

Karl-Heinz Bernhardt

## Klima im Wandel

### 1. Aktuelles zum Klimawandel

Der vorliegende Beitrag knüpft aktualisierend und erweiternd an die erstmals als Beilage zur Berliner Wetterkarte vom 13. 08. 2009 erschienenen und später in LIFIS ONLINE wiedergegebenen „Thesen zur Klimadebatte“ [1] sowie an die dort zitierte „Dialektik des Klimas“ [2] an.

Die Aktualisierung bezieht sich zunächst auf den Stand der globalen Erwärmung am Ende des ersten Dezenniums des neuen Jahrhunderts/Jahrtausends, das wiederum eine höhere globale Mitteltemperatur an der Erdoberfläche als alle vorangegangenen Dezennien seit Beginn regelmäßiger Beobachtungen aufwies und das darüber hinaus mit einem Jahr 2010 endete, das annähernd gleichauf mit den Jahren 1998 und 2005 zu den wärmsten seit der Mitte des 19. Jahrhunderts zählte. Diese und weitere Angaben auf der Grundlage weltweiten Datenmaterials stehen in einem Material des Umweltbundesamtes für jedermann zur Verfügung. [3] Sie lassen keine Anzeichen für ein von „Klimaskeptikern“ seit Jahren behauptetes Ende des Anstiegs der globalen Mitteltemperatur an der Erdoberfläche erkennen; vielmehr beträgt dieser für das letzte halbe Jahrhundert (1961-2010) mit annähernd 0,5 K bereits annähernd 2/3 des für den hundertjährigen Zeitraum von 1906 bis 2005 veranschlagten linearen Trends von 0,74 (0,56 bis 0,92) K. [4]

An der Tatsache einer globalen Erwärmung ändern auch die winterlichen Witterungsverhältnisse in Teilen Europas und der USA im Dezember 2010 nichts, der in Deutschland der kälteste Dezembermonat seit dem Jahre 1969, in Großbritannien und Irland sogar der kälteste Dezember seit einem Jahrhundert war (vgl. auch eine Aufstellung weltweiter Witterungsanomalien des Jahres 2010 [5]). Irritationen in der Öffentlichkeit ob solcher Ereignisse verwundern nicht, Erstaunen aber muss es hervorrufen, dass sich ein „Europäisches Institut für Klima und Energie“ unter Schlagzeilen wie „Wärmstes Jahr 2010 – Flugverkehr in Europa festgefroren. Lebt die UN-Organisation WMO auf einem anderen Planeten?“ in rüden Beschimpfungen der „Klimaforscher und ihnen hörige(r) Politiker“ ergeht. [6]

Die oben zitierte, in dieser Form alljährlich erscheinende Zusammenstellung weltweiter Witterungsanomalien – für das Jahr 2010 sind beispielsweise noch extreme Hitze und Sommertrockenheit in Westrussland, hohe Sommertemperaturen über Japan und China, schwere Überflutungen u.a. in Pakistan, Kolumbien, Peru und Queensland (Australien), heftige Winterstürme zu Jahresbeginn in den USA u.a. zu nennen – illustriert die Feststellungen in No. 5 und 6 der eingangs erwähnten Thesen über den regionalen, hauptsächlich von den atmosphärischen Strömungsverhältnissen bestimmten Charakter von Anomalien und extremen Ereignissen sowie über die Abweichung regionaler Klimaänderungen vom globalen Muster.

Was letzteres anlangt, zeigt beispielsweise der aktualisierte Verlauf der zehnjährigen Temperaturmittelwerte an den Stationen Basel, Berlin/Potsdam, De Bilt und Wien [7] in Abbildung 1 über den Zeitraum von 1961-2010 mit über 1 K für Mitteleuropa einen doppelt so hohen Temperaturanstieg wie im globalen Mittel (s. o.).

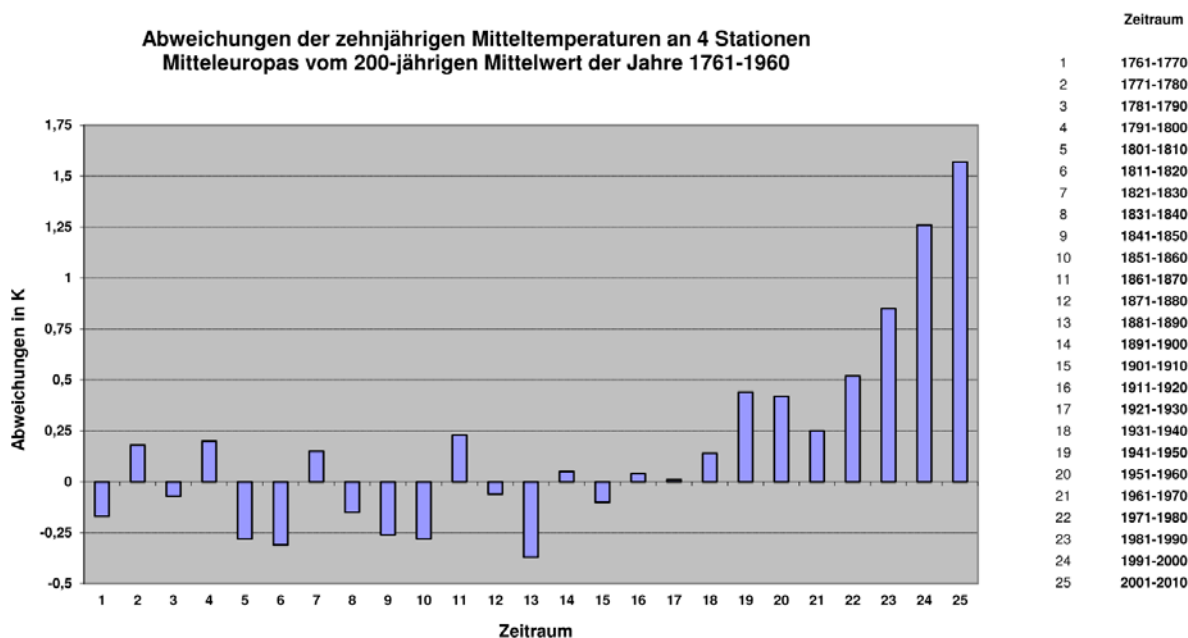


Abb. 1: Baurische Mitteleuropa-Temperaturreihe für den Zeitraum 1761-2010

Ein ähnliches Verhalten ist in einer mit der Gründung der Brandenburgischen Sozietät der Wissenschaften im Jahre 1700 einsetzenden Berliner Temperaturmessreihe erkennbar, in welcher die für die jeweils letzten Zeitabschnitte berechneten und statistisch abgesicherten linearen Trends über 100, 50 und 30 Jahre in dieser Reihenfolge steiler werden, was die Beschleunigung des Temperaturanstiegs im Berliner Raum ausweist, wobei bereits der 100-jährige Trend der Jahresmitteltemperaturen mit 1.04 K wiederum deutlich über dem globalen Mittelwert liegt und auch die Anzahl der Frosttage pro Jahr statistisch gesichert ab-, die der Sommertage (Tagesmaximum mindestens 25 K) statistisch signifikant zugenommen hat. [8]

Noch drastischer treten regionale Unterschiede bei kurzzeitigen Witterungsanomalien zutage, wo für der oben genannte Dezember 2010 als Musterbeispiel dienen kann: Maßgeblich für den Wetterablauf im europäisch-nordatlantischen Raum war die Nordatlantische Oszillation (NOA), eine sein langem bekannte [9] interne Schwingung im Klimasystem, gekennzeichnet durch Schwankungen in der Luftdruckdifferenz zwischen subtropischen und polaren Breiten beispielsweise zwischen Azoren(hoch) und Island(tief), wobei positive Werte eines entsprechend definierten Index eine kräftige zonale Luftströmung anzeigen, die im west- und mitteleuropäischen Raum milde und niederschlagsreiche Winter hervorbringt, wohingegen negative Werte für eine stark mäandrierende Strömung mit weit nordwärts gerichteten Warmluft- und südwärts gerichteten Kaltluftvorstößen stehen, wie sie im Verlauf eines NAO-Index für die kalten Mitteleuropawinter der 40er und 60er und eben auch für den um die Monatswende November/Dezember 2010 einsetzenden markanten Wintereinbruch stehen (Abbildungen 2 und 3). [10]

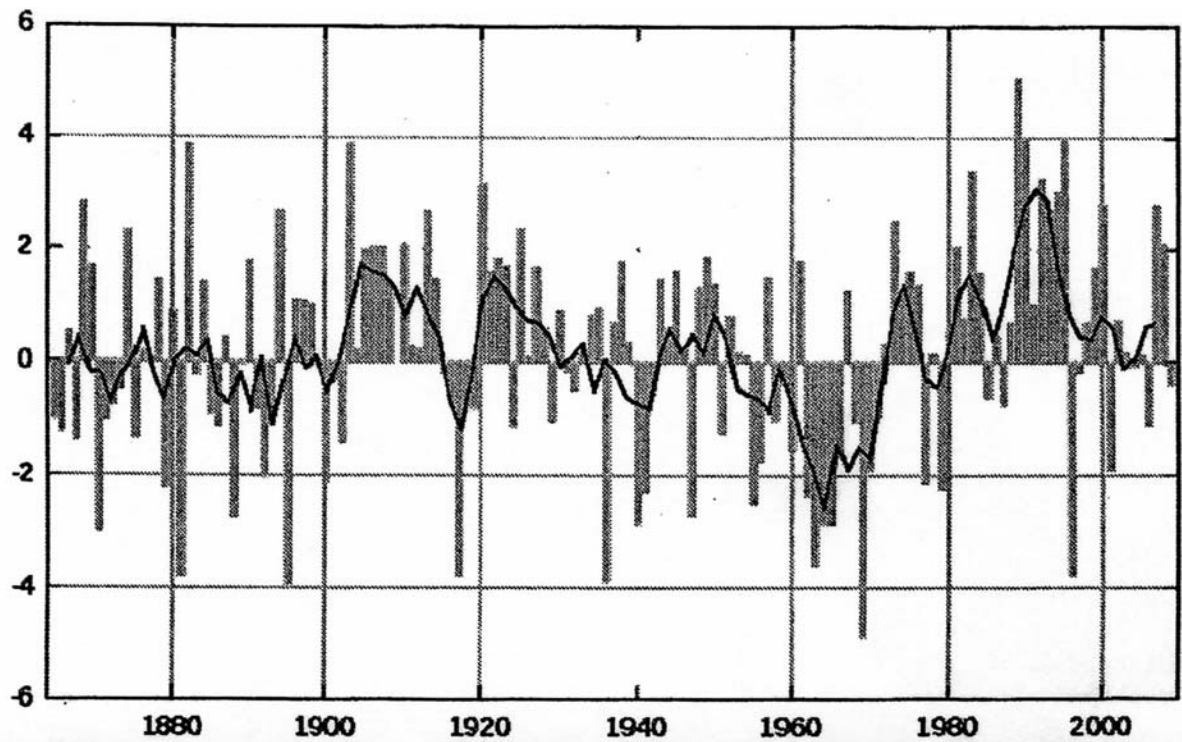


Abb. 2: Verlauf des NAO-Index für den Bodenluftdruck im Zeitraum 1860-2010 nach Wehry [10]

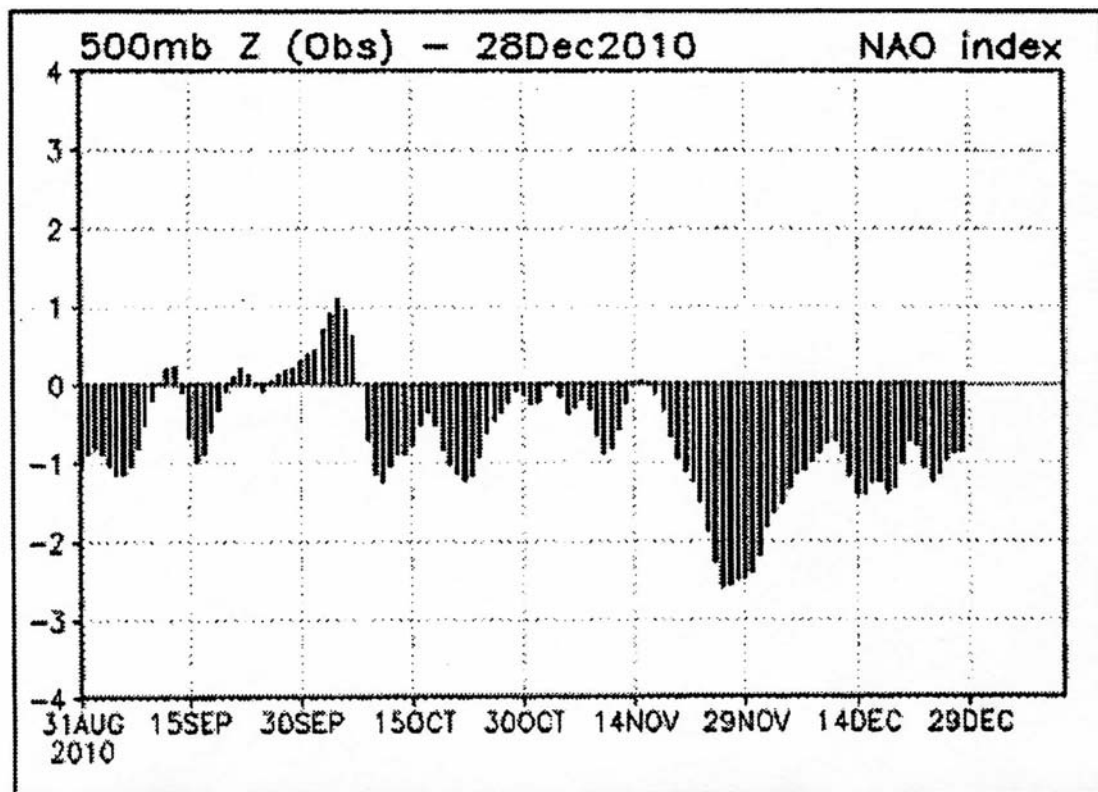


Abb. 3: Verlauf des NAO-Index für die 500hPa-Fläche im Zeitraum vom 31. August bis 29. Dezember 2010 nach Wehry [10]

In der mäandrierenden Luftströmung wurden im Dezember 2010 an der ostgrönländischen Station Angmagssalik nahe dem Polarkreis mehrere frostfreie Nächte (!) beobachtet, und die Monatsmitteltemperatur dieser Station lag mit  $-1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  und einer Abweichung von  $5,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  vom Mittelwert der Referenzperiode 1961-1990 nahezu  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  über der von Berlin-Tegel ( $-4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  bei einer Abweichung von  $-5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  vom Mittelwert der Referenzperiode). [11] Eine Kartendarstellung (Abbildung 3) schließlich lässt für den Dezember 2010 zwar erhebliche negative Temperaturanomalien (= Abweichungen vom Mittelwert der dreißigjährigen Referenzperiode) im west- und mitteleuropäischen Raum sowie über Teilen der USA erkennen, denen aber teils extreme positive Anomalien über der Osthälfte Kanadas, dem europäischen Nordmeer und auch im Süden Osteuropas gegenüberstanden.

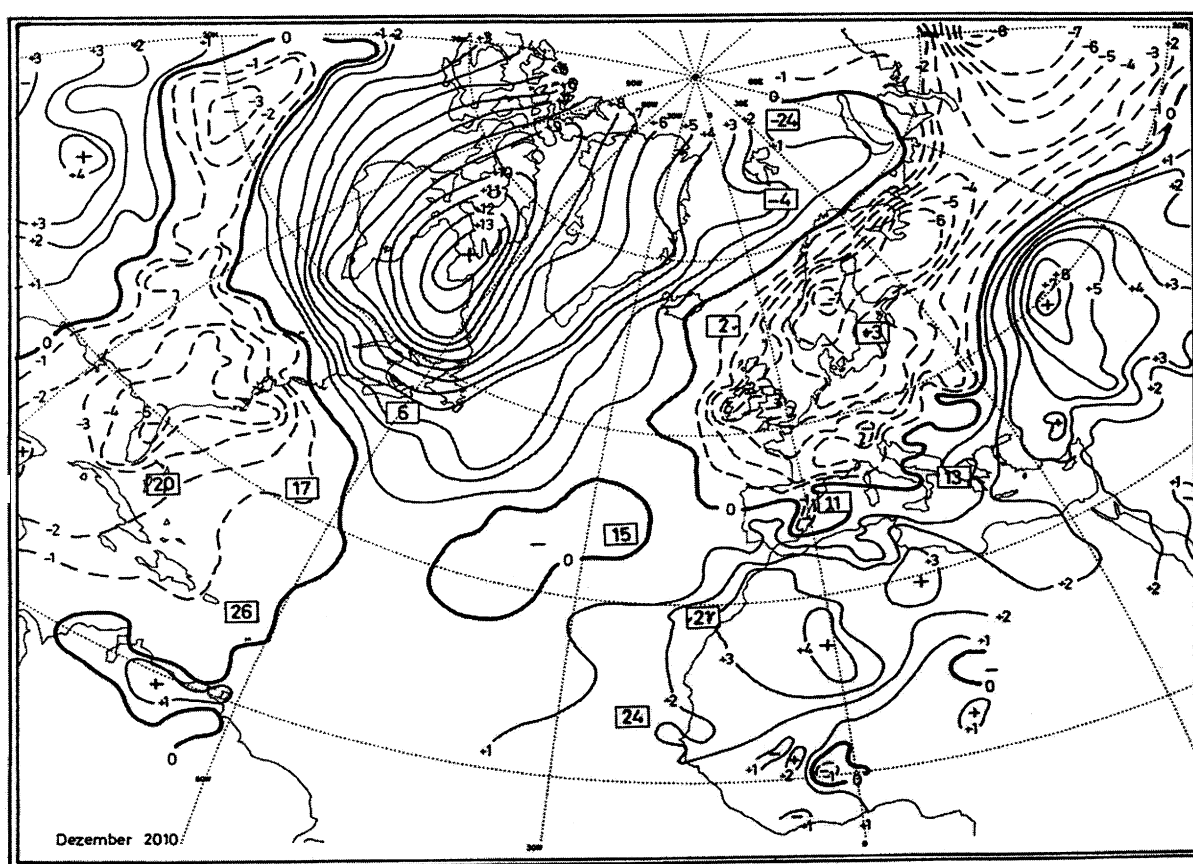


Abb. 4: Anomalien der Lufttemperatur im Dezember 2010; die Kästchen enthalten Mittelwerte der Lufttemperatur über See. [12]

Die Berufung auf eine regionale Witterungsanomalie ist also für die Beurteilung eines globalen Klimatrends völlig ungeeignet, eben so übrigens auch die bei Klimaskeptikern beliebte Gegenüberstellung der Mittelwerte einzelner Jahre, so des weltweit sehr warmen Jahres 1998 (gekennzeichnet durch ein markantes El Niño-Ereignis im Rahmen von ENSO, einer anderen internen Schwankung im Klimasystem [13]) und des deutlich kälteren Jahres 2008, um daraus das Ende der globalen Erwärmung oder ihren Übergang in eine Abkühlung abzuleiten. Andererseits kann aus der eingangs dieses Beitrages erwähnten beschleunigten Zunahme der globalen Mitteltemperatur über die letzten Jahrzehnte allein und ohne Diskussion ihrer Mechanismen nicht auf die ungebrochene Fortsetzung dieses Trends geschlossen werden. Ein solches Vorgehen gliche, um ein

Analogon aus der Finanzwelt zu benutzen, dem Versuch einer Extrapolation der Börsenkurse allein mittels der Chartanalyse ohne Berücksichtigung von Fundamentaldaten.

Bevor wir uns aktualisierten Erkenntnissen über Ursachen und voraussichtlichen weiteren Verlauf der derzeitigen Klimaänderung zuwenden, sei auf einen Aspekt der von der Gesellschaft zu verfolgenden Doppelstrategie von *Anpassung* (adaptation) *an den* und *Abschwächung* (mitigation) *des* Klimawandels (genauer: dessen anthropogenen bzw. vom Menschen beeinflussbaren Anteils) verwiesen: Verbesserte Anpassung, insbesondere erhöhte Vorsorge vor extremen Witterungsereignissen wären auch ohne weiteren Klimawandel, d.h. bereits im Rahmen des gegenwärtigen Klimaregimes erforderlich, wie etwa die winterbedingten Störungen des Luftverkehrs im Dezember 2010 (oder das verbreitete Versagen von ICE-Klimaanlagen im Sommer des gleichen Jahres), die über 11.000 zusätzlichen Todesfälle im Hitzesommer 2010 allein in Moskau oder die im Gefolge ausgedehnter Überschwemmungen eingetretene Obdachlosigkeit vieler hunderttausend Menschen in verschiedenen Teilen der Welt im Jahre 2010 belegen, das übrigens auch den höchsten jährlichen Niederschlag über Land seit Aufzeichnungsbeginn mit sich gebracht hat. [14]

Für die Zukunft umso schwerwiegender ist der Umstand, dass Projektionen der künftigen Klimaentwicklung eine größere Häufigkeit und Intensität extremer Witterungsereignisse erwarten lassen. Das betrifft insbesondere die Zunahme von Hitzewellen und Starkniederschlägen über den meisten Landgebieten der Erde, [15] wobei diese und weitere Effekte veränderter atmosphärischer Zirkulationsverhältnisse tiefer greifende Auswirkungen auf die Gesellschaft haben dürften als der allmähliche Anstieg der globalen Mitteltemperatur an der Erdoberfläche. Der Einfluss anthropogener Komponenten des globalen Klimawandels z.B. auf Starkniederschlagsereignisse wird immer wieder diskutiert. [16]

In Hinblick auf die weiter oben im Zusammenhang mit der NAO-Oszillation betrachtete Witterungsanomalie des Dezembers 2010 sei auf numerische Experimente mit dem hochkomplexen Modell (ECHAM5) der ozeanisch-atmosphärischen Zirkulation verwiesen, nach denen der im Zuge der globalen Erwärmung zu beobachtende Rückgang der Meereisbedeckung in der Kara- und der Barentssee über damit einhergehende Veränderungen der atmosphärischen Strömungsverhältnisse zu kälteren Wintern mit vorherrschenden Ostwinden über Teilen Europas und Nordasiens führen kann. [17] Dies steht im Einklang mit der bemerkenswerten Tatsache, dass die in Mittel- und Osteuropa extrem strengen Kriegswinter der Jahre 1939-1942 mit einem ersten Höhepunkt der schon seinerzeit diskutierten Erwärmung der Arktis (und mit einem ersten Maximum im globalen Temperaturverlauf des 20. Jahrhundert an der Erdoberfläche) zusammengefallen sind, wie von uns bereits vor Jahren angemerkt und mit dem Hinweis auf eine mögliche Wiederholung dieses oder eines ähnlichen Szenarios verknüpft wurde. [18]

Für Planung und Gestaltung volkswirtschaftlicher und anderer gesellschaftlicher Prozesse – z.B. der Energiewende – unter veränderten atmosphärischen Umweltbedingungen ist schließlich von Bedeutung, dass markante Witterungsanomalien, wie sie im Gefolge eines forcierten Klimawandels mit größerer Häufigkeit zu erwarten sind, auch im Rahmen eines kleineren Landes unterschiedliche Vorzeichen aufweisen können. So wurden im August des Jahres 2011 im Norden der Bundesrepublik nach vorläufigen Angaben monatliche Niederschlagssummen (1961-1990) bis zu über 400 % der langjährigen Mittelwerte (1961-1990), im Süden dagegen bis zu unter 50 % dieser Referenzwerte gemessen, und naturgemäß gegenläufig hat sich die Zahl der Sonnenscheinstunden verhalten. [19]

## 2. Zur Rolle natürlicher und anthropogener Faktoren des Klimawandels

Bereits der Blick auf ein Schema des Klimasystems der Erde mit seinen nichtlinear miteinander wechselwirkenden Teilsystemen Atmosphäre – (maritime und festländische) Hydrosphäre – Kryosphäre – Litho-/Pedosphäre – Biosphäre (einschließlich Techno- bzw. Noosphäre) (Abbildung 5) macht die Unmöglichkeit deutlich, regionalen oder globalen Klimawandel im Sinne einer monokausalen Denkweise einem einzelnen externen oder internen Faktor zuzuschreiben (vgl. No. 2 und 8 der eingangs zitierten Thesen).

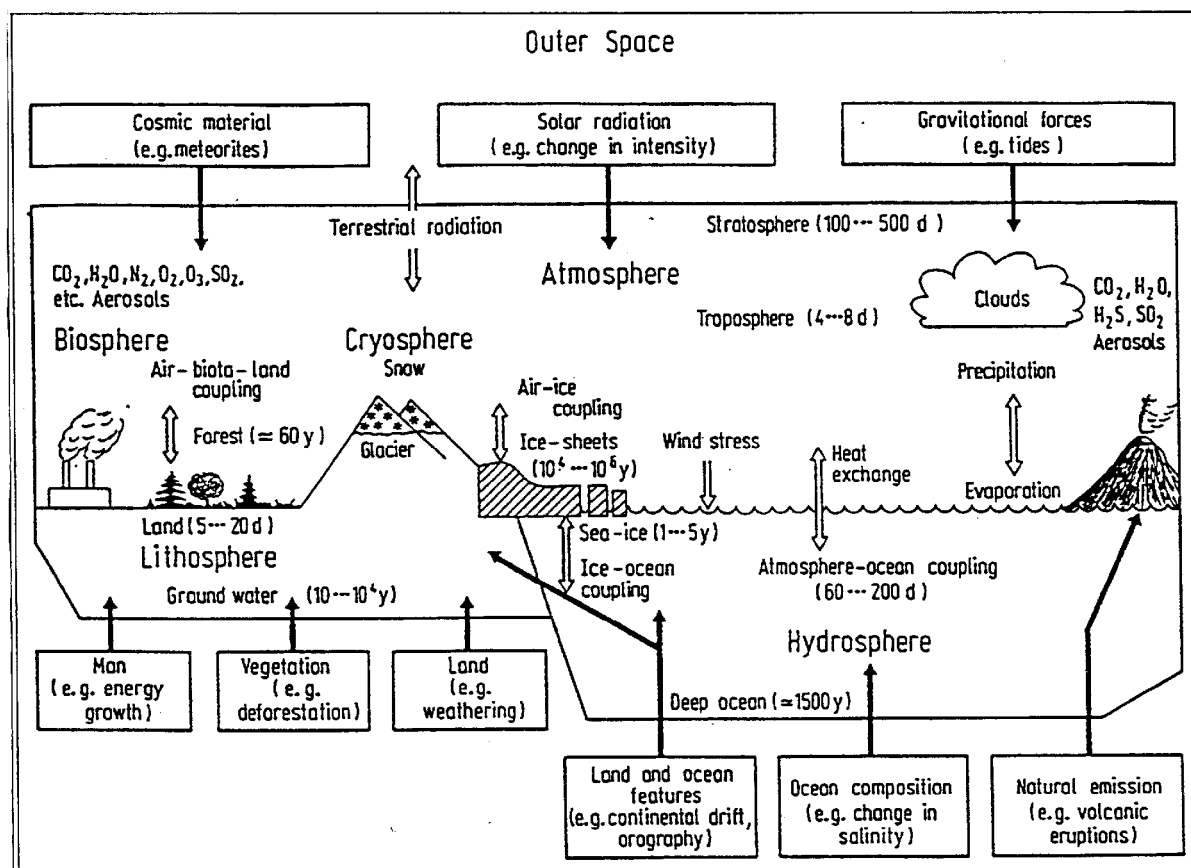


Abb. 5: Schema des Klimasystems einschließlich seiner Subsysteme, wichtiger Wechselwirkungen und typischer Zeitskalen nach Hantel, 1989 [20]

Eine bloße Gegenüberstellung von Kurvenzügen, die Verknüpfung einzelner Parameter mittels linearer Korrelationskoeffizienten oder ähnliche Operationen sind gänzlich ungeeignet, den permanenten Klimawandel zu erklären, der sich in Zeitbereichen von Jahren (bzw. Jahrzehnten – ein Jahr hat kein „Klima“ im Sinne einer Langzeitstatistik!) bis zu Mega- und Gigajahren vollzieht. Das betrifft insbesondere die Fragestellung nach dem Anteil natürlicher und anthropogener Einflüsse an der gegenwärtigen globalen Erwärmung – genauer der Zunahme der weltweit gemittelten Lufttemperatur an der Erdoberfläche.

Zwei Möglichkeiten bieten sich an, einer Klärung dieser auch für die Wahl einer geeigneten gesellschaftlichen Strategie – Adaptation und/oder Mitigation – bedeutsamen Frage näher zu kommen: Das ist einmal die Simulation der beobachteten Temperaturentwicklung mittels geeigneter hochkomplexer Klimamodelle (numerische Modelle der globalen ozeanisch-atmosphärischen

Zirkulation), wie sie auch für die Aufstellung von Szenarien der künftigen Klimaentwicklung verwendet werden. Auf diesem Wege haben Simulationsexperimente mit unterschiedlichen Klimamodellen das bemerkenswerte Ergebnis erbracht, dass die beobachtete Veränderung der Mitteltemperatur an der Erdoberfläche im Zeitraum von 1906 bis 2005 sowohl für Nord- und Südamerika, Europa, Afrika, Asien und Australien als auch im globalen Maßstab und getrennt für Land und Meer bis etwa zur Jahrhundertmitte bzw. die ersten Jahrzehnte danach allein unter Berücksichtigung der natürlichen Einflussfaktoren Sonnen- und Vulkanaktivität, seither aber nur unter zusätzlicher Berücksichtigung der anthropogen bedingten Zunahme der Konzentration strahlungswirksamer Spurengase („Treibhausgase“) in der Atmosphäre befriedigend nachgebildet werden kann. [21]

Auf einem zweiten, von Modellannahmen und -simulationen gänzlich unabhängigen Weg haben Schönwiese et al. mittels einer statistischen Analyse – darunter unter Anwendung multipler linearer Regressionen und nichtlinearer neuronaler Netzwerke – den Einfluss der systeminternen ENSO-Oszillation und der äußeren Antriebe (forcing factors) Sonnenaktivität, Vulkanismus sowie der anthropogen beeinflussten troposphärischen Sulfatpartikel- und atmosphärischen Treibhausgaskonzentration auf den globalen Temperaturgang von 1860 bis 2008 untersucht. [22]

Die Ergebnisse bestätigen die Aussagen der numerischen Modellexperimente und lassen über den betrachteten Zeitraum einen zunehmenden gemeinsamen Einfluss der Treibhausgase und der (gegenläufig wirksamen) Sulfataerosole sowie als Ursache für einen zeitweisen Temperaturrückgang nach dem Jahr 1998 abnehmende Sonnenaktivität, das Abklingen des El-Niño-Ereignisses bzw. den Umschlag in eine La-Niña-Episode sowie zusätzlich eine Vulkaneruption erkennen.

Über diese neuen Befunde zu den natürlichen und anthropogenen Ursachen des gegenwärtigen Klimawandels hinaus ergibt sich aber die grundsätzliche Frage nach den geeigneten globalen Parametern zu seiner Charakterisierung. Die weltweit gemittelte Lufttemperatur an der Erdoberfläche und ihre Veränderung stellt einen globalen *Zustandsparameter* dar, der sich gut für die öffentlichkeitswirksame Argumentation und für die Formulierung von Mitigations(„Klimaschutz“-)zielen eignet, aber auch Anlass für Missverständnisse bietet. So verbergen sich hinter den Veränderungen der globalen Mitteltemperatur in historischer Zeit wie in den unterschiedlichen Modellprojektionen für die Zukunft regional durchaus unterschiedliche Entwicklungen. [23] Vor allem aber wird die Veränderung der Mitteltemperatur an der Erdoberfläche(!) in Gestalt der globalen Erwärmung häufig nicht als *ein* Ausdruck des Klimawandels, sondern fälschlich bzw. vereinfachend als Ursache einer Vielzahl von Umweltveränderungen missdeutet.

Offensichtlich sind beispielsweise aber weder der beobachtete Rückgang der Alpengletscher noch die für die Zukunft erwartete Zunahme von sommerlichen Trockenperioden und Winterniederschlägen im Land Brandenburg kausal mit der *globalen*(!) Erwärmung verknüpft, sondern beide und viele andere *regionale* Veränderungen im Verhalten des Umweltfaktors Atmosphäre sind Auswirkungen der (natürlichen und anthropogenen) Modifikationen im Energiehaushalt und in der Dynamik der Atmosphäre, die ihrerseits auch die globale Erwärmung an der Erdoberfläche (aber Abkühlung in der Stratosphäre!) nach sich ziehen.

Vom physikalischen Standpunkt betrachtet, bietet sich als *Prozessparameter* für die Beschreibung globaler Veränderungen im Klimasystem die *Imbalance* zwischen der absorbierten kurzwelligen Sonnen- und der emittierten langwelligen irdisch-atmosphärischen Temperaturstrahlung an. Während die bisher präsentierten Schemata der globalen Strahlungsbilanz (Abbildung 6) von einem Gleichgewicht zwischen ein- und ausgehendem Nettostrahlungsfluß an der Atmosphärenober-

grenze (Top of the Atmosphere, TOA) ausgehen, ist offensichtlich, dass eine globale Erwärmung (Abkühlung) des Klimasystems auf Grund der Energieerhaltung eine positive (negative) Bilanz an der Atmosphärenobergrenze erfordert.

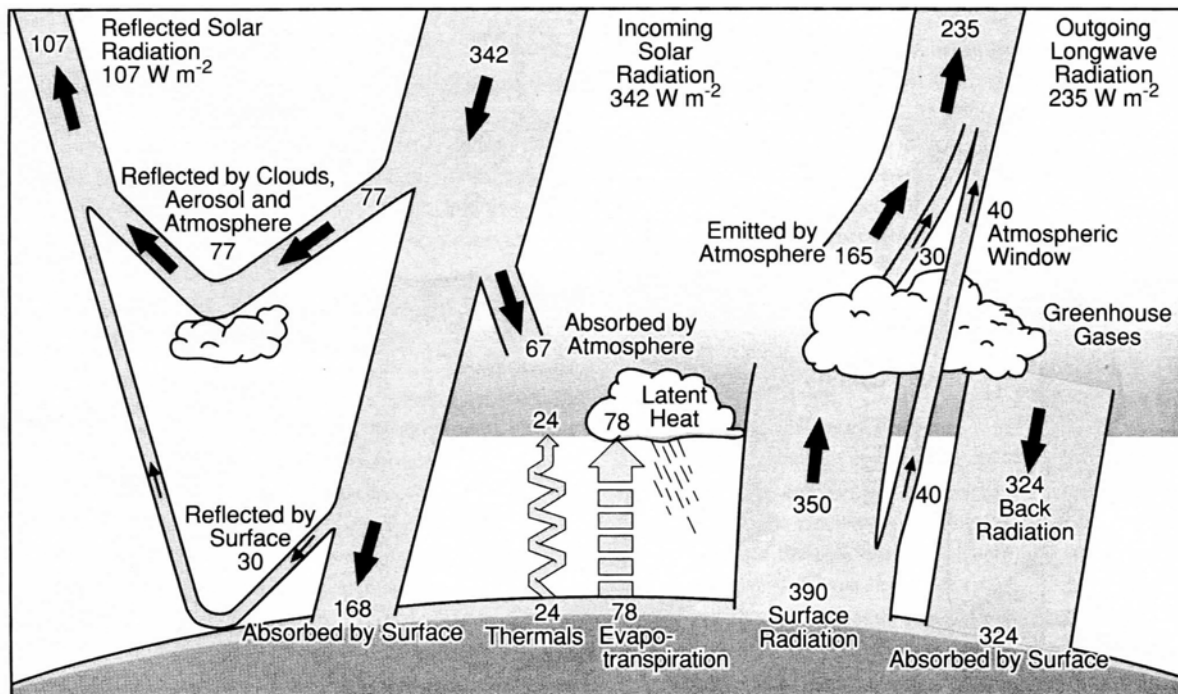


Abb. 6: Energiebilanz der Erde nach Trenberth et al. 1995 [24]

Eine erste Abschätzung dieser Imbalance durch Hansen et al. 2005 [25] ergab einen Betrag von ca.  $0,85 \text{ W m}^{-2}$ , eine neuere Bestimmung für den Zeitraum 2005-2010 einen Wert von  $0,59$  mit einer Unsicherheit von  $0,15 \text{ W m}^{-2}$  (Hansen et al. 2011 [26]). Folgerichtig ist eine solche Imbalance auch in neuere Darstellungen der globalen Energieflüsse eingegangen, z.B. bei Trenberth et al. 2009 [27] mit einem Betrag von  $0,9 \text{ W m}^{-2}$ , der in diesem Schema in gleicher Höhe als Strahlungsbilanzüberschuss an der Atmosphärenobergrenze wie als Netto-Energiezufuhr zur Erdoberfläche erscheint. Immerhin macht diese Bilanzstörung an der Atmosphärenobergrenze nach den genannten Abschätzungen etwa  $0,25$  bis gegen  $0,40 \%$  des extraterrestrischen Nettostrahlungszu- bzw. -abflusses von  $235 \text{ W m}^{-2}$  (vgl. Abbildung 6) aus, der übrigens von den auf- und abwärtsgerichteten langwelligen Strahlungsflüssen in der unteren Atmosphäre, darunter von der Gegenstrahlung (Back Radiation) an der Erdoberfläche, deutlich übertroffen wird.

Als aus physikalischer Sicht fundamentaler Indikator globalen Klimawandels ist das Studium der planetaren Energieflüsse (wie auch globaler Stoffflüsse, z.B. des Wasserdampfkreislaufs mit den Grundgrößen Niederschlag und Verdunstung) Gegenstand anspruchsvoller internationaler Projekte, z.B. Bosilovich et al. 2011 [28]. Die genannte TOA-Imbalance ist grundsätzlich aus Satellitenmessungen ableitbar und kann an der Erdoberfläche aus Veränderungen des Wärmehalts der Ozeane verifiziert werden, da ein Großteil des planetaren Strahlungsbilanzüberschusses der Meereserwärmung zugute kommt. Nach IPCC 2007 [29] ist die durchschnittliche Temperatur des Weltozeans seit dem Jahre 1961 bis in Tiefen von mindestens  $3000 \text{ m}$  angestiegen, wobei der Ozean mehr als  $80 \%$  der dem Klimasystem zusätzlich zugeführten Wärme aufgenommen hat. (Man beachte, dass die Wärmekapazität einer bis an die Atmosphärenobergrenze reichenden Luftsäule



vom Einheitsquerschnitt mit ca.  $10^7 \text{ J/m}^2\text{K}$  annähernd der einer Wassersäule von nur 2,4 m Höhe entspricht.)

Damit im Zusammenhang steht ein weiterer globaler Effekt von größter Bedeutung für die Gesellschaft – der weltweite Meeresspiegelanstieg, der sich nach IPCC 2007 [29] (vgl. auch Spänkuch 2008 [30]) von 1,8 mm/Jahr im Zeitraum 1961-2003 auf 3,1 mm/Jahr für die Jahre 1993-2003 beschleunigt hat (Unsicherheit 0,5 bzw. 0,7 mm/Jahr), was Merrifield et al. 2009 [31] mit der Angabe eines weltweit gemittelten Anstieges von 3,2 mm/Jahr für die Zeit nach 1990 bestätigen. Hauptursache dieses raschen Anstieges sind (mit anwachsendem Anteil) die thermische Ausdehnung des sich erwärmenden Meerwassers und die Schmelzwasserzufuhr von den abtauenden Gletschern und Eisschilden – beide Phänomene kausal mit der Strahlungsimbalance, aber nur indirekt mit der „globalen Erwärmung“ verknüpft, die ihrerseits in komplizierter Weise von der Bilanzstörung angetrieben wird.

Unseres Erachtens kommt dem weiteren Studium der Strahlungsimbalance des Klimasystems, der Vergleich der Satellitenmessdaten mit Angaben über die Erwärmung der Ozeane und anderer Komponenten des Klimasystems sowie mit Aussagen der Klimamodelle eine Schlüsselfunktion für das tiefere Verständnis des globalen Klimas und seiner gegenwärtigen und künftigen Veränderungen zu.

Beachtung verdienen auch weitere, auf grundlegende physikalische Erhaltungssätze gestützte globale Indikatoren des Klimawandels. So sollte sich der von IPCC 2007 festgestellte Anstieg des Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre [32] im Anschluss an die Untersuchung von Bernhardt 1991 [33] in einer nachweisbaren Zunahme des mittleren (nicht auf Meeresniveau reduzierten) Luftdrucks an der Erdoberfläche äußern.

Ungeachtet zahlreicher Unsicherheiten der gegenwärtigen Klimamodellierung bleibt festzustellen, dass sich die Klimaentwicklung der letzten Jahrzehnte und, soweit bereits eine Aussage möglich ist, auch seit der letzten Jahrhundertwende im Rahmen der einschlägigen IPCC-Szenarien bewegt. Angesichts der für die Zukunft drohenden Gefahren, besonders im Zusammenhang mit der Zunahme extremer Witterungsereignisse, stellt sich neben der Frage einer optimalen Anpassung auch die nach unterschiedlichen Möglichkeiten zur Verlangsamung des gegenwärtigen Klimawandels in unterschiedlichen Maßstabsbereichen. Diesem Problemkreis soll ein späterer Beitrag gewidmet sein.

### 3. Nachtrag

Eine vorläufige Bilanz des zu Ende gegangenen Witterungsjahres 2011 lässt das abgelaufene Jahr an den vier Mitteleuropastationen [7] mit einer durchschnittlichen Abweichung von 2,1 K vom Mittelwert der Jahre 1761-1970 als das nach den Jahren 2007 (2,4 K) und 2000 (2,2 K) drittwärmste in dem genannten Zeitraum jemals beobachtete erscheinen. Bemerkenswert waren auch die enormen Witterungsschwankungen von Monat zu Monat. So betrug die Niederschlagssumme an 14 Stationen im Gebiet der Bundesrepublik im Trockenmonat November lediglich 7 %, dagegen im Dezember 181 % des jeweiligen Mittelwertes für den Zeitraum 1851-1970.

Weltweit erwies sich das Jahr 2011 nach vorläufigen Angaben [34] mit einer Abweichung von 0,51 K gegenüber dem Mittelwert des 20. Jahrhunderts ( $13,9 \text{ }^\circ\text{C}$ ) als kälter als die Jahre 2010, 2009 und 2007, die eine Abweichung von jeweils 0,64 K zu verzeichnen hatten. Das gesamte Jahr 2011 war durch anhaltende La Niña-Bedingungen [13] gekennzeichnet, wie sie für negative Ab-

weichungen der global gemittelten Lufttemperatur an der Erdoberfläche verantwortlich sein sollen; unter allen Jahren mit ganzjährigem La Niña-Regime aber zeigte sich das Jahr 2011 als das wärmste je beobachtete. Über dem Festland erbrachte das Jahr die zweithöchste Niederschlags-summe nach dem Vorjahr 2010; dabei war es wiederum durch große Gegensätze, wie anhaltende katastrophale Dürre am Horn von Afrika und ausgedehnte Überschwemmungen in Australien gekennzeichnet.

Die schon am Ende des ersten Abschnittes dieses Beitrages betonte Notwendigkeit einer Anpassung der Gesellschaft an die rasche Aufeinanderfolge extremer Witterungsereignisse und an deren unterschiedliche Ausprägung auch auf engem Raum bestätigt sich um die Jahreswende 2011/12 aufs neue: Einem nahezu niederschlagsfreien (s. o.) sonnenscheinreichen November folgten zwei milde und niederschlagsreiche Wintermonate, schneearm im Tiefland bei gleichzeitig katastrophalen Schneefällen im Alpenraum. Dies und der Übergang zu strenger Kälte um die Monatswende vom Januar zum Februar 2012 (vergleichbar mit dem mitteleuropäischen Witterungsgeschehen in den genannten Monaten des Jahres 1956, wenn auch zu Redaktionsschluss bisher weniger extrem) demonstriert auch, dass epignostische oder versuchte prognostische Aussagen über Mittelwerte ganzer Jahreszeiten wenig hilfreich sind.

Statistische Zusammenhänge zwischen Klimaparametern in weit voneinander entfernten Gebieten (Telekonnektionen), wie neuestens zwischen El Niño-Ereignissen im Zentralpazifik und dem NAO-Index somit damit dem Charakter mitteleuropäischer Winter (vgl. Abschnitt 1 des vorliegenden Beitrages) aufgedeckt [35], erhellen zwar dynamische Strukturen des Klimasystems, sind aber, für sich genommen, auf Grund des hochkomplexen Charakters dieses Systems mit einer Vielzahl von Wechselwirkungen für Vorhersagezwecke nur mit Vorbehalt verwendbar, ähnlich wie monokausale Ansätze für die Erklärung des globalen Klimawandels. Dies zu betonen ist auch angezeigt, weil solche Ansätze in der Öffentlichkeit Illusionen über die Möglichkeit von Vorhersagen für ganze Jahreszeiten erwecken („einfache Regel erlaubt Winterprognose“ [36]). Dass übrigens für extreme Witterungsereignisse neben Telekonnektionen auch regionale und sogar lokale Rückkoppelungsmechanismen von Bedeutung sein können, wurde mittels Modellsimulationen am Beispiel der Rolle von Bodenfeuchte und Meeresoberflächentemperaturen für die sommerliche Hitzewelle des Jahres 2003 in Europa mit mehreren zehntausend zusätzlichen Todesfällen gezeigt. [37]

## Literatur

- [1] Bernhardt, K.: Thesen zur Klimadebatte. LIFIS ONLINE [14.12.10].  
[http://www.leibniz-institut.de/archiv/bernhardt\\_14\\_12\\_10.pdf](http://www.leibniz-institut.de/archiv/bernhardt_14_12_10.pdf)
- [2] Bernhardt, K.: Dialektik des Klimas. Sitz.Ber. d. Leibniz-Sozietät 102(2009), 123-157
- [3] <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/4111.html>
- [4] IPCC: Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York, Melbourne (2007), p. 5. Alle IPCC-Berichte sind über <http://www.ipcc.ch> verfügbar. Vgl. auch.: Klimaänderung 2007, Bern/Wien/Berlin (2007), S. 5
- [5] Significant Climate Anomalies and Events in 2010  
<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/service/global/significant-extremes/...> Vgl. auch WMO-Bericht zum Zustand des globalen Klimas 2010 (WMO-No. 1074), anzufordern beim Deutschen Wetterdienst, PF 10 04 65, D-63004 Offenbach

- [6] <http://www.eike-klima-energie.eu/klima-anzeige/waermstes-jahr-201...> Donnerstag, 23.12.2010, 09.00
- [7] Pelz, J.; Rüge, U.; Schlaak, P.: Zur Fortführung der von F. Baur im Jahre 1975 veröffentlichten Temperaturreihe für Mitteleuropa seit 1761 und der Niederschlagsreihe für Deutschland westlich der Oder ab 1851. Beilage zur Berliner Wetterkarte 50/96, SO 14/96 (1996), 3 S. Die beiden genannten Beobachtungsreihen werden in allmonatlichen Beilagen zur Berliner Wetterkarte fortgeführt.
- [8] Cubasch, U.; Kadow, C.: Die Berliner Temperaturreihe. Gottfried Kirch (1639-1710) und die Berliner Astronomie im 18. Jahrhundert. *Acta Historica Astronomiae* 41(2010), 112-132; Temperaturaufzeichnungen in Berlin für die letzten 300 Jahre, in: Hüttl, R. F.; Emmermann, R.; Germer, S.; Neumann, M.; Bens, O. (Hrsg.): *Globaler Wandel und regionale Entwicklung. Anpassungsstrategien in der Region Berlin-Brandenburg*. Berlin, Heidelberg 2011, 30-36; *Global climate change and aspects of regional climate change in the Berlin-Brandenburg region*. *Die Erde* 142(2011), 3-20
- [9] Lutterbacher, J.; Wanner, H.; Brönnimann, S.: Historische Entwicklung der NAO-Forschung. *Promet* 34(2008), 79-88
- [10] Wehry, W.: Nordatlantik-Zirkulation (NAO) und kalte Winter in Europa. *Beiträge zur Berliner Wetterkarte* 79/10, SO 37/10, 30.12.2010
- [11] Monatswerte ausgewählter Stationen der Erde, Dezember 2010. *Beiträge des Deutschen Wetterdienstes in Offenbach/M zur Berliner Wetterkarte* 05/11, SO 03/11, 20.1.2011
- [12] Anomalien der Lufttemperatur im Raum Nordamerika, Nordatlantik, Europa, Nordafrika im Dezember 2010. *Beiträge des Deutschen Wetterdienstes in Offenbach/M zur Berliner Wetterkarte* 06/11, ANOM 12/10, 25.1.2011
- [13] Vgl. z.B. Graf, H.-F.: Telekonnektionen und el Niño/Südliche Oszillation (ENSO). In: Hupfer, P. (Hrsg.): *Das Klimasystem der Erde*. Berlin(1991), S. 145-156
- [14] WMO-Bericht zum Zustand des globalen Klimas 2010 (WMO-No. 1074), anzufordern beim Deutschen Wetterdienst, PF 10 04 65, D-63004 Offenbach, insbesondere S. 8, 9
- [15] IPCC Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Summary for Policymakers, S. 14-15. *Klimaänderung 2007*, Bern/Wien/Berlin (2007), S. 32-34
- [16] Min, S.-K.; Zhang, X.; Zwiers, F. W.; Hegerl, G. C.: Human contribution to more-intense precipitation extremes. *Nature* 470(2011), 378-381. Pall, P.; Aina, T.; Stone, D. A.; Stott, P. A.; Nozowa, T.; Hilberts, A. G. J.; Lohmann, D.; Allen, M. R.: Anthropogenic greenhouse gas contribution to flood risk in England and Wales in autumn 2000. *Nature* 470(2011), 382-385
- [17] Petoukhov, V.; Semenov, V. A. : A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold-winter extremes over northern continents. *J. Geophys. Res.* 115: 10.1029/2009JD013568
- [18] Bernhardt, K.: Dialektik des Klimas. *Sitz.Ber. d. Leibniz-Sozietät* 102(2009), S. 145
- [19] Berliner Wetterkarte, Donnerstag, 01.09.2011
- [20] Hantel, M.: Climate modelling. In: Landolt-Börnstein, Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenschaft und Technik. Neue Serie, Gr. V, Bd. 4, Meteorologie, Teilband c 2, 1989, Berlin etc., 1-116
- [21] IPCC: Climate Change 2007: The Scientific Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, p. 11. *Deutsch: Klimaänderung 2007*, Bern/Wien/Berlin (2007), S. 11
- [22] Schönwiese, C-D.; Walter, A.; Brinckmann, S.: Statistical assessment of anthropogenic and natural global climate forcing. An update. *Meteorol. Z.* 19(2010), 3-10

- [23] IPCC: Climate Change 2007: The Scientific Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, p. 15. Deutsch: Klimaänderung 2007, Bern/Wien/Berlin (2007), S. 15
- [24] Trenberth, K. E.; Houghton, J. T.; Meira Filho, L. G.: The Climate System: an overview. In: IPCC, Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Univ. Press, Cambridge, S. 58. Vgl. auch Wikipedia: Strahlungshaushalt der Erde
- [25] Hansen, J. M., et al.: Earth's energy imbalance: Confirmation and implications. Science 308, 2005, 1431-1435
- [26] Hansen, J. M.; Sato, P.; Kharecha, P.; v. Scuckermann, K.: Earth's energy imbalance and implications. Atmos. Chem. Phys. Discuss. 11(2011), 27031-27105
- [27] Trenberth, K. E.; Fasullo, J. T.; Kiehl, J.: Earth's Global Energy Budget. Bull. Amer. Meteorol. Soc. 90(2009), 311-323. Siehe auch <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2008BAMS2634.1>
- [28] Bosilovich, G.; Robertson, F. R.; Chen, J.: Global Energy and Water Budgets in MERRA. J. Climate 24(2011), 5721-5739
- [29] IPCC: Climate Change 2007: The Scientific Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, p. 5-7. Deutsch: Klimaänderung 2007, Bern/Wien/Berlin (2007), S. 5-7
- [30] Spänkuch, D.: Fernerkundung der Erde – Hiobsbotschaften aus dem All. Sitz.Ber. d. Leibniz-Soz. d. Wissenschaften 96(2008), 63-73
- [31] Merrifield, M. A.; Merrifield, S. T.; Mitchum, G. T.: An Anomalous Recent Acceleration of Global Sea Level Rise. J. Climate 22(2009), 5772-5781
- [32] IPCC: Climate Change 2007: The Scientific Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, p. 5. Deutsch: Klimaänderung 2007, Bern/Wien/Berlin (2007), S. 5
- [33] Bernhardt, K.: Globale Erwärmung und Änderung des mittleren Luftdruckes an der Erdoberfläche. Z. Meteorol. 41(1991), 325-332
- [34] <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global>
- [35] Graf, H.-F.; Zanchettin, D.: Central Pacific El Niño, the „subtropical bridge“, and Eurasian climate. J. Geophys. Res. 117, D01102, 10 PP., 2012
- [36] Spiegel Online. Nachrichten – Wissenschaft – 18.1.2012 Winterprognose
- [37] Fennessy, M. J.; Kinter III, J. L.: Climatic Feedbacks during the 2003 European Heat Wave. J. Climate 24(2011), 5953-5967

[01.02.12]

Anschrift des Autors:

Prof. Dr. Karl-Heinz Bernhardt  
Platz der Vereinten Nationen 3  
D – 10249 Berlin  
[ha.kh.bernhardt@gmx.de](mailto:ha.kh.bernhardt@gmx.de)