

# **Es ist fünf nach zwölf - der Klimawandel gerät zur Klimakatastrophe.**

Von Peter Kranz

## Vorwort

Ich bin kein Klimawissenschaftler, aber seit über 20 Jahren auch als ehemaliger Spandauer „Umweltpfarrer“ sehr besorgt über die Gefahren des Klimawandels. Mehrmals hatte ich Professor Manfred Stock vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) in meine damalige Spandauer Luthergemeinde zu Vorträgen eingeladen. Auf mein Betreiben hin wurde auf das Dach des Pfarrhauses die erste Photovoltaik-Anlage auf ein Berliner Kirchengebäude gesetzt. Schon vor 20 Jahren warben wir eindringlich um Energieeinsparung. Unser privater Stromverbrauch wurde radikal auf Energiesparbirnen umgestellt. Es ging uns weniger um den finanziellen Spareffekt, der beachtlich war, als vielmehr ums Energiesparen. Als wir 1987 ins Pfarrhaus umzogen, bekamen wir von Freunden eine große Energiespar-Kugelbirne für die Küche. Sie hielt fast 20 Jahre.

Mit Konfirmanden machten meine Frau und ich kreative Energiesparprojekte. Z.B. Drangen wir - begleitet von einem Pressefotografen in Gaststätten ein, schraubten, ohne den Wirt zu fragen, eine Glühbirne aus und setzten eine Energiesparbirne ein. Den erbosten Wirt konnten wir von der Sinnhaftigkeit unserer Aktion überzeugen und ihn verpflichten, alle Glühbirnen im Restaurant gegen Energiesparbirnen auszutauschen. Den Kindern machten solche Aktionen Spaß, zumal sie am folgenden Tag mit einem Foto in der Lokalpresse zu finden waren. Wir protestierten als Kirchengemeinde gegen den Betrieb von Atomkraftwerken und blockierten mit der Aktion „Berliner Christen nach Gorleben“ einen Castor-Transport, weil wir von der Unvereinbarkeit von Stromgewinnung aus Atomkraft und aus erneuerbaren Energien überzeugt waren. Das ist 15 - 20 Jahre her.

Mich hat das Thema nicht mehr losgelassen, weil der Klimawandel so einschneidende Folgen für das Leben auf der Erde haben wird, wie kein anderes Ereignis seit der letzten Eiszeit. Und heute wissen wir, daß die Klimaerwärmung unumkehrbar ist und schneller und dramatischer als vorhergesagt verläuft. Ich gehöre wahrscheinlich zur letzten Generation, die sich - zumal in Mitteleuropa lebend - noch relativ unbelastet vom Klimawandel von der Erde verabschieden wird. Im März 2010 ist mein jüngstes Enkelkind, Samuel, geboren. Seine Generation wird das ausbaden müssen, was wir und unsere Vorfahren an Klimaschädigung verursacht haben. Und sie werden es schwer haben. Sie müssen das schaffen, was wir anzugehen versäumt haben. Unsere Kinder und Enkelkinder müssen in relativ kurzer Zeit ihre Lebensweise verändern: weg von Erdöl, Kohle und Erdgas. Das wird alle Lebensbereiche betreffen. „De-Karbonisierung“ wird in zehn Jahren das wichtigste Schlagwort sein.

## **Das Scheitern von Kopenhagen**

Zwischen Februar und Mai des Jahres 2007 wurden die Berichte der drei Arbeitsgruppen des Weltklimarates (IPCC) „Wissenschaftliche Grundlagen“, „Auswirkungen, Anpassungsstrategien, Verwundbarkeiten“ und „Verminderung des Klimawandels“ und im November 2007 der „Synthesebericht“ der internationalen Öffentlichkeit vorgelegt. Im April 2008 wurde er ergänzt durch das „Technische Papier über Klimaänderung und Wasser“. Damit war sechs Jahre nach dem 3. Sachstandsbericht (TAR) der 4. Sachstandsbericht (4AR) zum Weltklimawandel veröffentlicht. Gegenüber dem 3. Sachstandsbericht werden die Risiken der Verwundbarkeit des Weltklimas mit größerer Sicherheit eingeschätzt und die Besorgnis deutlicher formuliert. Viele einzigartige Ökosysteme sind bei einer globalen Temperaturerhöhung von 1,5 - 2,5°C in besonderer Weise bedroht. Mit hoher Sicherheit wird der über viele Jahrhunderte anhaltende Anstieg des Meeresspiegels voranschreiten, nicht nur verursacht durch die thermische Ausdehnung des Wassers,

sondern auch durch das Abschmelzen des Grönländischen und Westantarktischen Eisschildes. Mit höherer Sicherheit kann die Zunahme extremer Wetterereignisse (Trockenheit, Hitzewellen, Starkregenperioden mit großen Überschwemmungen) vorausgesagt werden. Gefährdet sind vor allem die ökonomisch schwachen Regionen in der Nähe zum Äquator, sowie die großen Deltagebiete. Mit fortschreitender Klimaerwärmung werden die Nettokosten erheblich steigen. Sollte die globale Erwärmung auf 2,0 - 2,4°C begrenzt werden, müßten die globalen CO<sup>2</sup>-Emissionen bis 2050 um 50 - 85 % gemindert werden. Vor 2020 müßte eine Trendwende der CO<sup>2</sup>-Emissionen erfolgen.

Die dringlichen Maßnahmen zur Begrenzung des Klimawandels wurden in mehreren Klimakonferenzen vorbereitet und sollten dann in Beschlüsse der Weltklimakonferenz im Dezember 2009 einmünden. Alle weltweit wichtigen Umwelt-, Klima- und Sozialen Organisationen mobilisierten nach Kopenhagen. Alle weltweit wichtigen Klimaexperten von Al Gore bis zu den Wissenschaftlern des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) stellten ihr Wissen zur Verfügung, um als Verhandlungsziel der Klimakonferenz die 2-Grad-Grenze und verbindliche Schritte zur Erreichung dieses Zieles zu erreichen, inklusive einer bedeutenden finanziellen Unterstützung der armen Länder zur Bewältigung der Klimafolgen. Und dann erlebten wir das Scheitern in Kopenhagen. Die Weltklimakonferenz, im Vorfeld als Hopenhagen bezeichnet, geriet zu Flophopenhagen. Nicht einmal auf verbindliche Schritte zur Begrenzung der Erwärmung auf 2°C in diesem Jahrhundert konnte man sich einigen. Nichts wurde beschlossen, so als ob es keinen dringenden Handlungsbedarf gäbe. Und am stärksten blockierten die Staaten, die die weltweit größten CO<sup>2</sup>-Emittenten sind: China und die USA. Große Umweltverbände nannten das Ergebnis ein „Debakel“, für den BUND war „Kopenhagen“ eine „bittere Enttäuschung“, eine Ohrfeige“ und eine „Bankrotterklärung“. Ein Greenpeace-Vertreter bezeichnete „Kopenhagen“ als „Schauplatz eines Verbrechens“, das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) sieht einen „Fehlschlag“. Eine stümperhafte Konferenzleitung durch den offenbar überforderten dänischen Ministerpräsidenten und die Partikularinteressen der beiden größten CO<sup>2</sup>-Emittenten, USA und China, führten zu diesem blamablen Ende. Aber auch die EU und die Bundeskanzlerin waren nicht in der Lage, mit konkreten ambitionierten Zielsetzungen und großzügigen finanziellen Angeboten für die ärmeren Länder vorneweg zu gehen. Zuletzt wurden sie von den USA, China und den großen Schwellenländern Indien, Brasilien und Südafrika ausgebootet. Wertvolle Zeit ist verloren gegangen. Wir bewegen uns vom Klimawandel zur Klimakatastrophe.

### **Es ist fünf nach zwölf**

Klimakatastrophe: Diese Erfahrung haben zahlreiche Inselstaaten in der Karibik und im Pazifik gemacht. Sie wurden in den letzten Jahren Opfer der immer stärker werdenden tropischen Zyklone. 1991 haben sie sich zusammengeschlossen, um gemeinsam ihre Stimme gegen den Klimawandel zu erheben. 39 Mitglieder und vier Inselgruppen mit Beobachterstatus zählt die „Alliance of Small Islands States“ (AOSIS). Sie sind am meisten vom Anstieg des Meeresspiegels betroffen. Die Malediven und Kiribati haben schon jetzt einige ihrer Inseln verloren. AOSIS fordert eine Begrenzung des Temperaturanstiegs um 1,5°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau von 1750 und langfristig einen Rückgang der CO<sup>2</sup>-Konzentration in der Atmosphäre auf 350 ppm (parts per million). Ein Temperaturanstieg um 1,5°C wäre die lebensfreundlichere Variante des Klimawandels. Aber auch bei dieser „gemäßigten“ Klimaerwärmung sind alle wichtigen Elemente des Erdsystems wie u.a. das arktische Eis und der grönländische Eisschild gefährdet. Und hier liegt das Problem, das die Menschheit vor eine ungeheure Aufgabe stellt. Innerhalb weniger Jahrzehnte muß der Ausstoß klimaschädlicher Gase wie CO<sup>2</sup>, Methan oder Lachgas\*) gestoppt werden und die Menschheit eine rasche Entkarbonisierung ihrer Lebensweise beschreiten. Doch die Zeichen stehen eher auf Klimakatastrophe. Wissenschaftler warnen, daß eine Erwärmung um 2°C für viele Regionen der Erde äußerst bedrohlich ist. Viel schlimmer aber ist, daß das 2-Grad-Ziel nicht mehr

erreichbar ist und wir uns stattdessen auf eine globale Erwärmung von 3,5 - 6°C einstellen müßten, denn:

Die globalen Luft- und Wassertemperaturen steigen.

\*) Methan CH<sub>4</sub> hat eine 20 mal höhere Treibhauswirkung als CO<sub>2</sub>, jedoch nur eine durchschnittliche Verweildauer von 10 Jahren in der Atmosphäre. Da es eine geringere Dichte als Luft hat, steigt es in die höheren Schichten, reagiert dort mit Sauerstoff und zerfällt in Kohlendioxyd und Wasser. CO<sub>2</sub> bleibt bis zu 1000 Jahre in der Atmosphäre. Methan wird freigesetzt durch Rinderhaltung, Reisanbau, als Deponiegas auf Müllhalden, industrielle Prozesse, durch das Auftauen der Permafrostböden und durch das Freisetzen mariner Methanhydrate. Lachgas/Distickoxyd (N<sub>2</sub>O) hat eine 300fache Treibhauswirkung und eine mittlere atmosphärische Verweildauer von 114 Jahren. Sein Beitrag zum anthropogenen Treibhauseffekt wird auf 5 % geschätzt.

Zwischen 1906 und 2005 stieg die durchschnittliche globale bodennahe Lufttemperatur um 0,74°C, in Deutschland um 1°C.

1) Dabei stiegen die Nacht- und Wintertemperaturen stärker als die Tages- und Sommertemperaturen. In den vergangenen 25 Jahren (1983 - 2008) stiegen die globalen Temperaturen um 0,187°C pro Dekade, in den 25 Jahren bis 2006 waren es 0,177°C. Das vergangene Jahrzehnt 2000 - 2009 war nach den Messungen des National Climatic Data Center (NCDC), einer Abteilung der US-Klimabehörde NOAA, das wärmste Jahrzehnt seit Beginn der Temperaturlaufzeichnungen. Es lag 0,54 Grad über dem langjährigen Mittelwert. Die Neunziger Jahre lagen 0,36 Grad über dem Mittelwert. Die Meßdaten stammen aus rund 7200 Landmeßstationen, sowie Meßbojen und Schiffen in den Ozeanen. Nach Aussagen der NASA war 2009 neben 2007 das zweitwärmste Jahr, auf der Südhalbkugel sogar das wärmste Jahr. Und auch der Januar 2010, der von uns Deutschen als ein besonders kalter Monat empfunden wurde, war global mit 12,6°C der viertwärmste Januar seit 131 Jahren, 0,6 Grad über dem Durchschnitt des 20. Jahrhunderts. Auf der Südhalbkugel war er der zweitwärmste je gemessene Monat, auf der Nordhalbkugel war es der sechstwärmste. In Kanada, auf Grönland, Island, Spitzbergen und in Nordsibirien war der Januar 2010 überdurchschnittlich warm, auch im Nahen Osten, Zentralasien, China, Afrika und Lateinamerika. Die globalen Meerwassertemperaturen lagen 0,52°C über dem Durchschnitt des 20. Jahrhunderts von 15,8°C.

2) Die größte Erwärmung der letzten Jahrzehnte wurde in den Wintermonaten gemessen, besonders stark über dem westlichen Nordamerika, Skandinavien und Sibirien. In der Arktis war die Erwärmung doppelt so hoch wie im globalen Durchschnitt. Und auch auf dem Westantarktischen Eisschild wurde in den vergangenen 50 Jahren eine regionale Erwärmung um 0,17°C pro Dekade gemessen.

3) Insgesamt liegt der globale Temperaturanstieg im oberen Bereich der IPCC-Prognosen. Die von den AOSIS-Ländern geforderten 350 ppm sind längst überschritten. Wir nähern uns der 400er Grenze. Trotz der kurzfristigen Delle durch die Weltwirtschaftskrise 2008 - 2010 nimmt die Geschwindigkeit zu. Nicht ein Zuwachs um 1,5 ppm pro Jahr wie in den 90er Jahren, sondern 1,9 ppm CO<sub>2</sub> pro Jahr zwischen 2000 und 2008 kommen nun hinzu.

4) 2009 erreichte die CO<sup>2</sup>-Emission 387 ppm.

5) Seit Beginn der Industrialisierung ist der CO<sup>2</sup>-Gehalt der Atmosphäre um 40 % (105 ppm) angestiegen. Im Jahr 2008 war er um 27 % höher als 1990.

6) In den vergangenen 20 Mio Jahren war die CO<sup>2</sup>-Konzentration nie so hoch wie heute.

7) Lag die CO<sup>2</sup>-Zuwachsrate in den 90er Jahren noch bei 1% pro Jahr, stieg sie zwischen 2000 und 2008 auf 3,4% pro Jahr. Bei einer ungebremsten Entwicklung (business as usual) werden wir die 400er-Marke vor 2015 überschritten haben, ständen wir im Jahr 2020 bei über 415 ppm, im Jahr 2030 bei fast 450 und im Jahr 2040 bei über 500 ppm. Der kurzfristige durch die Weltwirtschaftskrise verursachte Einbruch der CO<sup>2</sup>-Emission 2009 spielt für diesen Trend keine Rolle. Nicht einbezogen in diese Schätzung sind die sich selbst verstärkenden Faktoren der Erwärmung (sog. Rückkopplungen). Sie beginnen jetzt, wirksam zu werden und sich zu beschleunigen. 78 % der Treibhausgasemissionen bestehen aus CO<sup>2</sup>, 14 % aus Methan (CH<sub>4</sub>), 7 % aus Lachgas und 1 % aus den übrigen Treibhausgasen. Die Methan-Konzentration stieg in den vergangenen 800 000 Jahren um 156 % auf 1800 ppb (parts per billion), die Lachgas-Konzentration in den vergangenen 1000 Jahren um 19 %.

8) Besonders gravierend bei der weiter steigenden Methan-Emission sind das Auftauen von Permafrost und Methanhydraten.

In den zwei Jahrzehnten 1930 - 1950 stieg die Konzentration aller im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase um etwa 0,5 ppm pro Jahr, in den folgenden zwei Jahrzehnten bis 1970 verdoppelte sie sich auf 1 ppm, bis 1990 auf 2 ppm, bis zur Jahrhundertwende lag sie bei 2,5 ppm, und in den letzten 5 Jahren stieg sie auf 3 ppm pro Jahr. Die Tendenz ist also deutlich ansteigend. Nicholas Stern, ehemaliger Chefökonom und Vizepräsident der Weltbank, der 2006 der Regierung Großbritanniens den sog. „Sternreport“ The Economics of Climate Change (Die Kosten des Klimawandels) vorgelegt hatte, schätzt in seinem jüngsten Buch (deutsch) Der Global Deal (2009) das Niveau im Jahr 2050 zwischen 580 und 630 ppm CO<sub>2</sub>e (S.40) (CO<sub>2</sub>e bedeutet: alle Treibhausgase).

### **Wie ist dies lebensverträglich zu steuern?**

Bei 450 ppm CO<sub>2</sub>e könnte der Temperaturanstieg auf 2°C begrenzt werden, so sagen es die Klimawissenschaftler vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK). Bei 550 ppm CO<sub>2</sub>e würden wir mit 99 prozentiger Wahrscheinlichkeit die 2Grad-Grenze und mit 69 prozentiger Wahrscheinlichkeit die 3Grad-Grenze überschreiten. 76 % wahrscheinlich ist ein Temperaturanstieg auf 4°C. Nicholas Stern sagt, das „sind hohe Wahrscheinlichkeiten gewaltiger Veränderungen“ (S. 41). Gegen Ende des Jahrhunderts könnten wir bei 750 ppm CO<sub>2</sub>e entsprechend einem Temperaturanstieg auf 5° C liegen.

Es gibt jedoch noch einige zusätzliche Rückkoppelungseffekte. Bedrohlich ist, daß sich Erwärmung und CO<sup>2</sup>-Ausstoß gegenseitig verstärken. Die zusätzliche Erwärmung führt dazu, daß die Speicherfähigkeit von Treibhausgasen durch Ozeane und Festland abnimmt. Mit jedem Grad Erwärmung steigt der CO<sup>2</sup>-Gehalt der Atmosphäre um 3 % an. Und dies wiederum führt zu weiterer Erwärmung. 9) Das Abschmelzen der Eismassen der Arktis, der Antarktis und der Gletscherregionen bedeutet, daß die Eis-Flächen, die Sonnenstrahlen reflektieren statt speichern, ständig abnehmen. Das zunehmende Auftauen der Permafrostböden der nördlichen Tundren setzt ungeheure Mengen von Kohlenstoff und Methan frei. Weitere Erwärmungsrückkoppelungen sind die beschleunigte Verrottung von Biomasse und die verringerte CO<sup>2</sup>-Aufnahmekapazität der erwärmten Weltmeere. Diese Rückkoppelungen bewirken eine zusätzliche Temperaturzunahme von 2°C.

Was bedeuten diese für den Laien moderaten Temperaturanstiege?

Zunächst: Der Meeresspiegel wird deutlicher ansteigen, als vom IPCC 2007 prognostiziert. Die Trockenzonen der Erde breiten sich aus. Die Regenwälder stehen vor dem Zusammenbruch. Die jährlichen Temperaturextreme nehmen zu. Die Meeresströmungen verändern sich. Wir werden in Mitteleuropa längere und heißere Sommer und kürzere und wärmere Winter erleben. Es wird längere Dürreperioden, aber auch ausgeprägtere Starkregenphasen geben. Die großen tropischen Stürme (Hurricanes und Taifune) nehmen zu. Mit „Delta“ und „Vince“ haben im Jahr 2005 die ersten Hurricanes Südwesteuropa erreicht. Die Versicherungswirtschaft rechnet mit schwereren und immer teurer werdenden Katastrophen. Die Hitze- und Unwetter-Opferzahlen steigen an. Klimaflüchtlinge drängen nach Europa. Tier- und Pflanzenwelt sind bedroht, die landwirtschaftliche Produktion wird absinken, die globale Fischerei wird zusammenbrechen. Die Erde steht vor noch nie da gewesenen großen Anpassungsproblemen. Es wird schlimmer werden, als wir es wahrhaben wollen. Und die angestoßene Erwärmung wird für mindestens 1000 Jahre unumkehrbar sein. Beeinflussen lassen sich noch Tempo und Höhe der Zunahme der Erwärmung.

Der Klimawandel hat an Fahrt zugenommen. Es scheint, als ob die weitere Erwärmung der Erde mittlerweile abgekoppelt ist vom CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Selbst bei einer Null-Emission würde sich die Erde weiter erwärmen. „Selbst wenn wir von heute auf morgen kein CO<sub>2</sub> mehr ausstoßen würden, wird sich die globale Temperatur in den kommenden Jahrzehnten noch einmal um denselben Betrag erhöhen - dann wären wir bei einem Anstieg von 1,4 Grad,“ warnt Prof. Peter Lemke, Klimaexperte des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung (AWI). 10) Selbst wenn wir den aktuellen Wert von 387 ppm halten könnten, würde der Meeresspiegel unaufhörlich ansteigen. Aus der Frühgeschichte der Erde weiß man, daß sich größere Meeresspiegeländerungen von 1 bis 2 Metern relativ rasch innerhalb eines Jahrhunderts vollziehen können.

Es gibt mehrere Schlüsselentwicklungen, die sich verselbständigen haben und den Klimawandel erheblich verstärken und unbeherrschbar machen können. Die Wissenschaft nennt sie „tipping elements“, Kipp-Elemente. Kipp-Elemente sind Teil des Erd-Systems, die einen Kipp-Punkt haben, mit dem sie abrupt und meist irreversibel globale oder regionale klimatische Störungen bewirken und die Klimaerwärmung weiter anheizen. Im Wissenschaftsmagazin „Proceedings of the National Academy of Science“ vom Februar 2008 (11) werden 9 Kipp-Elemente aufgezählt: Schmelzen des Meereises, Schmelzen des Grönländischen Eisschildes, Instabilität des Westantarktischen Eisschildes, Austrocknung des Amazonas-Regenwaldes, Störung der Zirkulation der Meeresströmungen im Nord- und Südatlantik, Veränderung des Indischen und des Westafrikanischen Monsuns, Dauerzustand des El Niño-Phänomens. Weitere Kipp-Elemente sind: Freisetzung von Methan aus Meeresböden, Auftauen der Permafrostböden, Kollaps der borealen Wälder, Schmelzen der Gletscher und Abnahme der Albedo im Tibetischen Hochland, das Antarktische und Arktische Ozonloch, Versauerung der Ozeane und Kollaps der Aufnahmekapazität für Kohlendioxid, Instabilität der Sahel-Sahara-Zone.

Mit der vorliegenden Studie will ich darauf hinweisen, daß die Gefahren einer unkontrollierbaren Klimaerwärmung weit größer sind, als der Öffentlichkeit bekannt und von Regierungen zugegeben. Schon jetzt, bei einer Temperaturzunahme von über 0,8°C seit der Industrialisierung, sind mehrere Klima ändernde Prozesse in Gang gesetzt, die je für sich den Klimawandel noch verstärken und beschleunigen:

Die Meere erwärmen sich, das antarktische Eis und der Grönländische Eisschild schmelzen, der Westantarktische Eisschild wird instabil, fast alle Gletscher der Erde schmelzen, die Permafrostböden tauen auf, die marinen Methanhydrate lösen sich in den oberen Schichten auf, der Amazonas-Regenwald ist instabil geworden und die borealen Wälder werden angegriffen. Manche dieser Prozesse wie die Erwärmung der Meere oder das Schmelzen des arktischen Eises

sind unumkehrbar und verstärken den Treibhauseffekt. Das 2Grad-Ziel ist nicht mehr zu erreichen angesichts der Unwilligkeit der großen Treibhausgasemittenten, deutlich gegenzusteuern, um so schnell wie möglich eine Entkarbonisierung unserer Lebensweise zu erreichen. Angesichts ihrer Verantwortungslosigkeit werden wir uns auf eine Temperaturzunahme von 3 - 5°C schon weit vor 2100 vorbereiten müssen.

Schlüssel-Element des Klimawandels ist dabei die Erwärmung der Meere.

## 1. Die Erwärmung der Meere

Global gesehen lag die Meerestemperatur im Juli 2009 0,6°C über der Durchschnittstemperatur seit 1880. Das entspricht einer Energiezunahme von 1 Milliarde Hiroshima-Atombomben. Im arktischen Meer war das Wasser 5° C wärmer. Dies wird die polare Eisschmelze erheblich beschleunigen. Und die Erwärmung der Ozeane nimmt zu: Im Juli 2009 lag die globale Wassertemperatur bei 17°C, zwei Grad über dem bisherigen Mittelwert von 15°C. Im Sommer 2009 lagen die Wassertemperaturen im Golf von Mexico bei über 32°C und die Mittelmeertemperaturen um 3 Grad höher als im langjährigen Mittel. Prof. Hartmut Heinrich, Direktor der Abteilung „Physik der Meere“ im Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie/Hamburg meldet, daß auch die Nordsee seit 22 Jahren einen Erwärmungstrend zeigt. Wechselten sich im vergangenen Jahrhundert noch alle 8 - 12 Jahre Warmphasen mit Kaltphasen ab, so hält sich seit 1987 eine „hartnäckige Warmphase“ insbesondere in den tieferen Schichten. In 40 Meter Tiefe ist das Wasser im Durchschnitt 13 Grad warm, im 20. Jahrhundert waren es noch 11 Grad. Trotz der lang anhaltenden Kältephase seit Mitte Dezember 2009 zeigte sich die Nordsee im Januar 2010 mit 6,3°C nur wenig unter dem langjährigen Mittel von 6,6°C. Bei ähnlich kalten Winterperioden der 70er und 80er Jahre lag die Durchschnittswassertemperatur zwischen 5,1 und 5,7°C. 12) In der westlichen Ostsee (Arkonabecken) liegt seit dem Jahr 2000 die Wassertemperatur 4 Grad über dem langjährigen Durchschnitt. 13)

Auch der Pazifische und der Indische Ozean meldeten höhere Wassertemperaturen. Global gesehen hatten die Monate Juni - August 2009 die wärmsten je gemessenen Temperaturen des Oberflächenwassers der Ozeane. Besonders bedrohlich ist die Zunahme der Wassertemperatur in der Arktischen Region. Die globale Erwärmung des Wassers ist bis auf 3000 Meter Tiefe nachweisbar und daher dauerhaft. Die Trägheit der Ozeane hat zur Folge, daß diese Erwärmung über Jahrhunderte nicht mehr umkehrbar sein wird. Ein weiterer Aspekt ist, daß sich CO<sup>2</sup> im Wasser löst und Kohlensäure bildet. Eine hohe CO<sup>2</sup>-Aufnahme der Meere führt zu ihrer Versauerung und schädigt die Meeresökosysteme. Die Versauerung der Meere ist unumkehrbar. 14)

### 1.1. Meeresspiegelanstieg

Wir wissen, daß sich warmes Wasser ausdehnt. Die Erwärmung der Meere trägt zu über 50 % zum Anstieg des Meeresspiegels bei. Der Anstieg betrug im 20. Jahrhundert 20 cm. 15) Der Bericht des Weltklimarats von 2007 (IPCC4AR) geht von einer weiteren Erhöhung zwischen 18 und 59 cm bis Ende des Jahrhunderts aus. Dabei sind in den Modellen die thermische Ausdehnung des Wassers und das Abschmelzen der Gletscher berücksichtigt, weniger jedoch die Abschmelzprozesse Grönlands und der Antarktis. Die jüngsten Prognosen sind weit dramatischer. Bei Berücksichtigung auch der Abschmelzprozesse kommen Stefan Rahmstorf und Martin Vermeer zu einer Prognose von 1,9 - 2 Meter Meeresspiegelanstieg selbst bei dem relativ niedrigen Szenario von 2°C Erwärmung bis 2100. 16) Das größte Problem ist die thermische Ausdehnung des Wassers durch weitere Erwärmung. Hinzu kommen die sich beschleunigenden enormen Abschmelzprozesse: Im Grönlandeis lagert eine Wassermenge von 7 m globalem Meeresspiegelanstieg, im West-

Antarktischen Eisschild sind es 6 m, in der Ost-Antarktis über 50 m. Und das in den Gletschern außerhalb der polaren Regionen gebundene Wasser hat eine Gesamtanstiegsmenge von 50 cm.

Sicher ist, daß sich der Meeresspiegelanstieg beschleunigt und sich noch über Jahrhunderte fortsetzen wird. Der im Juni 2009 veröffentlichte „Synthese-Report“ der Internationalen Allianz der Forschungsuniversitäten rechnet mit einem Meeresspiegelanstieg bis 2100 um 1 Meter. Der SCAR-Bericht rechnet mit einem Meeresspiegelanstieg von maximal 2 m. 17) Ebenso sieht es Achim Steiner, Exekutivdirektor des UN-Umweltprogramms (UNEP): „Noch vor einigen Jahren sind wir davon ausgegangen, daß der Anstieg der Meere eine Frage von einem bis zwei Jahrhunderten sein würde...Jetzt können wir nicht ausschließen, daß der Meeresspiegel im Laufe des Lebens eines heute geborenen Kindes (also bis vor dem Jahr 2100) um zwei Meter ansteigt.“ 18) In den zwischeneiszeitlichen Warmzeiten gab es bei einer Temperaturerhöhung von 2 - 3°C gegenüber dem Jahr 1990 einen Meeresspiegelanstieg von 4 - 6 m. 19) Die Meeresspiegelhöhe wird regional variieren, abhängig von atmosphärischen Bedingungen, Oberflächenwinden und veränderten Meeresströmungen. 20)

### 1.2. CO<sup>2</sup>-Speicherfähigkeit des Wassers

Bisher geht man davon aus, daß die Ozeane bis zu einem Drittel des weltweit emittierten CO<sup>2</sup> binden. Das führt dazu, daß die Ozeane versauern. Nun haben Wissenschaftler festgestellt, daß bei zunehmender Temperatur, die Speicherfähigkeit des Wassers nachläßt. Bei einem Temperaturanstieg um mehr als 2°C entsteht ein Kipp-Effekt. Statt gespeichert, wird das Kohlendioxid freigesetzt und verstärkt den Treibhauseffekt.

Die norwegischen Klimaforscher, Eystein Jansen und Helge Drange, haben in einer jüngst veröffentlichten Studie darauf hingewiesen, daß die CO<sup>2</sup>-Speicherfähigkeit der Meere bei weitem überschätzt werde. „Wärmeres Wasser absorbiert weniger CO<sup>2</sup> als kälteres,“ so Eystein Jansen, Direktor des Bjerknes-Zentrums, Bergen. Als Folge der gestiegenen Meerestemperaturen werden die Ozeane immer weniger CO<sup>2</sup> aufzunehmen. Dasselbe gilt übrigens auch für die Absorptionsfähigkeit der Vegetation an Land. „Durch den Rückgang der Absorptionsfähigkeit der Natur steigt die CO<sup>2</sup>-Konzentration in der Atmosphäre um 20-25 %. Dies führe zu einer um 0,5 - 1°C höheren globalen Temperatur,“ sagt Helge Drange. 21) Diese Rückkoppelung zwischen Erwärmung, sinkender CO<sup>2</sup>-Aufnahmefähigkeit der Meere und zunehmendem CO<sup>2</sup>-Gehalt in der Luft spielt sich in sehr kurzen Zeiträumen ab. 22)

### 1.3. Auftauen der Methanhydrate

In hoch verdichteter Form ist das besonders klimaschädliche Treibhausgas Methan unter hohem Druck bei niedrigen Temperaturen in Wassermolekülen eingeschlossen. Dieses Methanhydrat kommt im Bereich der Kontinentalränder in den Sedimenten der Ozeane, aber auch in den Permafrostböden der Nordhalbkugel und in den Eisschildern Grönlands und der Antarktis vor. Die submarinen Methanhydratvorkommen werden vom Institut für Meeresforschung Kiel (IFM-Geomar) auf 3000 Gt Kohlenstoff geschätzt. Damit ist dort mehr Energie und Kohlenstoff gelagert als in allen konventionellen Kohle-, Erdöl- und Erdgaslagerstätten der Erde. 23)

Vor der Westküste Spitzbergens in einer Wassertiefe zwischen 100 und 450 Metern wurden mehr als 250 Quellen mit aufsteigenden Methanblasen entdeckt. Erst ab einer Meerestiefe von 400 Metern blieb das Methanhydrat stabil. Bei einer ähnlichen Untersuchung vor 30 Jahren lag der Grenzwert noch bei 360 Metern. In diesem Zeitraum hat sich die Wassertemperatur um 1°C erwärmt. Russische und schwedische Forscher haben im Jahr 2008 vor der sibirischen Küste zum

Nordpolarmeer ebenfalls zahlreiche Quellen aufsteigender Methanblasen entdeckt. Hier schlummert ein hochgefährlicher Beschleuniger des Klimawandels, der gerade geweckt wird.

#### 1.4. Veränderung der Meeresströmungen

Klimawissenschaftler gehen davon aus, daß sich bei weiterer Klimaerwärmung Meeresströmungen verändern können. Wassertemperatur und Salzgehalt sind die entscheidenden Faktoren, daß sich die riesigen Wassermassen der Ozeane bewegen. Vom Klima der Antarktis angetrieben wird südlich von Südafrika kaltes sich zum Äquator erwärmendes Oberflächenwasser nach Norden in die Karibik und den Golf von Mexico transportiert, fließt dann als warmer Golfstrom östlich von Nordamerika nach Nordosten, teilt sich auf dem Weg nach Europa in einen Strömungsarm, der sich nach Süden richtet, und den Nordatlantikstrom, der warmes Wasser bis in das Europäische Nordmeer trägt. Beeinflußt von Wassertemperatur und Salzgehalt wird das mittlerweile abgekühlte Wasser in einer gigantischen Umwälzbewegung in 2000 - 3000 Meter Tiefe wieder nach Süden transportiert. Diese thermohaline Atlantik-Zirkulation bestimmt das Europäische Klima und verursacht bis weit nach Nord-Norwegen milde, statt wie auf gleichen Breitengraden Nord-Kanadas oder Sibiriens subpolare Temperaturen. Ändern sich Wassertemperatur und Salzgehalt, dann wird sich der Nordatlantikstrom verändern. Der Bericht des Weltklimarates (IPPC 2007) geht mit einer nur zehnpromzentigen Wahrscheinlichkeit davon aus, daß dies noch in diesem Jahrhundert abrupt passieren kann.

Seit mehreren Jahren aber belegen Forschungen, daß sich Salzgehalt, Wassertemperatur und Strömungsgeschwindigkeit in der kritischen nördlichen Umwälzregion zwischen Island und Spitzbergen verändern. Kälte und Salzgehalt verursachen das Absinken des Wassers, da salzhaltiges Wasser dichter und damit schwerer ist. Erwärmt sich das Wasser und verringert sich der Salzgehalt, dann sinkt das Wasser langsamer ab, und der Umwälz-Motor zieht nicht mehr so viel warmes Wasser vom Golfstrom an. Die thermohaline Zirkulation wird schwächer.

Britische Meereswissenschaftler hatten schon 2005 in der Zeitschrift „Nature“ geschrieben, daß nur noch halb so viel kaltes Tiefenwasser nach Süden ströme wie 50 Jahre zuvor. Schon Ende der 90er Jahre hatten skandinavische Forscher beobachtet, daß vor Spitzbergen weniger Wasser in die Tiefe absinkt, als bisher gemessen.

In einer im Juni 2007 veröffentlichten Umfrage des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) unter den führenden Klimawissenschaftlern der Erde wurde die Befürchtung geäußert, daß der Nordatlantikstrom gegen Ende des Jahrhunderts unumkehrbar abbrechen könnte. Der tipping-point (KippPunkt) rückt näher. Dadurch könnte der Meeresspiegel auf dem Nordatlantik um 1 Meter ansteigen. „Die Folgen auf das Klimasystem wären global, da der Nordatlantikstrom auch mit dem El-Niño-Phänomen, dem indischen Monsun oder dem afrikanischen Regengürtel verbunden ist,“ sagte PIK-Forscher Anders Levermann.

Eine neueste, Anfang August 2009 veröffentlichte Untersuchung erschreckte die Fachwelt. Im mittleren Nordatlantik ist die Oberflächentemperatur des Wassers um 3°C gesunken, und die Fließgeschwindigkeit des Golfstroms hat sich um 30 % verringert. Gleichzeitig ist der Meeresspiegel an der Ostküste der USA um teilweise 60 cm angestiegen. All diese Daten können Anzeichen dafür sein, daß sich die thermohaline Zirkulation abschwächt und sich der Nordatlantikstrom verlagert oder zum Erliegen kommt.

Eine Gegenbewegung kommt vom Süden her. Der aus dem Indischen Ozean kommende sehr kräftige und sehr salzhaltige warme Agulhas-Strom, der bisher vor dem Kap der Guten Hoffnung zurück in den Indischen Ozean floß, kann nun teilweise weiter an der Südwestküste Afrikas in den

Atlantischen Ozean vordringen und über den Benguela-Strom salzhaltiges Wasser in den Nordatlantik tragen lassen. Der Grund ist, daß sich die zwischen Afrika und Antarktis fließende gegenläufige Westwindtrift weiter nach Süden verlagert hat. So hat der Agulhas-Strom Platz gewonnen und kann in breiterer Front mit seinen sehr salzhaltigen Wassern in den Atlantik vordringen und das weiter nördlich fließende Golfstromsystem stabilisieren. Ob dieses neu einströmende salzhaltige Wasser die durch die nordpolare Eisschmelze hervorgerufene Versüßung des Nordatlantikwassers ausgleichen kann, ist noch ungewiß.<sup>24)</sup>

Fazit: Die weitere Erwärmung der Ozeane ist unumkehrbar und über Jahrhunderte wirksam. Dies hat direkt zur Folge, daß das arktische Meereis unumkehrbar verschwinden wird, und indirekt, daß die Eisschilde der Westantarktis und Grönlands zunehmend schmelzen. Wir müssen mit einem Meeresspiegelanstieg von bis zu 2 Metern in diesem Jahrhundert und bis zu 1 Meter bis 2050 rechnen. Die erwärmten Ozeane erwärmen weltweit die Luft, beeinflussen die Meeresströmungen und die globale Luftzirkulation. Besonders bedrohlich und unumkehrbar ist das Auftauen der submarinen Methanhydrate. Sollte man kein Verfahren entwickeln, um das aufsteigende Methan aufzufangen, werden die Methanhydrate die Klimaerwärmung beschleunigen.

## **2. Die süd- und nordpolaren Gebiete und die kontinentalen Gletscher- und Permafrostregionen**

Die arktische Region, das sind der Arktische Ozean, Grönland und die Landflächen der Tundren Sibiriens und Nordamerikas haben über mehrere Rückkopplungen einen besonderen Einfluß auf das globale Klima.

Die Entwicklung im einzelnen:

### **2.1. Das arktische Meereis**

Tierfreunde erschütterte Anfang Oktober 2009 die Meldung, daß am Icy Cape an der Nordküste Alaskas 131 tote Walrosse gefunden worden waren. Das erste Mal wurde das Phänomen des massenhaften Walross-Sterbens 2007 an der nordöstlichen Küste Sibiriens beobachtet. Damals fanden russische Biologen bis 4000 Kadaver vorwiegend junger Tiere. Die Ursache dieses Walross-Genozids ist der dramatische Verlust des nordpolaren Meereises. Walrosse ernähren sich von Krabben, Würmern und Muscheln am Boden des Meeres. Sie tauchen vom küstennahen Packeis aus. Je mehr sich das Eis in die nördlichen tieferen Bereiche des Arktischen Ozeans zurückzieht, desto schwerer wird es für die Tiere, den Meeresboden zu erreichen.

Das polare Meereis schmilzt schneller als befürchtet. Besonders die letzten vier Jahre waren bedrohlich. 2006 war die Nordwestpassage im Norden Kanadas eisfrei und auch für gewöhnliche Schiffe passierbar. 2007 lag die niedrigste je gemessene Eisausdehnung am Ende des Sommers bei nur noch 4,1 Mio km<sup>2</sup>. Im September 2008 wurde die zweitgeringste je gemessene Meereisausdehnung von 4,5 Mio km<sup>2</sup> beobachtet, jedoch war das Eis dünner als 2007 und hatte deswegen ein geringeres Gesamtvolumen.

Zum ersten Mal waren gleichzeitig die Nordwest- und die sibirische Nordostpassage eisfrei, und es war der dritte Sommer nacheinander, an dem Schiffe die Nordwestpassage ohne Eisbrecher für einige Tage durchqueren konnten. Im Sommer 2009 fuhren zwei Frachtschiffe der in Bremen ansässigen Reederei Beluga Group von Japan kommend statt durch den Suez-Kanal durch die sibirische Nordostpassage nach Rotterdam. Nach Auskunft der Reederei brachte die fast 3000 Seemeilen kürzere Fahrt einen Zeitgewinn von 10 Tagen und eine Frachtkostenersparnis

von 400 000 € 25)

Auch im Jahr 2009 setzte sich die Eisschmelze ungebremst fort. Allein im Monat Juli waren täglich 106.000 km<sup>2</sup> Eis abgeschmolzen (US-National Snow and Ice Data Center NSIDC), das bedeutet, daß alle drei Tage eine Eisfläche von der Größe Deutschlands verschwindet. Am 12. September bedeckte das Eis nur noch 5,1 Millionen km<sup>2</sup>. 26) Das war die drittkleinste arktische Eisfläche seit Beginn der Satellitenmessungen im Jahr 1979 (1980 7,8 Mio km<sup>2</sup>). Das langjährige Mittel liegt bei etwa 7 Mio km<sup>2</sup>. Der kanadische Arktische Archipel verzeichnete 2008 die längste je erlebte Schmelzperiode von 129 Tagen. Das Ellesmere Eisschelf bricht zusammen. 27)

Bedrohlich ist auch, daß sich riesige mehrere hundert Kilometer lange Eisrisse von Spitzbergen über die arktische Zone Rußlands bis zum Nordpol erstrecken, daß bis zu 10 % des arktischen Eises in Teilstücke zerrissen ist und daß das alte stabile 5 - 10jährige Packeis - für die Wissenschaftler unerwartet - zunehmend schneller abnimmt, während das instabile einjährige Eis im Sommer schmilzt. Während 1988 noch 21 % des Meereises von 7jährigem oder älterem Eis und 35 % von 5jährigem oder älterem Eis bedeckt war, so waren es 2007 nur noch 5 bzw. 10 %. Am Beginn der Schmelzperiode 2009 gab es auf dem Arktischen Ozean vorwiegend einjähriges Eis, nur noch auf 10 % der Fläche gab es 2jähriges Eis. 28) Nach Einschätzung des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung ist dies „ein sich beschleunigender langfristiger Trend“. Eine Rückkehr zur historischen Eisausdehnung bis Ende der 90er Jahre sei nicht zu erwarten“. 29) Gegenüber früher sind die winterliche Frostperiode milder und die sommerliche „Schmelzperiode länger geworden. Rechneten die Wissenschaftler des IPCC im Weltklimabericht mit einer eisfreien Arktis gegen Ende des Jahrhunderts, so fürchten Experten des US-NSIDC, daß die Arktis schon im Sommer 2015 eisfrei sein könnte. 30)

Die Gründe für das sich beschleunigende Abschmelzen sind der ungebrochene globale Anstieg der Lufttemperatur und die Erwärmung der Meere. Die Lufttemperaturen über der Arktis sind doppelt so schnell gestiegen, wie der globale Durchschnitt. Und die relative Luftfeuchtigkeit hat abgenommen. Während der weltweite Temperaturanstieg zwischen 1890 und 2007 bei 0,78°C lag, erwärmte sich die Arktisregion um 1,9°C 31) „Klimaforscher befürchten bis zum Ende des Jahrhunderts eine Erwärmung (der Arktisregion) um 6 Grad.“ 32) Verantwortlich dafür ist eine stärkere Zufuhr warmer Luft und die abnehmende Reflexionsfähigkeit (Albedo) der Region. Noch bis in die 90er Jahre wurden 80 % der einfallenden Sonnenstrahlung von den Eisflächen reflektiert. Diese Albedo verringert sich zunehmend durch die dramatische Eisschmelze. Die immer größer werdenden dunklen Meeresflächen absorbieren Wärme und reflektieren nur noch 20 %. Sie verstärken so den Abschmelzprozeß. Je kleiner die Eisfläche desto geringer der regionale Abkühleffekt für Luft und für Wasser, desto mehr heizen sie sich auf. Auch hier gibt es einen Verstärkungseffekt.

Die steigende Temperatur des Oberflächenwassers ist ebenfalls für den zunehmenden Verlust des polaren Meereises verantwortlich. Zum einen wird Wärme an die Luft abgegeben, zum anderen nagt das Oberflächenwasser von unten am Packeis. Durch das wärmere Ozeanwasser war die Eisschmelze in den Jahren 2007/2008 dreimal größer als in den Vorjahren, und es kommt vor allem durch die Bering-Straße vom Pazifik. Rasmus Tonboe vom Dänischen Meteorologischen Institut warnt: „Das arktische System befindet sich in einem selbstverstärkenden Erwärmungsprozeß, der in den nächsten Jahrzehnten nicht mehr zu bremsen ist. Das Arktis-Klima ist offenbar bereits gekippt.“(arctic amplification) Offenbar hat sich die atmosphärische Zirkulation der Arktis verändert. Sie bringt nun warme Luft in die Region.33) Prof. Rüdiger Gerdes vom Alfred-Wegener-Institut (AWI) macht noch auf einen weiteren Effekt aufmerksam: „Sobald das Eis schwindet, wird verstärkt Wärme vom Wasser in die Atmosphäre transportiert. Und das scheint die Luftdruckmuster in der Atmosphäre zu beeinflussen. Seit einigen Jahren beobachten wir, daß sich die Luftdruckmuster allmählich verlagern. Früher war die sog. Nordatlantische Oszillation das

vorherrschende Muster - ein Hochdruckgebiet über den Azoren sowie ein Tiefdruckgebiet über Island. In den letzten Jahren aber verschiebt sich dieses Tiefdruckgebiet immer weiter nach Osten... Dadurch geraten große Teile Europas eher in den Bereich nördlicher Winde mit kalter und trockener Luft. Und das bedeutet: In Zukunft könnten die Winter trockener und kälter werden." 34)

Fazit: Daß das arktische Meereis vollkommen schmilzt, ist unumkehrbar. Mehrere sich selbst verstärkende Prozesse erhöhen die Wahrscheinlichkeit, daß das polare Eis weit schneller als erwartet, eventuell schon vor 2050, verschwunden sein wird. Das PIK rechnet damit erst in etwa 100 Jahren. 35) Das arktische Meereis spielt keine Rolle beim Meeresspiegelanstieg, wohl aber ist es entscheidend für den Wärmehaushalt. Die Meerestemperaturen werden weiter ansteigen und die globalen Meeresströmungen beeinflussen.

## 2.2. Der grönländische Eisschild

Der grönländische Eisschild hat eine Fläche von 1,71 Millionen km<sup>2</sup> (5 mal die Fläche Deutschlands) und ein Volumen von 2,95 km<sup>3</sup>. Er umfaßt 12 % des land-gebundenen Eisvolumens der Erde. Wenn dieses Eis schmilzt, würde es einen globalen Anstieg des Meeres um 8 Meter verursachen. Auch diese riesige Eismasse schmilzt, und sie schmilzt schneller, als noch im Bericht des Weltklimarats (IPCC) 2007 prognostiziert. Verantwortlich dafür sind steigende Lufttemperatur und Erwärmung des Meerwassers. Sommerliche Lufttemperaturen um bis zu 18° C in Südgrönland sind nicht mehr ungewöhnlich.

Nach Ramstorff/Schellnhuber 36) ist die Abschmelzfläche Grönlands zwischen 1979 und 2005 um 25% angewachsen. Von April 2002 bis April 2006 verlor Grönland pro Jahr 248 km<sup>2</sup> an Eisfläche, vorwiegend in Südgrönland. Im Sommer 2007 begann die Schmelzsaison 30 Tage früher, und sie dauerte südlich des 70. Breitengrades teilweise 50 Tage länger als in den Vorjahren. 37) Im Jahr 2008 waren die großen Gletscherzungen um 184 km<sup>2</sup> zurückgegangen. Das waren dreimal so viel wie im Rekordjahr 2007. 38) Betrag der Verlust an Eismasse nach Daten der Satellitenmission GRACE in den Jahren 2002/2003 noch jährlich 137 Gt, so beschleunigte sich dieser Prozeß auf 286 Gt/a zwischen 2007 – 2009. 39) Insgesamt gingen zwischen 2000 und 2008 1500 Gt an Eismasse verloren, so errechnete ein nieder- ländisch-britisch-US-amerikanisches Wissenschaftlerteam um Michiel van den Broeke vom Institute for Marine and Atmospheric Research, Utrecht. 40) Die Abschmelzprozesse verursachen Risse und Furchen in der Eisdecke mit entsprechenden Verschattungen, die die Reflexionsfähigkeit der Eisoberfläche (Albedo) erheblich verringern, dadurch mehr Sonnenstrahlen aufnehmen und die Eisschmelze verstärken. Zusätzlich bilden sich auf den schmelzenden Eisflächen tausende dunkle Schmelzwasserseen, die ebenfalls die Albedo negativ beeinträchtigen. Einer dieser Schmelzwasserseen ist 4 km lang und besteht seit 2006. Er verschwand 2008 innerhalb von 90 Minuten in die Eistiefen mit einer Fließgeschwindigkeit größer als die der Niagara-Fälle. 41)

Bedrohlich ist, daß der wärmere Nordatlantikstrom seit kurzem bis an die Ostküste Grönlands reicht und den von Norden kommenden kalten Ostgrönlandstrom verdrängt. Britische Glaziologen haben anhand von 7 Millionen Messwerten zwischen 2003 und 2007 beobachtet, daß die große Schmelze mancher Gletscher weniger von den steigenden Lufttemperaturen als von den warmen Ozeanströmen beeinflusst wird, die bis an die Gletscherzungen heranreichen. 0,5 bis 3 Grad warmes Ozeanwasser an den Zungen dreier Gletscher an der Ostseite Grönlands maß das Greenpeace-Schiff „Arctic Sunrise“ im Sommer 2009. Die 80 km lange Gletscherzunge des 79°Nord-Gletschers etwa schwimmt auf dem Wasser und hält die gesamte Eismasse dahinter fest. Wenn sie abschmilzt, wird ein bedeutender Teil des Inlandeises nachrutschen. Nach Meinung der Greenpeace-Wissenschaftler ist die Gletscherschmelze von unten bis zu 20 mal stärker als die Oberflächenschmelze.

Auch an der Westseite Grönlands ist ähnliches zu beobachten. Der große Jakobshavn Isbrae-Gletscher, der sich aus 7 % der Eisschildfläche speist, hat sich seit 1997 von einer langsamen Eiszunahme zu einem schnellen Eisverlust gewandelt und plötzlich seine Fließgeschwindigkeit verdoppelt.<sup>42)</sup> 186 bis 2006 untersuchte Gletscherbeben stammen von ruckartigen durch die Eisschmelze hervorgerufenen Bewegungen der Gletscher. Gab es in den 90er Jahren in Nordwestgrönland nur ein Beben, so waren es in den Jahren 2003 - 2005 bereits 25 Beben.

Schon in der im Februar 2008 veröffentlichten PIK-Studie „Kippelemente im Klimasystem der Erde“ heißt es: „Wissenschaftler gehen mit großer Sicherheit davon aus, daß das Eis aufgrund der globalen Erwärmung schwinden wird“ (S.1). Die kritische Grenze liege bei einer lokalen Erwärmung.

2) Der dänische Polar- und Klimaforscher Sebastian Mernild hat auf einer Klimakonferenz in der grönländischen Hauptstadt Nuuk Anfang September 2009 davor gewarnt, daß dem grönländischen Inlandeis der „tipping point“, der Punkt an dem der zunehmende Abschmelzprozeß sich verselbständigt, schon viel früher drohe. Da die Klimaerwärmung in der nordpolaren Region doppelt so schnell verläuft wie im globalen Durchschnitt, liegt dieser „Kipp-Punkt“ schon bei einer regionalen Erwärmung zwischen 0,4 und 0,6 Grad. Und das könnte zwischen 2020 und 2030 eintreten. „Jetzt deutet jedenfalls alles darauf hin, daß sich dieser Prozeß dann unabwendbar fortsetzt.“<sup>43)</sup> Dieser Kipp-Punkt wird eintreten, weil sich das Meerwasser und damit auch die Lufttemperatur global noch über einen sehr langen Zeitraum weiter erwärmen werden.

Fazit: Wie ein „erwachender Riese“ wird der Grönland-Eisschild unumkehrbar abschmelzen. Die Folgen sind bedrohlich. Man rechnet damit, daß das globale Meerwasser bis zu 7 m ansteigen wird, wenn der Grönland-Eisschild innerhalb von 300 Jahren geschmolzen ist. Zur Zeit liegt der Beitrag Grönlands zum Meeresspiegelanstieg noch bei bis zu 20 %. <sup>44)</sup> Das PIK schätzt das Ende des Abschmelzprozesses auf 300 - 1000 Jahre. Aber die tatsächlichen Abschmelzbeobachtungen sind alarmierender. Die Abschmelzgeschwindigkeit wird deutlich ansteigen. Schon wenn 20 % des Grönlandeises abschmelzen, werden wir einen zusätzlichen Anstieg des Meeresspiegels um 1 Meter haben. Und das wird wahrscheinlich vor dem Jahr 2100 der Fall sein. Das im Eis gebundene abschmelzende Süßwasser wird den Salzgehalt und damit die Fließgeschwindigkeit des Nordatlantikstroms verringern und schließlich unumkehrbar zum Erliegen bringen, wenn nicht vom Südatlantik her genügend salzhaltiges Wasser zugeführt wird.

### 2.3. Die Permafrostböden der arktischen Tundren

Fast ein Viertel der Landfläche der Nordhalbkugel (~ 10 Mill km<sup>2</sup>) sind mit Permafrostböden bedeckt. Die arktischen Permafrostböden umfassen die nördlichen Gebiete Alaskas und Kanadas, die Ränder Grönlands und Spitzbergens, den größten Teil Sibiriens und einige Gebiete des norwegischen Gebirges und Lapplands. Es sind klimatisch trockene Gebiete mit geringer Schneebedeckung. Permafrost ist dauerhaft gefrorener Boden. Er erreicht unterschiedliche Tiefen: in Sibirien bis zu 1 500 Meter, in Skandinavien nur 20 Meter. Der Boden besteht zu einem Großteil aus Eis. Im kurzen Sommer weicht er oberflächlich auf und friert im langen Winter wieder zu. Wenn der Boden durch den Tauprozeß Eis verliert, wird er instabil. Wie die gesamte arktische Region erwärmen sich die Permafrostgebiete schneller als der übrige Globus. Wurden um 1914 noch Temperaturen unter 50°C gemessen, so sind es heute durchgängig 10 Grad weniger. Seit 1980 ist die Temperatur an der Oberfläche der Tundra um 3°C angestiegen. Die Temperatur im Permafrostboden Alaskas ist in 20 Meter Tiefe um 2° C angestiegen. <sup>45)</sup> Nach Auskunft von Jörn Thiede, Direktor des Alfred-Wegener-Instituts (AWI), hat die Permafrostfläche seit 1900 um 7 % abgenommen. Die sommerliche Tauperiode verlängert sich. Der Tauprozeß dringt in immer tiefer liegende Bereiche des Bodens. Die Permafrostgrenze zieht sich nach Norden zurück. Bis zum

Ende des Jahrhunderts werden es mehrere 100 km sein. Auch die mit Schnee bedeckte Fläche hat seit 1980 um 10 % abgenommen. In Nord-Schweden, um den 68. Breitengrad, sind inzwischen 30-40 % des Permafrostbodens aufgetaut. Das Klima-Modell CCSM3 (Community Climate System Model, Version 3) rechnet bis ~ 2030 mit einem Rückgang der Permafrostfläche um 4 Mill km<sup>2</sup>. 46)

In Nord-West-Sibirien lebt das mongolische Volk der Nenzen. Es sind Nomaden, die sich durch Jagen, Fischen und Rentierhaltung ernähren. Von den Sommergebieten der großen Yamal-Halbinsel wandern sie im November über die zugefrorene Mündung des Ob. Im Jahr 2008 war es das erste Mal, daß dieser 20 - 70 km breite Mündungsfjord erst Ende Dezember zufror. Im Winter 2007/2008 war das Eis an der Nord-Westküste der Halbinsel 164 cm dick, im Winter 2008/2009 50 cm weniger. 47) Im Deltagebiet des sibirischen Lena-Stromes betreibt das Alfred-Wegener-Institut(AWI) eine Forschungsstation. Dort haben die Wissenschaftler festgestellt, daß an den Küsten zur Laptev-See hin, einem Randmeer des Arktischen Ozeans, der Boden zu bröckeln beginnt und im Meer verschwindet. An manchen Stellen sind es schon 10 Meter pro Jahr. Es gibt kleine Inselgruppen, die so gänzlich im Meer verschwunden sind. 48) Der wichtigste Hafen der westkanadischen Arktis, Tuktoyak, hat durch Küstenerosion Wohnhäuser und eine Grundschule verloren. Das wegtauende Meereis bewirkt, daß Sturmfluten die Küste erreichen. Das Küstendorf Shish an der Nordküste Alaskas mußte evakuiert werden. Aber auch im Inland taut der Boden auf. In der zentral-sibirischen Großstadt Jakutsk, die auf Permafrostboden errichtet wurde, sind mehr als 300 Gebäude durch taubedingte Bodenabsenkungen beschädigt. Betroffen sind auch ein Kraftwerk und die Rollbahn des Flughafens. Mehrere Städte Sibiriens mit insgesamt über 500 000 Einwohnern sind vom Tauprozeß betroffen, aber auch Öl-Pipelines, Gasleitungen, Eisenbahnschienen und andere Transportwege werden beschädigt.

Am bedrohlichsten aber ist die Freisetzung von Treibhausgasen. Chris Field, US-Klimaforscher der Stanford University und Mitglied des Weltklimarates IPCC, schätzt, daß in den Permafrostgebieten etwa 1000 Gt Treibhausgase in den Permafrostgebieten lagern. 49) Hatte man bisher angenommen, daß sich bei auftauendem Permafrost größere Pflanzen ansiedeln und mehr CO<sup>2</sup> aufnehmen, als es Flechten und Moose tun, so wurde in einer mehrjährigen von Edward Schuur in Alaska geleiteten Feldstudie ermittelt, daß bei über mehrere Jahre andauerndem Tauprozeß erheblich mehr CO<sup>2</sup> in die Atmosphäre entlassen als durch stärkeres Pflanzenwachstum gebunden wird. Auf die gesamten Permafrostregionen der Arktis hochgerechnet, kommen sie zum Ergebnis, daß der tauende Permafrostboden pro Jahr 0,8- 1,1 Gt Kohlenstoff freigibt. 50) Dies betrifft nicht nur die Freisetzung von CO<sup>2</sup>, sondern auch das weit klimawirksamere Methan. Durch den Auftauprozeß wird der im tief gefrorenen Torf gelagerte organische Kohlenstoff von primitiven Ur-Bakterien, sog. Archaea, in Methan und CO<sup>2</sup> verwandelt. Dieser Prozeß der Methanfreisetzung hat mehrere Stufen: Im Sommer verwandelt sich die Tundra in eine Sumpflandschaft mit Seen und Teichen. Die Mikroorganismen erwachen aus ihrer Kältestarre und beginnen, den organischen Kohlenstoff im Boden zu zersetzen und ihn zu Methan und CO<sup>2</sup> zu verwandeln. Die Klimagase entweichen in die Atmosphäre und verstärken die Erwärmung. Allein im Lena-Delta werden pro Jahr 70 000 t Methan freigesetzt. Das ist mehr als das, was an Methan in Deutschland im Jahr als Deponiegas entweicht. Ab einer Temperatur von minus 7°C können die Mikroorganismen Methan bilden. Bei höheren Temperaturen erhöht sich ihre Stoffwechselaktivität und damit die Methanproduktion. Auch durch den Erosionsprozeß an den Küsten wird Methan freigesetzt. 51)

Bedeutsam ist außerdem, daß in den flachen dauer-gefrorenen Küstengebieten Ostsibiriens weltweit die größten submarinen Methanhydrat-Lager gebunden sind. Der submarine Permafrost taut schneller auf, weil das ihn umgebende Wasser 10°C wärmer ist als der etwa minus 12°C kalte Permafrost an Land. Das wärmere Wasser löst die Methanhydrate und setzt Methan frei. 52)

Nach einer Studie eines finnisch-russischen Forscherteams unter Leitung von Maija E. Repo von der Universität Kuopio emittieren auftauende Permafrostböden nicht nur die eingeschlossenen

Treibhausgase Kohlendioxyd und Methan sondern auch das 300 mal klimawirksamere Lachgas N<sub>2</sub>O. In den saisonal tauenden und im Winter wieder gefrierenden Böden bildet sich Lachgas. Zwischen 1,9 und 31 mg N<sub>2</sub>O werden pro Tag pro m<sup>2</sup> freigesetzt. Pro Jahr, so berechneten die Wissenschaftler, würden so etwa 100 000 t Lachgas in die Atmosphäre gelangen. Bisher war bekannt, daß Lachgas bei der Zersetzung von Düngemitteln in landwirtschaftlichen Böden entsteht. IPCC-Klimatologe Chris Field schätzt, daß etwa 1000 Gt Treibhausgase in den Tundraböden gespeichert sind. 53) Ein weiterer Aspekt ist, daß der stärkere Bewuchs der auftauenden Permafrostböden die Landschaft dunkler macht und somit aufnahmefähiger für Sonnenwärme. Norwegische Klimaforscher haben eine jährliche Zunahme des Methans in der Atmosphäre um 0,6 % jeweils für die Jahre 2006 und 2007 gemessen. Bis dahin lag die jährliche Zunahme seit einer Dekade stabil bei 0,34 %. Die Zunahme ist vor allem der Methanfreisetzung der auftauenden Permafrostgebiete geschuldet. Methan ist mit 18 % an der Klimaerwärmung beteiligt. 54)

Der Exekutiv-Direktor des australischen „Global Carbon Projects“, Pep Canadell, verwies auf einer Tagung in Singapur Ende Juni 2009 darauf, daß wissenschaftliche Berechnungen zeigen würden, daß der Permafrost an der Oberfläche der Erde bis zum Ende des Jahrhunderts aufgetaut sein wird. Schon wenn nur 10 % des Permafrosts auftauen, werde dies die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre um 80 ppm erhöhen. Dies würde einen zusätzlichen Temperaturanstieg von 0,7° C bedeuten, also eine Verdoppelung der Erwärmung seit dem Beginn der Industrialisierung. 55)

Fazit: Die Permafrostböden an der Oberfläche bis in die oberen Schichten tauen ebenso auf wie die flachen marinen Schelf-Gebiete an den Nordküsten Sibiriens und Alaskas. Es scheint, daß dieser Prozeß an der Landoberfläche und mehr noch in den wärmeren Küstenschelfgebieten unumkehrbar ist. Diese Gebiete bergen ein enormes Potential an Treibhausgasen. Besonders klimawirkend ist dabei die Freisetzung von Methan, wodurch die Atmosphäre zusätzlich angeheizt wird. Die Folgen des Auftauens der Permafrostböden in den polaren und subpolaren Regionen machen deutlich, daß die Begrenzung des Temperaturanstiegs auf 2°C bis 2050 nicht erreichbar ist. Wenn Wissenschaftler davon ausgehen, daß bis 2050 die Hälfte der Permafrostgebiete aufgetaut sein könnten, dann würde dies bedeuten, daß bis dahin 100 - 500 Gt Treibhausgase freigesetzt werden. Das PIK rechnet mit einem Zeitraum von 1000 Jahren bis die Permafrostböden verschwunden sind. Tatsächlich verläuft der Auftauprozeß bedeutend schneller und beschleunigt sich bei diesem Prozeß noch.

#### 2.4. Die West- und Ost-Antarktischen Eisschilde

Die Antarktis ist mit durchschnittlich 2500 Meter Höhe der höchstgelegene Kontinent der Erde. Sie ist auf dem inländischen Plateau mit durchschnittlich -55°C erheblich kälter als die Arktis. Die Küstentemperaturen reichen von - 18°C im Juni bis einige Grad über Null im wärmsten Monat Januar. Die Südpolartrift, eine kalte, die Antarktis umfließende Meeresströmung, ist die am schnellsten fließende Meeresströmung. Sie isoliert den Subkontinent von wärmeren Regionen.

Die Antarktik hat ein Eisvolumen von 25,7 km<sup>3</sup>, neun mal größer als das Grönlands, und speichert 90 % des weltweiten Süßwassers. Sie ist der niederschlagärmste, kälteste und windigste Kontinent mit nur 50 mm jährlicher Niederschlagsmenge im Inneren und bis zu 600 mm an den Küsten. 56) Am 21. Juli 1983 wurde nahe der russischen Wostock-Station die tiefste jemals auf dem Globus gemessenen Temperatur von -89,2 °C ermittelt. Es gibt auf den Inland-Eisflächen Windgeschwindigkeiten bis zu 200 km/h. Im Ostantarktischen Victoria-Land werden an 340 Tagen im Jahr bis über 300 km/h gemessen. Der Kontinent hat zwei große durch das Transantarktische Gebirge getrennte Eisschilde: die Ostantarktis und die Westantarktis. Große Teile der Eisfläche liegen auf dem Meeresgrund auf. Wäre das Eis total verschwunden, läge die Westantarktis weitgehend unter Wasser. Nur die Antarktische Halbinsel, die Gebirge des Marie-Byrd-Land, das Winson-Massiv mit fast 4900 Meter Höhe und das niedrigere Jones-Gebirge im Ellsworth-Land

würden aus dem Antarktischen Meer herausragen. Die Ostantarktik besäße eine große Landmasse mit großen Buchten und Fjorden und im Inneren tiefen Binnenmeeren und Seen. Die mächtigste Eisschicht der Westantarktis liegt im Marie-Byrd-Land auf einem tief liegenden Unterwassergraben, von dessen Grund aus sich das Eis fast 4 800 Meter erhebt. Ansonsten ist der 2 Millionen km<sup>2</sup> große Eisschild der Westantarktis etwa 2 km dick, die Ostantarktis erreicht eine Eisdicke von fast 5 km. Eine Sonderrolle spielt die Antarktische Halbinsel. Mit ihren vorgelagerten Inseln liegt sie etwa 1000 km südlich von Feuerland und hat eine Längenausdehnung von etwa 1500 km.

Auch in der Antarktis ist der Klimawandel spürbar. Die Regionen des Kontinents sind in unterschiedlicher Weise davon betroffen. Um über 2,5°C und damit am stärksten erwärmte sich in den vergangenen 50 Jahren die Antarktische Halbinsel. Dachte man noch vor einigen Jahren, daß sich nur die Westantarktis erwärmt und die Ostantarktis abkühlt, so haben US-Klimaforscher um den Wissenschaftler Eric Steig von der University of Washington, Seattle, nach Auswertung von 42 Wetterstationen für den Zeitraum 1957 - 2006 festgestellt, daß sich die Antarktis insgesamt in diesem Zeitraum um 0,6 Grad erwärmt hat, pro Jahrzehnt um 0,12°C, die Westantarktis insgesamt wie der Durchschnitt weltweit um 0,85°C, die Ost-Antarktis um 0,5°C. 57) Das Jahr 2007 war in der Westantarktis das bisher wärmste je gemessene Jahr.

Während Wissenschaftler die weitaus geringere Erwärmung der Ostantarktis auf die abkühlende Wirkung des Ozonlochs zurückführen, scheint die Erwärmung der Westantarktis dem erwärmten Meerwasser und einer Veränderung der Windsysteme geschuldet zu sein. Je mehr sich das Ozonloch wieder regeneriert, desto mehr wird sich auch die Ostantarktis der allgemeinen globalen Erwärmung anschließen. Dennoch: Auch der Ostantarktische Eisschild ist in Bewegung geraten. Zwei 2006 veröffentlichte Studien melden, daß 85 % der Gletscher ihre Fließgeschwindigkeit erhöht haben. 58) Eine neue Studie unter Leitung von Jianli Chen von der Universität von Texas, veröffentlicht am 22. November 2009 in der britischen Wissenschaftszeitschrift Nature Geoscience, kommt zum Ergebnis, daß die Antarktis insgesamt im Zeitraum 2002 - 2009 189 Gt an Eismasse pro Jahr verloren hat, davon die Westantarktis 132 Gt und die Ostantarktis 57 Gt. 59)

Ebenso wie auf Grönland verstärkt sich auch in der Antarktis der Abschmelz-Prozeß. Waren es zwischen 2002 und 2006 noch jährlich durchschnittlich 104 Gt an Eismasse, so verlor der Subkontinent im Zeitraum 2006 - 2009 246 Gt/a, also weit mehr als doppelt so viel. 60) Die Eisschilde schmelzen weit schneller ab, als noch vom Weltklimabericht des IPCC 2007 vermutet. Insgesamt spielt auch eine Rolle, daß sich die winterliche Eisbedeckung des Südpolarmeeres und damit die Albedo verringert hat. Sonnenstrahlen werden weniger reflektiert, das dunklere Wasser dagegen nimmt mehr Wärme auf. Das ARGO-Programm des Instituts für Meereswissenschaften, Kiel, hat eine Erwärmung und Salzgehaltsabnahme des Südpolarmeeres gemessen. 61)

Daß sich die Westantarktis schneller erwärmt, rührt auch daher, daß sie vom Temperaturanstieg der Ozeane stärker betroffen ist. Nicht nur die Schelfeisflächen liegen auf dem Meer. Auch ein großer Teil ihres Eisschildes liegt unter Wasser auf dem Meeresboden auf. Das aufsteigende wärmere Tiefenwasser nagt von unten und verstärkt den Schmelzprozeß. Der Westantarktische Eisschild ist insofern weniger stabil als der Grönländische und sehr viel abhängiger von der weiteren Erwärmung der Meere.

#### 2.4.1. Die Eisschelfe

Der Küste vorgelagerte und mit ihr verbundene im Wasser liegende Eisplatten nennt man Eisschelfe. Der größere Teil der Eisplatte liegt unter dem Meeresspiegel. Eisschelfe können an der Abbruchkante zum offenen Meer hin über 100 Meter dick sein. In den vergangenen 20 Jahren zerfielen 10 größere Eisschelfe an der Antarktischen Halbinsel mit einer Fläche von über 40 000 km<sup>2</sup> (entsprechend der Fläche Schleswig-Holsteins und Mecklenburg-Vorpommerns). 10 000 Jahre

war das Schelf-Eis an der Antarktis stabil, dann brach 1995 das 75 km lange und 37 km breite Larsen-A-Schelf ab. Im März 2002 gab es den spektakulären Kollaps des Larsen-B-Eisschelfs. Eine Eisplatte von 3250 km<sup>2</sup> Fläche und 720 Milliarden Tonnen Eis brach ins Meer ab (das Saarland ist etwas über 2500 km<sup>2</sup> groß). Ende Februar/Anfang März 2008 brachen in zwei Schüben Teile des Wilkins-Eisschelfs, westlich der Isla Alejandro/Alexander Island, mit einer Gesamtfläche von 507 km<sup>2</sup> ab. Dann folgte Ende Mai - erstmalig im antarktischen Winter - erneut eine 160 km<sup>2</sup> große Eisplatte, die nicht vom Schelfeis-Rand abbrach, sondern von innen nach außen aufbrach. Am 2. April 2009 zerbrach die 500 Meter breite verbliebene Eisbrücke zur Charcot-Insel. Seitdem driftet das Eisschelf in großen Bruchstücken mit einer Gesamtfläche von 13.000 km<sup>2</sup> ins offene Meer. Nur ein kleiner südlich gelegener Schelfeis-Rest in der Größe von etwa 3.500 km<sup>2</sup> an der Nordseite der Latady Insel ist verblieben. Zum Vergleich: Noch 1950 war das Wilkins-Schelfeis in 300 km Breite mit der Alexander-Insel verbunden. Reste dieser abgebrochenen Schelfeisplatten tauchten 2006 und im November 2009 als riesige Eisberge vor der neuseeländischen Südinsel auf.

Die Ursache dieser Abbrüche sind höhere Meerestemperaturen, die auf der Unterseite des Schelfeises Schmelzprozesse auslösen. Das Schelfeis bildet für die Gletscher-Abflüsse eine Barriere. Ist das Schelfeis brüchig oder hat sich ganz aufgelöst, dann beschleunigt sich der Eisstrom der dahinter liegenden Fest- landgletscherzungen.

Auf der Pazifischen Seite zwischen West- und Ostantarktis liegt das Ross-Schelfeis in der Größe Frankreichs. Seine Front zum offenen Meer hat eine Länge von 800 km. 90 % des Schelfeises liegen unter dem Wasserspiegel. Auch dieses größte antarktische Schelfeis-Gebiet beginnt instabil zu werden. Nach den NASA-Temperaturkarten sind das Ross-Schelfeis und das anschließende Marie-Byrd-Land die sich am stärksten erwärmenden Gebiete der Antarktis. Sie werden durch das bis zu 4 500 Meter hohe Transantarktische Gebirge von den kalten Winden der Ost-Antarktik abgeschirmt. Da wundert es nicht, daß es auf Ross-Insel, am Rande des Ross-Schelfeises vor wenigen Jahren zum ersten mal seit tausenden von Jahren geregnet hatte.

Am 29. November 2006 erschien im New Zealand Herald die Meldung, daß das Ross-Schelfeis zerfallen könnte. Aus Bohrproben, die Klimaaufzeichnungen von über 500 000 Jahren enthielten, konnten die neuseeländischen Wissenschaftler ableiten, daß sich solch ein Zerfallsprozeß sehr plötzlich ereignen kann. Und von den Abschmelzprozessen auf der Antarktischen Halbinsel weiß man, daß sich der Gletscherfluß deutlich beschleunigt, wenn sich das stützende Schelfeis auflöst. Das Auftauchen des SuperEisbergs B17B 1700 km südlich der australischen Küste Anfang Dezember 2009 mit einer Fläche von 140 km<sup>2</sup> rührt nach Ansicht des australischen Wissenschaftlers Neal Young von der Australian Antarctic Division vom Zerfall der Ränder des östlichen Ross-Schelfeises im Jahr 1999. Damals brach eine Eisfläche von 400 km<sup>2</sup> ab. 62) Daß der Mitte Februar 2010 erfolgte Abbruch der 2500 km<sup>2</sup> großen und bis zu 400 Meter hohen Gletscherzunge des auf der Atlantik-Seite liegenden Mertz-Gletschers mit dem Klimawandel zu tun hat, wird von Wissenschaftlern verneint. Zwischen dem 12. und 13. Februar 2010 kollidierte der ähnlich große B9B-Eisberg mit der Gletscherzunge und brach den größten Teil ab. B9B stammt vom dreimal so großen Eisberg B9. Dieser hatte sich 1987 von den instabil gewordenen Rändern des Ross-schelfeises gelöst, und die Ross-See überquert. Am Kap Adare zerbrach er in die drei Teile B9A, B9B und B9C. 63) B9B bewegte sich entlang der Ostantarktis weiter und setzte sich 5 Jahre später vor dem Mertz-Gletscher auf Grund. Auch die Mertz-Gletscherzunge hatte möglicherweise durch die Zufuhr wärmeren Atlantik-Wassers im Laufe der letzten Jahre zwei große Risse bekommen. Wahrscheinlich ist, daß die beiden Rieseneisberge jeweils von der Größe Luxemburgs nun wie der Eisberg B9A an der Küste entlang mit der Küstenströmung weiter westwärts bis zur Weddell-See driften. vgl. 64)

Fazit: Festzuhalten ist: Insbesondere in der Westantarktis von der Ross-See bis zur westlichen Weddell-See sind die Schelfeis-Flächen durch die Erwärmung der Lufttemperatur und des Ozean-

wassers instabil geworden. Daß Eisschelfe Eisberge kalben, ist ein natürlicher Vorgang. Aber mit der Erwärmung um 3 Grad in den letzten 60 Jahren hat sich die Kalbungsrate stark beschleunigt.

#### 2.4.2. Die antarktischen Gletscher

Der mächtigste Gletscher der Westantarktis ist der im Süden der Antarktischen Halbinsel gelegene bis zu 2 ½ km mächtige und 5400 km<sup>2</sup> große Pine-Island-Gletscher. Er hat ein Einzugsgebiet von 175000km<sup>2</sup>. Das sind etwa 10 % des Westantarktischen Eisschildes. Er transportiert pro Jahr 69 000 km<sup>3</sup> Eis und gewinnt durch Schneefall 23 000 km<sup>3</sup>. Der Eisverlust beträgt also 46 000 km<sup>3</sup>. Zwischen 1991 und 2002 verlor der Gletscher 31 km<sup>3</sup> Eis. Seine Fließgeschwindigkeit hat sich zwischen 1992 und 2007 deutlich erhöht. 65) Er dünnt viermal schneller aus, als frühere Schätzungen vermuten ließen, und wird in den nächsten 100 Jahren verschwunden sein. 66) Vor acht Jahren ging man noch davon aus, daß der Abschmelzprozeß 600 Jahre dauern wird. Die Eismasse des Gletschers ist so groß, daß sein Abtauen den Meeresspiegel um 25 cm anwachsen läßt. 67)

Das Wasser der Amundsen-See, in die der Gletscher fließt, ist 0,5 Grad wärmer, als bisherige wissenschaftliche Simulationen angenommen hatten. Auch die beiden benachbarten Gletscher, Thwaites und Smith, verlieren deutlich an Eismasse. Insgesamt könnten die untersuchten Gletscher ihre Fließgeschwindigkeit in den nächsten Jahren noch deutlich erhöhen.

Fazit: Das PIK rechnet mit einem Kollaps des Westantarktischen Eisschildes (WAE) in 300 - 1000 Jahren 28\*) Neuere Forschungen rechnen mit einem weit schnelleren Abschmelzprozeß. Der WAE ist in sich instabil geworden und wird schneller, als bisher erwartet, zusammenbrechen (inherently instable). 68) Die kleineren Schelfeisflächen vor allem der Antarktischen Halbinsel werden in wenigen Jahren weitgehend zerfallen. Das Aufbrechen des sich deutlich erwärmenden Ross-Schelfeises innerhalb der nächsten 20 Jahre wird den Zerfall des WAE erheblich beschleunigen, vor allem aber einen zunehmenden Gletscherfluss des Ostantarktischen Eisschildes (OAE) bewirken. Dieser Prozeß erfolgt bedeutend schneller, als bisherige wissenschaftliche Prognosen haben erwarten lassen. Das sich weiter erwärmende Ozeanwasser wird zunehmend die Schelfeisflächen und die auf dem Meeresgrund aufliegenden Eisflächen der Westantarktis angreifen. Dieser Abschmelzprozeß ist unumkehrbar, weil sich die Ozeane über viele Jahrhunderte nicht mehr abkühlen werden.

Das Eisvolumen der Westantarktik ist so groß, daß es bei vollständigem Abschmelzen den globalen Meeresspiegel um etwa 6 Meter ansteigen lassen wird. Innerhalb der nächsten 10 - 15 Jahre wird sich dieser Trend des Meeresspiegelanstiegs so stark bemerkbar machen, daß die Prognosen des IPCC-Reports über den Meeresspiegelanstieg zu kurz gegriffen sein werden.

Was den OAE betrifft, so ist er in seiner großen Masse noch relativ stabil, beginnt aber an den Rändern instabil zu werden.

#### 2.5. Die kontinentalen Gletscher

Die weltweit etwa 160 000 Gletscher außerhalb Grönlands und der Antarktis nehmen eine Fläche von ca. 680 000 km<sup>2</sup> ein und haben ein Eisvolumen von 180 Gt. 44) Fast alle Gletscher außerhalb der polaren Gebiete (über 95 %) verlieren Eismasse und ziehen sich zurück. Für die wenigen stabilen oder leicht anwachsenden Gletscher gibt es spezifische regionale Gründe. Der an der Universität Zürich ansässige World Glacier Monitoring Service hat seit 1980 mehr als 80 Gletscher weltweit untersucht, darunter 30 Gletscher in 9 Gebirgsregionen mit Langzeitmessreihen. In diesen 27 Jahren haben die Gletscher durchschnittlich mehr als 11 Meter w.e.(Wasseräquivalent) an Dicke verloren. In den ersten 20 Jahren schmolz das Eis pro Jahr um etwa 30 cm w.e.(33 cm Eis), in den 8 Jahren ab 2000 waren es 70 cm w.e. (77 cm Eis) pro Jahr. Die Schmelzrate hat sich also mehr als

verdoppelt.69) Wären alle Gletscher gänzlich verschwunden, würde der Meeresspiegel um 50 cm steigen. Die Gletscher in den polaren Randzonen allein haben ein Volumen von 34 cm Meeresspiegelanstieg, die übrigen Gletscher nur von 16 cm. Der Rückgang der kontinentalen Gletscher hat außer beim Meeresspiegelanstieg und für den AmazonasRegenwald keine weiteren globalen, wohl aber tiefgreifende regionale Folgen. 17 %, 1/6 der Erdbevölkerung, hängen in der Trinkwasser- und landwirtschaftlichen Wasserversorgung vor allem in den trockenen Jahreszeiten von Gletscherwasser ab. Wenn die globale Gletscherschmelze in 30 - 50 Jahren weitgehend versiegt sein wird, werden die vorwiegend durch Gletscherwasser gespeisten Flüsse deutlich weniger Wasser transportieren. Landwirtschaftliche Erträge, Trinkwasserversorgung, Energiegewinnung durch Wasserkraftwerke und die Kühlwassermenge für Atomkraftwerke (etwa an Rhein und Rhone) werden erheblich gemindert.

### 2.5.1. Die tropischen Gletscher in Afrika

Die tropischen Gletscher in Afrika(bekannt vor allem der Kilimandscharo), Neu Guinea, Mexico 70) und Venezuela 71) werden das Jahr 2020 nicht überdauern. Die Gletscher in den Hochanden Kolumbiens 72), Ecuadors 73) und Boliviens werden zwischen 2020 und 2030 weggeschmolzen sein. Trostlos schnee- und eisfrei sieht heute das am höchsten gelegene Skigebiet der Erde am Chacaltaya Gletscher bei La Paz/Bolivien in 5.300 m Höhe aus. Von den ehemals 3044 Gletscher Perus in 18 großen Gletscherregionen sind die unterhalb von 5 500 Metern verschwunden. 74) Der Weltklimarat (IPCC) rechnet damit, daß in etwa 30 Jahren alle tropischen Andenländer ihre Gletscher verloren haben werden.

Nahezu im Gleichgewicht zwischen Gletscheraufbau und -schmelze, hatten die tropischen Gletscher Südamerikas einen beträchtlichen Teil der Wasserzufuhr für den Amazonas und seine Nebenflüsse geliefert. Sie sind zuständig für die Trinkwasserversorgung der großen Städte und liefern den Ländern über die Wasserkraftwerke Energie. Nach Auskunft des INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, Peru) wird das Gletschersterben für die Trinkwasserversorgung ab 2020 spürbar werden. 75) Quito, die Hauptstadt Ecuadors, erhält 50 % seines Trinkwassers aus Gletscherwasser, La Paz, die Hauptstadt Boliviens, 30 %. Bolivien gewinnt 50 % seiner Energie aus Wasserkraft, Kolumbien 73 %, Ecuador 72 % und Peru 81 %. 76)

### 2.5.2 Die Gletscherregionen der südlichen Anden und Nordamerikas

Die größten Gletscherflächen Amerikas liegen in den südlichen Anden, darunter die beiden großen Eisschilde Campo de Hielo Patagónico Norte (HPN), ganz zu Chile gehörig, mit 24 Gletschern und einer Fläche von 4.200 km<sup>2</sup> und Campo de Hielo Patagónico Sur (HPS) mit 63 Gletschern und einer Fläche von 14.200 km<sup>2</sup>, 50 Gletscher gehören zu Chile, 13 zu Argentinien. Die einzigen Gletscher, die stagnieren oder an Eisfläche zunehmen, sind Pio XI (Chile) und Perito Moreno (Argentinien). Die wichtigsten Gletscher des HPS befinden sich auf dem Rückzug mit einem jährlichen Verlust von 7,2 km<sup>3</sup>, die HPN- Gletscher von jährlich 2,63 km<sup>3</sup>. 77) Die Gletscher der patagonischen Anden tragen etwa 5 cm zum Meeresspiegelanstieg bei. 78)

Die Gletscherregionen Nordamerikas mit einer Gesamtfläche von 276.000 km<sup>2</sup> befinden sich in den Rocky Mountains und in den küstennahen Gebirgen am Pazifik. Dabei befinden sich allein in Alaska 13 % der globalen Gebirgsgletscher. 99 % der nordamerikanischen Gletscher befinden sich im Prozeß des Abschmelzens. Besonders stark schmelzen die Gletscher Alaskas. Bis etwa 2030/2050 werden die meisten Gletscher selbst bei drastischen Klimaschutzmaßnahmen endgültig verschwunden sein. 79)

### 2.5.3. Gletscher in Asien

Die asiatischen Gletscher liegen in Zentralasien zwischen den Hochgebirgszügen des Tianshan im Norden, des Hindukusch-Pamir im Westen und des Karakorum-Himalaya im Süden. Im Zentrum dieses Gebietes liegt das „Dach der Welt“, die 4000 - 5500 m hoch liegende Quinghai-Tibet Hochebene. Es ist das größte globale Gletschergebiet außerhalb der polaren Regionen. Die meisten dieser Gletscher liegen innerhalb des Staatsgebiets Chinas. Die Gletscher der Quinghai-Tibet-Hochebene ziehen sich nach Meinung des chinesischen Glaziologen Yao Tandong seit etwa 40 Jahren zurück. Sie haben sich um 7 % verringert mit einer seit den 80er Jahren steigenden Abschmelzrate. Nach einer Greenpeace-Studie sind die Gletscher im Quellgebiet des Huanghe (Gelber Fluß) im Gebiet der östlichen Kunlun-Gebirgskette in den vergangenen 30 Jahren um 79 % zurückgegangen. Die stark abnehmenden Wasser des Gelben Flusses, der nach großen Umwegen südöstlich von Peking in den Golf von Bo Hai mündet, erreichen nur noch selten das Meer. Und manche Quellen des großen Jangtse-Flusses führen nur noch ein Viertel ihrer früheren Wassermenge.<sup>80)</sup> Das Karakorum-Himalaya-Gebirge hat 5.218 Gletscher mit einer Fläche von 33.200 km<sup>2</sup>. Davon befinden sich 3.223 Gletscher in Nepal mit einer Fläche von 5.323 km<sup>2</sup> und einem Eisvolumen von 481 km<sup>3</sup>.<sup>81)</sup> 8,6 x 10 000 000 m<sup>3</sup> Wasser werden jährlich vom „Wasserturm Asiens“ in die großen Flüsse Südasiens gespeist, in den Indus, Ganges und Bramaputra. Neben den Flüssen, die in den Bergen der Quinghai-Tibet-Hochebene entspringen, sind diese Flüsse die Grundlage der Landwirtschaft der vier bevölkerungsreichen Länder Asiens: China, Indien, Pakistan, Bangla Desh, der kleineren Himalaya-Staaten und der Länder Südasiens. Bis zu 1,3 Milliarden Menschen sind davon betroffen. „Großflächig und viel schneller als in jedem anderen Teil der Erde ziehen sich die Gletscher zurück,“ sagt der ehemalige Direktor des chinesischen meteorologischen Instituts, Qin Daha.<sup>82)</sup>

Die Schnee- und Eis-bedeckten Flächen der Karakorum-Himalaya-Gebirgsregionen werden in 40 Jahren weitgehend verschwunden sein. Auf dem „Eis, Schnee und Wasser workshop“ der University of California San Diego Anfang Mai 2009 sprach Charles Kennel von einer „super-schnellen Gletscherabnahme in der Region“. Auch die Kaschmir-Gletscher schmelzen mit „alarmierender Geschwindigkeit“ (alarming speed), meldete die britische Nachrichtenagentur Reuters am 13. Oktober 2009. Der Kolakoi-Gletscher, der größte indische Kaschmir-Gletscher, hat in den letzten drei Jahrzehnten fast ¼ seiner Fläche von ehemals 11 km<sup>2</sup> verloren.<sup>83)</sup> Der Kolakoi ist die Hauptquelle des wichtigsten Kaschmir-Flusses Jhelum. In der Hindukusch-Himalaya-Gebirgsregion haben sich enorme Schmelzwasserseen gebildet. Sie werden von Felsbarrieren gehalten. WWF schätzt, daß es allein in Nepal 2000 solcher Seen gibt. 20 davon drohen zu brechen. Die Internationale Kommission für Schnee und Eis in Katmandu/Nepal spricht davon, daß die Himalaya-Gletscher weltweit die am schnellsten schmelzenden Gletscher sind. „Fünfzig Prozent der Gletscher schrumpften zwischen 1950 und 1980. Im frühen 21. Jahrhundert hat sich dies zu 95 Prozent erhöht,“ sagt Tandong Yao, Leiter des Instituts für Tibetforschungen der chinesischen Akademie der Wissenschaften. Einige der Gletscher werden bis 2050 verschwunden sein.<sup>84)</sup>

Mehrere Ursachen gibt es für diesen bedrohlichen Schmelzprozeß. Zum einen sind es die steigenden Temperaturen, die in den hohen Lagen ähnlich wie in den polaren Regionen besonders stark ansteigen. In den vergangenen 30 Jahren waren es 3°C. Chinesische Klimawissenschaftler fürchten, daß bis zum Jahr 2050 dort ein weiterer Temperaturanstieg um 2° - 2,6°C eintreten wird. Zum anderen sind es die Rußpartikel, die durch die enorme Kohle- und Dieselerbrennung in China und Indien immer stärker die Oberflächen der Gletscher bedecken und durch ihre dunkle Farbe besonders viel Sonnenenergie aufnehmen und auf der anderen Seite die Reflexionsfähigkeit der Schnee- und Eisflächen (Albedo) verringern. Und schließlich ist es die abnehmende Intensität der Monsunphasen in den letzten 20 Jahren, die bedeutend weniger Niederschläge verursachen und

damit in den Hochlagen weniger Schnee bringen. Die Gletscher können sich nicht mehr regenerieren. 85)

Ein nicht zu unterschätzender Faktor ist die weltweite unterirdische Kohleverbrennung, vor allem in China und Indien durch zum Teil illegalen oder primitiven Kohleabbau. In China sind über 750 Kohlefeuer auf einer Fläche von 35 000 ha identifiziert, das sind 11 % des chinesischen Kohlebergbaus. 16 Mio t CO<sup>2</sup> werden dadurch in die Atmosphäre gegeben, das sind viermal so viel, wie der deutsche Autoverkehr an CO<sup>2</sup> emittiert. In Indien sind 150 unterirdische Kohlefeuer identifiziert. Viele der Brände sind außer Kontrolle geraten. In Indien sind 1,2 Millionen Menschen direkt davon betroffen. Sie leben dort, wo Kohlenmonoxyd und Schwefeldioxyd durch die Kohleverbrennung über aufbrechende Erdspalten an die Oberfläche gelangen. 86)

#### 2.5.4. Die Gletscherregionen Europas

Die europäischen Gletscher (ohne Spitzbergen) befinden sich in den Pyrenäen, in den Alpen, auf Island, dem skandinavischen Gebirgsrücken und im Kaukasus. In allen Regionen befinden sich die Gletscher auf dem Rückzug. Bis Ende des Jahrhunderts wird ein vollständiges Abtauen der europäischen Gletscher erwartet. 87) Hervorgerufen wird dies vor allem durch die Temperaturzunahme, die europaweit mit 1°C höher war als die globale Zunahme von 0,8°C. Besonders stiegen die Temperaturen in Skandinavien, Spanien/Südfrankreich und in den höheren Lagen der Alpen. In der Schweiz war die Dekade 1999 - 2009 die wärmste der letzten 150 Jahre. 88) Dementsprechend sind besonders die Gletscherregionen vom Temperaturanstieg betroffen.

Die spanischen Pyrenäengletscher sind zwischen 1894 und 2008 auf 15 % ihrer ursprünglichen Fläche zusammengeschmolzen. Von den 15 Gletschern sind vier bis 2008 verschwunden. Die letzten Gletscher auf beiden Seiten des Gebirges werden vor 2050 abgeschmolzen sein. 89)

Die Alpengletscher verloren zwischen 1850 und 1979 35 % ihrer Oberfläche und die Hälfte ihres Volumens. Seit 1985 hat sich diese Entwicklung beschleunigt. Bis 2000 gingen weitere 25 % des verbliebenen Eises verloren. Im besonders heißen und trockenen Sommer 2003 kamen noch einmal 10 % Schmelze hinzu. 90) Ab 2050 drohen die Alpen als Wasserspender für Zentraleuropa zu versiegen. 91) Die fünf verbliebenen deutschen Gletscher bedecken noch eine Fläche von weniger als 1 km<sup>2</sup>. Die beiden Gletscher der Zugspitze hatten im Jahr 1910 eine Länge von 80 Metern. Im Sommer 2009 wurden nur noch 45 Meter gemessen. 92) Zwischen 2030 und 2050 werden die deutschen Gletscher verschwunden sein. 93)

Die norwegischen Gletscher bedecken 1 % des Landes und haben eine Fläche von 2 609 km<sup>2</sup>. Galten sie bis in die neunziger Jahre hinein als Gletscher, die dem Klimawandel widerstehen, so gibt es seit 2001 einen Rückgang des Gletschereises im Volumen und in der Fläche. Der Briksdalen-Gletscher ist heute eisfrei. Die Gletscherfläche wird sich bis Ende des Jahrhunderts um 1/3 verringert haben. 94) 8 % der Fläche Islands werden von 10 Eiskappen und über 100 Gletschern eingenommen, darunter der Vatnajökull, die größte Eiskappe Europas mit einer Fläche von über 8 000 km<sup>2</sup>, einem Eisvolumen von 3 300 km<sup>3</sup> und bis zu 1000 m dick. Alle Gletscher Islands ziehen sich spätestens seit 1985 zurück. Bei der gegenwärtigen Abschmelzgeschwindigkeit von 20 - 30 km<sup>2</sup> Flächenverlust pro Jahr wären die letzten Gletscher Islands erst in einigen hundert Jahren verschwunden.

Fazit: Zum Teil bedeutend schneller als im IPCC AR4 angegeben schmelzen global-weit die nicht-polaren Gletscher. Diese Entwicklung ist unumkehrbar. Die tropischen Gletscher haben nur noch eine Lebensdauer von 10 - 20 Jahren, viele nicht-polare Gletscher von 30 - 40 Jahren. Die neueste Behauptung, die Himalayagletscher seien erst in 350 Jahren abgetaut, ist für mich nicht nachvollziehbar. Alle seriösen Untersuchungen sprechen von einer schnellen Gletscherschmelze. Bis 2035

werden die Gletscher nicht verschwunden sein, wie im IPCCAR4 behauptet, wohl aber eher bis zum Ende des Jahrhunderts. Die Gletscherschmelze hat jedoch keine globalen Auswirkungen.

### 3. Die Wälder

Weltweit gibt die FAO (Food and Agricultural Organization) den Waldbestand mit 39,52 Mio km<sup>2</sup>.\*) Das bedeutet, daß nur noch 30,3 % der Landfläche (ohne Grönland und Antarktis) bewaldet sind. 25 % davon liegen in Lateinamerika, 23 % in Rußland, 19 % in Asien, 16 % in Afrika, 12 % in Nordamerika, 5 % in Europa.95) 13,5 Mio km<sup>2</sup> (1/3) dieser Fläche besteht aus Urwäldern. Wälder speichern etwa 300 Gt Kohlenstoff, die Hälfte des auf der Erde gebundenen Kohlenstoffs.

Weltweit werden jeden Tag 350 km<sup>2</sup> Wald vernichtet, 150 km<sup>2</sup> gehen durch Urbanisierung und 300 km<sup>2</sup> durch fortschreitende Wüstenbildung verloren. 96) Zwischen 1990 und 2005 betrug der globale Netto-Waldverlust 6,45 Mio km<sup>2</sup>, das sind 61 % der Fläche Europas. Im Zeitraum 2000 bis 2005 ging der globale Waldbestand jährlich um 73 Tsd km<sup>2</sup> zurück, davon 60 Tsd km<sup>2</sup> Urwaldfläche. Afrika verzeichnete

\*) In dieser Rechnung sind 1, 4 Mio km<sup>2</sup> Plantagenwald enthalten, der biologisch und als CO<sup>2</sup>-Speicher minderwertiger ist als tropischer Regenwald oder Primärwald. Die von der FAO angegebenen Zahlen sind Nettozahlen. Gegengerechnet gegen den Regenwaldverlust werden dabei die neu angelegten Plantagenwälder. Diese haben dabei einen jährlichen Verlust von 40,4 Tsd km<sup>2</sup>. Seit 1990 verlor der Kontinent 9 % seiner Waldfläche.

In den 90er Jahren war Afrika der Kontinent mit dem größten Waldverlust. Seit 2000 wurde es von Südamerika abgelöst. In den 90er Jahren gingen dort jährlich 38 Tsd km<sup>2</sup> Wald verloren. In den Jahren 2000 - 2005 stieg der jährliche Verlust auf 42,5 Tsd km<sup>2</sup>. Daran war Brasilien mit 70 % beteiligt. 97) Allein durch Brandrodung werden jährlich etwa 6 Milliarden t CO<sup>2</sup> freigesetzt. Durch die Vernichtung von Vegetationsflächen nimmt die Verdunstungskühlung auf der Erdoberfläche ab. Wald etwa wandelt Sonnenstrahlung zu 80 % in Verdunstungskühlung um. Die vegetationsarmen trockenen Flächen führen zu weniger Niederschlägen. Diese Abnahme von Verdunstungskühlung und Niederschlag ist nach Meinung einer deutsch-slowakisch-tschechischen Wissenschaftlergruppe neben dem Kohlendioxidausstoß ein Hauptfaktor für die Klimaerwärmung.98)

#### 3.1. Die Tropischen Regenwälder

Der Tropische Regenwald reicht in Lateinamerika von Südmexico bis Peru - Brasilien, in Afrika vom südlichen Westafrika bis ins zentralafrikanische Kongobecken, in Asien von den Südhängen des Himalaya über die Küstenregionen Südostasiens bis zur indonesisch-philippinisch-mikronesischen Inselwelt und kleineren Teilen des Nordens und Nordostens Australiens. Global klimarelevant ist vor allem der Amazonas-Regenwald, das größte zusammenhängende tropische Regenwaldgebiet. Mit 4,2 Mio km<sup>2</sup> ist seine Fläche etwa eineinhalb mal so groß wie die Fläche der Europäischen Union und beherbergt das größte Flußeinzugsgebiet der Erde. Im Jahr 2000 wurde das 60 000 km<sup>2</sup> große Zentral-Amazonien von der UNESCO zum Welterbe erklärt. Im Jahr 2001 wurden 200 000 km<sup>2</sup> zum Biosphärenreservat ernannt. Rund die Hälfte aller auf dem Land lebenden Tier- und Pflanzenarten leben im Amazonas-Regenwald. Die tropischen Regenwälder nehmen Kohlendioxid aus der Luft auf und geben Sauerstoff ab. Der Amazonas-Regenwald speichert etwa

das 400fache der CO<sup>2</sup>-Emissionen Deutschlands.

Diese „grüne Lunge“ der Erde ist stark gefährdet. Mehr noch als die Wälder der gemäßigten Zonen oder die borealen Wälder Nordamerikas und Eurasiens sind es aufgrund ihrer größeren Biomasse vor allem die tropischen Regenwälder, die für das globale Klima bedeutsam sind. Ihre Flächen haben sich von 16 - 17 Mio km<sup>2</sup> (1950), über 8,5 Mio km<sup>2</sup> (1985) auf 6 Mio km<sup>2</sup> (2008) deutlich verringert. Pro Jahr gehen etwa 130 000 km<sup>2</sup> tropischer Regenwald verloren (99) Das wäre in 10 Jahren eine Fläche so groß wie Frankreich, Spanien und Großbritannien zusammen. Im September 2007 konnte man mittels Satelliten etwa 70 000 Feuer im Amazonasbecken zählen. Damit hat die Brandrodungssaison 2007 noch stärker zur Regenwald-Vernichtung geführt als das Rekordjahr 2004, als 27 000 km<sup>2</sup> Regenwald zerstört wurden.

Durchschnittlich sind 500 t CO<sup>2</sup> in einem Hektar Regenwald gebunden. 100) Bei einer Fläche von 6 Mio km<sup>2</sup> sind das insgesamt 300 000 000 000 t CO<sup>2</sup> = 300 Gt, die im Regenwald gespeichert sind. In den Regenwäldern des Amazonas werden 90 - 140 Gt CO<sup>2</sup> gespeichert, in den Regenwäldern des afrikanischen Kongobeckens 25 - 30 Gt.

Tropische Torfsumpfwälder sind gigantische Kohlenstoffspeicher und haben daher eine große Bedeutung für das Klima. 3000 - 6000 t Kohlenstoff pro Hektar werden in ihnen gespeichert, 50 mal so viel wie in einer gleich großen Regenwaldfläche ohne Torfboden, wo 120 - 400 t Kohlenstoff pro Hektar einlagern. Weltweit werden die tropischen Torfgebiete auf 30 - 45 Mio ha geschätzt. Diese Gebiete sind damit einer der größten oberflächennahen Speicher für Kohlenstoffe. Die Hälfte davon befindet sich in Indonesien. Jährlich werden durch Brandrodung verursachte Torfsumpfbrände über 3 Gt CO<sup>2</sup> freigesetzt, davon allein in Indonesien 1,8 Gt. 101) Naturbelassene Torfgebiete sind zu feucht, um zu brennen. Die in Indonesien massiv betriebene Entwaldung tropischer Wälder, zur Anlage von Ölpalmen- und Papierholzplantagen für Bio-Kraftstoffe durch Brandrodung führen zu gigantischen Torfsumpfbränden mit einer enorm hohen CO<sup>2</sup>-Emission. In der El-Niño-Trockenperiode 1997/98 wurden in Indonesien durch Torfbrände 2,57 GT CO<sup>2</sup> freigesetzt. Im Jahr 2006 wurden durch Torffeuer 900 Mio t CO<sup>2</sup> emittiert. Das sind mehr als die gesamten CO<sup>2</sup>-Emissionen in Deutschland im Jahr 2006. 102) Ähnliche Ereignisse gab es in den El-Niño-verursachten Trockenzeiten 2002, 2004 und 2009. Waren bisher Brandrodung, Holzabbau, Sojaanbau, Palmölplantagen, Rinderweiden oder Erdölgewinnung im wesentlichen für den ständigen Verlust von tropischem Regenwald verantwortlich, so wird er nun auch noch vom Klimawandel bedrängt. Schon heute wird die jährliche Kohlenstoffemission durch die Waldzerstörung am Amazonas auf 200 Mio t geschätzt.

Bisher einmalig war die große Amazonas-Dürre 2005. Hervorgerufen durch eine starke Erwärmung des Atlantiks nördlich des Äquators, führte der Temperaturunterschied zwischen Nord- und Südatlantik zu einer Verlagerung der Innertropischen Konvergenzzone nach Norden. Dies führte zu einer besonders starken Hurrikan-Saison in der Karibik und überdurchschnittlichen Regenfällen in Zentralamerika, im Amazonasgebiet jedoch zu einer lang anhaltenden Dürre. Es ist zu erwarten, daß solche Dürreperioden durch den Klimawandel häufiger auftreten werden. Wenigstens scheint es schon festzustehen, daß die Niederschlagsmenge im Amazonas Regenwald gegenüber früher abgenommen hat. 103)

Die zunehmende Erwärmung wird dem tropischen Regenwald zusetzen. Wissenschaftler vermuten, daß bei einem Temperaturanstieg um 2 - 3°C der Amazonas-Regenwald austrocknet und innerhalb weniger Jahrzehnte teilweise abstirbt und versteppt oder sich zu einem tropisch saisonalen Wald verändert. 104) Nach Projektionen des Millennium-Projekts werden 60 % des Amazonas-Regenwaldes bis 2030 verschwunden sein oder schweren Schaden nehmen. 105) Der Regenwald wird dann zur Savanne und als CO<sup>2</sup>-Speicher ausfallen. Bedenkt man, daß allein der Amazonas-Regenwald etwa das 400fache der CO<sup>2</sup>-Emissionen Deutschlands speichert, dann mag man

ermessen, welche katastrophalen Folgen das klima-bedingte allmähliche Absterben des Regenwaldes hat.

Fazit: Dem Verlust des tropischen Regenwaldes durch Vernichtung und landwirtschaftliche Umnutzung wird man durch rigorose Verbote, Kontrollen und Korruptionsbekämpfung begegnen können. Gegenüber einem großflächigen Absterben bei weiterer Temperaturerhöhung aber sind die einzelnen Regierungen machtlos. Und wenn die andinen Gletscher in 20 - 40 Jahren endgültig verschwunden sein werden, dann wird sich das Austrocknen des Regenwaldes noch erheblich beschleunigen. Das wird große globale Auswirkungen haben.

### 3.2. Die borealen Wälder

Das griechische Wort „boreas“ bedeutet „Nordwind“. Der boreale (nordische) Nadelwaldgürtel umfaßt eine 12 - 14 Mio km<sup>2</sup> große Zone in den nördlichen Regionen Eurasiens und Nordamerikas zwischen dem 50. und 70. Breitengrad. Davon liegen 60 % in Rußland, 30 % in Kanada und die restlichen 10 % in Alaska, Skandinavien und dem Baltikum. Neben der Tundra ist es die einzige geschlossene Vegetationszone, die sich - nur unterbrochen von den Ozeanen - in west-östlicher Richtung (in Eurasien über 8000 km und in Nordamerika über 5000 km) um den Globus erstreckt. Der jährliche Temperaturunterschied kann 100° von plus 30°C bis minus 70°C betragen. Es ist in den Kontinentalregionen eine niederschlagsarme Zone mit 200 - 500 mm pro Jahr, in den ozeanisch beeinflussten Gebieten 500 - 1000 mm.

In den nördlichen Regionen des borealen Waldgürtels sinkt die Anzahl der Tage mit Tagesmitteltemperaturen von über 10°C auf unter 30, in den südlichen Regionen sind es unter 120 Tage. Zur Tundra hin herrschen lichte Lärchenwälder durchsetzt mit Zwergbirken vor. Dem schließen sich im zentralen Nadelwaldgürtel dunklere Fichten- und Kiefernwälder an. Nach Süden hin und in den ozeanisch beeinflussten Randgebieten im Übergang zu den kühlgemäßigten Mischwäldern mit sommergrünen Laubbäumen oder Baumsteppen finden wir neben den Nadelhölzern auch Birken und Espen. Der boreale Nadelwaldgürtel steht zu zwei Dritteln insbesondere in den nördlichen und zentralen Regionen auf Dauerfrostboden. Wenn der Permafrost im Sommer oberflächlich bis in 1 Meter Tiefe auftaut, bilden sich Moorsümpfe. Die Vegetationsperiode des borealen Waldgürtels beträgt 2 - 6 Monate. Der boreale Wald ist ein extrem langsam wachsender Wald. Er ist Lebensgrundlage vieler indigener Völker.

Durch die Kombination von schwer zersetzbaren abgeworfenen Nadeln (der Zersetzungsprozeß dauert bis zu 350 Jahre) und geringem Sonneneintrag bildet sich ein mächtiger Humusboden, der eine Verjüngung der borealen Wälder behindert, denn die Samen finden keinen Kontakt zum Boden. Deswegen spielen durch Blitzschlag verursachte Feuer eine wichtige Rolle im Ökosystem der borealen Wälder. Sie verbrennen die Humusaufgabe und legen die dort gespeicherten Mineralien frei. In den sommertrockenen Gebieten des borealen Waldgürtels gibt es solche Feuer alle 50 - 100 Jahre auf derselben Fläche. In den feuchteren Gebieten finden wir diese „Feuerrotation“ alle 300 - 500 Jahre.

Die borealen Nadelwälder nehmen über 1/3 der weltweiten Waldfläche ein und liefern 90 % des globalen Bedarfs an Papier- und Schnittholz. Der jährliche Holzeinschlag wird auf 2 - 5 Mio ha geschätzt. Er ist wie in den Tropenwäldern größtenteils nicht nachhaltig. In den borealen Wäldern werden weltweit etwa 2,6 Milliarden T CO<sup>2</sup> gespeichert (38 % des terrestrischen Kohlenstoffs), davon 84 % von den Waldböden mit ihrem hohen Humusanteil und den Mooren, die durchschnittlich 20 - 30 % der Fläche der borealen Zone einnehmen.<sup>106</sup> Damit zählen die borealen Wälder mit über 30 Prozent zu den größten erdgebundenen Kohlenstoffspeichern. Sie sind besonders wichtig für das globale Klima.

Die borealen Wälder sind in mehrfacher Weise bedroht: durch die Folgen der Klimaerwärmung, aber auch durch großflächige Abholzung, durch Wasserbaumaßnahmen (Provinz Quebec, Sibirien), durch Torfabbau, Ölsand- und Ölschieferproduktion (Canada), Förderung von Erdöl/Erdgas (Sibirien, Canada) und anderer Bodenschätze.

Als Folge der globalen Erwärmung wird der Temperaturanstieg in den nördlichen Regionen doppelt so hoch ausfallen wie im globalen Mittel. Es wird erwartet, daß es bei einem globalen Temperaturanstieg von 3°C im Borealen Nadelwaldgürtel zu einem Anstieg von bis zu 7°C kommt. Der Weltklimarat IPCC rechnet mit einem Temperaturanstieg von 4 - 10°C zwischen 2050 und 2100. Die Klimaerwärmung führt zu wärmeren Sommern mit stärkerer Trockenheit.

Diesem Klimawandel sind die an die bisherigen extremen klimatischen Bedingungen angepaßten Nadelbäume kaum gewachsen. Sie werden anfälliger gegenüber Insektenfraß, Parasitenbefall und Krankheiten und können dann der nach wie vor extremen Kälte der Wintermonate schlechter standhalten. Trockenheit führt zur Zunahme von Waldbränden und damit zur stärkeren Freisetzung von Kohlenstoff. Im westlichen Canada kann diese Entwicklung beobachtet werden. Der dortige Temperaturanstieg führt zu großflächigem Absterben der Nadelbäume, zur Zunahme von Waldbränden und Ausweitung des Graslandes. Die Nadelbäume begegnen dem Trockenstress mit vermindertem Wachstum.

Ein ebenso großes Problem ist der nicht nachhaltige großflächige Kahlschlag. Allein in Canada gibt es jährlich einen Kahlschlag von etwa 900 000 ha borealem Wald für die Holz- und Papierindustrie. Durch das extrem kalte Klima kann sich der Wald nur sehr langsam regenerieren. Es dauert bis zu 100 Jahre, um einen Streifen von 50 km Breite borealem Wald wieder anzusiedeln. Der Wald ist auf Dauer zerstört. In den Permafrostgebieten kommt es zur Ausdehnung der Sumpfflächen und in den südlichen borealen Zonen zur Ausweitung des offenen Graslandes.

Fazit: Die Klimaerwärmung greift den borealen (nördlichen) Nadelwald mit einer solchen Geschwindigkeit an, daß sich die Vegetation nicht anpassen kann. In einem längeren Prozeß wird sich der Waldgürtel verändern. Die Wälder verkümmern und werden großflächig vernichtet. Ebenso bedrohlich ist der nicht nachhaltige Holzeinschlag. Er hat den borealen Wald vor allem in Rußland fragmentiert und zerstört und damit erhebliche Mengen an Kohlenstoff freigesetzt. Nur eine großflächige Unterschutzstellung wird den borealen Wald als globale Vegetationszone überleben lassen und kann die Freisetzung von CO<sup>2</sup> vermindern.

Weitere Kipp-Elemente im Klimasystem will ich unberücksichtigt lassen.

Was nun?

Die Erwärmung der Atmosphäre und des Meerwassers ist dauerhaft und verstärkt sich gegenseitig. Die dadurch in Gang gesetzten Prozesse beschleunigen den Klimawandel. Sie sind für einen sehr langen Zeitraum unumkehrbar. Die pessimistischsten Szenarien der Klimawissenschaftler sind wahrscheinlicher. „In fast allen Bereichen verlaufen die Entwicklungen schneller als bisher angenommen," so Hans- Joachim Schellnhuber.107) Der norwegische Klimaforscher Helge Drange sagt: Das 2-Grad-Ziel ist wenig wahrscheinlich. „Eher sei eine Steigerung um 3 - 4 Grad realistisch." 108) Eine Begrenzung der globalen Erwärmung auf 2 Grad ist also ausgeschlossen - mit dramatischen Auswirkungen.

Es scheint eher fünf nach zwölf zu sein als fünf vor zwölf. Die Zeichen stehen auf Sturm. Der Klimawandel steht in Gefahr, zur Klimakatastrophe zu werden. Ob sich die Redensart „nach uns die Sintflut" bewahrheitet, hängt von uns allen ab.

Was ist zu tun? Ich möchte diese Frage weitergeben.

Was ist zu tun? Der britische Thronfolger Prince Charles warnte bei einem Besuch in Rio im März 2009: „Die Menschheit habe noch 100 Monate Zeit, eine Klimakatastrophe abzuwenden." 109) Seitdem sind über 12 Monate vergangen.

Was also ist zu tun? Wie umfassend, wie schnell muß gehandelt werden? Wer muß wie handeln? Was sagen wir unseren Kindern und Enkelkindern? „Ihr sollt es einmal besser haben als wir? Oder: „Ihr werdet es einmal schlechter haben?" Bleibt uns nur noch zu resignieren? Sind Politiker haftbar zu machen, die wider besseres Wissen nicht handeln? Oder sind wir alle haftbar zu machen? Wie schnell und umfassend muß der Prozeß der Entkarbonisierung unserer Lebensweise in Gang gesetzt werden? Ist unser demokratisches System unfähig, eine solche auf uns zukommende übergroße Krise zu bewältigen? Kann uns nur noch eine Klima-Diktatur retten? Wenn wir die Summen betrachten, die Regierungen (auch unsere) bereit waren, um Banken unter die Arme zu greifen: In welchem Maße müßten Gelder bereit gestellt werden, um eine Klimakatastrophe zu verhindern? Welche Chancen haben wir, unsere Kinder und Enkelkinder, wenn wir schnell entschlossen und nachdrücklich handeln?

Ich bitte um Antworten und bin gespannt darauf. Vielleicht sollten wir daraus ein Buchprojekt machen.

Peter Kranz, 11. März 2010  
([p-kranz@t-online.de](mailto:p-kranz@t-online.de))  
[www.oekumenischeszentrum.de](http://www.oekumenischeszentrum.de)

## Anmerkungen

- 1) S.Rahmstorff, H.J. Schellnhuber: Der Klimawandel, 6.Aufl. 2007, S. 53
- 2) NOAA - National Climatic Data Center: State of the Climate Global Analysis January 2010
- 3) Eric Steig, University of Washington, Seattle, „Nature" (21.1.2009)
- 4) The Copenhagen Diagnosis: Kapitel „Greenhouse Gases and the Carbon Cycle"
- 5) Eberhard Karls Universität Tübingen, idw-Pressemitteilung, 22.06.2009
- 6) Le Quéré et al. 2009: Trends in the sources and sinks of Carbon dioxide, Nature Geoscience, 2
- 7) taz 19.10.09
- 8) CO<sup>2</sup>-Handel.de vom 11.12. 2009
- 9) idw Informationsdienst Wissenschaft, Pressemitteilung „CO<sub>2</sub>-Anstieg und Klimaerwärmung verstärken sich gegenseitig", 27.1.2010
- 10) AWI, Pressemitteilung, 3.12.2009
- 11) Lenton, T.M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J.W., Lucht, W., Rahmstorf, S., Schellnhuber, H.J.: Tipping Elements in the Earth's Climate System, PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 105 no. 6, 1786-1793, 12.2.2008
- 12) Lübecker Nachrichten 12.02.2010
- 13) Süddeutsche Zeitung 2.7.09
- 14) Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, Prof.Dr. Schnitzer-Ungefug, idw-Pressemitteilung, 05.06.2009
- 15) SCAR, Antarctic Climate Change and the Environment, S.346
- 16) Martin Vermeer, Stefan Rahmstorf: Global sea level linked to global temperature, PNAS, vol. 106 no.51, 21527-21532, 22.12.2009
- 17) SCAR, S. 346
- 18) Tripartit, A.K. et al (2009): Coupling of CO<sub>2</sub> and Ice Sheet Stability over major Climate Transitions of the last 20 Million Years (10.1126 Science 2009)
- 19) SCAR, a.a.O.
- 20) SCAR, S. 347
- 21) Reinhard Wolff: Das Zwei-Grad-Ziel reicht nicht aus, in: Digitaz, 4.9.2009), vgl. auch: CAU Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Presseinformation 15 /2010 vom 27.1.2010: Schneider, Birgit & Ralph Schneider: Palaeoclimate: Global warmth with little extra CO<sub>2</sub>, Nature Geoscience January 2010, Vol. 3, No.1
- 22) ifm.geomar.de/index.php?id=sugar
- 23) Max-Planck-Gesellschaft, Referat für Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Presseinformation, 26.01.2010
- 24) Leibniz-Institut für Meereswissenschaften (IFM-GEOMAR) Kiel, idw-Pressemitteilung, 26.11.2009
- 25) Polar NEWS , 3.11.09
- 26) Berliner Zeitung, 19.9.2009
- 27) UNEP: Climate Change, Science Compendium 2009 „Earth's Ice" S. 20
- 28) Climate Change, S. 17
- 29) Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Pressemitteilung vom 18.9.09
- 30) taz 19.10.09

- 31) Climate Institute: Autumn 2009 Climate Alert, How does Black Carbon Change the Climate Debate?, S.1
- 32) taz 11.9.09
- 33) taz 19.12.08
- 34) AWI, Pressemitteilung, 3.12.2009
- 35) S.Rahmstorff, H.J.Schellnhuber, S. 59
- 36) a.a.O., S. 61
- 37) UNEP: Climate Change...Earth's Ice, S. 21
- 38) Prof. Jason Box von der Ohio State University, taz 19.12.08
- 39) Isabelle Velicogna: Increasing rates of ice mass loss from the Greenland and Antarctic ice sheets revealed by GRACE, Geophysical Research Letters 36, 13.10.2009
- 40) Science 326/5955, S. 984-986
- 41) Climate Change, ebd.
- 42) David M. Holland et al.: nature geoscience, 659-664, 28.9.2008
- 43) Reinhard Wolff: Arktisschmelze im Teufelskreis (Wir Klimaretter, 1.10.2009)
- 44) Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), Pressemitteilung 30.03.2009
- 45) WWF-Studie BlnZtg 2.9.09)
- 46) The Copenhagen Diagnosis 2009: Kapitel „Permafrost and Hydrates
- 47) The Guardian, 20.10.2009)
- 48) Jörn Thiede, Direktor des AWI, am 25.2.07 in der Sendung „Wissenschaft im Brennpunkt“ des Deutschlandradio
- 49) DPA-Meldung vom 16.2.09
- 50) Edward Schuur et al. Nature 459, 556-559 (28.5.2009)
- 51) Wissenschaftsmagaz in scinexx, 12.11.2009
- 52) Jörn Thiede, s.o.
- 53) Polar NEWS, 18.2.2009
- 54) Reuters, 22. Mai 2009
- 55) Reuters vom 1.7.09

- 56) Umweltbundesamt 2009: Schutz der Antarktis
- 57) Berliner Zeitung 23.1.09
- 58) Der Planet Erde...eine veränderte Welt? Warnsysteme, S. 6 (Schweiz, 2007)
- 59) Nature Geoscience 2, 859 - 862 (2009)
- 60) vgl. Isabelle Velicogna, Anm. 7
- 61) vgl. IFM, 28.11.2008 in Scinexx vom 7.11.2009
- 62) Andrew Darby: theage.com.au, 10. Dezember 2009
- 63) Neal Young in: Planet Earth: Icebergs Drift from Antarctica toward New Zealand (foxnews.com/2009/11/24)
- 64) Neal Young: Another massive Iceberg is born, Australian Antarctic Magazine 4 Spring 2002.
- 65) Studie der British Antarctic Survey und University College London (Datum ?)
- 66) Geophysical Research Letters vom 5. August 2009
- 67) Science Magazine Vol. 291, S. 862, vom 2. Febr. 2001: Inland Thinning of Pine Island Glacier, West Antarctica
- 68) Wissenschaftler der Universitäten von Bristol, Delft und Durham, Science 15.5.2009
- 69) Universität Zürich, Medienmitteilung vom 29.1.2009
- 70) La Gran Época, 20.8.2007
- 71) Fabiola Zerpa: Las nieves glaciares se despiden de Venezuela, Fundación Tierra viva, Venezuela

2008

- 72) Interview mit Umweltminister Carlos Costa, Arroyo de Barranquilla, o.Datum 2009
- 73) El Universal Online Mexico, 5. Februar 2007
- 74) Julio Aliaga, in: holaciudad: Glaciares? Que Glaciares?, 29.9.2009
- 75) Red de Ciencia y desarrollo, 29.7.2008
- 76) Walter Vergara, leitender Glaziologe der regionalen Weltbank für Lateinamerika und Karibik, [worldbank.org/wbsite/external/bancomundial](http://worldbank.org/wbsite/external/bancomundial), 22.4.2008
- 77) Greenpeace: Cambio Climático - Futuro Negro para los Glaciares, Agosto 2009, S. 16
- 78) a.a.O., S. 18
- 79) US Geology Survey: Glacier Retreat in Glacier National Park, Montana, online 25.4.2003
- 80) Karl Grobe, Tibets Gletscher schwinden, FR-online.de Wissen&Bildung, 15.01.2009
- 81) WWF: An Overview of Glaciers, Glacier Retreat, and Subsequent Impacts in Nepal, India and China", März 2005
- 82) Der „Dritte Pol“ der Erderwärmung - Gletscherschmelze in Tibet, [www.klima-wandel.com](http://www.klima-wandel.com), 01.12.2009
- 83) workshop „Climate Change, Glacial Retreat and Livelihood“ ,Srinagar/Kaschmir 10.-12.10.2009
- 84) scinexx Das Wissensmagazin, 07.02.2010
- 85) Stephen Leahy, Inter Press Service News Agency, 7. Mai 2009
- 86) ZDF Abenteuer Wissen, 18.11.2009
- 87) wir klimaretter - das online Magazin, 24.11.2009
- 88) Europäische Umweltagentur: Impacts of European's changing climate - 2008 indicator based assessment, S. 42/43
- 89) Juan José González Trueba et al.: Science News/Science Daily, 6.9.2008
- 90) Europäische Umweltagentur, S. 62
- 91) Welt online wissen, 11.4.2007
- 92) 3Sat: Ist unser Erdsystem zu retten? 5.11.2009
- 93) wissen.de/Natur 2009, o. Dat.
- 94) Europäische Umweltagentur, S. 63
- 95) Bundesamt für Naturschutz, Naturschutz/Tag der Wälder, Hintergrundinformation März 2007, S.2
- 96) TU Berlin, Pressemitteilung: Klimakiller Abholzung, Verwüstung und Urbanisierung, 3.12.2009
- 97) WWF Schweiz: Die Wälder der Welt - ein Zustandsbericht, März 2007, S. 15
- 98) TU Berlin, ebd.
- 99) Stern, Global deal, S. 201
- 100) Stern, S. 39
- 101) WWF-Hintergrundinformation Wald & Klima, August 2009
- 102) Florian Siegert et al. Ludwig-Maximilian-Universität München 2009: derivation of burn scar depths ... PNAS 29.11.2009
- 103) Betts et al. 2008 / Climate Change Science Compendium 2009 Earth's Ecosystems, S. 39
- 104) Hutter/Goris, Die Erde schlägt zurück, S. 82
- 105) Millennium-Projekt, Spiegel online, 14.7.2009
- 106) Canadell, J.G. Et al.: Contributions to Accelerating Atmospheric CO<sup>2</sup> Growth from Economic Activity, Carbon Intensity, and Efficiency of Natural Sinks, PNAS 2007, Bd. 104, S. 18866-18870
- 107) taz 30.12.08
- 108) taz 4.09.09
- 109) taz 14.03.09