

In Kooperation mit

GEO

Verlag
Wissenschaftliche Auswertungen



WARNSIGNAL KLIMA

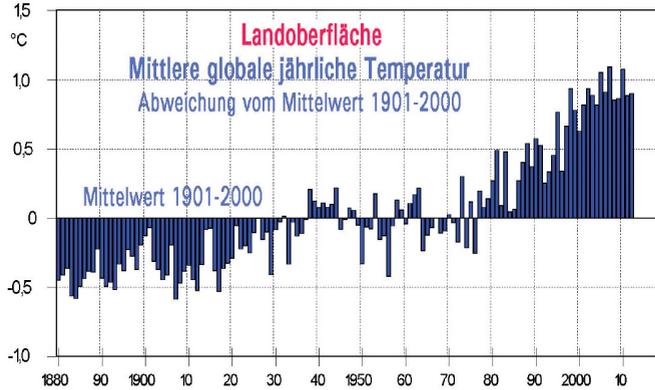
Die Polarregionen

Gebiete höchster Empfindlichkeit
mit weltweiter Wirkung

Herausgeber:
José L. Lozán
Hartmut Graßl
Dieter Piepenburg
Dirk Notz

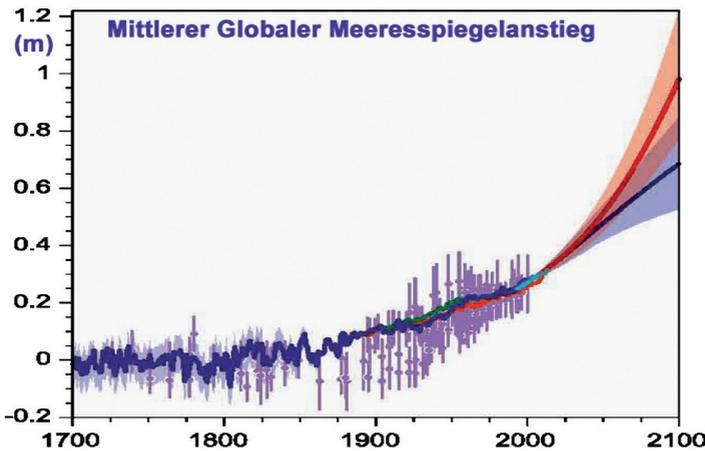
Der Klimawandel

Seit Mitte des 20. Jahrhunderts steigt unter Schwankungen die bodennahe Temperatur weltweit an. Die 10 wärmsten Jahre seit dem Beginn zuverlässiger Messungen Ende des 19. Jahrhunderts liegen allesamt zwischen 1998 und 2013. Die vier wärmsten Jahre waren 2005 mit 1,05 °C, 2007 mit 1,09 °C, 2010 mit 1,07 °C und 2013 mit 0,99 °C über dem Mittelwert 1901-2000. Die höchsten Erwärmungsbeträge werden im Breitengürtel zwischen 40° und 90° N (zwischen Mittelspanien und Nordnorwegen) über den Kontinenten im Winter und Frühjahr beobachtet. Im Durchschnitt liegt heute die globale bodennahe Lufttemperatur um 0,9 °C höher als der Mittelwert 1901-2000 (13,9 °C) (Tafel 1) (s. www.warnsignal-klima.de). Nach dem 5. Sachstandsbericht des IPCC ergeben die Untersuchungen des Klimasystems der Erde, dass über 90% der aufgenommenen Wärme während der Zeit 1971-2010 in die Ozeane floss. Es ist sicher, dass sich zumindest die obere Wasserschicht (0-700 m Wassertiefe) erwärmt hat. In dieser Zeit betrug die Erwärmung in den oberen 75 m 0,11 °C/Jahrzehnt (Tafel 3). Der globale mittlere Meeresspiegelanstieg (GMSLR) ist von etwa 1,7 mm/Jahr vor vier Jahrzehnten auf jetzt etwa 3 mm/Jahr angestiegen. Der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC; Zwischenstaatlicher Ausschuss über Klimaveränderung) (2013) gibt für den Zeitraum 1993-2010 einen beobachteten GMSLR von 3,2 mm/Jahr an. Insgesamt stieg der GMSLR von 1901-2010 um 19 cm an. Regional weicht der relative Meeresspiegelanstieg vom GMSLR stark ab.

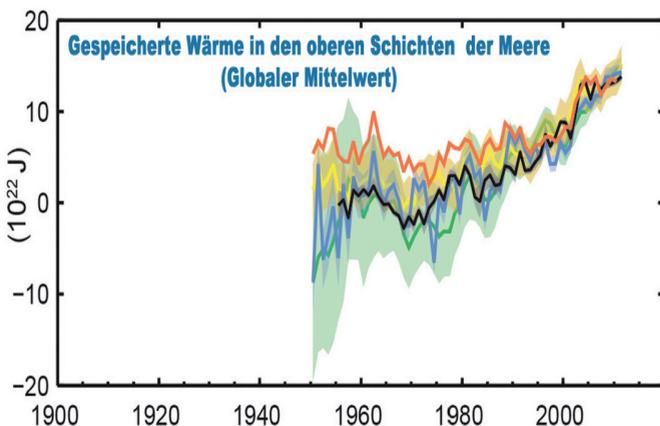


Tafel 1: Entwicklung der global gemittelte bodennahen Temperatur über Land im Zeitraum 1864 bis 2012. Die Temperatur ist als Abweichung vom Mittelwert 1901-2000 dargestellt. Im Zeitraum 1864 bis 2012 betrug die globale Erhöhung der bodennahen Temperatur etwa 0,9 °C.

Seit den 1950er Jahren nimmt die Temperatur der Meeresoberfläche zu und liegt zurzeit etwa 0,5 °C über dem langfristigen Mittelwert von 1901-2000. Die Temperaturerhöhung der Meere ist geringer als die der Landfläche; das liegt daran, dass die Wärmekapazität von Wasser deutlich höher ist und sich die Wärme überdies innerhalb der oberen Schichten des Ozeans durch Durchmischungsprozesse verteilt (Daten NCDC, NOAA).



Tafel 2: Veränderungen des globalen mittleren Meeresspiegelanstiegs (GMSLR) während des Zeitraums 1700-2012 (erstellt unter Verwendung von Pegeldaten sowie paläoklimatologischen und altimetrischen Befunden) und Vorhersagen für seinen künftigen Anstieg bis 2100 in den Klima-Szenarien RCP 2,6 (blau) und RCP 8,5 (rot) (IPCC 2013a).

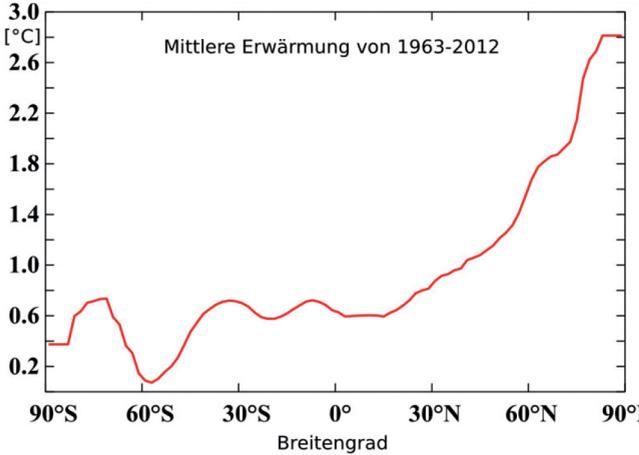


Tafel 3: Veränderung der gespeicherten Wärme (in 10^{22} Joule) in den oberen Wasserschichten der Ozeane während des Zeitraums 1950-2010 nach unterschiedlichen Schätzungen.

Der weitaus größte Anteil (>90%) der in den letzten Jahrzehnten vom Klimasystem zusätzlich aufgenommenen Wärme (1971-2010) floss letztlich in die Ozeane. Es ist sicher, dass sich zumindest die obere Wasserschicht (0-700 m Wassertiefe) erwärmt hat. In der Zeit 1971-2010 betrug die Erwärmung in den oberen 75 m 0,11 °C/Jahrzehnt (IPCC 2013b).

Die Polarregionen

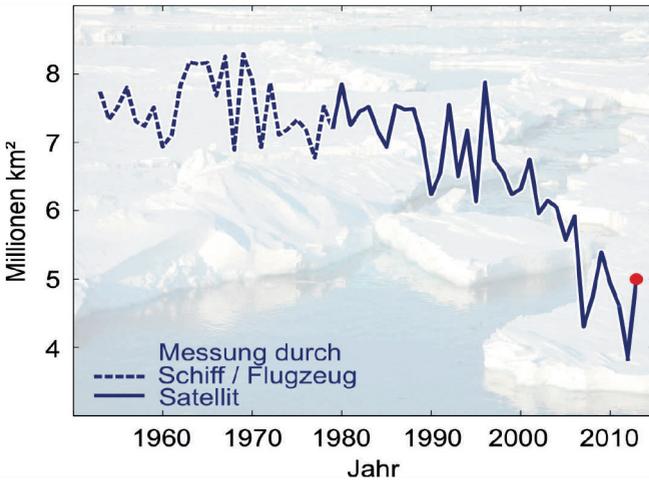
Die Erderwärmung erfolgt nicht gleichmäßig. Die Lufttemperatur steigt in den gebirgigen Regionen und vor allem in der Arktis schneller als im globalen Mittel. *Tafel 4* zeigt, dass die Erwärmung zwischen 40°N und 90°N höher ausgefallen ist als in den anderen Regionen. Die schnellere Erwärmung in der Arktis führt zu einer raschen Abnahme des Meereises vor allem während der Sommermonate. Im September der letzten Jahre hat sich die Ausdehnung des Meereises im Vergleich zu den 1950er Jahren etwa halbiert (*Tafel 5*). Ein ähnliches Bild zeigt die Entwicklung der Schneebedeckung in der Nordhemisphäre (s. *Abb. 4.11-4*). Aus *Tafel 6* ist ersichtlich, dass die Ausdehnung des Oberflächenschmelzens auf dem grönländischen Eisschild in den letzten Jahren stark zugenommen hat. Zurzeit verliert Grönland ca. 300 km³ Eis/Jahr. Das führt zu einem globalen mittleren Meeresspiegelanstieg von 0,8 mm/Jahr.



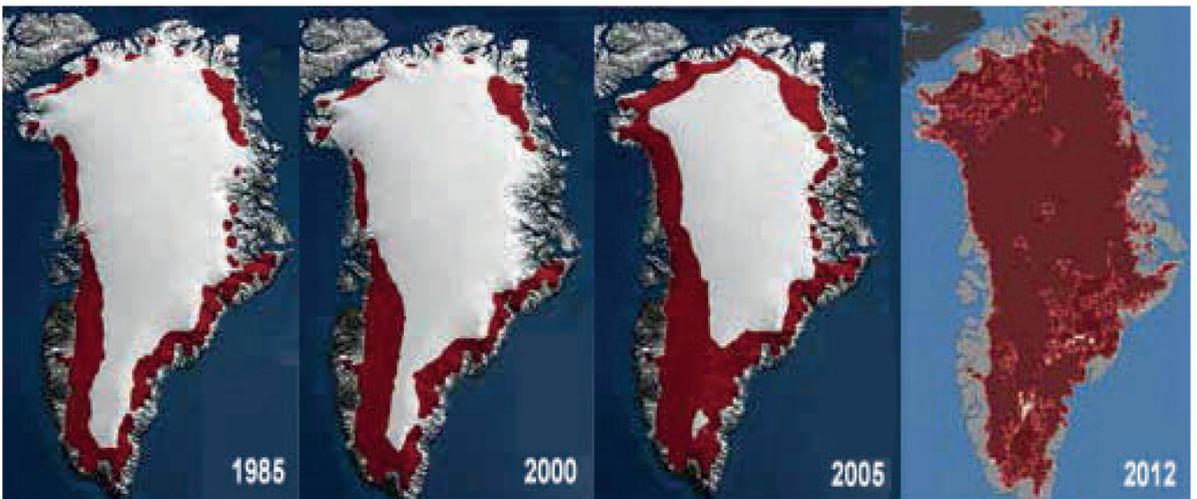
Tafel 4: Entlang der Breitenkreise gemittelte Temperaturentwicklung im 50 Jahreszeitraum 1963-2012. Die Abbildung zeigt die Erwärmung unter der Annahme, dass die Daten einer einzelnen Messstation Beiträge aus einem Umkreis mit einem Radius von 1.200 km enthalten (Quelle: NASA/GISS Oberflächentemperatur).

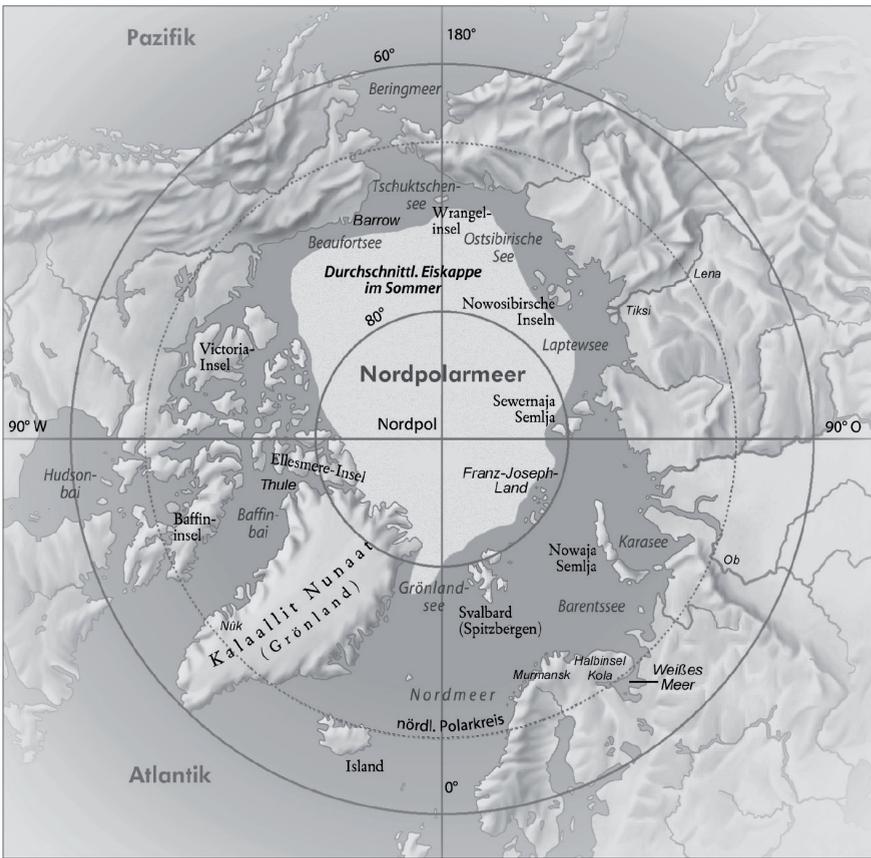
Tafel 5: Entwicklung der sommerlichen Meereisbedeckung in der Arktis.

Die Daten zeigen die starke Abnahme der Meereisausdehnung in den letzten Jahren. Verglichen mit der Ausdehnung in den 1950er Jahren hat sich die eisbedeckte Fläche fast halbiert. Der niedrigste bisher gemessene Wert der Eisausdehnung wurde mit etwa 4 Mio. km² im September 2012 erreicht. Die hier gezeigten Daten für den Zeitraum 1953-1978 stammen primär aus Schiff- und Flugzeugmessungen, die Daten ab 1979 aus Satellitenmessungen. (Datensatz bis 1978: HadISST, ab 1979: NSIDC Sea-ice-Index).



Tafel 6: Satellitenmessungen des Oberflächenschmelzens in Grönland zwischen 1985 und 2012. Die rot gefärbte Fläche stellt Gebiete dar, in denen zumindest an drei Tagen in der Zeit zwischen dem 1. Mai und 30. September Schmelzen zu beobachten war (Quelle: NASA 2012: Greenland: Annual accumulated days of melt. NASA Scientific Visualization Studio, Goddard Space Flight Center).



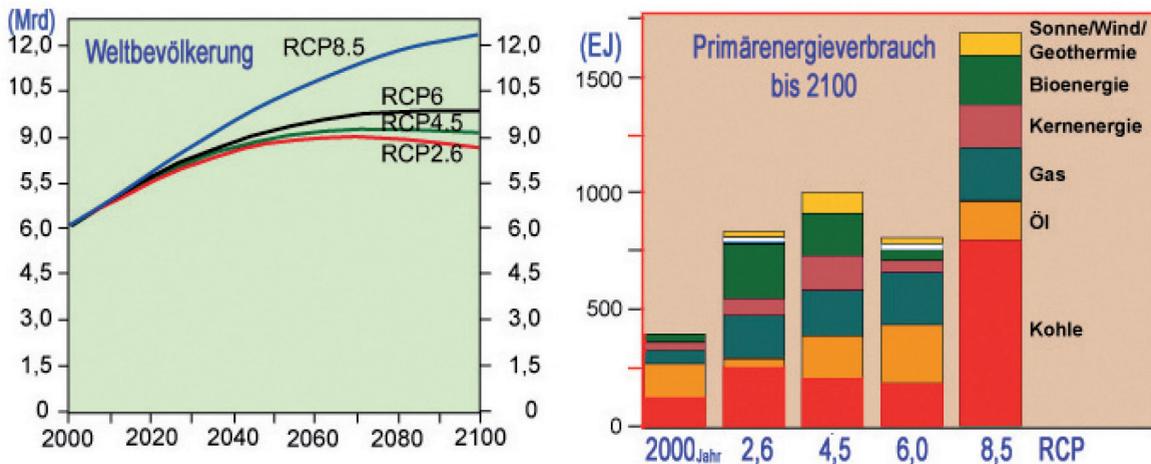


Tafel 7: Das Nordpolarmeer nimmt in der Arktis eine zentrale Stellung ein. Das 12,26 Mio. km² große und bis 5.449 m tiefe Nordpolarmeer wird auch Arktischer Ozean, Nördliches Eismeer; Arktik oder Arktisches Mittelmeer genannt. Grönland, die größte Insel der Erde ist mit einer Fläche von ca. 2,2 Mio. km² mehr als 6 mal so groß wie Deutschland. Davon sind nur rund 341.700 km² (15,5%) eisfrei. Dort kommen hohe Gebirge vor. Der höchste Gipfel ist der ca. 3.700 m hohe Gunnbjørn Fjeld. Die Anzahl der Forschungsstationen in der Arktis ist recht groß (Weitere Details in Tafel 6 - Warnsignale aus dem Polarregionen - Lozán et al. 2006).



Tafel 8: Der etwa 13,2 Mio. km² große Kontinent Antarktika (2,7 Mio. km² größer als Europa) und das zirkumpolare Südpolarmeer. Das höchste Gebirge, das Vinson-Massiv erreicht 5.140 m Höhe. Während die Staatsgrenzen in der Arktis gut definiert sind, ist die völkerrechtliche Lage in der Antarktis komplizierter. Zum Antarktisvertrag gehören Anspruchsstaaten, die geographisch nahe liegen und weit entfernte Nichtanspruchsstaaten wie USA, Russland, Deutschland, die die territorialen Ansprüche der anderen Staaten nicht anerkennen. Es besteht Einigkeit darüber, dass die Antarktis nur für friedliche Zwecke genutzt werden soll und dass die Freiheit zur wissenschaftlichen Forschung gewährleistet wird. Dadurch besitzen mehrere Länder dort eine Forschungsstation. Insgesamt gibt es zur Zeit 82 Stationen. Die Position von 24 davon sind hier eingezeichnet (s. Warnsignale aus den Polarregionen, 2007 - Klaptext). Eine hohe Zahl von Stationen (36) befindet sich auf der Antarktischen Halbinsel (Quelle: GEO-Grafik, Rainer Droste).

Tafel 9: Für den neuen IPCC-Sachstandsbericht hat man vier »Repräsentative Konzentrationspfade« (Representative Concentration Pathways - RCPs) entwickelt, die unterschiedlichen Entwicklungen anthropogener Treibhausgasemissionen in den nächsten Jahrzehnten entsprechen. Die vier Szenarien werden gemäß dem jeweiligen zusätzlichen Strahlungsantrieb bis zum Jahr 2100 gegenüber den Werten von 1750 definiert (Zunahme in W/m^2 , z.B. entspricht RCP8.5 einem anthropogenen Strahlungsantrieb von $8.5 W/m^2$) (Siehe **Tafel 10**). Ergänzende Szenarien bis 2300 werden als »Extended Concentration Pathways (ECPs)« bezeichnet (van Vuuren et al. 2011: The overview paper. Climate Change, Vol 109:5-31).



Die angenommene Entwicklung der Weltbevölkerung für die vier Szenarien bis 2100 ausgehend von 6 Mrd. im Jahr 2000 (links) und der berechnete Einsatz an Primärenergie je nach RCP (rechts). Dadurch ergeben sich verschiedene Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre und Anstöße zu Klimaänderungen (Eigene Grafik D. Kasang nach van VUUREN et al. 2011):

Treibhausgase im Jahre 2100 (CO_2 -äquivalent in ppm): 1370 (RCP8,5) • 850 (RCP6,0) • 650 (RCP4,5) • 400 (RCP2,6)

Emittierte Verbindung		Resultierende Gase und Partikel	Strahlungsantrieb durch Emissionen und ihre Folgeprodukte		
Anthropogene Einflüsse	Langlebige Treibhausgase	CO_2	CO_2	1.68 [1.33 to 2.03]	VH
		CH_4	CO_2 H_2O^{str} O_3 CH_4	0.97 [0.74 to 1.20]	H
		Halogenierte Kohlenwasserstoffe	O_3 CFCs HCFCs	0.18 [0.01 to 0.35]	H
		N_2O	N_2O	0.17 [0.13 to 0.21]	VH
	Kurzlebige Gase und Aerosole	CO	CO_2 CH_4 O_3	0.23 [0.16 to 0.30]	M
		NM VOC	CO_2 CH_4 O_3	0.10 [0.05 to 0.15]	M
		NO_x	Nitrate CH_4 O_3	-0.15 [-0.34 to 0.03]	M
	Aerosole und Vorläufergase (Mineralstaub SO_2 , NH_3 , Organisch, Kohlen. und Ruß)	Mineralstaub Sulfate Nitrate Organischer Kohlenstoff Ruß		-0.27 [-0.77 to 0.23]	H
		Durch Aerosole geänderte Wolkenbildung		-0.55 [-1.33 to -0.06]	L
		Albedo: Bodennutzungsänderung		-0.15 [-0.25 to -0.05]	M
Natürliche	Änderung der Sonne		0.05 [0.00 to 0.10]	M	
Änderung des Strahlungsantriebs gegenüber den Werten im Jahr 1750 in W/m^2			2011	2.29 [1.13 to 3.33]	H
			1980	1.25 [0.64 to 1.86]	H
			1950	0.57 [0.29 to 0.85]	M

Tafel 10: Strahlungsantrieb (RadOrekt und indirekt) durch anthropogene Treibhausgase, Aerosole und Landnutzung bezogen auf 1750 (IPCC 2013).

Vertrauensniveau: VH = sehr hoch; H = hoch; M = Mittel; L = niedrig

Vorwort

Die Polarregionen üben trotz ihrer abgelegenen Lage einen erheblichen Einfluss auf das Weltklima aus. Dies hängt besonders mit den bedeutenden Kopplungsprozessen zwischen der sogenannten Kryosphäre (Eisschilde, Meereis, Schnee und Permafrost) und der atmosphärischen sowie ozeanischen Zirkulation zusammen. Die Polarregionen mit ihren großen Eisschilden über Grönland und dem antarktischen Kontinent beherbergen mehr als 99% des Eisvolumens der Erde. Selbst geringe Schwankungen im polaren Eisvolumen werden zu merklichen Veränderungen des Meeresspiegels führen, und ein Abschmelzen aller Eisschilde würde einen globalen Anstieg des Meeresspiegels um etwa 70 m bewirken.

Der Vergleich zwischen den nördlichen und südlichen Polarregionen ergibt signifikante Unterschiede. Der nördliche ($66^{\circ} 30'$ N) und südliche ($66^{\circ} 30'$ S) Polarkreis stellen die geographische Grenze der Arktis und Antarktis dar. Während der größte Teil der Antarktis durch den Kontinent Antarktika eingenommen wird, befindet sich im zentralen Bereich der Arktis das mit Eis bedeckte Nordpolarmeer. Nur die südliche Hälfte der Arktis wird durch die nördlichen Bereiche des asiatischen, europäischen und amerikanischen Kontinentes erreicht. Diese Verbindung zum kontinentalen Festland erlaubt in Gebieten mit relativ günstigen klimatischen Bedingungen eine Besiedlung mit Pflanzen, Tieren und sogar Menschen. Dies ist in der Antarktika nur wenig möglich, da der Kontinent durch einen Ringozean (Südozean) von den anderen Kontinenten getrennt ist und die dort herrschenden klimatischen Bedingungen für das Leben erheblich ungünstiger sind.

Die Prognosen der 1980er und 1990er Jahre für das Klima des 21. Jahrhunderts haben sich bisher im Wesentlichen bestätigt; sie waren noch sehr vorsichtig. Die heutigen Befunde zeigen, dass sich das Klima eher schneller ändert als erwartet. Die während des 20. Jahrhunderts beobachtete mittlere Erderwärmung von $0,6^{\circ}\text{C}$ hat sich

fortgesetzt - wenn auch nicht so schnell wie in den 1990er Jahren. Die zehn wärmsten Jahre seit Beginn der Messungen in 1880 fallen in den Zeitraum 1998 bis 2012. Im Durchschnitt liegt heute die bodennahe Lufttemperatur über $0,9^{\circ}\text{C}$ höher als zum Beginn des 20. Jahrhunderts. Aufgrund unterschiedlicher Faktoren ist die Erwärmung in der nördlichen Polarregion (60° bis 90° N) erheblich stärker ($1,6$ bis $2,8^{\circ}\text{C}$).

Die Folgen sind vielfältig. Die Gebirgsgletscher nehmen stark ab, das arktische Meereis schrumpft auf ein Rekordminimum und die Gefahr eines weiträumigen Abtauens von Permafrostgebieten steigt. Der Meeresspiegel steigt heute schneller als im Mittel des 20. Jahrhunderts. Kleine Inseln und tief liegende Küstenregionen, vor allem in den Entwicklungsländern, die nicht in der Lage sind, wirksame Hochwasserschutzmaßnahmen zu treffen, sind stark bedroht. Die Besiedlungsdichten von Organismen, die auf, im und unter der polaren Meereisdecke leben, werden drastisch schrumpfen. Viele dieser Arten, z.B. Eisbären, sind unmittelbar auf das Vorkommen von Meereis angewiesen und können nirgendwo hin ausweichen. Die größte Gefahr ist durch den Rückzug der Permafrostgebiete gegeben. Riesige Mengen an Kohlenstoff, die oft während Millionen von Jahren in diesen Frostböden gebunden waren, werden als Treibhausgase CH_4 und CO_2 freigesetzt und die Erwärmung der Erde noch weiter beschleunigen. Wir befinden uns in den Anfängen eines Klimawandels, der bei fehlendem Klimaschutz zu Temperaturen führen kann, wie sie die Erde seit mindestens einer Million Jahre nicht mehr erlebt hat. Zahlreiche Studien zeigen unmissverständlich, dass der Mensch maßgeblich das Klima der Erde beeinflusst.

Die Erwärmung stößt sehr langfristige Prozesse an, die sich über Jahrhunderte und Jahrtausende auswirken werden. Beispielsweise dauert die Anpassung des Ozeaninneren an die Erwärmung der Oberfläche und Atmosphäre sehr lange. Die thermische

Ausdehnung des Meereswassers wird sich als Meeresspiegelanstieg über Jahrhunderte fortsetzen, selbst wenn die Treibhausgaskonzentrationen nicht mehr steigen sollten

Die vorliegende Veröffentlichung ist zum Teil auf der Grundlage des im Jahr 2006 erschienenen Buches »Warnsignale aus den Polarregionen« konzipiert. Etwa die Hälfte der 52 Kapitel ist völlig neu und von anderen Autoren verfasst worden. Bei den restlichen Kapiteln handelt es sich um aktualisierte Texte. Rund 100 Wissenschaftler aus führenden Institutionen in Deutschland und benachbarten Ländern beteiligten sich an dem aktuellen Buch, das in fünf große Abschnitte eingeteilt ist. In Abschnitt 1 werden die Polarregionen geographisch und geologisch beschrieben. Großen Wert wird dabei auf die Geschichte der ersten Expeditionen in die Polarregionen, ihre heutige wirtschaftliche Bedeutung sowie die dort lebenden indigenen Völker gelegt. Das Eis und die Meeresströmungen in und um die Polarregionen stehen im Mittelpunkt von Abschnitt 2. Der folgende Abschnitt 3 befasst sich mit der Flora und Fauna der Arktis und Antarktis sowie ihren heutigen und zukünftigen Gefährdungen. Auf die große Rolle der Polarregionen für das Weltklima wird in Abschnitt 4 eingegangen. Im letzten Abschnitt 5 werden schließlich die Forschungsaktivitäten dargelegt und vor allem die Störungen der Umwelt in den Polarregionen sowie der Schutz der dortigen Umwelt und sowie die Gesundheitsgefährdungen der dort lebenden Menschen beleuchtet.

Dieses Werk dient der Erfüllung der Pflicht der Wissenschaftler, die Öffentlichkeit fundiert, kritisch und allgemeinverständlich

über gesellschaftlich und wissenschaftlich relevante Themen zu informieren. Wie oben dargestellt, laufen die Veränderungen in der Arktis oft schneller ab als anderenorts auf der Erde, und sie haben gravierende Folgen für lokale Pflanzen und Tiere, aber auch für die ganze Erde. Das Buch aktualisiert zum Teil das 2004 im Auftrag des Arktischen Rates durchgeführte Arctic Climate Impact Assessment, dessen Ergebnisse auf 1.500 Seiten veröffentlicht worden sind (ACIA 2004).

Die im Buch zusammengestellten Fakten stellen eine wissenschaftliche Grundlage nicht nur für die politischen Entscheidungsträger dar, die für die Festlegung der nationalen und internationalen Rahmenbedingungen zum Klimaschutz verantwortlich sind, sondern auch für so genannte »Multiplikatoren«, wie zum Beispiel Vertreter der Wirtschaft und der Medien sowie Lehrer, die eine besondere Verantwortung in unserer Gesellschaft tragen. Dieses Buch ist also mehr als eine dringende Warnung.

Für die Lieferung der Beiträge drücken wir den Autoren unseren Dank aus. Für die kritische Durchsicht der Manuskripte und konstruktive Verbesserungsvorschläge sind wir den Gutachtern zu Dank verpflichtet.

Durch Druckkostenzuschüsse unterstützten das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, die Beatrice Nolte Stiftung für Natur- und Umweltschutz, das Max-Planck-Institut für Meteorologie, KlimaCampus Hamburg, das Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, das Forschungszentrum Jülich und die Deutsche Gesellschaft für Polarforschung unsere Bemühungen, dieses Werk einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Die Herausgeber

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Liste der Autoren und Gutachter	9
1 Land, Leute und Bodenschätze	11
1.1 Die Arktis und ihre Grenzen: Eine physisch-geographische Einführung (Jörg-Friedhelm Venzke)	11
1.2 Geologische Entwicklung und tektonischer Bau der Antarktis (Georg Kleinschmidt)	18
1.3 Geschichte der antarktischen Entdeckungen (Cornelia Lüdecke)	29
1.4 Abriss der Geschichte der Entdeckung der Arktis (Reinhard Krause)	36
1.5 Die indigenen Völker im Norden: Frühere und gegenwärtige Entwicklungen (Ludger Müller-Wille & Dietbert Thannheiser)	43
1.6 Die mittelalterliche Besiedlung Westgrönlands durch die Wikinger - Ein fehlgeschlagenes Experiment? (Jörg-Friedhelm Venzke)	48
1.7 Permafrost – Ein weit verbreitetes Klimaphänomen der Arktis und Subarktis (Lutz Schirrmeister & Hans-Wolfgang Hubberten)	53
1.8 Die Geologie der Arktis, ihre Bodenschätze und ihr rechtlicher Status (Karsten Piepjohn)	62
2 Meeresströmung, Stürme und Eis	71
2.1 Struktur, Dynamik und Bedeutung des antarktischen Wasserringes (Eberhard Fahrbach, Gerd Rohardt, Volker Strass & Hartmut H. Hellmer)	72
2.2 Wassermassenänderungen im Arktischen Ozean (Ursula Schauer)	80
2.3 Änderungen in der Nordatlantischen Tiefenwasserbildung und ihre Auswirkungen auf das Europäische Klima (Dagmar Kieke)	86
2.4 Roaring Forties und Riesenwellen – Gefahren im Südpolarmeer (Gerhard Schmagar, Birger Tinz & Peter Hupfer)	93
2.5 Polare Mesozyklonen: Die Hurrikane der Polargebiete (Günther Heinemann)	102
2.6 Die Wechselwirkung zwischen antarktischen Schelfeisgebieten und dem Ozean und der Beitrag zur ozeanischen Wassermassenbildung (Klaus Grosfeld, Malte Thoma, Jürgen Determann, Hartmut Hellmer & Ralph Timmermann)	107
2.7 Die Massenbilanzen des antarktischen und grönländischen Inlandeises und der Charakter ihrer Veränderungen (Christoph Mayer & Hans Oerter)	115
2.8 Veränderung der Dicke und Ausdehnung des Polarmeereises (Dirk Notz)	121
3 Flora, Fauna und Ökosysteme	128
3.1 Flora und Vegetation des terrestrischen Bereichs (Fred J. A. Daniëls, Dietbert Thannheiser & Christoph Wüthrich)	128
3.2 Ökophysiologie und Wachstum arktischer Pflanzen im Klimawandel (Reiner Zimmermann, Manfred Küppers & Kurt Loris)	136
3.3 Das Meereis als Lebensraum (Iris Werner)	140
3.4 Einfluss von Fischerei und Klima auf die Bestände des antarktischen Krill (Volker Siegel)	145
3.5 Klimabedingte ökologische Veränderungen in den Bodenfaunen polarer Schelfmeere (Dieter Piepenburg & Julian Gutt)	152
3.6 Die Fische des Nord – und Südpolarmeeres (Karl-Hermann Kock & Christian von Dorrien)	160
3.7 Vogelwelt der Polarregionen und ihre Gefährdung (Hans-Ulrich Peter)	169
3.8 Robben und Robbenschlag in der Antarktis (Joachim Plötz, Horst Bornemann & Lars Kindermann)	177
3.9 Arktische Robben und Eisbären – Auswirkungen von Klimaerwärmung und Ressourcennutzung (Marie-Anne Blanchet, Mario Aquarone & Ursula Siebert)	183
3.10 Warnsignale Walfang (Petra Deimer-Schütte)	192
3.11 Marine Biodiversität in den Polarregionen nach der Volkszählung der Meere (Angelika Brandt)	200

4 Das Weltklima und die Polarregionen **206**

4.1	Wechselwirkungen zwischen arktischem Meereis und der atmosphärischen Zirkulation (Klaus Dethloff, Dörthe Handorf, Annette Rinke, Wolfgang Dorn & Ralf Jaiser)	206
4.2	Niederschläge in den Polarregionen und ihre Erfassung (Andreas Becker & Bruno Rudolf)	213
4.3	Atmosphärische Messungen an der AWIPEV Station Spitzbergen (Roland Neuber, Marion Maturilli, Peter von der Gathen, Andreas Herber, Markus Rex, Christoph Ritter, Justus Notholt, Mathias Palm & Nicholas Deutscher)	220
4.4	Das Polarlicht (Kristian Schlegel)	226
4.5	Erwärmung der Polarregionen in den letzten 50 Jahren: Ursachen und Folgen (Dirk Notz)	230
4.6	Verhalltes Warnsignal: Die Erwärmung des Nordpolargebietes während der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts (Birger Tinz & Peter Hupfer)	236
4.7	Die Rolle ozeanischer Wärmetransporte für das Klima der Arktis im letzten Jahrtausend (Johann Jungclauss)	243
4.8	Polareiskerne - Archive globaler Klima- und Umweltveränderungen (Hubertus Fischer)	248
4.9	Die polaren Meeressedimente als Archiv des Weltklimas (Dierk Hebbeln & Christoph Vogt)	254
4.10	Der katabatische Wind über den polaren Eisschilden (Günther Heinemann)	260
4.11	Meeresspiegelanstieg - Eisschilde, Gletscher und thermische Ausdehnung: Eine kurze Übersicht (José L. Lozán)	265
4.12	Anmerkungen über Veränderungen in den Eisströmen der Eisschilde (Torsten Albrecht & José L. Lozán)	271
4.13	Permafrostbeeinflusste Böden (Kryosole) im Klimawandel (Lars Kutzbach, Sebastian Zubrzycki, Christian Knoblauch, Claudia Fiencke & Eva-Maria Pfeiffer)	275
4.14	Methanhydrate in arktischen Sedimenten – Einfluss auf Klima und Stabilität der Kontinentalränder (Gerhard Bohrmann, Tina Treude & Klaus Wallmann)	285

5 Forschung, Gefährdung und Schutz **290**

5.1	Über die deutschen Forschungsaktivitäten in den Polarregionen (Hartwig Gernandt & Jörn Thiede)	290
5.2	Rückgang des Ozons in der Stratosphäre der Polarregionen (Jens-Uwe Grooß, Martin Riese, Reinhold Spang & Rolf Müller)	302
5.3	Ausbreitung von Schadstoffen in die Polarregionen (Ralf Ebinghaus, Christian Temme & Zhiyong Xie)	310
5.4	Anreicherung und Effekte von organischen Schadstoffen in der polaren Umwelt (Roland Kallenborn)	319
5.5	Tourismus und seine Auswirkungen (Michaela Mayer)	327
5.6	Globale Gefahren durch intensive Nutzung der Taiga-Wälder (Jörg-Friedhelm Venzke & Marco Langer)	335
5.7	Die Nutzung von Öl- und Gasvorkommen in einer nahezu eisfreien Arktis (Manfred A. Lange)	340
5.8	Antarktis im Spannungsfeld zwischen Forschung, Tourismus und Umweltschutz (Wiebke Schwarzbach, Fritz Hertel, Jacqueline Hilbert & Heike Herata)	347
5.9	Meeresschutzgebiete in der Antarktis: Lassen sich Schutz- und Fischerei-Interessen verbinden? (Stefan Hain)	354
5.10	Gebietsstreitigkeiten in der Arktis – Ist eine friedliche Beilegung mittels Abgrenzung erreichbar? (Alexander Proelß)	360
5.11	Umweltschutz in einer Arktis im Wandel (Martin Sommerkorn)	365

6 Sachregister **370**

Mit freundlicher Unterstützung von:



Wissenschaftler informieren direkt

Die Polarregionen üben trotz ihrer abgelegenen Lage einen erheblichen Einfluss auf das Weltklima aus. Dies hängt besonders mit den bedeutenden Kopplungsprozessen zwischen dem Eis (Eisschilde, Meereis, Schnee und Permafrost) und der atmosphärischen sowie ozeanischen Zirkulation zusammen. Das Abschmelzen aller polaren Eisschilde würde beispielsweise einen globalen Anstieg des Meeresspiegels um etwa 70 m bewirken. Aber auch schon geringe Schwankungen im polaren Eisvolumen führen zu merklichen Veränderungen des Meeresspiegels.

Die Klima-Prognosen der letzten Jahre haben sich weitgehend bestätigt. Die heutigen Messungen zeigen sogar, dass sich das Klima eher schneller ändert als erwartet. Die beobachtete Erderwärmung während des 20. Jahrhunderts hat sich in diesem Jahrhundert fortgesetzt; zurzeit beträgt die mittlere globale Erwärmung über den Kontinenten bereits 0,9 °C. Diese Entwicklung wird sich fortsetzen, wenn die Anreicherung der Atmosphäre mit Treibhausgasen (vor allem CO₂) anhält. Besorgniserregend ist die Tatsache, dass die heute emittierten CO₂-Mengen Jahrhunderte in der Atmosphäre verbleiben.

Die Folgen des Klimawandels sind vielfältig. Der Meeresspiegelanstieg stieg von 1,7 mm/Jahr in den 1970/80er Jahren auf jetzt 3 mm/Jahr. Der 5. Sachstandsbericht des IPCC (2013) gibt für den Zeitraum 1993-2010 einen globalen mittleren Meeresspiegelanstieg von 3,2 mm/Jahr an. Viele Inselstaaten und tief gelegene Küstenländer, die am wenigsten zur Erderwärmung beitragen, werden am härtesten von den Folgen betroffen sein. Sie sind nicht in der Lage, sich mit Dämmen zu schützen. Die Erwärmung ist am stärksten in der nördlichen Polarregion. Die eisbedeckte Fläche hat sich dort fast halbiert. Der Grönländische Eisschild verliert jährlich 300 km³ Eismasse. Auch der Westantarktische Eisschild schrumpft; dort gehen 180 km³ Eis jährlich verloren. Zahlreiche polare Arten, zum Beispiel der Eisbär, drohen ihre Lebensräume zu verlieren.

Wir befinden uns bereits jetzt in einem Klimawandel, der bei ungenügendem Klimaschutz zu Temperaturen führen kann, die die Erde seit mindestens einer Million Jahre nicht mehr erlebt hat. Studien zeigen, dass der Mensch maßgeblich für den jetzigen Klimawandel verantwortlich ist.

Mit diesen und anderen Themen befassen sich rund 100 Experten im vorliegenden Buch. Die Beiträge sind leicht verständlich geschrieben.

www.warnsignale.uni-hamburg.de • www.warnsignal-klima.de
Bestellung (versandkostenfrei): jl-lozan@t-online.de
Tel. 040-4304038 • Fax 040-54765097

ISBN 3980966860
EAN 978-3980966863