ein wesentlicher Teil befasst sich mit dem Klima der Zukunft. Viele seit den 1980er Jahren für das 21. Jahrhundert prognostizierte Änderungen sind bereits deutlich zu erkennen: Anstieg der mittleren Temperatur an der Erdoberfläche, Verschiebung der Niederschlagszonen, Anstieg des Meeresspiegels, Schrumpfung der Gebirgsgletscher u.a.

Mit dieser Broschüre und der Herausgabe des Buches »Warnsignal Klima« (1998 in deutscher Sprache, 2001 in englischer Sprache) soll ein Beitrag zur breiten öffentlichen Diskussion über unseren Umgang mit Atmosphäre und Erdoberfläche und zur Meinungsbildung über die Notwendigkeit von Klimaschutz geleistet werden. Das Ziel ist die Verminderung des Risikos für kommende Generationen. Es ist allgemein bekannt, daß die klimatischen Bedingungen eine existentielle Bedeutung für die Menschheit haben.

Die Risiken der Klimaveränderungen wurden vor längerer Zeit erkannt. Auf Vorschlag von UNEP und WMO - beide UN-Organisationen - wurde 1988 das »Intergovernmental Panel on Climate Change« (IPCC) ins Leben gerufen. Das IPCC ist ein Gremium von über 2000 Wissenschaftlern aus aller Welt, die die Forschungsergebnisse zu den Ursachen und Folgen des anthropogen verstärkten Treibhauseffekts bewerten.

Am meisten durch den verstärkten Treibhauseffekt betroffen werden Länder wie Mosambik oder Äthiopien mit einem Jahreseinkommen von weniger als 200 \$ pro Kopf, also arme Länder, die kaum Treibhausgase emittieren. Beispielsweise beträgt die CO<sub>2</sub>-Emission afrikanischer Länder nur 3,2% der globalen Emissionen, während die G7-Länder mit einem Jahreseinkommen von knapp 20.000 \$ pro Kopf über 40% der globalen Emissionen verursachen. UNEP-Direktor Klaus Töpfer sprach in diesem Zusammenhang im deutschen Fernsehen am 16.4.2000 von einem Akt ökologischer Aggression der Industrieländer.

Für den Klimaschutz sind nicht nur die Politiker verantwortlich, die die nationalen und internationalen Rahmenbedingungen festlegen, sondern auch jeder einzelne Mensch. Mit der Forderung an die Politiker, mehr für den Klimaschutz zu tun, soll sich auch jeder gleichzeitig selbst verpflichten, verantwortungsbewusst zu handeln und für die Klimaschutzziele einzutreten.

In der beigefügten Einlage sind Maßnahmen aufgelistet, die zu geringerem Ausstoß von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und anderen Treibhausgasen führen. Der Klimaschutz muß zu Hause durch eine geänderte Lebensweise in der Familie anfangen. Wenn alle Bürger die einfachen Grundsätze befolgen würden, wäre ein erheblicher Teil des Klimaproblems gelöst und keineswegs die Lebensqualität gemindert.

Diese Broschüre soll den in der Presse zu lesenden »Horror Meldungen« über die Klimaentwicklung aber auch der Verharmlosung des Klimaproblems entgegenwirken.

JEDER WEISS, DASS DIE ATMOSPHERE MIT IHREN HÄUFIG BEEINDRUCKENDEN WETTERABLÄUFEN ZU DEN ENTSCHEIDENDEN UMWELTFAKTOREN DES MENSCHEN GEHÖRT. DIE HEUTIGE ATMOSPHERE HAT SICH ÜBER HUNDERTE MILLIONEN JAHRE HINWEG ENTWICKELT, WOBEI DIE ZUNAHME DES SAUERSTOFFANTEILS ALS VORAUSSETZUNG FÜR DIE ENTWICKLUNG DES LEBENS AUF DER FESTEN ERDE VON ENTSCHEIDENDER BEDEUTUNG WAR. DAMIT AUFS ENGSTE VERBUNDEN WAR DIE HERAUSBILDUNG DER STRATOSPHERISCHEN OZONSCHICHT, DIE BEKANNTLICH ALS FILTER FÜR DIE SCHÄDLICHEN KURZWELLEN ANTEILE DER UV-STRALUNG DIENST. DER JEDEM VERTRAUTE BEGRIFF »WETTER« BEZEICHNET STRENG GENOMMEN DEN AUGENBLICKLICHEN ZUSTAND DER ATMOSPHERE, IST ABER AUCH DER SAMMELBEGRIFF FÜR ATMOSPHERISCHE PROZESSE, DIE SICH INNERHALB VON MAXIMAL WENIGEN WOCHEN ABSPIELEN UND DIE DER VON EINEM GEMESSENEN ANFANGSZUSTAND AUSGEHENDEN WETTERVORHERSAGE PRINZIPIELL ZUGÄNGLICH SIND. PROZESSE LÄNGERER ZEITSKALEN RECHNET MAN DEM KLIMA ZU. NACH DER MODERNEN AUFFASSUNG KÖNNEN WIR KLIMA ALS DIE SYNTHESE DES WETTERS ÜBER EINEN ZEITRAUM AUFFASSEN, DER LANG GENUG IST, UM DIE STATISTISCHEN EIGENSCHAFTEN WIE MITTELWERT, STREUUNG UND EXTREMWERTE DER DEN ZUSTAND DER ATMOSPHERE BESCHREIBENDEN GRÖSSEN BESTIMMEN ODER ZUMINDEST ABSCHÄTZEN ZU KÖNNEN. WICHTIG IST, DASS KLIMA AUF KEINEN FALL NUR MIT DEM MITTELWERT GLEICHGESETZT WERDEN DARF.

### UNSER VERÄNDERLICHES KLIMA

Das Klimasystem der Erde umfasst die großen Naturbereiche Atmosphäre, Hydrosphäre (vor allem den Ozean), Kryosphäre (Eis und Schnee), Lithosphäre (Gesteinshülle) und Biosphäre, die untereinander und auf äußere Einflüsse zeitlich ganz unterschiedlich reagieren (Abb. 1). Der entscheidende Antrieb dieses Systems ist die Energie von der Sonne. Die ungleichmäßige Verteilung der Wärmequelle und auch der Wärmesenken (Erwärmung in den Tropen, Abkühlung in den Polargebieten) treibt die globale Zirkulation in Atmosphäre und Ozean an und schafft die verschiedenen Klimate. Die mittlere Oberflächentemperatur von etwa 15 °C ist dem natürlichen Treibhauseffekt zu verdanken, der aus der starken Absorption der von der Erdoberfläche ausgehenden Wärmestrahlung durch Wasserdampf, Kohlendioxid und andere drei- und mehratomige Spurengase in der Atmosphäre folgt (Abb. 6). Ohne Treibhauseffekt läge diese Temperatur um ca. 33 °C niedriger als beobachtet.

Die Hauptursache des Klimaproblems unserer Zeit ist die seit über 100 Jahren steigende Emission von Kohlendioxid, Methan und anderen Treibhausgasen, wodurch der Treibhauseffekt erhöht wird. Dieser zusätzliche Treibhauseffekt wird zusammen mit Rückkoppelungen innerhalb des Klimasystems zu einer weiteren mittleren globalen Erwärmung und damit zu einem regional sehr unterschiedlichen Klimawandel führen.

Innerhalb des Klimasystems ist das Meer von großer Bedeutung. Die hohe Wärmekapazität des Meerwassers und die Besonderheiten seines Wärmehaushaltes wie die Durchmischung der oberen Schichten dämpfen den Jahresgang der Temperatur. Auch zum Wärmeausgleich zwischen den höheren und niederen Breiten trägt neben der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre die des Ozeans zu etwa gleichen Teilen bei. Gelangt wärmeres Wasser in die kalten Gebiete höherer Breiten, kühlt sich das Wasser durch starke Wärmeabgabe an die Atmosphäre so weit ab, dass es dichter als



Abb. 1:  
Das Klimasystem mit  
seinen verschiedenen  
Systemteilen  
(Quelle: DKRZ/MPI-  
Hamburg)



diejenige in tieferen Schichten werden kann und dann absinkt. Diese Konvektion ist umso tieferreichender, je stärker die Abkühlung ist. Auf diese Weise wird besonders im hohen Nordatlantik neues Tiefenwasser gebildet, das eine globale Tiefenzirkulation antreibt. Es entsteht ein riesiger ozeanischer Kreislauf in der Art eines »Förderbandes« (»oceanic conveyor belt«, Abb. 3), dessen Umlaufperiode bis zu ca. 1000 Jahre beträgt. Störungen der Anregung dieses Kreislaufes, vor allem im Nordatlantik, führen je nach ihrer Stärke und Dauer zu nachhaltigen Klimaschwankungen in großen Gebieten. Der Ozean wirkt aber nicht nur thermisch auf das Klima, sondern auch als Teil großer biogeochemischer Kreisläufe, insbesondere des Kohlenstoffs.

Ohne Kenntnis der Klimageschichte ist ein realistischer Ausblick in die Klimazukunft kaum möglich. Die Eigenschaften vergangener Klimate sind u.a. in den terrestrischen und marinen Sedimenten, in den großen Eisschilden der Antarktis und Grönlands, in biosphärischen Spuren wie Pollen, Baumringen, Korallenriffen, alten Naturgrenzen sowie für die jüngste Geschichte auch in menschlichen Zeugnissen gespeichert. Besonders gut erforscht ist das quartäre Eiszeitalter der letzten 1,5 Mio. Jahre mit seiner Abfolge von Warm- und Kaltzeiten. Diese Klimawechsel hängen ursächlich mit den langfristigen Änderungen der Bahnparameter der Erde um die Sonne zusammen, die die Sonnenenergie auf der Erde umverteilen. Als weitere Ursachen lang- und kurzfristiger Schwankungen des Klimas kommen auch Änderungen der Strahlungsintensität der Sonne selbst in Betracht. Bekanntester Ausdruck der veränderlichen Solaraktivität ist die Anzahl der Sonnenflecken, die schon seit Jahrhunderten beobachtet werden. Die der gegenwärtigen Erwärmung seit Mitte des 19. Jh. vorausgehende Klimaphase war die »Kleine Eiszeit« seit Mitte des 16. Jh., die durch Zeitabschnitte erniedrigter Sonnenfleckenzahl gekennzeichnet war. Man erkennt Schwankungen des Strahlungsflusses von der Sonne von max. 5 Watt/m<sup>2</sup> (Abb. 2). Aufgrund der Kugelgestalt der Erde (sie bescheint nur den Querschnitt der Erde – das ist ein Viertel ihrer Oberfläche) und wegen der Reflexion durch Atmosphäre und Erdboden reduziert sich diese auf nur 0,8 Watt/m<sup>2</sup>. Der Effekt durch die anthropogenen Treibhausgase hat dagegen ca. 2,4 Watt/m<sup>2</sup> erreicht (Abb. 8). Die Änderung der Sonnenstrahlung kann daher nur den kleineren Teil der beobachteten Erwärmung von 0,6°C im 20. Jh. verursacht haben.

### Ursachen von Klimaänderungen

Starke Vulkanausbrüche wie der des Mt. Pinatubo 1991 beeinflussen heute wie früher das regionale und globale Klima, allerdings nur vorübergehend für einige Jahre. Die Ursache dafür ist eine im wesentlichen aus Schwefelsäuretröpfchen bestehende Aerosolschicht in der Stratosphäre, die sich aus dem Schwefeldioxid in der Gasfahne des Vulkans bildet. Diese Schicht ändert den Strahlungshaushalt der Atmosphäre in der Weise, daß im Mittel im Bereich der Aerosolschicht eine Erwärmung und an der Erdoberfläche eine Abkühlung erfolgt. Eine durch die innere Wechselwirkung verursachte kurzfristige und unregelmäßige Klimaschwankung ist das El Niño-/La Niña-Phänomen (siehe dazu Seite 7).

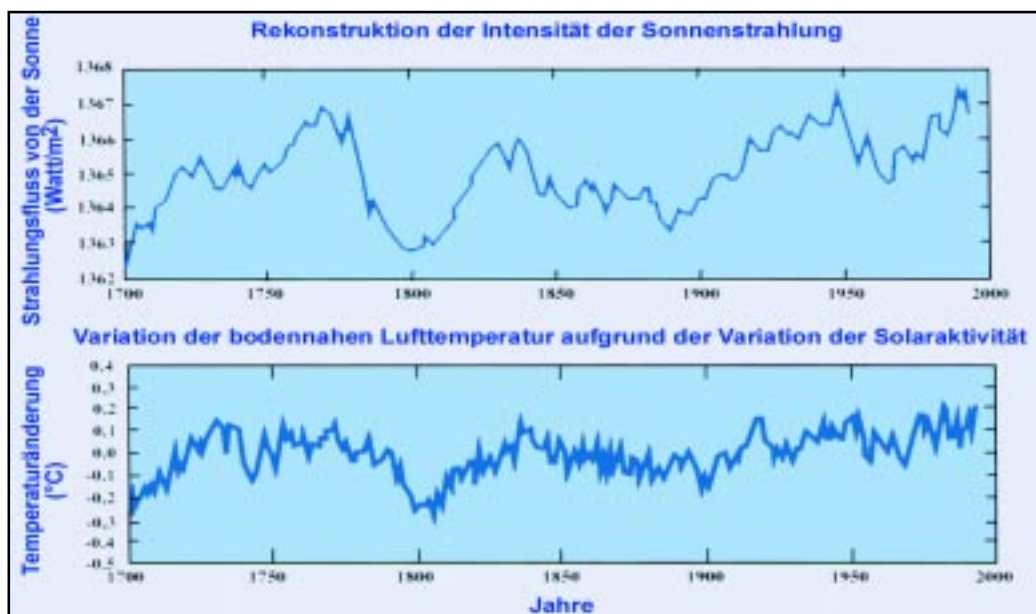
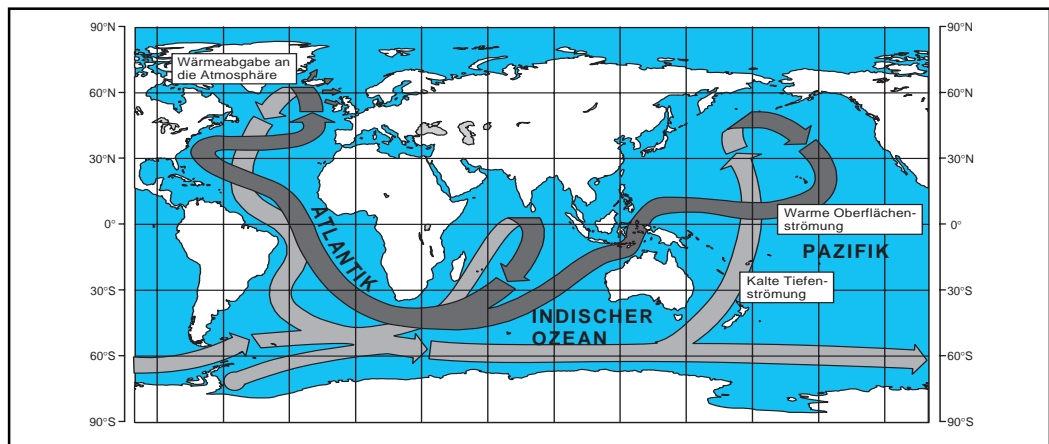


Abb. 2:  
Geschätzte Veränderung des  
Strahlungsflusses von der Sonne  
und ihre Temperaturwirkung  
(Quelle: DKRZ/MPI-Hamburg).

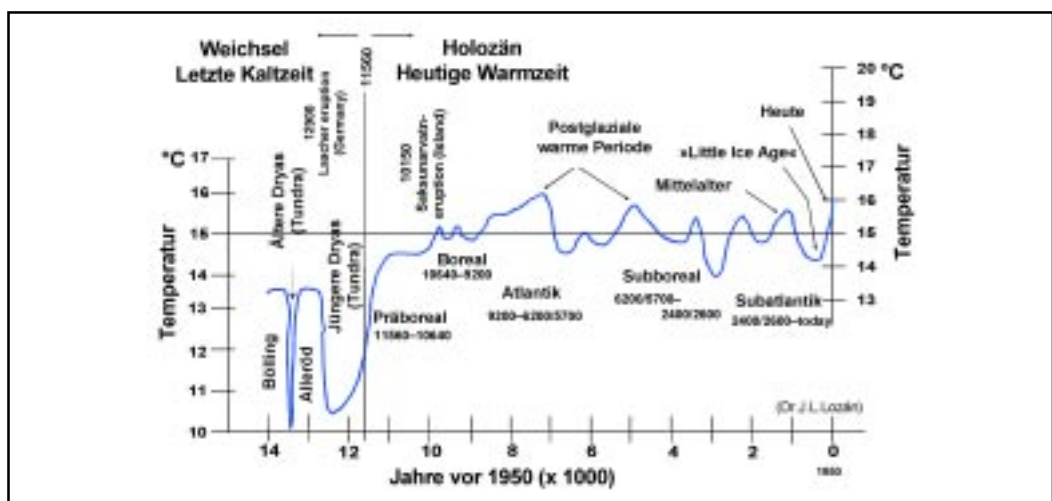
Abb. 3:  
Das große marine  
Förderband mit  
kalter Tiefenströmung  
und warmer  
Oberflächenströmung  
(Quelle: DKRZ/MPI-  
Hamburg)



**Einfluß des  
Klimas auf die  
Geschichte  
der Menschheit**

Man kann die Zeit vor etwa 12.000 Jahren als Beginn der menschlichen Gesellschaft ansehen. Damals ging die letzte Kaltzeit (Weichsel-Kaltzeit) zu Ende, und der Mensch begann damit, seine eigene Geschichte anhand von Höhlenmalereien zu beschreiben. Da eine grössere Wassermenge in Form von Eis als heute in polnahen Gebieten fixiert war, lag der Meeresspiegel etwa 120 m tiefer als heute, so dass es Landverbindungen beispielsweise zwischen Sibirien und Alaska oder zwischen Mitteleuropa und England gab, was Wanderungen von Menschen und Tieren zwischen diesen Regionen ermöglichte. Seit Beginn der bis heute andauernden Warmzeit des Holozäns stieg der Meeresspiegel an, und die Küstenlinien wichen weltweit zurück. Die Erwärmung setzte sich bis rund 5.000 Jahre vor heute (Abb. 4) fort und im sogenannten Atlantikum (zwischen 9.000 und 7.000 Jahre vor heute) war die Lufttemperatur wahrscheinlich höher als heute. Die Erde war damals dünn besiedelt. Durch Migration konnten Gebiete mit ungünstigem Klima vermieden werden. Damals reichte der Niederschlag in der Sahara, die heute die größte Wüste der Welt ist, zur Savannenbildung aus. Wie Felszeichnungen aus dieser Zeit belegen, lebten dort damals Elefanten, Nashörner, Nilpferde und andere tropische Tierarten. Dem Atlantikum folgte wieder eine Phase der leichten Abkühlung und des Vorrückens der Gletscher. So ist das Holozän generell durch die Folge von wärmeren und kälteren Klimaabschnitten gekennzeichnet. Um 870 gelang es den Wikingern, begünstigt durch den Rückgang des Eises, erst Island, dann Grönland zu besiedeln und auch später Amerika zu erreichen. Als das Eis im 15. Jh. wieder vorrückte, vermochten sie sich im Gegensatz zu den Inuit in Grönland nicht dem kälteren Klima anzupassen. Die Wärmephase im Mittelalter war die Zeit der sich ausweitenden Landwirtschaft und eines großen Bevölkerungswachstums. In diese Periode fallen bedeutende technische und landwirtschaftliche Fortschritte. In der darauffolgenden »Kleinen Eiszeit« war das Klima in Mittel- und Nordeuropa durch häufig auftretende kalte Winter und nasse Sommer geprägt, die wirtschaftlichen Niedergang auslösten. Die wirtschaftliche Entwicklung und die Zunahme der Weltbevölkerung im Zeitalter der Industrialisierung beruht nicht nur auf dem technischen Fortschritt, sondern auch auf den vorherrschenden günstigen klimatischen Verhältnissen in den mittleren Breiten.

Abb. 4:  
Rekonstruierte Schwankung  
der mittleren Oberflächen-  
temperatur während der  
letzten 14.000 Jahre  
(Quelle: Climate of the 21st  
Century: Changes and  
Risks – Scientific Facts)



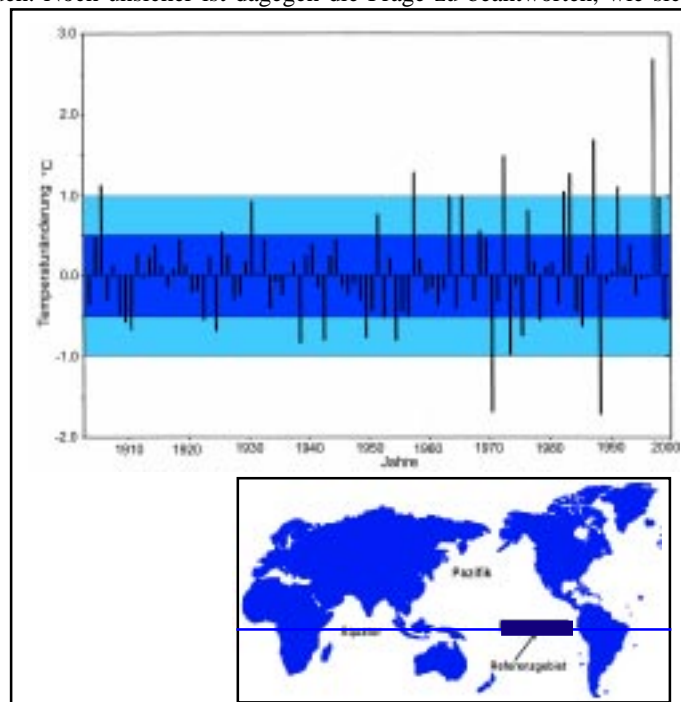
*Folgen der Intensivierung  
des »El Niño«- und  
»La Niña«-Phänomens*

Natürliche Klimaschwankungen treten in zahlreichen Formen und Ausprägungen auf. Es gibt viele Jahrtausende anhaltende tiefgreifende Änderungen des Klimas und kürzere, die nur wenige Jahre dauern. Räumlich können die ganze Erde oder nur Teile davon betroffen sein. Zu den kürzesten Phänomenen dieser Art gehören auch die bekannten El Niño-Ereignisse. Unter El-Niño versteht man die in unregelmäßigem Abstand (etwa alle vier Jahre im Mittel) auftretende, ca. 1 Jahr anhaltende großflächige Erwärmung des äquatorialen Ostpazifik. Im Normalfall befindet sich vor der tropischen Westküste Südamerikas kühles Auftriebwasser. Meistens tritt nach Beendigung eines El Niño-Ereignisses eine überdurchschnittliche Abkühlung des Wassers dieser Region auf. Dieser Zustand wird als La Niña bezeichnet. Kontinuierliche Messungen der Ozeanoberflächentemperatur im äquatorialen Pazifik sind in *Abb. 5* dargestellt. Daraus gewinnt man den Eindruck, dass die aufeinanderfolgenden positiven und negativen Anomalien (Abweichung vom Mittelwert) stärker und häufiger werden. Aber erst die Zukunft wird zeigen, ob hier ein Trend in Zusammenhang mit dem anthropogenen Klimawandel vorliegt.

Die mit El Niño und La Niña zusammenhängenden auffälligen Erscheinungen sind Teil eines weltumspannenden, vor allem aber die tropischen und subtropischen Gebiete umfassenden Zyklus in Atmosphäre und Ozean. Es hat den Anschein, daß dieser Kreislauf im Klimasystem selbst entsteht, es sind aber auch schon äußere Einflüsse diskutiert worden, die den Zyklus anregen. Die auffälligste korrespondierende Erscheinung in der Atmosphäre ist ein Hin- und Hertransport von Luftmassen zwischen dem subtropischen Hochdruckgebiet im Südostpazifik und dem Indonesischen äquatorialen Tiefdruckgebiet.

Der mit El Niño eng gekoppelte Effekt, daß der Luftdruck über dem Ostpazifik mit dem Luftdruck im östlichen Indischen Ozean verbunden ist, wird als Südliche Oszillation, der kombinierte Effekt als ENSO (El Niño/Südliche Oszillation) bezeichnet. Dem Wesen nach tritt je nach ENSO-Phase eine Veränderung der Einspeisung von Wärmeenergie vom Ozean in die Atmosphäre ein, wobei Verteilung und Art der Umwandlung dieser Energie in der Atmosphäre entscheidend ist. So kommt es zu Änderungen der großen Windsysteme. Mit der atmosphärischen Zirkulation ist aber aufs engste der Wetterablauf in einem Gebiet verbunden, je nach dem, ob kühlere oder wärmere, feuchtere oder trockenere Luftmassen vorherrschen. So überrascht es nicht, daß in Zusammenhang mit ENSO in weiten Teilen der Welt anhaltende Witterungsanomalien beobachtet werden, die im Extremfall auch zu Katastrophen wie Hitze- und Kältewellen, Dürre oder Überschwemmungen führen können.

Die groben Muster der Anomalien sind bekannt, viele Probleme sind jedoch noch zu lösen. In den letzten Jahren ist es den Klimatologen gelungen, Elemente des ENSO-Zyklus bis zu einem Jahr vorauszusehen. So konnte El Niño 1997/98 vorhergesagt und die betroffenen Länder von den zu erwartenden Folgen gewarnt werden. Noch unsicher ist dagegen die Frage zu beantworten, wie sich ENSO unter den Bedingungen eines anthropogenen Klimawandels gestalten wird. Erste Modellergebnisse deuten darauf hin, daß der El Niño-Status bei allgemein steigenden Meeresoberflächentemperaturen in Zukunft häufiger eintritt als bisher beobachtet. Damit würden sich auch die El Niño-typischen Folgen im Witterungsgeschehen häufiger einstellen, einschließlich der Extremfälle. Man erkennt, wie natürliche und anthropogene Vorgänge im Klimasystem miteinander verknüpft sind. Beachtet werden muß auch, daß nicht jedes Wetterextrem und nicht alle Witterungsanomalien auf ENSO zurückgehen, da es viele weitere klimabildende Prozesse gibt, die eine entsprechende Veränderlichkeit der meteorologischen Größen hervorrufen.



*Abb. 5: Abweichungen der Oberflächentemperatur vom Mittelwert 1951–1980 im Referenzgebiet (s.u.) im Juli eines jeden Jahres seit 1903. Man beachte die Zunahme der Intensität und der Zahl der Ereignisse mit  $\Delta T > 0,5$  °C und  $\Delta T > 1,0$  °C in den letzten Jahrzehnten (SHUKLA, pers. Mit. ergänzt.)*

*Referenzgebiet:  
5 °N–5 °S, 150 °W–90 °W  
genannt Niño3-Gebiet im  
äquatorialen Pazifik*

DER MENSCH BEEINFLUSST DAS KLIMA

Dank weltweit gesammelter Wetterdaten können wir die globale Klimaentwicklung seit der Mitte des 19. Jh. recht zuverlässig beurteilen (Abb. 12). Sie ist dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere jährliche globale Lufttemperatur in Bodennähe seit Anfang des 20. Jh. unter Schwankungen ansteigt. Die Erwärmung erreichte in den 1940er Jahren einen ersten Höhepunkt. Nach einer Phase des Gleichbleibens und eines leichten Rückgangs der Lufttemperatur steigt die Kurve seit den 1970er Jahren weiter an. Seit den 1980er Jahren liegen die Werte zunehmend über dem Mittel des Referenzzeitraumes 1961/90 (Abb. 12). Im 20. Jh. betrug die Temperaturzunahme  $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dieser Befund gilt nicht nur für die Jahresmittelwerte, sondern auch für die einzelnen Monate. Das bisher wärmste Jahr seit Vorliegen von Beobachtungen war 1998 (ca.  $0,59\text{ }^{\circ}\text{C}$  über dem globalen Bezugswert) und die bisher neuen wärmsten Jahre wurden seit 1990 beobachtet. Diese sind in abnehmender Reihenfolge: 1998, 1997, 2001, 1995, 1990, 1999, 2000, 1991, 1994. Die dabei fehlenden Jahre 1992/93 und 1995 wurden von diesen Jahren übertroffen, weil der Ausbruch des Vulkans Pinatubo 1991 und La Niña 1995/96 leicht abkühlten.

Die in Abb. 10 dargestellte Kurve darf nicht zu der Schlußfolgerung verleiten, daß die Temperaturänderung räumlich homogen ist. Nur die hemisphärischen Entwicklungen sind ähnlich und von gleicher Größenordnung. Die höchsten Erwärmungsbeträge werden im Breitengürtel zwischen  $40^{\circ}$  und  $70^{\circ}$  N (zwischen Mittelspanien und Nordnorwegen) über den Kontinenten im Winter und Frühjahr beobachtet. Es besteht die Tendenz, dass die Erwärmungsbeträge im Winter höher als im Sommer sind. Abkühlungsgebiete wurden im nordwestlichen Atlantik und in den mittleren Breiten des Nordpazifiks gefunden. Die Auswertung der Höhensondierungen, die jedoch erst seit Ende der 1950er Jahre in befriedigender Genauigkeit und räumlicher Dichte vorliegen, ergibt, dass die ganze Troposphäre von der Erwärmung betroffen ist. In der darüberliegenden unteren Stratosphäre zeigen die Messungen jedoch eine Abkühlung. Das ist ein Befund, der bei einer Verstärkung des Treibhauseffekts der Atmosphäre und einer dortigen Abnahme des Ozongehalts auftreten sollte.

Mit verschiedenen Methoden konnte man zeigen, daß die Zunahme der globalen Mitteltemperatur in Bodennähe nicht nur auf natürliche Ursachen, sondern in entscheidendem Umfang auch auf die anthropogene Veränderung der Zusammensetzung der Atmosphäre zurückzuführen ist. Weitere Ursachen der beobachteten Entwicklung sind erhöhte Abstrahlung der Sonne, Vulkanausbrüche und interne klimatische Effekte wie El Niño, die in ihren Beiträgen zur seit einigen Jahrzehnten beobachteten Entwicklung aber gegenüber dem anthropogenen Einfluß zurücktreten. In diesem Sinne lautet auch die Schlussfolgerung des Zwischenstaatlichen Ausschusses über Klimaänderungen in seinem dritten bewertenden Bericht (IPCC 2001): Es gibt neue und starke Anzeichen, dass der grösste Teil der beobachteten Erwärmung in den letzten 50 Jahren auf menschlichen Einfluss zurückzuführen ist.

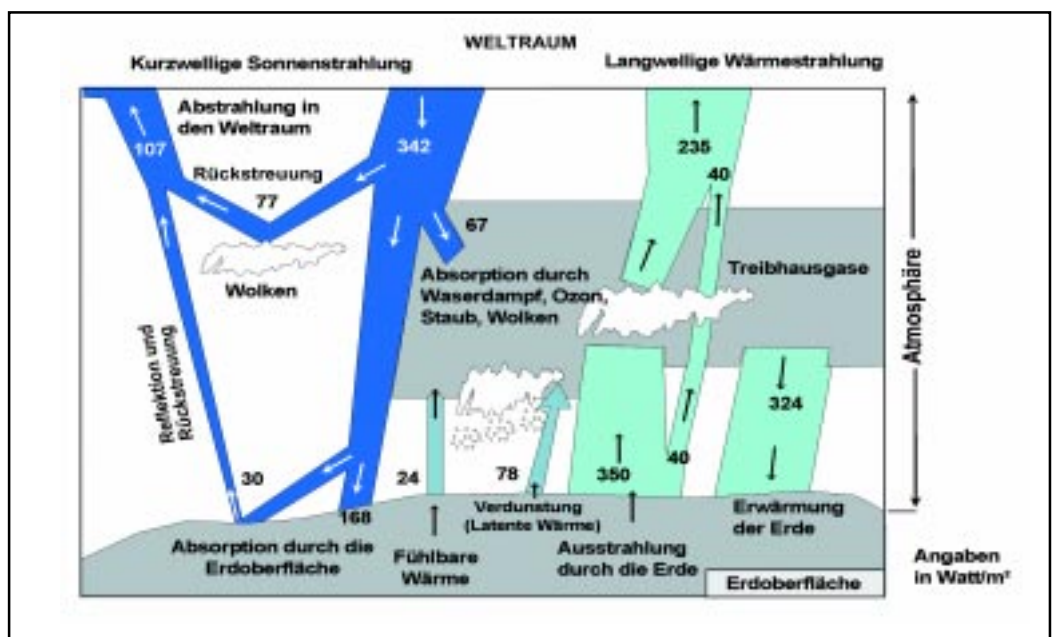


Abb. 6:  
Mittlere globale Energiebilanz. Mit Zunahme der Treibhausgase wird mehr Wärmestrahlung zur Erdoberfläche zurückgestrahlt (Quelle: Climate of the 21st Century: Changes and Risks – Scientific Facts - geändert)



*Der anthropogene  
Treibhauseffekt*

Im Schema der globalen Energiebilanz (Abb. 6) sind die Strahlungsflüsse zwischen Erde und Atmosphäre zu sehen. Auffällig sind die hohen Werte der Wärmestrahlungsflüsse, die von der Erdoberfläche und von der Atmosphäre ausgehen. Der als Folge der Strahlung der Treibhausgase zur Erdoberfläche gerichtete Wärmestrahlungsfluss (Gegenstrahlung der Atmosphäre) hat weitreichende Folgen für das Klima. Lediglich die kleine Differenz der beiden Wärmestrahlungsflüsse geht unmittelbar in den Weltraum verloren. Um ein Gleichgewicht zwischen Absorption von Sonnenstrahlung und Emission von Wärmestrahlung im Langzeitmittel herzustellen, muss die Oberfläche (und damit die untere Atmosphäre) wärmer werden. Zu diesem natürlichen Treibhauseffekt von ca. 33 °C tragen die Treibhausgase Wasserdampf mit ca. 20,6 °C, das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) mit 7,2 °C, das Ozon (O<sub>3</sub>) mit 2,4 °C, das Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) mit 1,4 °C, das Methan (CH<sub>4</sub>) mit 0,8 °C und die restlichen Treibhausgase mit 0,6 °C bei. Alle Gase zusammen machen nur etwa 3 Promille der Masse der Atmosphäre aus, sie sind dennoch für unser Klima hochwirksam. Mit Ausnahme des stratosphärischen Ozons nahmen alle Gase seit Beginn der Industrialisierung vor ca. 130 Jahren drastisch zu (CO<sub>2</sub>: 280 → 370 ppm; CH<sub>4</sub>: 0,7 → 1,75 ppm; N<sub>2</sub>O: 0,275 → 0,314 ppm). Allein der mittlere Volumenanteil des Kohlendioxids der Atmosphäre zeigt eine Zunahme von 31,4% (Abb. 7). Hauptursache dafür ist die Nutzung fossiler Brennstoffe, durch die gegenwärtig ca. 6,3 Gt Kohlenstoff pro Jahr emittiert werden. Der Verbrauch fossiler Brennstoffe nimmt trotz mancher Klimaschutzbemühungen immer noch um ca. 1% jährlich zu. Neue Treibhausgase wie die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) sind im Laufe der technischen Entwicklung hinzugekommen (Tab. 1). Alle langlebigen Treibhausgase zusammen stören die Strahlungsbilanz bereits um 2,4 Watt/m<sup>2</sup> (Abb. 9), davon trägt das CO<sub>2</sub> ca. 60%.

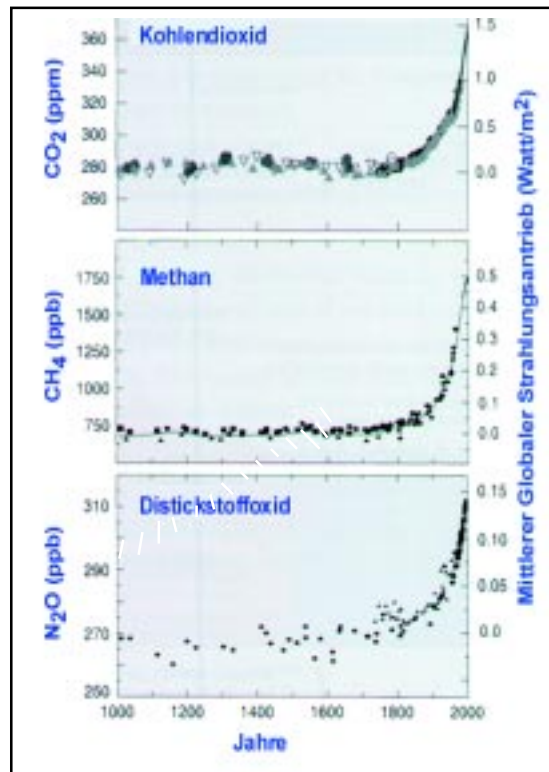


Abb. 7:  
Zunahme der  
Konzentration von CO<sub>2</sub>,  
CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O und deren  
Effekt für die Energiebilanz der Erde seit  
Beginn der Industrialisierung (IPCC 2001).

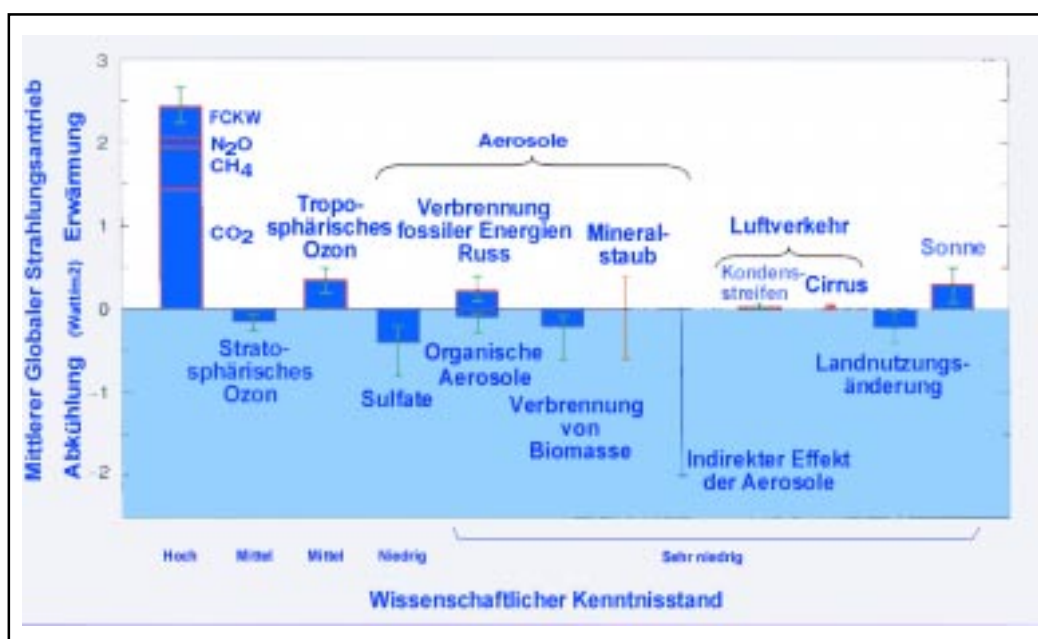


Abb. 8:  
Der mittlere Effekt verschiedener Faktoren in der Strahlungsbilanz der Erde von 1750 bis 2000 (Quelle: IPCC 2001).

Sehr gute Kenntnisse liegen nur über die Störung der Strahlungsbilanz durch erhöhte Emission von Treibhausgasen vor.

Sehr wenig weiss man noch über die Effekte durch die verschiedenen Aerosoltypen

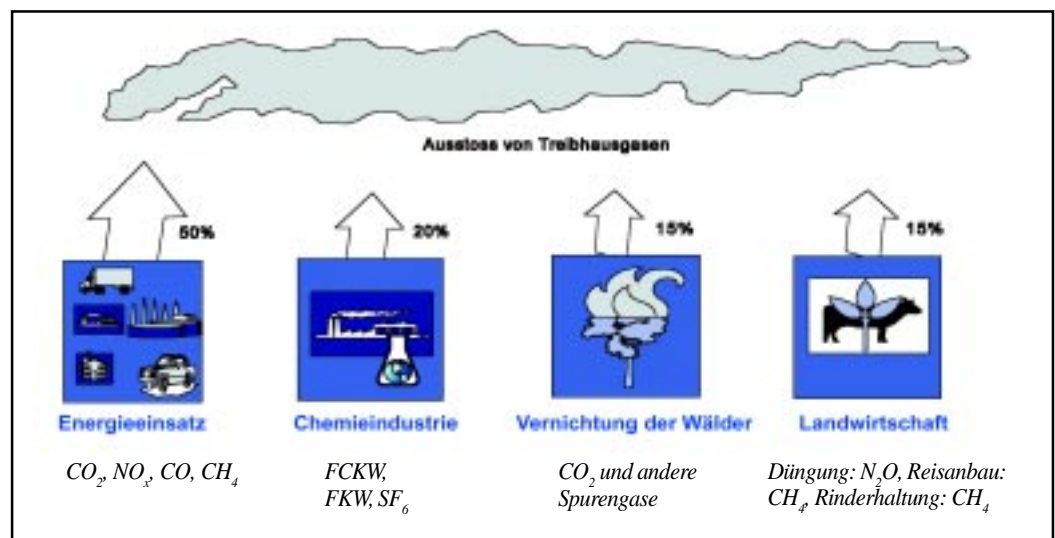
Hauptquellen der Emissionen

Hauptursache für die beobachtete Störung des Strahlungshaushaltes der Erde ist mit 50% die Nutzung fossiler Brennstoffe (Abb. 9). Eine weitere wichtige Störung ist die zunehmend intensiver betriebene Landwirtschaft mit 15%. Die Vernichtung der Wälder trägt mit weiteren 15% bei. Aus der Chemieproduktion stammen 20% des gesamten weltweiten Antriebes. Hier handelt es sich vor allem um neue Treibhausgase, wie die sehr langlebigen Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) (Tab. 1)

Die Landwirtschaft und die intensive Viehhaltung sind wichtige Quellen von  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$ . Da die Nahrungsproduktion aufgrund der Wachstumsrate der Weltbevölkerung entsprechend ansteigen wird, ist hier eine weitere Zunahme der Emissionen fast unvermeidbar. Methan entsteht mikrobiell nicht nur in den Böden, Feuchtgebieten und Flachgewässern, sondern auch im Pansen der Wiederkäuer. Die Rinderzucht hat sich im letzten Jahrhundert vervierfacht und die Schafhaltung verdoppelt. Man schätzt bis zum Jahr 2100 noch eine Verdopplung der Anzahl der Tiere in der Viehhaltung. Auch bei der Lagerung der Tierexkremete (Gülle) entsteht Methan. Aus den gleichen Gründen wie für Feuchtgebiete und Flachgewässer trägt der Reisanbau ebenfalls erheblich zur Methanfreisetzung bei. In den letzten 40 Jahren nahm die Fläche zwar nur um 17%, aber der Ertrag auf Grund der technischen Verbesserungen um 41% zu. Das Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ , Distickstoffoxid) entsteht als Zwischenprodukt bei der mikrobiellen Umsetzung von anorganischen Stickstoffverbindungen in Gewässern und vor allem in Böden. Auch bei Verbrennung organischen Materials (wie Brandrodung und Savannenbrände) bildet sich Lachgas. Ein Teil davon gelangt in die Atmosphäre, wo es im Mittel ca. 110 Jahre verbleibt. Obwohl es noch viele offene Fragen über die Bildung von  $\text{N}_2\text{O}$  aus den verschiedenen Stickstoffverbindungen gibt, ist eine proportionale Abhängigkeit zwischen dem  $\text{N}_2\text{O}$ -Anstieg und der starken Düngung erkannt. Mit der weltweiten Intensivierung der Landwirtschaft ist daher auch mit einer weiteren Zunahme von  $\text{N}_2\text{O}$  zu rechnen.

Die Wälder wurden schon seit Einführung von Landwirtschaft und Viehzucht im großen Stil gerodet, um Siedlungsraum zu schaffen und Holz als Baustoff zu gewinnen. Vorher dürfte etwa ein Drittel der Landflächen der Erde, etwa 46 Mio.  $\text{km}^2$ , bewaldet gewesen sein, heute sind noch etwa 36 Mio.  $\text{km}^2$  mit zum Teil geschädigtem Wald bedeckt. Während auf der einen Seite die Wälder klimaabhängig sind, wirken sie auf der anderen Seite vielfältig auf das Klima zurück, nicht zuletzt als Speicher für Kohlenstoff. Nach Angaben der FAO (1997) nahm zwischen 1990 und 1995 die Tropenwaldfläche in Afrika um 0,7% (-18,5 Mio ha) in Asien um 1,1% (-15,3 Mio ha) und in Amerika um 1,3% (-28,5 Mio. ha) ab. Durch die Vernichtung der Wälder verschwinden nicht nur die Bäume, sondern auch die gesamte restliche Vegetation zersetzt sich teilweise. Feuchtgebiete werden trockengelegt. Das im Boden gebundene organische Material (z.B. Humus) wird zumindest teilweise abgebaut. Alle diese Prozesse setzen  $\text{CO}_2$  und  $\text{CH}_4$  frei. Seit 1850 wurden auf diese Weise etwa 120 Mrd. t C gegenüber 210 Mrd. t C aus den Nutzungen fossiler Energien freigesetzt. Das sind ca. 20% des weltweit früher in der Vegetation gebundenen Kohlenstoffs. Gleichzeitig gingen wertvolle  $\text{CO}_2$ -Senken wie Feuchtgebiete verloren.

Abb. 9:  
Hauptquellen der  
global emittierten  
Treibhausgase  
(Quelle:  
Climate of the 21st  
Century: Changes and  
Risks – Scientific Facts)



Im Laufe der technischen Entwicklung werden neue Substanzen durch die Chemieindustrie hergestellt, die in die Atmosphäre gelangen. Viele von ihnen haben ein sehr starkes Treibhauspotential und zerstören gleichzeitig die Ozonschicht der Stratosphäre. Aus diesen Gründen wurde 1987 im Ergebnis einer internationalen Konferenz in Montreal (und von Folgekonferenzen) die Produktion einiger dieser Substanzen weltweit verboten. Wie aus Tab. 1 ersichtlich, haben diese Substanzen eine Verweilzeit in der Atmosphäre von Jahrzehnten bis Jahrhunderten gar Jahrtausenden. Somit wird die Ozonschicht noch über mehrere Jahrzehnte trotz Verbot der verursachenden Gase verdünnt bleiben. Die Vereinbarung von Montreal zeigt, dass ein Schutz unserer Umwelt möglich ist, wenn die Politiker durch die öffentliche Meinung bewegt werden.

Chemische Formel	Atmosphärische Verweilzeit [Jahre]	Spezifisches Treibhauspotential bezogen auf CO <sub>2</sub> bei Zeithorizonten von		
		20 Jahre	100 Jahre	500 Jahre
CO <sub>2</sub>	5-200	1	1	1
CFCl <sub>3</sub> *	50	5000	4000	1400
CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> *	102	7900	8500	4200
C <sub>2</sub> F <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> *	85	5000	5000	2300
CCl <sub>4</sub> *	42	2000	1400	500
CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub> *	5,4	360	110	35
CHF <sub>3</sub> <sup>+</sup>	260	9400	12000	10000
CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	5,0	1800	550	170
CH <sub>3</sub> F	2,6	330	97	30
CHF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub>	29	5900	3400	1100
CHF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	9,6	3200	1100	330
SF <sub>6</sub>	3200	15100	22200	32400
CF <sub>4</sub>	50000	3900	5700	8900
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	10000	8000	11900	18000
C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	3200	6100	9000	13200
CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	0,015	1	1	<<1
CF <sub>3</sub> OCHF <sub>2</sub>	150	12900	14900	9200
CH <sub>3</sub> OCF <sub>3</sub>	26,2	10500	6100	2000

Tab. 1  
Einige klimarelevante Substanzen aus der Chemieindustrie.

Angegeben wird ihre mittlere Verweilzeit in der Atmosphäre und ihr spezifisches Treibhauspotential bezogen auf CO<sub>2</sub> (Quelle: IPCC 2001)

\* sehr langsam abnehmend durch das Verbot aufgrund des Montreal-Protokolls und ergänzender Vereinbarungen  
+ Die teilhalogenierten HFCKW und HFKW wie CHF<sub>3</sub> nehmen zu, da sie weiter wie früher und ferner als Ersatzstoff für die verbotenen FCKW verwendet werden.

Insgesamt sind die veränderten Energieflüsse an der Oberfläche durch Landnutzungsänderungen wie Rodung, Bewässerung, Städtebau wenig in der bisherigen Debatte um Klimaänderungen durch die Menschheit beachtet worden. Dieser anthropogene Klimaeinfluss tritt seit Jahrtausenden auf, er ist aber noch schwieriger zu bestimmen als der Einfluss von Gasen, weil je nach menschlicher Aktivität die Strahlungs-, Wärme- und Impulsflüsse verstärkt oder vermindert werden. Beispiele dafür sind Rodung von Wäldern und Bewässerung von Trockenzonen. Eine hinreichend räumlich aufgelöste Klimamodellierung unter veränderten Landoberflächeneigenschaften ist noch in Entwicklung.

Etwa drei Viertel der Emission kommt zur Zeit noch von den Industrieländern, in denen aber nur 25% der Weltbevölkerung leben (Abb. 10). Mit der Beschleunigung des wirtschaftlichen Wachstums wird jedoch der Anteil der Entwicklungsländer in den nächsten Jahrzehnten zunehmen.

### Die Emissionen nach Ländern



### Kohlendioxidemission pro Kopf in Tonnen/Jahr

USA	20,5	Brazilien	1,6
Deutschland	11,1	China	2,7
Grossbritannien	9,3	Indien	1,0
Japan	9,0	Swaziland	0,3

Quelle: IEA (2000)

Abb. 10:  
Weltweite CO<sub>2</sub>-Emission nach wirtschaftlichen Ländergruppen und die Emission Pro-Kopf einiger Länder (ohne Veränderungen in Landnutzungen und bei Wäldern).

## DAS KLIMA DES 21. JAHRHUNDERTS - ÄNDERUNGEN UND FOLGEN

Das Klima der Zukunft vorherzusagen, stellt eine der größten Herausforderungen für die Wissenschaft dar. Dafür wurden globale Klimamodelle entwickelt, die in der Lage sind, das Klimasystem in seinen wesentlichen Teilen realistisch zu simulieren (Abb. 11). Die aus Gründen der Rechenkapazität begrenzte horizontale und vertikale Auflösung solcher Modelle sowie notwendige Vereinfachungen in der mathematischen Beschreibung komplizierter atmosphärischer und ozeanischer Prozesse bringen unvermeidliche Fehler und Ungenauigkeiten mit sich. Um zu einer Klimaprognose zu kommen, müssen die äußeren Einflussgrößen für den Prognosezeitraum vorgegeben werden. Bei diesen handelt es sich insbesondere um die Annahme der künftigen Emission von Treibhausgasen in die Atmosphäre, die ihrerseits von der Entwicklung der Weltwirtschaft sowie Erfolg oder Misserfolg der Klimapolitik abhängt. Zahlreiche von den Modellen für das 21. Jh. prognostizierte Änderungen sind bereits angelaufen, wie die mittlere Erwärmung, die Verschiebung der Niederschläge, der Anstieg des Meeresspiegels und die Schrumpfung der Gletscher. So ist die Masse der Gletscher in den Alpen seit 1850 um mehr als die Hälfte zurückgegangen, und der Meeresspiegel steigt jährlich um etwa 2 mm an. Beobachtete und modellierte Befunde, die durch die im IPCC mitarbeitenden Wissenschaftler regelmäßig eingeschätzt werden, haben zur internationalen Klimapolitik geführt. Diese verfolgt das Ziel, die Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu stabilisieren, auf dem eine gefährliche Störung des Klimasystems verhindert wird. Das muß in einer Zeit erreicht werden, die ausreicht, damit sich die Ökosysteme auf natürliche Weise der Klimaschwankung anpassen können, die Nahrungsmittelproduktion nicht bedroht wird und die wirtschaftliche Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann.

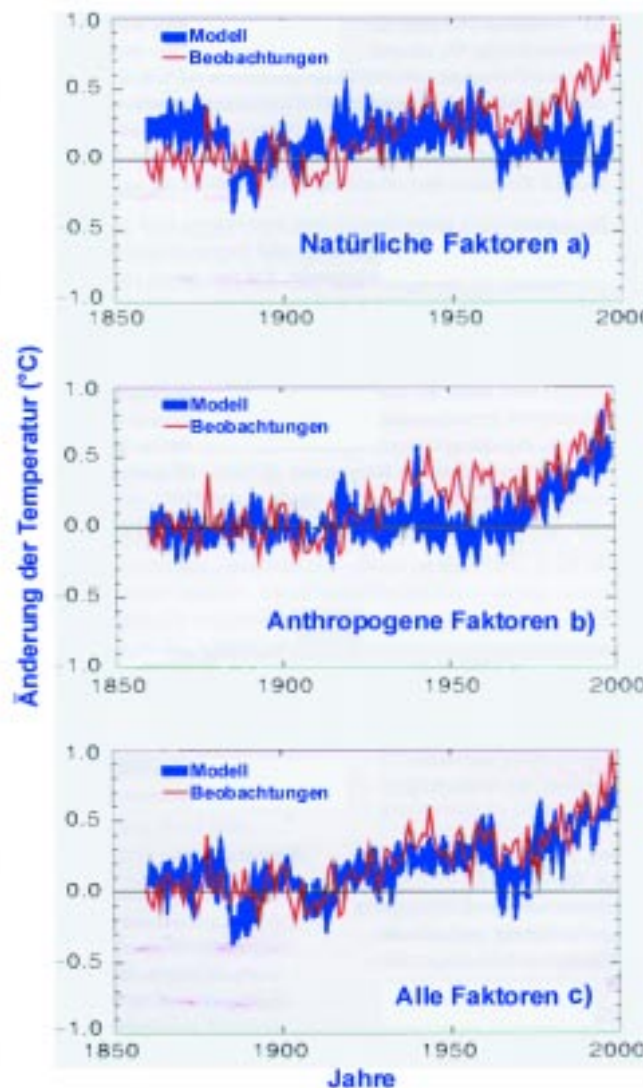


Abb. 11  
Das verwendete Klima-  
modell für die Simulation  
der globalen Temperatur-  
änderung

a) Simulation mit Berücksichtigung der natürlichen Einflussfaktoren

b) Simulation mit Berücksichtigung der anthropogenen Einflussfaktoren

c) Simulation mit Berücksichtigung der natürlichen und anthropogenen Einflussfaktoren

Die Berücksichtigung anthropogener Einflussfaktoren liefert eine plausible Erklärung des wesentlichen Anteils der beobachteten Erwärmung. Die beste Anpassung erhält man in c) bei Berücksichtigung der natürlichen und anthropogenen Einflussfaktoren.



Abb. 12 zeigt die globale Erwärmung im 20. Jh., die aufgrund der direkten Messungen an vielen Orten festgestellt wurde. Sie betrug im 20. Jh.  $0,6^{\circ}\text{C}$ . In Abb. 13 wird die Rekonstruktion der bodennahen Lufttemperatur in der nördlichen Erdhälfte während der letzten 1000 Jahre aufgrund von Proxy-Daten (terrestrischen und marinen Sedimentdaten, Baumringen, Pollen, Eiskernen etc.) und direkten Messungen gezeigt. Danach war das 20. Jh. das wärmste Jahrhundert seit mindestens 1000 Jahren und in keinem Jahrhundert ist eine so rasche Änderung der Temperatur aufgetreten.

*Entwicklung der  
globale bodennahen  
Lufttemperatur*

Besorgniserregend ist die Tatsache, dass sich die Erwärmung im 21. Jh. weiter beschleunigen wird, so dass die Menschheit in einem Warmklima leben wird, wie sie es bisher noch nicht erlebt hat. Die Folgen für Natur und Gesellschaft sind vielfältig und bisher erst unvollkommen absehbar.

Nach IPCC (2001) wird die Erwärmung je nach Entwicklung von Bevölkerung, Wirtschaft und Klimaschutz zwischen  $1,4$  und  $5,8^{\circ}\text{C}$  betragen (Abb. 14). Das heisst, es ist eine Erwärmung von ca.  $1,4^{\circ}\text{C}$  nicht mehr zu vermeiden und das ist bereits der optimistische Fall, wenn die Emissionen in den nächsten Jahrzehnten drastisch reduziert werden.



Abb. 12:  
Entwicklung der globalen bodennahen (2 m) Lufttemperatur in Form von Abweichungen vom Mittelwert 1961/90. Die stark ausgezogene Linie ist 5jährig übergreifend geglättet (Quelle: Climate of the 21st Century: Changes and Risks – Scientific Facts, IPCC 2001)

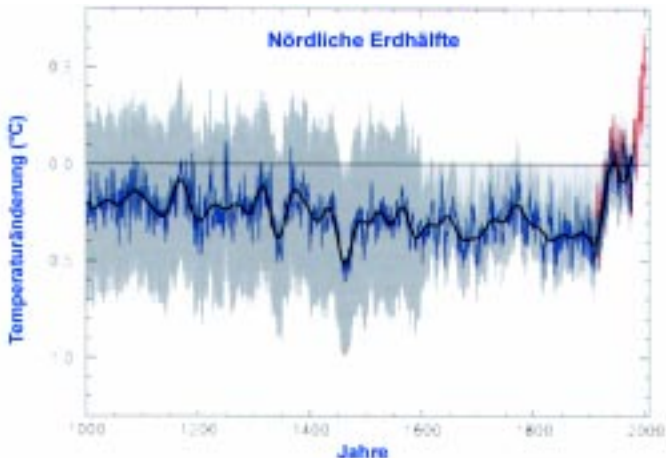


Abb. 13:  
Rekonstruktion der bodennahen Lufttemperatur der letzten 1000 Jahre in der nördlichen Erdhälfte (Quelle: IPCC 2001)

Daraus kann entnommen werden, dass kein Jahrhundert in der letzten 1000 Jahre so warm war wie das 20. Jahrhundert.

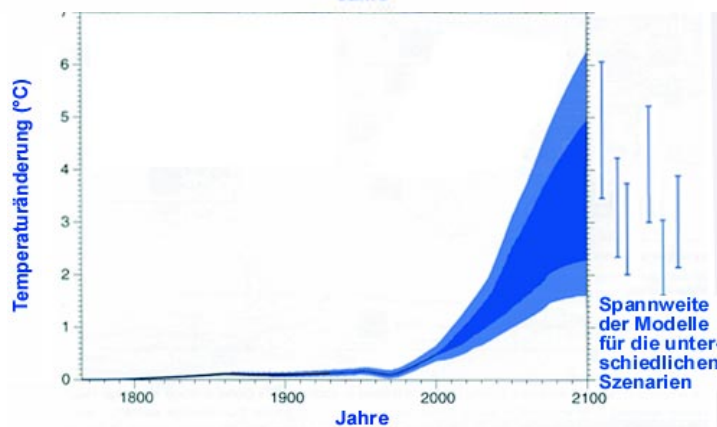


Abb. 14:  
Entwicklung der globalen Lufttemperatur für das 21. Jh. aufgrund sechs verschiedener Szenarien. Danach wird die Erwärmung bis Ende des 21. Jh. zwischen  $1,4$  und  $5,8^{\circ}\text{C}$  je nach Entwicklung der Emissionen der Treibhausgase betragen. (Quelle: IPCC 2001)

**Regionale Änderung  
der Temperatur**

Die beobachtete Änderung der Temperatur ist nicht überall gleichmäßig. Im nordwestlichen Atlantik und in den mittleren Breiten des Nordpazifiks wird eine Abkühlung beobachtet. In einigen Regionen, wie in Nordwestkanada, Siberien, aber auch in den Alpen, ist die Erwärmung stärker als die mittlere globale Erwärmung. Sie erreicht in den Alpen im Mittel nahezu 1 °C (Abb. 15) und fast 2 °C für einzelne Stationen. Untersuchungen in Österreich und Süddeutschland ergeben ähnliche Ergebnisse.

Abb. 15:  
Erwärmung in den Alpen  
im Vergleich zur globalen  
Erwärmung. Beide Linien sind  
fünfjährig übergreifend geglättet  
(Quelle: Climate of the 21st  
Century: Changes and Risks –  
Scientific Facts)



**Änderung der  
großen Eisschilde  
und  
Rückgang der  
Gebirgsgletscher**

Die Eisschilde der Antarktis und Grönlands haben großen Einfluss auf das Weltklima. Im Fall einer allgemeinen Erwärmung könnte es in der Antarktis sogar mehr schneien und dadurch das Inlandeis zunehmen. In Grönland herrscht auf Grund seiner geographischen Lage eine um 10–15 °C höhere Lufttemperatur als in der Antarktis. Man rechnet daher bei fortschreitender Erwärmung der Nordhalbkugel mit einem Massendefizit Grönlands. Das Schmelzen wird gegenüber der Eisbildung überwiegen. Die Gebirgsgletscher reagieren im Gegensatz zu den großen Eisschilden recht rasch auf die Klimadynamik, sie sind repräsentative Indikatoren veränderter Energiebilanzen. Der fast weltweite Rückzug der Gletscher gehört denn auch zu den sichersten Anzeichen, dass sich das Klima der Erde seit dem Ende der »Kleinen Eiszeit« bereits markant verändert hat. Neben den Alpengletschern erlitten die der Anden und der Rocky Mountains besonders hohe Verluste, während manche Gletscher Norwegens infolge vermehrter Winterniederschläge massive Gewinne aufweisen. Der Verlust in den Alpen betrug zwischen etwa 1850 und den 1970er Jahren bereits ein Drittel ihrer Fläche und die Hälfte der Masse (vgl. Abb. 16). Seit 1980 sind nochmals ca. 10–20% der Fläche verloren gegangen. Es wird angenommen, dass es bereits im ersten Drittel des 21. Jh. zu einem markant beschleunigten Eiszerfall in den Alpen kommen wird. Insgesamt dürften um 2035 etwa die Hälfte und nach der Mitte des Jahrhunderts bereits Dreiviertel der heutigen Gletscher verschwunden sein.

Abb. 16:  
Der Morteratschgletscher  
(Berninagebiet, Schweiz). Der  
größte und längste  
Gletscher der Region  
weist seit 1850 eine  
längenmässige Schrumpfung  
um 2 km (25%) auf. Die  
Markierungen zeigen seinen  
Stand im Jahre 1870 - Foto:  
M. Maisch.



Als Folge der globalen Erwärmung wird in den nächsten Jahrzehnten eine Erhöhung des mittleren Meeresspiegels um etwa 5 mm/Jahr vorhergesagt. Bei einer langsamen Zunahme des Volumens des antarktischen Eises und einer etwas schneller vor sich gehenden Volumenabnahme des grönländischen Eisschildes soll nach IPCC die thermische Ausdehnung der Deckschicht des Ozeans und das Schmelzwasser der Gebirgsgletscher hauptsächlich den Meeresspiegelanstieg bewirken (Abb. 17). In den Küstengebieten befinden sich nicht nur wertvolle Ökosysteme, sondern dort leben auch über 50% der Weltbevölkerung, die den natürlichen Risiken, wie Stürmen, Überflutung, Küstenerosion und Versalzung ausgesetzt sind. Bis zum Jahr 2100 wird ein allgemeiner Meeresspiegelanstieg von 50 cm gegenüber heute als mittlere Schätzung erwartet. Nicht alle Küsten- und Inselländer werden in der Lage sein, ihr Küstengebiet wirksam zu schützen.

*Meeresspiegelentwicklung und Gefährdung von Küstenregionen*

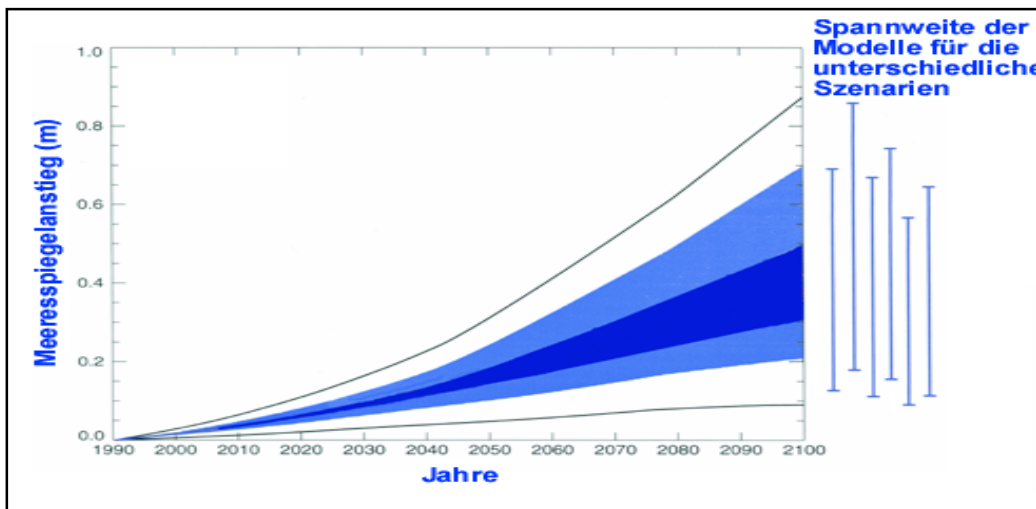


Abb. 17:  
Meeresspiegelanstieg  
(Quelle: IPCC 2001)

Einige Änderung in der biologischen Aktivität von Pflanzen und Tieren infolge der Klimaänderung stellen die frühere Erbrütung oder Ankunft wandernder Vogelarten, das frühere Erscheinen von Schmetterlingen oder erstsingenden Vogelarten oder der frühere Chorgesang von Amphibien sowie der frühere Beginn der Vegetationsperiode und der Blüte von Pflanzen dar. Im allgemeinen fangen die Frühjahrsaktivitäten bei mehreren Arten seit den 1960er Jahren fortschreitend eher an. Es gibt auch Anzeichen, dass sich einige phänologische Ereignisse ebenfalls im Herbst verschoben haben. Diese Änderungen sind jedoch recht heterogen und weniger ausgeprägt als im Frühjahr. Die Tatsache, dass diese biologischen Verschiebungen nicht bei allen taxonomischen Gruppen synchron ablaufen, kann gravierende ökologische Folgen haben. Der frühere Beginn der Vegetationsperiode bewirkt eine längere Wachstumsphase, aber gleichzeitig nehmen die Risiken bei den Spätfrösten zu.

*Gefährdung von Pflanzen und Tieren*

Der klimaempfindlichste Wirtschaftsbereich ist die Landwirtschaft. Die schon zahlreich vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass sowohl die Erträge der verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen als auch das Ertragsrisiko im Falle klimatischer Veränderungen regional und lokal stark variieren wird. Verschiebungen der Klima- und Vegetationszonen nach höheren Breiten und in höhere Lagen bedingen aber besonders in den Übergangsbereichen starke regionale Effekte. In den Trockengebieten der Erde wird voraussichtlich das Risiko für Unterernährung zunehmen, da die Erfordernisse für eine Anpassung (Änderung der eingesetzten Sorten, wasserwirtschaftliche Maßnahmen, Bodenverbesserung) im allgemeinen nicht aufgebracht werden können. In den bisherigen Untersuchungen wird in der Regel der wachstumsfördernde Effekt eines höheren Kohlendioxidgehaltes der Luft berücksichtigt. Kaum zu erfassen sind bisher künftige Erfordernisse in der Schädlings- und Pflanzenkrankheitsbekämpfung, die ebenfalls eine klimaabhängige Komponente haben. Die Ernteerträge hängen aber nicht nur von den mittleren Klimabedingungen eines Standortes ab, sondern vor allem von dem charakteristischen Witterungsablauf in der Vegetationsperiode. Die Wachstumsperioden für einige Kulturen werden sich um 3–4 Wochen verkürzen, an anderen Stellen aber auch verlängern, wobei nicht nur die Erntezeit, sondern auch die Entwicklungsstadien der Pflanzen betroffen sind. In fast allen bisherigen Untersuchungen fehlt die Betrachtung der in Zukunft häufiger oder neu auftretenden Wetterextreme. Aus einer vermeintlich ungefährdeten Landwirtschaft könnte dadurch eine stark betroffene werden.

*Folgen für die Landwirtschaft*

*Zunahme der  
Desertifikation*

Bereits bis zu 20 Mio. km<sup>2</sup> der Festlandsfläche sind von der Wüstenbildung erfasst, die auf falsche landwirtschaftliche und wasserwirtschaftliche Praktiken und Klimaänderung zurückzuführen ist. Das ist eine Fläche so groß wie USA und Kanada zusammen. Zurückhaltendere Schätzungen gehen von ca. 10 Mio. km<sup>2</sup> aus. Die jährliche Ausbreitungsrate beträgt in Mittelasien, Nordwestchina, Nordafrika und in der Sahelzone 0,5–0,7%. Bei 0,5% wird jährlich eine Fläche von 80.000 km<sup>2</sup> erfasst, was etwa der halben Größe Tunesiens entspricht. Verläuft die Entwicklung weiter ungebremst, so können im 21. Jh. nahezu alle Böden im ariden und semi-ariden Bereich betroffen sein. Der betroffenen Bevölkerung – ca. 1 Mrd. Menschen – wird dadurch die Grundlage ihrer Existenz entzogen. Die voraussichtliche künftige Klimaentwicklung wird die Desertifikation durch Stagnation oder Abnahme der Bodenfeuchte bei erhöhter Temperatur in vielen Trockengebieten noch verstärken.

*Intensivierung des  
Wasserkreislaufes*

*Wasserverfüg-  
barkeit und  
Wasserknappheit*

Mittlere Verdunstung und mittlerer Niederschlag werden im globalen Mittel dagegen um mindestens einige Prozent ansteigen, was zu einer erheblichen Intensivierung des Wasserkreislaufes führt. Die Niederschlagszunahme wird nach den Modellbefunden jedoch regional äußerst unterschiedlich sein. Der Verstärkungseffekt wird vorwiegend in Gebieten der inneren Tropen und der hohen Breiten erwartet, in denen teilweise ohnehin schon ausreichend Niederschlag beobachtet wird. In anderen Gebieten, so in einigen subtropischen Trockengebieten, wird der Niederschlag eher abnehmen, wodurch sich die Gegensätze zwischen trockenen und feuchten Klimaregionen verstärken. In weiten Teilen Europas kann mehr Niederschlag im Winter und weniger Niederschlag im Sommer erwartet werden. Die Häufigkeit von Starkniederschlägen soll ebenso wie die von Trockentagen in Europa zunehmen. Gleichzeitig steigt die Häufigkeit von einzelnen extremen Niederschlagsereignissen. Die Auswirkungen lassen sich bis jetzt nicht für bestimmte Regionen abschätzen. In einigen Gebieten leiden die Menschen bereits heute unter akuter Wasserknappheit, die sich durch den Klimawandel in vielen Gebieten weiter verschärfen wird. Mehr als 20% der Weltbevölkerung haben schon heute keinen ausreichenden Zugang zu sauberem Trinkwasser. Dadurch sind die Nahrungsmittelversorgung und die Volksgesundheit gefährdet. Das kann politische Krisen nach sich ziehen und eine Massenflucht aus Krisengebieten bewirken.

*Das Beispiel  
Afrika*

Im Februar und März 2000 wurden Mosambik (Jahreseinkommen pro Kopf ca. 80 US \$) wie auch Madagaskar (ca. 230 US \$) von einem lange anhaltenden großräumigen Hochwasser heimgesucht, das viele Opfer an Menschen und Sachgütern forderte sowie schwer zu reparierende Schäden in Natur und Infrastruktur hervorrief. Nach schon vorher starkem Niederschlag über Land wurde durch die sintflutartigen Regenfälle eines vom Indischen Ozean heranziehenden starken tropischen Wirbelsturms vollends die Flutkatastrophe ausgelöst. Entgegengesetzt kulminierte wenig später die Hungerkatastrophe im nordostafrikanischen Äthiopien (ca. 120 US \$), wo eine ungewöhnliche Dürre schon seit einigen Jahren anhält. In weiteren afrikanischen Ländern schreiten die ökologischen Zerstörungen voran. So nimmt in Mauretanien (ca. 500 US \$) die Wüstenbildung stark zu. Ist in Afrika der Klimawechsel schon Tatsache geworden? Wir können es noch nicht eindeutig bejahen, obwohl es viele Hinweise dafür gibt.

*Wann gibt es den  
Beweis für eine  
Klimaänderung?*

Die genannten und weitere wetter- bzw. klimabedingte Katastrophen sind nicht nur auf lokales Fehlverhalten sondern auch auf ausgedehnte und länger anhaltende Klima- und Witterungsanomalien zurückzuführen, die Bestandteil der Klimavariabilität sind. So wirken sich die starken El Niño- und La Niña-Ereignisse im Pazifik über Veränderungen der atmosphärischen Zirkulation der Tropen und Subtropen auf die Temperaturverhältnisse, aber vor allem auch auf die Häufigkeit und Intensität der Niederschläge an Land aus. Das Gebiet, in dem die Winde des Nordostpassates und die des Südostpassates aufeinander treffen, das man als innertropische Konvergenzzone bezeichnet, gehört zu den niederschlagsreichsten der Erde. Es liegt in Mittel etwas nördlich des Äquators und pendelt im Normalfall im Laufe des Jahres über einige Breitengrade hin und her. Ist dieser Rhythmus jedoch gestört und verlagert sich diese Zone unter dem Einfluss der großräumig veränderten Luftströmungen, dann können sich Gebiete mit tropischen Regenklimaten längere Zeit in Trockenzonen wandeln, während andere Gebiete demgegenüber einen nicht verkräftbaren Niederschlagsüberschuss erhalten. Je nach der Häufigkeit des Auftretens solcher Umstellungen kommt es in den betroffenen Gebieten zu neuen klimatologischen Normalwerten und damit zu einer Veränderung des Klimas. Bis wir allerdings feststellen können, dass dies schon jetzt der Fall ist, muss Jahrzehnte sorgfältig beobachtet werden. Diesem Dilemma der Klimatologen kann nur mit dem Vorsorgeprinzip bei Klimaschutzmaßnahmen begegnet werden.



Das oben Geschilderte ist aber nur ein Teil des afrikanischen Problems. Afrika mit nur ca. 14% der Weltbevölkerung trägt nur mit 3,2% zum globalen CO<sub>2</sub>-Ausstoss bei. Der Exekutiv-Direktor von UNEP, Klaus Töpfer sagte am 18.3.2000 in Berlin, dass die wahren Ursachen der afrikanischen Katastrophen bei den Industrieländern lägen, die den Löwenanteil der Emission von Treibhausgasen verursachen. Er nennt dies »ökologische Agression«. Die Folgen der klimatischen Anomalien, die sich in der Zukunft möglicherweise weiter verstärken, sind vielfach so gravierend, weil weitere gesellschaftliche und ökonomische Probleme hinzukommen. Es existiert nach wie vor eine teilweise noch wachsende Ungleichheit in den Wirtschaftsbeziehungen zwischen den Entwicklungsländern und den Industrieländern, die das allgemeine Niveau der meisten Länder Afrikas niedrig halten und so ökologisch falschen Bewirtschaftungsweisen Vorschub leisten. Ein Bevölkerungswachstum, das Fortschritte in der Landwirtschaft wieder auffrisst, die Vermittlung einer angemessenen Bildung für alle erschwert und nicht zuletzt die Zurückdrängung der Ausbreitung der Immunschwächekrankheit AIDS so gut wie unmöglich macht, ist zum Teil Folge dieses Ungleichgewichts. Die fortschreitende Abholzung des tropischen Regenwaldes und die Verschlechterung der Böden sind weitere gravierende Probleme. Eine der kaum kontrollierbaren Folgen ist das Aufflackern von Kriegen und Völkermord, wodurch Ökologie und Wirtschaft weiter entscheidend geschwächt und Hilfeleistungen von außen sehr erschwert werden. Am Beispiel Afrikas erkennt man, wie kompliziert es ist, die Folgen eines Klimawandels abzuschätzen und Maßnahmen zu treffen, die Schäden vermeiden oder zumindest mildern. Es kommt auch darauf an, wissenschaftliche Einrichtungen in den betroffenen Ländern nach Zahl und Qualität so einzurichten, dass, heute schon verfügbare Langfristprognosen über das Eintreten klimatischer Anomalien effektiv genutzt und unter Berücksichtigung der besonderen Bedingungen des jeweiligen Landes präzisiert werden können. Ähnliche gravierende Probleme wie in Afrika existieren auch in anderen Regionen der Welt, z.B. in Teilen Mittel- und Südamerikas.

*Betroffen sind  
oft nicht die  
Verursacher*

Die Erfolge der Klimapolitik sind bisher sehr bescheiden geblieben. Mit dem Protokoll von Kyoto ist jedoch seit Dezember 1997 eine erste nach Ratifikation bindende Vereinbarung von den Vertragsstaaten der Klimakonvention gezeichnet worden. Seine Ratifikation durch mindestens 55 Staaten ist zwar jetzt erreicht, noch nicht aber die 55 Prozentschwelle der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Jahres 1990 durch die ratifizierenden Staaten. Es fehlt zur Zeit (Juli 2002) nur noch Russland, das bei der 7. Vertragsstaatenkonferenz in Marrakasch im November 2001 eine Ratifizierung in Aussicht stellte. Dass die USA nicht mitmachen, ist schade, kann aber die völkerrechtliche Verbindlichkeit nicht torpedieren. Im Kyoto-Protokoll verpflichten sich die Industrieländer die Emissionen ihrer Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFCs und SF<sub>6</sub>) bis zum Zeitraum 2008 bis 2012 im Mittel um mindestens 5% unter das Niveau von 1990 zu drücken.

*Kyoto-Protokoll*

Tiefgreifende Klimaschwankungen haben immer wieder zur Verschiebung von Vegetationszonen geführt, so die Wechsel zwischen Kalt- und Warmzeiten im Pleistozän. Erste Abschätzungen darüber, welche Pflanzengesellschaften in welchen Regionen von einer Klimaänderung betroffen sein können, liefern Biosphärenmodelle. So folgt aus entsprechenden Modellrechnungen, daß sich bei der Verdoppelung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Atmosphäre die Tundra, die Taiga, die warmgemäßigten sommergrünen Wälder und die warmtemperierten immergrünen Wälder möglicherweise um bis zu 600 km polwärts verlagern werden. Die tropischen Regenwälder könnten sich ausdehnen. Diese Änderungen wären jedoch dann nur in den Regionen möglich, wo die Vegetation ungestört auf Klimaänderungen reagieren kann.

*Veränderung  
der globalen  
Vegetation*

Unklar bleibt, wie sich die Vegetation in den betroffenen Regionen tatsächlich anpassen wird. Wenn sich die Vegetationszonen wegen der beschleunigt eintretenden Erwärmung zu schnell verschieben würden, dann würde die Anpassungsfähigkeit vieler Pflanzen überfordert, was wiederum mit einer Änderung der Zusammensetzung der Pflanzengesellschaften verbunden wäre. Zu beachten ist auch, dass der zunehmende CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre direkt auf die Pflanzen einwirkt. So ist die Klimawirkung auf die Pflanze sehr komplex. Dazu gehört auch, dass sich der Abbau von organischem Material im Boden ebenso erhöhen wird wie die Evapotranspiration, d.h. die Gesamtverdunstung von Boden und Pflanze.

*Volkswirtschaftliche Folgen*

Häufigkeit und Schadenausmaß großer wetterbedingter Katastrophen haben in den letzten Jahrzehnten weltweit dramatisch zugenommen. So sind ihre Anzahl in den 1990er Jahren gegenüber den 1960er Jahren auf das Dreifache, die volkswirtschaftlichen Schäden – inflationsbereinigt – auf das Achtfache und die versicherten Schäden sogar auf das Sechszehnfache angestiegen. Es mehren sich die Indizien, dass die globale Erwärmung und der damit verbundene Anstieg des Meeresspiegels sowie die Intensivierung der Niederschlagsprozesse bereits heute merklich zu dem Katastrophentrend beitragen (neben anderen wichtigen Faktoren wie Bevölkerungs- und allgemeine Wertezunahme, Urbanisierung in Hochwassergebieten und wachsender Verwundbarkeit moderner Zivilisationen) und ihn in der Zukunft weiter verschärfen werden. Insgesamt werden die volkswirtschaftlichen Auswirkungen der erwarteten Klimaveränderungen bei einer Verdoppelung der Kohlendioxid-Konzentration auf mehrere hundert Mrd. US \$ pro Jahr geschätzt, d.h. auf etwa 1–2 % des jährlichen Bruttozialprodukts (BSP); sie können aber in einzelnen Ländern – z.B. in vom Meeresspiegelanstieg bedrohten Insel- und Küstenländern – über 10 % BSP hinausgehen. Die Versicherungswirtschaft muss sich im eigenen Interesse maßgeblich an den Vorsorgemaßnahmen beteiligen, also u.a. Klimaschutzaspekte bei ihren Investitionsentscheidungen berücksichtigen sowie auch die vom eigenen Geschäftsbetrieb und Grundbesitz ausgehenden schädlichen Umwelteinflüsse verringern. Außerdem kann sie durch eine geeignete Gestaltung der Versicherungsprodukte ihre Kunden, aber auch die Behörden, zu mehr Schadenvorsorge motivieren und gleichzeitig ihre eigenen Schadenpotentiale begrenzen. Nur so wird es gelingen, die Deckungsangebote gegen sogenannte Naturgefahren im gegenwärtigen Umfang zu akzeptablen Preisen aufrecht zu erhalten.

*Einfluss auf die Gesundheit des Menschen*

Es wird befürchtet, dass Klimaänderungen über Störungen der globalen Umweltbedingungen einen bedeutsamen, überwiegend negativen Einfluss auf die Gesundheit der Menschheit haben werden. Häufigere und intensivere Hitzewellen, zusätzlich verschärft durch den urbanen Wärmeinseleffekt in den unkontrolliert wachsenden Megacities, sowie Wetterextreme werden sich direkt in einer Zunahme der Todesfälle abbilden. Auf Grund der Klimaabhängigkeit bei der Verteilung zahlreicher, insbesondere tropischer Infektionskrankheiten wie etwa der Malaria wird der Zusammenhang zur Klimaänderung besonders deutlich. Bereits jetzt leben etwa 45% der Weltbevölkerung in Malariagebieten. Bis 2080 sollen 260–320 Millionen durch die Ausweitung der Verbreitungsgebiete dazukommen. In Mitteleuropa könnten durch Zecken übertragene Infektionskrankheiten zu einem größeren Problem werden. Die Verwundbarkeit der Bevölkerungen – dies beschreibt sowohl die Empfindlichkeit gegenüber Klimaänderungen wie auch die Fähigkeit zur Anpassung (vorsorglich oder reaktiv) – ist in den Ländern sehr unterschiedlich ausgeprägt. Sie hängt stark von sozioökonomischen Bedingungen ab. Im Sinne des Vorsorgeprinzips müssen trotz existierender Unsicherheiten Gegenmaßnahmen rechtzeitig eingeleitet werden.

---

**D**IESE BEISPIELE MÖGEN GENÜGEN, UM DEUTLICH ZU MACHEN, DASS DER TIEFGREIFENDE KLIMAWANDEL IN DIESEM BEGINNENDEN JAHRHUNDERT DAS UMWELTPROBLEM NR. 1 IN DER WELT WERDEN WIRD. DIE KLIMAFORSCHUNG MUSS MIT VERBESSERTEM VERSTÄNDNIS DES KLIMASYSTEMS UND SEINER UMFASSENDEN MODELLIERUNG DAZU BEITRAGEN, DASS DIE KONTUREN DIESES KLIMAWANDELS ZUSEHENDS KLARER WERDEN. ES SOLL HIER KEINESWEGS VON EINER KLIMAKATASTROPHE GESPROCHEN WERDEN. DIE FOLGEN WERDEN IN EINIGEN REGIONEN ZWAR KATASTROPHAL SEIN, IN ANDEREN WERDEN SIE EHER VERKRAFTBAR UND IN ANDEREN FÜR BESTIMMTE SEKTOREN Sogar POSITIV SEIN. DAS BEDROHLICHSTE IST INDES, DASS DER MENSCH DIE ZUSAMMENSETZUNG DER ATMOSPHERE GESTERN WIE HEUTE OHNE BERÜCKSICHTIGUNG DER FOLGEN FÜR NATUR UND GESELLSCHAFT VERÄNDERT. ES IST DAS UNBESTREITBARE VERDIENST DER KLIMAFORSCHUNG, DIE MENSCHGEMACHTE GLOBALE KLIMAÄNDERUNG DER BREITEN ÖFFENTLICHKEIT BEWUSST GEMACHT ZU HABEN. EINE REAKTION WAR DIE ETABLIERUNG DER KLIMAPOLITIK, DIE DEM HEMMUNGSLOSEN MISSBRAUCH DER ATMOSPHERE EINHALT ZU GEBIETEN SUCHT. EINSCHRÄNKUNG DER EMISSIONEN, KLIMASCHÜTZENDER UMGANG MIT DEN WÄLDERN, WEITERE ENTWICKLUNG DER KLIMAFORSCHUNG, STUDIUM DER MÖGLICHEN FOLGEN DES KLIMAWANDELS UND TRAINING VON ANPASSUNG – DAS SIND EINIGE HAUPTLINIEN ZUR ERFÜLLUNG DER KLIMAKONVENTION UND DAMIT ZUR ANNÄHERUNG AN EINE NACHHALTIGE ENTWICKLUNG.

H. Graßl, P. Hupfer, J. L. Lozán

*Die hier nur angerissenen Probleme sind von führenden Wissenschaftlern im Buch »CLIMATE OF THE 21ST CENTURY: CHANGES AND RISKS – Scientific Facts« (siehe S.19) ausführlicher dargelegt worden.*

**Warnsignale aus Nordsee & Wattenmeer** (2003) ca. 400 S. mit ca.150 Abb. EUR 25,-\*

Hrsg.: José L. Lozán / Eike Rachor / Karsten Reise / Jürgen Sündermann / Hein v. Westernhagen

**Warnsignale aus der Ostsee** (1996) 385 S. mit 210 Abb., 15 Tafeln und 47 Tab. EUR 21,- EUR 15,-

Hrsg.: José L. Lozán / Reinhard Lampe / Wolfgang Matthäus / Eike Rachor / Heye Rumohr / Hein v. Westernhagen

**Warnsignale aus Flüssen und Ästuaren** (1996) 398 S. mit 160 Abb., 4 Tafeln und 60 Tab. EUR 21,- EUR 15,-

Hrsg.: José L. Lozán / Hartmut Kausch

**Warnsignale aus dem Wattenmeer** (1994). 387 S. mit 205 Abb., 4 Tafeln und 41 Tab. vergriffen.

Hrsg.: José L. Lozán / Eike Rachor / Karsten Reise / Hein v. Westernhagen / Walter Lenz

**Warnsignale aus der Nordsee** (1990) 428 S. mit 186 Abb., 4 Tafeln und 54 Tab. EUR 20,- EUR 15,-

Hrsg.: José L. Lozán / Walter Lenz / Eike Rachor / Burkard Watermann / Hein v. Westernhagen

(\* 20% Rabatt leichte fehlerhafte Exemplare)

Die Darstellungen in den o.g. Büchern vermitteln dem Leser eine umfassende Beschreibung der wichtigsten aquatischen Lebensräume Europas. Die Nordsee und das Wattenmeer sowie die Flüsse: Donau, Elbe, Rhein, Weser – umgeben von dicht besiedelten und hochindustrialisierten Regionen – werden vielfältig genutzt. Die Ostsee ist das größte Brackwassermeer der Erde. Aufgrund ihres geringen Wasseraustausches mit der Nordsee und einer Besiedlungsdichte von ca. 85 mill. Menschen ist stark gefährdet. Der Schutz dieser Gewässer ist eine echte Herausforderung unserer Gesellschaft.

**CLIMATE OF THE 21st CENTURY: Changes and Risks – Scientific Facts**

**Editors: José L. Lozán, Hartmut Graßl, Peter Hupfer (Englisch)**

**2001 • 448 Seiten • EURO 30,- • ISBN 3-00-006227-0**

Das Klima des 21. Jahrhunderts wird wesentlich durch die Menschheit mitbestimmt sein. Der Leser findet im vorliegenden Buch Informationen über die zukünftige Entwicklung von Lufttemperatur, Niederschlägen, Meeresspiegel, Gebirgsgletschern, großen Eisschilden, Meereisdecke, Permafrost, Desertifikation u.a sowie über die Folgen für Pflanzen und Tiere, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Wasserverfügbarkeit, Gesundheit des Menschen und Stadtklima. Ergänzend wird ein Überblick über die Klimageschichte und die gegenwärtige Klimabeeinflussung gegeben. Seit Beginn der Industrialisierung beeinflusst der Mensch zunehmend das Klima der Erde vor allem durch den Gebrauch fossiler Energieträger und durch die Vernichtung der Wälder. Allein der Kohlendioxidgehalt hat sich bis heute um 30% erhöht und droht, sich bis zum Jahr 2035 zu verdoppeln, wenn die Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen nicht konsequent angewandt werden. Die Temperatur kann viel schneller ansteigen und Werte erreichen, die die Menschheit noch nicht erlebt hat. 1990, 1995, 1998 und 2000 waren die wärmsten Jahre des 20. Jahrhunderts. Viele der in den 1980er Jahren für das 21. Jahrhundert prognostizierten Veränderungen wie Erwärmung, Anstieg des Meeresspiegels, Zunahme von Infektionskrankheiten können bereits heute in Anfängen festgestellt werden

**Warnsignal Klima / Das Klima des 21. Jahrhunderts (vergriffen)**

**Herausgeber: José L. Lozán, Hartmut Graßl, Peter Hupfer (Deutsch)**

**1998 • 464 Seiten • EURO 26,- • ISBN 3-00-002925-7**

**Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler José L. Lozán / Hartmut Kausch  
3. Aufl.2004 • 300 S. • EURO 34,- (m. leichten Fehlern ermäßigt) ISBN 3-00-012119-6**

In diesem praxisbezogenen Buch werden die am häufigsten verwendeten biostatistischen Methoden und Verfahren in der Naturwissenschaft behandelt. Knapp 100 parametrische und parameterfreie Tests werden ohne mathematische Ableitung zusammengefaßt und ihre Anwendung mit Hilfe von Beispielen erläutert. Sie sind leicht nachzuvollziehen, so daß auch Anfänger der Anstieg in die Statistik wesentlich erleichtert wird. Als Ergänzung zum Buch wurde das Programm STATEasy für Windows entwickelt.

**Statistik-Programm: STATEasy für Windows Copyright (1990–2002) José L. Lozán**

STATEasy ist genau so strukturiert wie das Buch ANGEWANDTE STATISTIK FÜR NATURWISSENSCHAFTLER und ist das am leichtesten zu bedienende Statistik-Programm mit vielen Hinweisen in Text-Form. Außerdem prüft STATEasy, ob die Voraussetzungen zur Anwendung eines parametrischen Tests erfüllt sind. Bei Nicht-Erfüllung der Voraussetzungen werden Vorschläge zur Anwendung eines anderen Verfahrens gemacht. Das Programm eignet sich für Anwender, die nur ab und zu statistische Arbeiten durchführen, da das Lesen einer umfangreichen Bedienungsanleitung nicht erforderlich ist. STATEasy verwendet eine Excel-Arbeitsmappe zur Eingabe der Daten. Unterstützt wird EXCEL der Versionen 3.0 bis Excel2000.

**Direkte Bestellung: Büro Wissenschaftliche Auswertungen**

Dr. J. L. Lozán • Imbekstieg 12 • 22527 Hamburg  
 Tel. 040 4304038 • Tel. 040 42838 6676 • e-mail: JLLozan@t-online.de  
 Fax 040 4304038 • Fax 040 42838 6696 • e-mail: Lozan@uni-hamburg.de

# WISSENSCHAFTLER INFORMIEREN DIREKT

(Ein Beitrag zum globalen Klimaschutz)

Mit freundlicher Unterstützung von:



Forschungszentrum Jülich  
<http://www.fz-juelich.de>



Universität Hamburg  
<http://www.uni-hamburg.de>



Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI)  
<http://www.mpimet.mpg.de>



Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)  
<http://www.pik-potsdam.de>



Zentrum für marine und atmosphärische Wissenschaften (ZMAW), Hamburg



Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL)  
<http://dgl.igb-berlin.de>



Deutsche Gesellschaft für Meeresforschung (DGM)  
<http://www.meeresforschung.de/DGM>



WWF Deutschland  
<http://www.wwf.de>



Das Reportage-Magazin  
<http://www.geo.de/>

## Neue Bücher (siehe Seite 19)

