

Klima und Wasser

Hartmut Graßl
MPI für Meteorologie, Hamburg
Meteorologisches Institut, Universität Hamburg

Liebe Zuhörer,
der mich Einführende hat gesagt, ich würde hier meine Meinung vorstellen. Ich denke, dass ich eine etwas breitere als meine Meinung zum Thema „Klima und Wasser“ vorstellen werde.

Unser Wasserplanet

Wir leben auf einem Wasserplaneten, der bis zu 85% mit der Substanz Wasser bedeckt ist. Was die meisten sich nicht klarmachen: es ist nicht nur der Ozean, es gehören auch die Eisgebiete dazu und die Gebiete mit Schneebedeckung und für den langwelligen Strahlungshaushalt auch die Gebiete mit nassen Blattoberflächen, denn die wirken physikalisch fast genau so wie eine Wasseroberfläche (weil Abstrahlung im thermischen Infrarot aus den obersten zwei bis drei Mikrometern stammt). Wasser(dampf) ist das wichtigste Treibhausgas der Erdatmosphäre. Erst in weitem Abstand kommt danach Kohlendioxid hinzu und dann als drittes - was die meisten nicht wissen - Ozon; nicht Methan und nicht Lachgas, die No. 5 bzw. 4 sind.

Wasser zeigt die hellste und die dunkelste aller wesentlichen natürlichen Oberflächen. Die hellste ist der Pulverschnee mit einer Albedo von bis zu 85%, die dunkelste ist offener Ozean mit 4% Albedo bei Schönwetter und etwa 7% bei bedecktem Himmel. Aus diesen Zahlen können Sie ablesen, dass die sogenannte Eisalbedo-Temperatur-Rückkopplung die gut verstandene und positivste aller Rückkopplungen im Wasserkreislauf ist. Sie ist wesentlich verantwortlich für den großen Hub zwischen Eiszeit und Warmzeit.

Flüssiges Wasser hat als dispergierte Flüssigkeit auch noch die Fähigkeit, eine der hellsten aller natürlichen Schichten zu liefern: das sind optisch dicke Wolken. Während das Wasser als dicke Flüssigkeitsschicht nur 4% Albedo liefert, ergibt Wasser in Tröpfchen fein verteilt bei optischer Dicke über 100 - was sehr häufig auftritt - eine Albedo von bis zu 80%. Damit habe ich eine Rückkopplungsmöglichkeit im Klimasystem angesprochen, die wohl die am schwierigsten zu verstehende ist. Was machen die Wolken, wenn sich das Klima ändert? Ich kann das umformulieren und sagen, die schwierigste aller Fragen für die Klimatologen ist: Warum schwankte der Treibhauseffekt der Erdatmosphäre über viele Millionen Jahre um nicht mehr als $\pm 5^\circ$ Celsius? 5 Grad über heutigen Temperaturwerten heißt, wie in der Kreidezeit mit Palmen auf 60° Nord. 5 Grad nach unten heißt große Vereisung, Hochschwarzwald mit Gletschern, Zürich unter den Gletschern. Größere Temperaturschwankungen an der Oberfläche gab es nicht, obwohl die Wissenschaftler besonders gerne über positive Rückkopplungsmechanismen reden.

Der potentielle Stabilisator

a) Die Wolken

Es muss einen wichtigen negativen Rückkopplungsmechanismus geben, der es gestattet, dass der Ozean nie kocht und dass die Erde nie eine Eiskugel geworden ist. Manche sagen, der Stabilisator seien die Lebewesen gemeinsam, die sog. Gaia-Hypothese. Wieder andere – wie ich –, mehr in der Physik verankert, sagen, wahrscheinlich spielt die erste Geige die Bewölkung. Dazu machen wir ein kleines Gedankenexperiment: Wenn die Oberflächentemperatur des Ozeans zunimmt, wird die Konvektion über ihm intensiver, die Wolken schießen



etwas höher zu immer niedrigeren Temperaturen (das sieht man z.B. sehr schön über dem Warmpool des westlichen Pazifik). Dort haben die Temperaturen an der Wolkenobergrenze - meist gleichzeitig die Tropopausentemperaturen - Werte von -85 bis -92°C bei Konvektionseignissen. Die obersten Wolkenschichten bestehen dann aus winzigen Eiskristallen. Wenn, wie schon oft grob gefunden, die Größe der Eiskristalle von der Temperatur abhängt, dann würden niedrigere Temperaturen in den Ambosswolken der Cumulonimben bei höherer Oberflächentemperatur des Ozeans zu etwas mehr Rückstreuung von Sonnenenergie in den Weltraum führen (weil die Partikel kleiner sind, und dadurch die Streufunktion etwas flacher wird). So würde sich das System gegen zusätzliche Absorption von Sonnenstrahlung an der Oberfläche schützen und Temperaturen stabilisieren können: durch optisch etwas dickere Ambosswolken. Das ist aber nur einer der möglichen Mechanismen.

b) Die Biosphäre

Wie Charney Anfang der 70er Jahre vorschlug und wie es jüngst durch Claußen mit Modellrechnungen erhärtet wurde, kann die Vegetation ganz massiv über ihre Albedo in die Rückkopplungsmechanismen eingreifen. Bis vor etwa 6000 Jahren war die Sahara eine Trockensavanne und keine außergewöhnlich trockene Wüste. Das Entscheidende beim Übergang von der Trockensavanne in die Wüste war ein Zusammenbruch der positiven Rückkopplung der Vegetation, welche den Südwest-Monsun nicht mehr so weit nach Norden vorrücken ließ. Charney hat das über den Rückkopplungseffekt "Erhöhte Albedo bei Dürre" schon vorgezeichnet. Der auslösende Mechanismus war eine über Jahrtausende abnehmende Einstrahlung, weil der sonnennächste Punkt der Erdbahn in das nördliche Winterhalbjahr wanderte.

Mehr vom Klimafaktor Wasser

Wasser ist eine wahrlich schillernde Substanz. Auch die Tagesamplitude der Temperatur wird im Wesentlichen vom Gehalt der Luft an Wasserdampf, von der sogenannten Wasserdampfsäule und von der Bodenfeuchte reguliert. So ist die Region mit der geringsten Tagesamplitude der Temperatur bei kräftigem Sonnenschein die Region der inneren Tropen. Bei einer Wasserdampfsäule von 6 cm Höhe - also 60 mm Niederschlag, falls man allen Wasserdampf kondensieren könnte - liegen nur noch ein paar Grad zwischen Minimum- und Maximumtemperatur.

Wer genau manipuliert das? Eine besondere Form der Absorption des Wasserdampfes. Im sogenannten Fenster zum All von 8 – 13 Mikrometer dominiert nicht die Absorption durch Wasserdampflinien, sondern das sogenannte "Wasserdampfkontinuum": Eine kontinuierliche Absorption, die proportional zum Quadrat des Partialdampfdruckes von Wasserdampf ist, so dass in den innersten Tropen der Nettofluss langwelliger Strahlung bei Schönwetter auf etwa 35 Watt pro Quadratmeter (Wm^{-2}) schrumpft. Hier im Karlsruher Gebiet treten bei Schönwetter etwa 100 Wm^{-2} Nettofluss langwelliger Strahlung auf, also ein höherer Wärmeverlust der Oberflächen. Dieses Wasserdampfkontinuum schützt die Oberfläche in den wasserdampfreichen Zonen vor Verlust an Wärmestrahlung. Der Effekt ist bei 30°C Oberflächentemperatur sogar so stark (also im Warmpool), dass der Unterschied im Nettofluss langwelliger Strahlung zwischen bedeckt und wolkenlos (wobei letzteres sehr selten auftritt) nur noch 5 Wm^{-2} beträgt. Die unterste Atmosphäre ist dann so wasserdampfgeschwängert, dass die Gegenstrahlung der Atmosphäre auf 430 Wm^{-2} ansteigt und die Emission der Oberfläche bei 472 Wm^{-2} liegt. Jetzt können Sie sich vorstellen, was es bedeutet, wenn der Ozean nur um 1 Grad wärmer wird, weil das Wasserdampfkontinuum bei um ca. 6% höherer Wasserdampfdichte den Treibhauseffekt weiter verstärkt. Was von der Sonne dann absorbiert wurde, muss dann mit immer höheren Anteilen über die Verdunstung von Wasser an die Atmosphäre zurück gegeben werden.

Natürliche versus anthropogene Energieflüsse

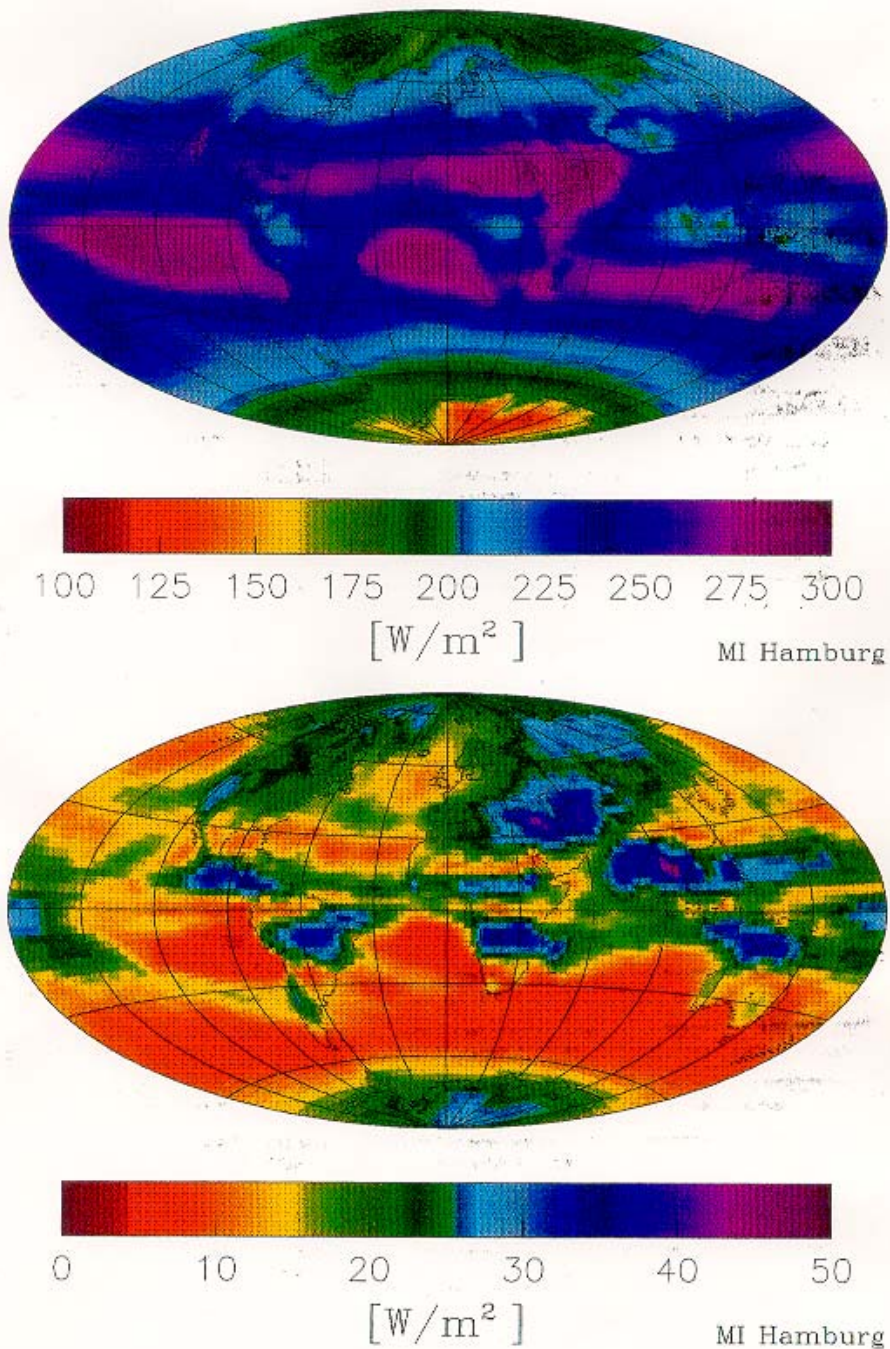
Im globalen Mittel ist die Verdunstung äquivalent zu 80 Wm^{-2} latentem Wärmefluss. Alle menschliche Aktivitäten reichen für 'lausige' $0,025 \text{ Wm}^{-2}$. Mit unseren Kraftwerken, Autos, Fabriken und beim Heizen von Gebäuden sind wir energetisch 'unter ferner liefen'. Sie sehen, wie wichtig der Wasserkreislauf für die Energetik ist. Viele werden jetzt fragen, warum sind wir dann überhaupt hierher gekommen unter dem Titel "Klimaveränderungen und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft", wenn wir bezüglich Abwärme Zwerge sind gegenüber den natürlichen Energieflüssen. Die Antwort ist simpel: Wir greifen über die Emission langlebiger Gase, wie Kohlendioxid, Methan und Lachgas - wodurch wir bereits über 2 Wm^{-2} Strahlungsantrieb liefern - in die Strahlungsübertragung ein. Für Wasserdampf haben wir außergewöhnliche Schwierigkeiten, Trendanalysen zu machen, weil – obwohl es die wichtigste Substanz für die Meteorologen ist - diese noch nicht gelernt haben, den Anteil an Luft genau über lange Zeit zu messen. Für eine Trendanalyse reicht es in den meisten Fällen noch nicht aus. Wenn einzelne Beobachter schlampfen, und beim Aspirationspsychrometer gelegentlich den Strumpf nicht häufig genug wechseln, ist eine Trendanalyse schon gescheitert.

Die beiden einzigen Parameter, welche die Meteorologen gut messen können – und deswegen sind viele ihrer Trendanalysen auf diese Parameter fixiert - sind Temperatur und Druck. Dort haben sie die Fähigkeit etwa 10^{-4} -Genauigkeit zu erreichen. Wir brauchen z.B. stark verbesserte Niederschlagsmessungen, weil die Strömung den Tropfen eben nicht immer in den Mess-Topf lässt. Auch die Schneeflocke segelt gern um den Auffänger, so dass Korrekturfaktoren von 30 und 50% in kalten Klimazonen anzubringen sind.

Nettostrahlungsflüsse am Atmosphärenrand und Komponenten des Wasserkreislaufs

Ich zeige Ihnen noch eine weitere Manipulation des Systems durch Wasser, nämlich eine vierjährige Messreihe der Wärmeabstrahlung der Erde in den Weltraum in Wm^{-2} (Abb. 1). Sie sehen bis zu 300 Wm^{-2} Verlust über Sahara, Arabien und dem Mittleren Osten. In den innersten Tropen dagegen, wo es an der Oberfläche besonders warm ist, ist die Abstrahlung stellenweise so niedrig wie über Grönland oder dem Polarmeer. Das erscheint als ein Paradoxon. Die Antwort habe ich implizit schon vorher gegeben: Wegen fast immer hochreichender Bewölkung strahlen dort Ambosswolken mit Temperaturen von -75 bis -90°C weit weniger ab. Nur die Antarktis, die auch an der Oberfläche ganzjährig kalt ist, strahlt auf Dauer weniger in den Weltraum ab als die innersten Tropen.

Wenn wir das entsprechende Bild für den Nettostrahlungsfluss betrachten (Abb. 2), fällt auf, dass - weil der Wasserdampf gering konzentriert ist und die Bodenfeuchte fehlt - Teile der Sahara mit der darüber liegenden Atmosphäre ein Gebiet sind, das sogar im Juli eine negative Strahlungsbilanz hat. Auch wieder ein scheinbares Paradoxon, das im Wesentlichen vom Wasserkreislauf gesteuert wird. Die Tankstellen für Energie sind die tropischen und subtropischen Ozeangebiete. Wir, in höheren Breiten, bekommen über den polwärtigen Transport Teile davon geliefert. Wir Europäer kriegen besonders viel herantransportiert, weil der Atlantik sogar über den Äquator hinweg 10^{15} W auf die nördliche Erdhälfte schafft.



Outgoing longwave radiation flux density at the top of the atmosphere using ERBE monthly means for the period from February 1985 until January 1989 inclusive.

Above: average

Below: standard deviation based on the monthly means

Abb.1: Abstrahlung von Wärme am Oberrand der Atmosphäre für den Zeitraum Februar 1985 bis Januar 1989; Mittelwert (oben); Standardabweichung gebildet aus den Monatsmitteln (unten). Messungen mit den Satelliten des Earth Radiation Budget Experiments (ERBE).

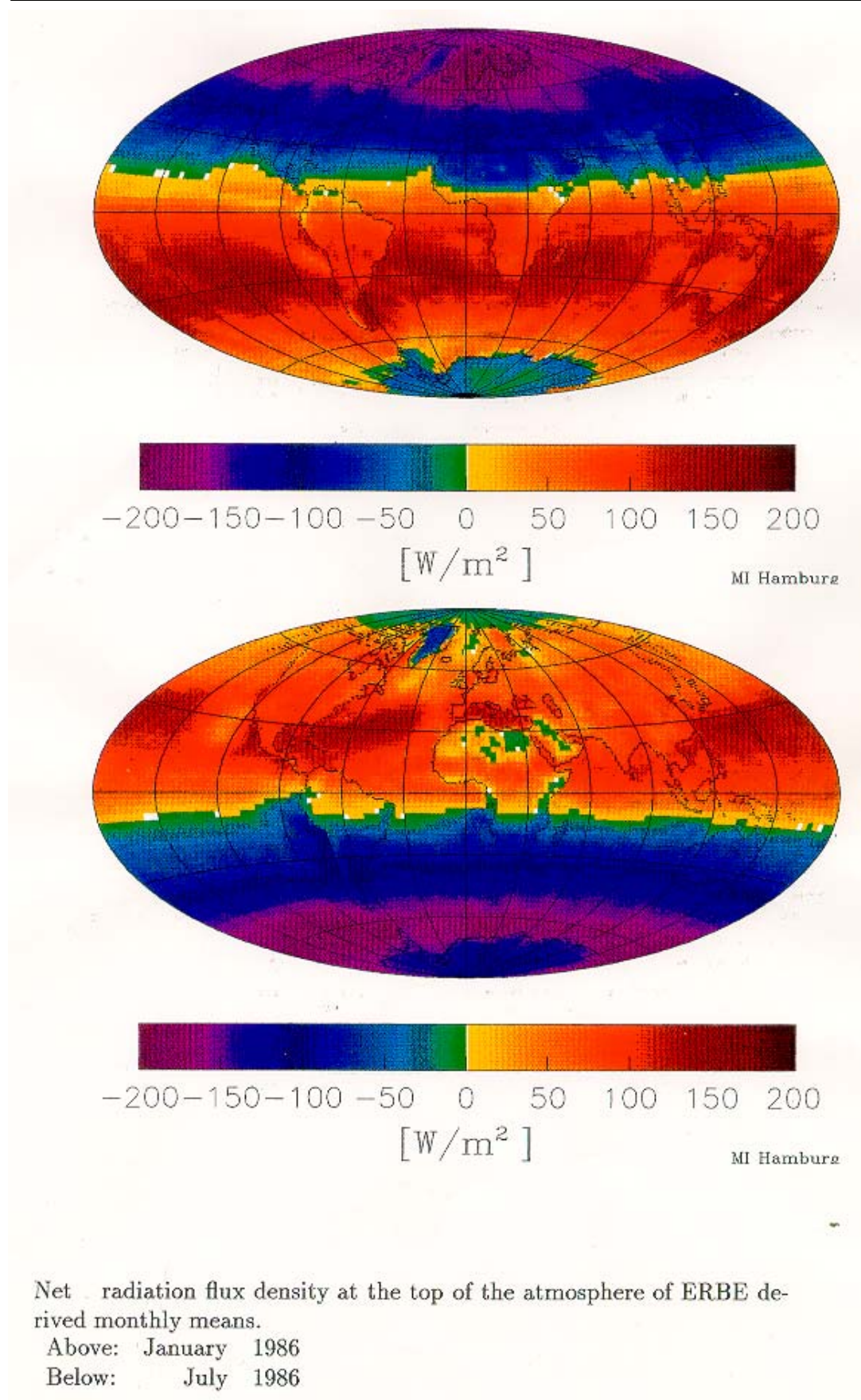


Abb.2: Nettostrahlungsflussdichte am Oberrand der Atmosphäre für Januar und Juli 1986. Messungen mit den Satelliten des Earth Radiation Budget Experiments (ERBE).



Die Besonderheit des Atlantik

Heute steigt hier in Karlsruhe die Temperatur wieder auf 14, 15, 16°C, und das Ende November: und zwar bei einer geografischen Breite, wo jetzt auf dem amerikanischen Kontinent fast alles gefroren ist. Auf der Hudson-Bay – ihr südlicher Teil liegt auf der geografischen Breite wie Hamburg – liegt inzwischen schon Meereis. Wir sind Profiteure eines Teils des Wasserkreislaufs, nämlich des sogenannten Golfstroms (im Volksmund), der in der Fachsprache Nordatlantischer Strom heißt. Die 10¹⁵ W, die bei 24° Nord vom Atlantik nordwärts transportiert werden – überwiegend von der südlichen Hemisphäre, die gegenwärtig mehr Energie bekommt als die nördliche Hemisphäre, weil wir am 3./4. Januar maximale Nähe zur Sonne haben – werden überwiegend vor unserer Haustür an die Atmosphäre abgegeben. Bestrahlungsbedingungen, wie jetzt mit Nachteil für die nördliche Hemisphäre, sind oft die Abschnitte, an denen die Eiszeiten beginnen. Warum beginnt sie denn jetzt nicht? Daran sind nicht wir Menschen schuld, weil wir erst seit wenigen Jahrzehnten oder Jahrhunderten wesentlich eingreifen, sondern weil die Ellipse in Richtung Kreisbahn um die Sonne tendiert. Bei einer Kreisbahn werden die beiden Hemisphären gleich bestrahlt.

Die Niederschlagsverteilung

Neben der Sonnenenergie ist nichts für uns Menschen so wichtig wie das Wasser vom Himmel. Deswegen rege ich mich über die Wetterberichte in den meisten Fernsehkanälen auf. Alles ist schlecht, sobald nur irgendwo ein Tropfen erscheint. In Wirklichkeit ist es genau das, was uns überleben lässt. In großer Zahl können wir nur da leben, wo ausreichend Wasser vom Himmel fällt oder ein großer Fluss vorbei fließt.

Da wir über den Ozeanen sehr lange überhaupt nicht wussten, was herunter fällt, zeige ich Ihnen jetzt das erste der Bilder, das überhaupt zu diesem Thema vor einigen Jahren erschienen ist (Abb. 3). Sie sehen – aufgetragen in mm/Tag – die zonal gemittelte Niederschlagsverteilung. Das Auffälligste ist zunächst: Es regnet überwiegend in den Tropen und der Wärmeäquator sitzt auf der nördlichen Hemisphäre. Denn sonst wären die Maxima nicht zwischen 0 und 10° Nord. Es regnet also auf der nördlichen Hemisphäre mehr als auf der südlichen Erdhälfte. Sie sehen aber auch, wenn man zonal mittelt, wie gut sich doch die Schwankungen von einem Kontinent zum anderen oder von einem Ozeanbecken zum anderen herausmitteln; wie relativ stabil die zonale Niederschlagsverteilung aussieht – speziell z.B. die Dürrezone bei etwa 20° Süd. In den Tropen gibt es Gebiete, wo im zonalen Mittel 8 mm/Tag fallen, d.h. fast 3 m pro Jahr. 2,3 m ist der Rekordwert für die Deutschen in Bereichen des Allgäu und des Berchtesgadener Landes. Die Schweizer finden bis zu 4 m in Teilen des Berner Oberlandes. Im globalen Mittel regnet es etwa einen Meter pro Jahr. Oder anders formuliert: Die Bundesrepublik Deutschland (mit 780 mm Jahresniederschlag) gehört zu den "weniger als normal Gebieten".

Schauen wir uns nochmals Niederschläge auf dem Ozean an, damit man weg kommt von dem Gedanken, dass eigentlich nur hohe Gesamtmengen in Gebirgsregionen auftreten, wie es für Kontinentalregionen oft gilt. Die erste Klimatologie für Verdunstung, Niederschlag und die Differenz aus beiden – den sogenannten Süßwasserfluss – für 13 Jahre über dem Atlantik zeigt im Gebiet über dem Golfstrom Werte von 10 bis 12 mm/Tag im 13-jährigen Mittel. Das ist eine der Zonen, wo genau so viel Regen fällt wie über den inneren Tropen. Das war bisher unbekannt, weil die Meteorologen – kluge Leute – für die in-situ Messungen festgelegt hatten, dass die maximale Niederschlagsrate (weil es ja keine verlässlichen Regennmesser auf Schiffen gibt) 2,8 mm/h ist. Wenn ein Schiff in dieser Region wie so oft "Violent Shower" meldete, wurden 2,8 mm pro Stunde eingesetzt. Wenn wir das mit Satellitendaten – angeeicht mit Insel- und Küstenstationen vergleichen, dann fallen über dem Golfstromgebiet 3 m Niederschlag pro Jahr. Das hat jetzt Konsequenzen für die Modellierung der Ozeanströmung wegen des veränderten Salzgehaltes und somit veränderter Meerwasserdichte.

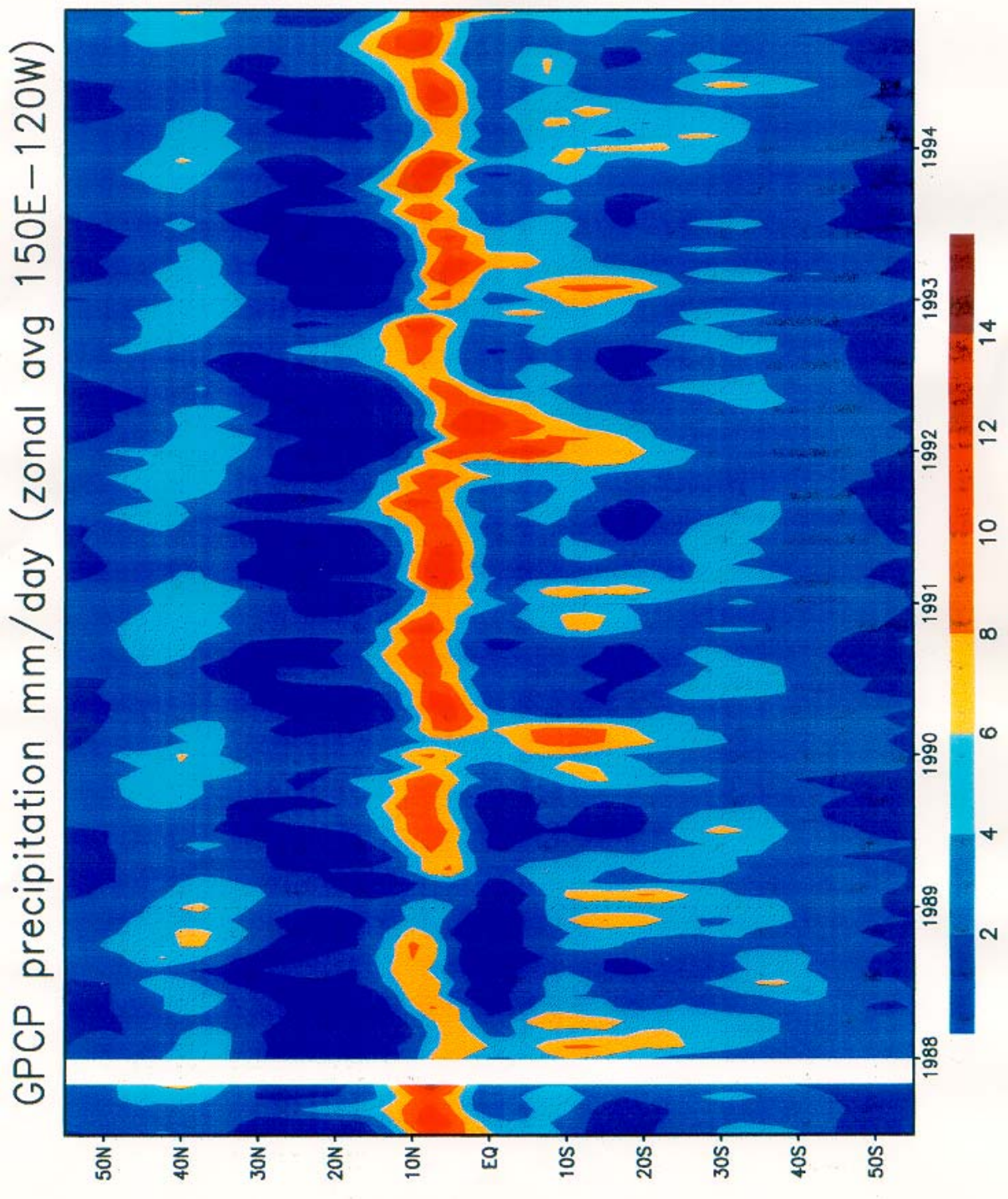


Abb.3: Zeitreihe des zonal gemittelten Niederschlags von 55°N bis 55°S, erhalten aus Satellitendaten und in-situ Messungen im Rahmen des Global Precipitation Climatology Project (Gpcp9) im Globalen Energie- und Wasserkreislaufexperiment (GEWEX) des Weltklimaforschungsprogrammes.

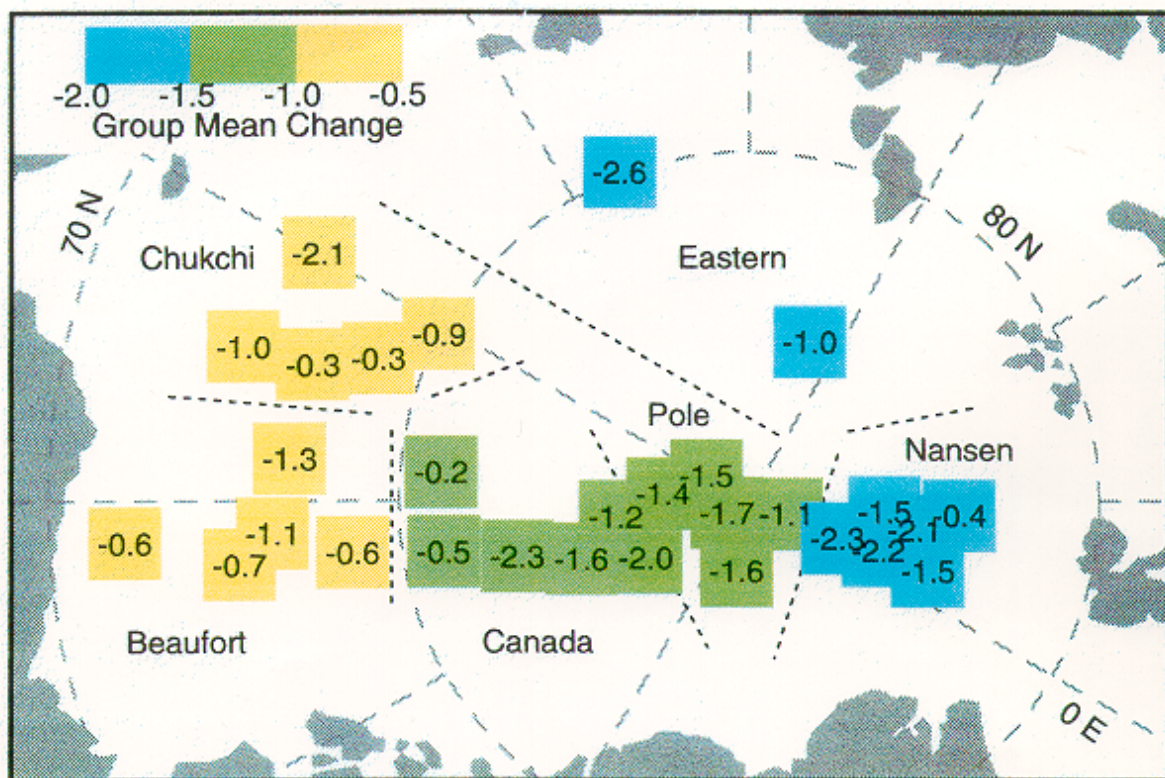
Meereis - eine weitere Facette des Wasserkreislaufs

Wasser und Klima ist ein Thema für ein ganzes Buch. Eine der wenigen eindeutigen Trendanalysen aus dem Wasserkreislauf gibt es für die Dicke des Meereises seit etwa 40 bis 50 Jahren. Die Abbildung 4 zeigt die Schrumpfung der mehrjährigen Eisdecke in der inneren Arktis um bis zu 2,3 m bei typischerweise 4 m am Beginn der Messreihe. Gemessen wurde



das von Unterseebooten der Atommächte aus, die regelmäßig im Arktischen Ozean unterwegs sind und deren Daten inzwischen an die Wissenschaftler übergeben worden sind. Mit einem Sonargerät messen sie den Abstand zur Unterkante des Eises. Diese Meereisdeckenänderung ist ein ganz massives Signal, wenn in 3 bis 4 Jahrzehnten an manchen Stellen bis zur Hälfte, an manchen anderen Stellen doch noch 5 bis 10 % der Meereisdicke verschwunden sind. Da wir Menschen zu linearen Extrapolationen neigen, könnte man jetzt sagen: Im 21. Jahrhundert könnte das arktische Meereis verschwinden. Ich warne davor, das zu machen.

Auch die Ausdehnung des mehrjährigen Eises hat in den letzten 2 Jahrzehnten abgenommen. Leider haben wir nur über 2 Jahrzehnte Daten. Die Schrumpfung beträgt 6 bis 9 % pro Jahrzehnt, je nach Gruppe, die es ausgewertet hat. Die Fläche mit dem den Sommer überlebenden mehrjährigen Eis ist somit Ende August/Anfang September viel stärker zurückgegangen als die Ausdehnung im Winter. Um die Antarktis herum werden keine signifikanten Veränderungen in den letzten Jahrzehnten beobachtet.



Beobachtete Änderungen in der Dicke des Meereises (in Metern) im Zeitraum 1993-95 gegenüber 1958-76. Nach Rothrock et al., 1999, GRL, 26, 3469-3472).

Abb.4: Änderung der Dicke des mehrjährigen Meereises der Arktis nach Messungen mit Atom-U-Booten. Gezeigt ist die Differenz zwischen den Zeiträumen 1958-1976 und 1993-1995.

Extreme Niederschläge

Die wichtigste, von der Gesellschaft gewünschte klimatologische Information ist die Extremwertstatistik. Wie wollen Sie aber ein hundertjähriges Hochwasser definieren, wenn in den meisten Fällen nur 70- oder 80jährige Messreihen existieren und wenn wir wissen, dass die

Klimavariabilität sich immer ändern wird, weil ja auch der Mittelwert von einer Klimanormalperiode zur anderen rutscht. Die Niederschlagsintensität oder die Menge, die pro Regenereignis fällt, nimmt mit der Oberflächentemperatur zu.

Der Rekordhalter in Deutschland ist ein Schauer bei Füßen, am Ende einer Hitzeperiode gefallen (mit 126 mm in 8 Minuten). Sucht man die Menge pro Ereignis, dann hat diese über großen Gebieten über allen Kontinenten in den letzten 50 bis 80 Jahren zugenommen. Das heißt auch, dass die Verteilung breiter geworden ist. Dies ist eine wichtige Botschaft für die Hydrologen. Nimmt die Niederschlagsmenge nicht so stark zu wie die Regenrate, dann werden die Abschnitte zwischen den Ereignissen im Mittel länger, mit wichtigen Folgen für jedes Flussgebiet. Daher ist es schon sehr verwegen, das hundertjährige Hochwasser zu definieren. Es ist nur der Not gehorchend immer wieder gemacht worden.

Deswegen wurde, z.B. in Baden-Württemberg, aus dem 50-jährlichen Hochwasser der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts in manchen Flusseinzugsgebieten das 10-jährliche, weil der Winterniederschlag systematisch zugenommen hat. Wir müssten bei jeder Angabe noch einen Abschnitt hinzufügen, der beschreibt, unter welchen Voraussetzungen wir solche Hochwasser definieren und wie gefährlich es eigentlich ist, oder wie viel mehr Sicherheitsmargen derjenige, der Wasserschutzbauten errichtet, dazusetzen müsste, um einigermaßen sichergehen zu können. Das kann natürlich genauso in die andere Richtung gehen. Wenn es im Winter kälter wird, könnte das bisher 10-jährliche das 50-jährliche Hochwasser werden.

Gehen wir nur gut ein Jahrhundert zurück, dann war es für jeden Klimatologen klar, dass es ausreicht, ein paar Jahrzehnte zu messen, um die Klimavariabilität zu bestimmen. Aus dieser holen wir uns oft noch die Zahlen für die Schutzbauten, für die Windfestigkeit von Gebäuden und vieles andere mehr. Jetzt stellen wir fest, wir befinden uns schon auf der schiefen Ebene, denn das Klima verändert sich seit einigen Jahrzehnten rasch, verglichen mit dem, was in den letzten Jahrhunderten und wenigen Jahrtausenden passiert ist. Auf einmal sind wir gefragte Leute und werden zu Debatten, wie dieser über "Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft" eingeladen. Wenn wir aber aus einem staatlichen Amt kommen, dann werden dort oft noch die alten Rezepte angewandt, weil es lange dauert, bis man Regelwerke überarbeitet.

Ich bin gemahnt worden zum Ende zu kommen, aber dennoch muss ich für die Hydrologen schon noch etwas beantworten. Haben sich als Folge der Erwärmung die Niederschlagszonen verschoben? Ja, im Sommer der nördlichen Erdhälfte kroch die Dürre der Mittelmeerländer nordwärts. Aber wir haben kräftige Zunahmen im Winter, und zwar im gesamten Einzugsgebiet des Rheins.

Es ist auch eine generelle Tendenz zu mehr Niederschlag in hohen nördlichen Breiten beobachtet worden. In Westnorwegen, wo es auch wärmer geworden ist, aber der Niederschlag um 30 bis 40% im 20. Jahrhundert zugenommen hat, fällt im Winter soviel Schnee, dass die Massenbilanzen der Gletscher positiv geworden sind, und einige Wälder erreicht haben. 80 oder 90 % aller ausreichend überwachten Gletscher tun das nicht.

Zum Schluss die Gretchenfrage: Hat die Menschheit zur Erwärmung um 0,5° bis 0,7°C im 20. Jahrhundert beigetragen? Die Antwort haben Wissenschaftler schon 1995 gegeben. Ja wir haben beigetragen, wir wissen aber nicht, ob alles von uns stammt. Wir könnten sowohl nur einen wesentlichen Teil oder aber mehr verursacht haben.

Ich wünsche mir weiter intensivierte Zusammenarbeit zwischen Meteorologen und Hydrologen sowie ihren Diensten, damit wir unsere Infrastruktur zum Wohle aller rechtzeitig an Klimaänderungen anpassen können. Danke.