

Wärmebilanz der Erde und globale Temperaturänderung

geschrieben von Wolfgang Müller | 2. März 2015

...Die beobachteten Abweichungen von einer stetig durch verstärkte Sonneneinstrahlung steigenden Temperatur in den Jahren 1945 bis 1975 sind auf eine stärkere Wolkenbildung durch die in den Jahren 1945 bis 1963 über die Kernwaffenversuche künstlich in die Atmosphäre eingebrachten radioaktiven Kondensationskeime zurückzuführen. Die Stagnation der Temperatur ab 1998 hat ihre Ursache in der seit 1998 nachlassenden Sonnenaktivität..

Von 1900 bis 1998 stieg die solare Einstrahlung um $1,3 \text{ W/m}^2$, seit 1998 hat sie nachgelassen und Werte erreicht, die denen vom Anfang des 20. Jahrhunderts entsprechen. Der Abfall der Globaltemperatur in den nächsten Jahren ist vorhersehbar

Haupttext

Die Erdoberfläche von 511 Millionen km^2 ist zu ca. 75% von Wasser bedeckt. Der Rest sind 3% Polareiskappen und 22% Landmassen, bestehend aus 8% Wald, 8% Ackerfläche und 5% Industrie- und Besiedelungsfläche.

Dank der enormen Wassermenge in den Ozeanen der Erde und der hohen Wärmekapazität des Meerwassers stellen Änderungen der dort akkumulierten Wärmeenergie die

**Hauptkomponente der
Wärmeenergiebilanz der Erde dar.**

**Wenn von der Klimaänderung
gesprochen wird, wird auf die
Darstellung der sog.
Temperaturanomalien Bezug genommen,
die u.a. vom IPCC veröffentlicht
wird. Dabei handelt es sich um
Jahresmittelwerte, die ihrerseits
auf einen Mittelwert über ein
definiertes Zeitintervall bezogen
werden. (z. B. 1961-1990). In der
folgenden Abb.1 ist der Verlauf der
Temperaturanomalien dargestellt:**

***Abb.1: NASA Angaben über die
Anomalie der globalen
Jahresmitteltemperaturen. (nach
data.giss.nasa.gov/gistemp/station_data/) Siehe Bild rechts***

**Gemessen werden diese Temperaturen
von ca. 35.000 meteorologischen
Stationen, die über die Erde
verteilt sind, wobei die größere
Häufigkeit der Messstationen auf der**

nördlichen Halbkugel der Erde liegt.

Die Ozeane spielen auf Grund ihrer großen Oberfläche und ihrer großen Wärmekapazität die Schlüsselrolle in der Klimagegestaltung der Erde. Sie enthalten 97% des gesamten Wassers des Planeten und sind die Quelle von 86% des auf der Erdoberfläche verdampfenden Wassers. 78% des globalen Niederschlags erfolgt über den Ozeanen und nur 22% erfolgt über den Landmassen.

Die Reaktion der Erdatmosphäre auf Störungen des Wärmehaushalts wird damit im Wesentlichen vom Temperaturverhalten des Ozeans mit seiner Oberfläche von ca. 400 Millionen km², seinem Wasserinhalt von ca. 1,3 Trillionen m³ und der Wechselwirkung mit der Atmosphäre bestimmt.

Die, die Erdatmosphäre bildende Luft

ist ein kompressibles Gas und hat auf Meereshöhe eine Dichte von $1,29 \text{ kg/m}^3$. Ca. 50% der Luftmasse der Atmosphäre liegen zwischen 5500m Höhe und dem Meeresspiegel.

Die Gesamtmasse der Lufthülle beträgt $M_L = 5,14 \cdot 10^{18} \text{ kg}$ und der daraus resultierende Luftdruck auf Meereshöhe beträgt 1013 hPa .

Die Hauptbestandteile der Erdatmosphäre sind Stickstoff N_2 zu 78 %, Sauerstoff O_2 zu 21%, Argon Ar zu 0,9 %, Kohlendioxid, CO_2 zu 0,038 % und Wasserdampf, H_2O . Während sich die Zusammensetzung der Luft bezüglich N_2 , O_2 , Ar und CO_2 erst in großer Höhe ändert, ist die Wasserdampfkonzentration stark von der Temperatur und der Höhe abhängig, s. Abb. 2.

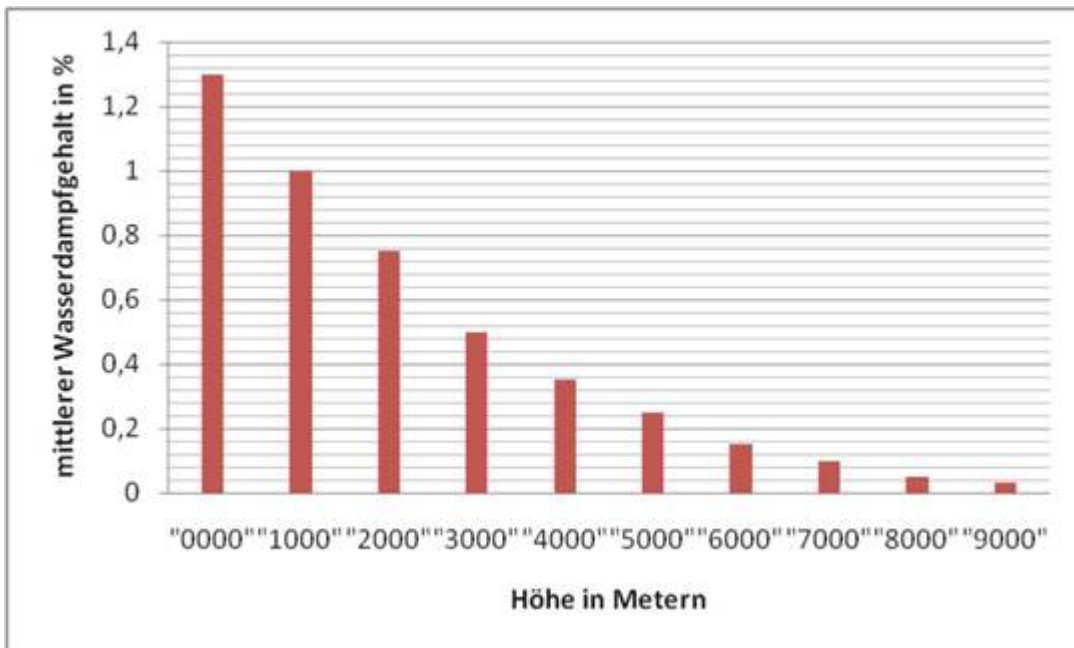


Abb. 2: Wasserdampfgehalt in Abhängigkeit von der Höhe

(J. Langeheine, **Energiepolitik in Deutschland, das Geschäft mit der Angst**, Athene Media Verlag, ISBN 978-3-86992-054-2)

Wird mit Wasser gesättigte Luft von 20°C, die ca.17g Wasser /m³ als Wasserdampf enthält, z. B. in eine Höhe von 5000m transportiert, verliert sie 16g Wasser/m³. Dieser Wasserdampf kondensiert und fällt unter bestimmten Bedingungen als Niederschlag zurück auf die Erde.

90 % des Wassergehaltes der Atmosphäre verteilen sich auf die ersten 5500 Höhenmeter .Damit spielen sich die Wetterprozesse im Wesentlichen in einem Höhenbereich bis ca. 5500 m ab. Die Integration über die Höhe bis 11000m ergibt eine absolute Wassermenge in der Atmosphäre von ca. $MW = 1,3 \cdot 10^{16} \text{kg}$ und entspricht einem kondensierten Volumen von $1,3 \cdot 10^{13} \text{m}^3$. In den Ozeanen befindet sich dagegen mit ca. $1,3 \cdot 10^{18} \text{m}^3$ etwa 100.000 mal mehr Wasser als in der Atmosphäre.

In reiner Luft (ohne fremde Teilchen) kann die relative Feuchtigkeit bis zu 800 % erreichen, ohne dass Kondensation eintritt. In der Realität kondensiert der Wasserdampf jedoch bei Werten wenige Prozent unterhalb oder oberhalb von 100 %, abhängig von der Natur und Konzentration der Kondensationskeime

in der Luft. Als Kondensationskeime für die Wolkenbildung dienen Aerosolpartikel aus Bestandteilen der Erdoberfläche und hochenergetische ionenbildende Strahlung. Besonders aktiv sind radioaktive Stäube bzw. Radon-Zerfallsprodukte, deren Anreicherung in Wolkentropfen im Vergleich zu der umgebenden Luft (B.I. Styra et all. Tellus XVIII (1966, 2) auf ihre Mitwirkung bei der Entstehung der Kondensationskeime schließen lässt.

Die Unterscheidung der Wolken erfolgt u.a. nach der Höhe der Wolkenuntergrenze in hohe, mittlere und tiefe Wolken.

Hohe Wolken, die sich im allgemeine oberhalb 6000m bilden und etwa 13-14% der Wolkenbedeckung ausmachen, bestehen aus Eiskristallen.

Mittlere Wolken, die in Höhen zwischen 2000 und 5000 m entstehen und etwa 20% der Wolkenbedeckung ausmachen, bestehen aus Wassertropfen.

Tiefe Wolken bestehen ebenfalls aus Wassertropfen befinden sich in Höhen bis zu 2000m. Sie machen etwa 28-30% der Wolkenbedeckung aus.

Hohe und mittlere oder tiefe Wolken können gleichzeitig auftreten, jedoch sind für den Niederschlag im Wesentlichen die mittleren und tiefen Wolken verantwortlich.

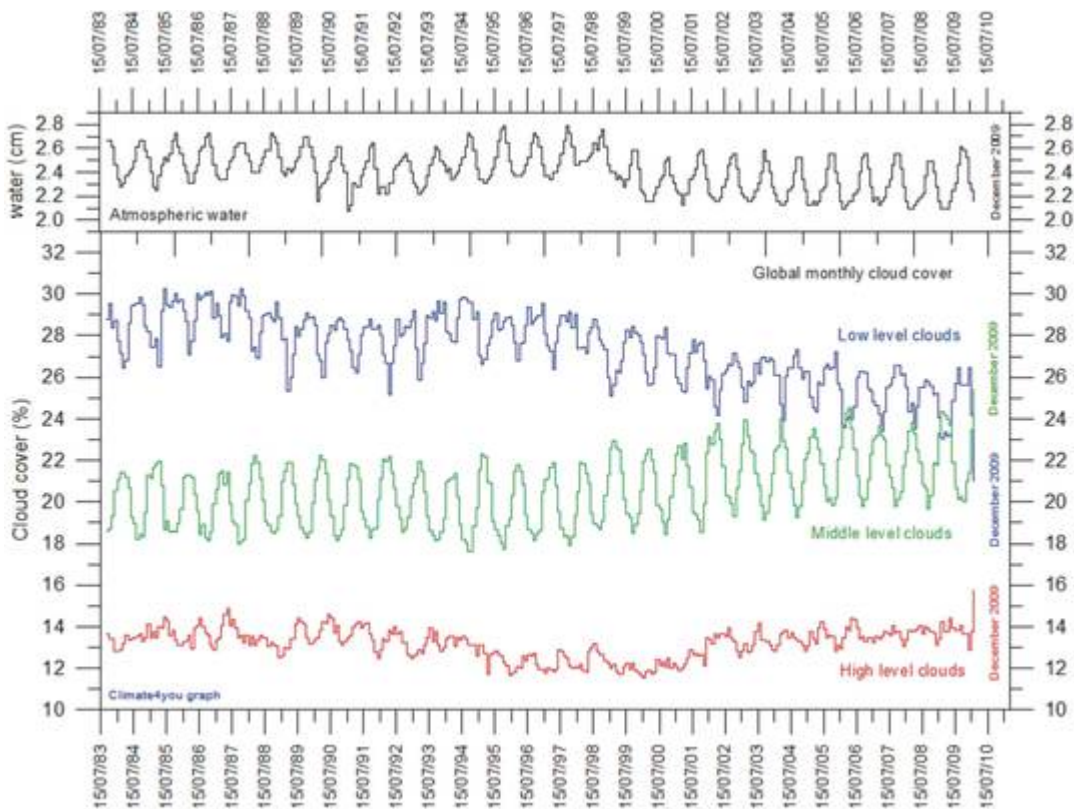


Abb.3. Wolkenbedeckung und Wassergehalt der Atmosphäre von 1983 bis 2010

([www.climate-4you.com /images/CloudCover Low Level Observations Since1983 gif](http://www.climate-4you.com/images/CloudCover%20Low%20Level%20Observations%20Since1983.gif))

In der Abb.3 ist der zeitliche Verlauf des Wassergehalts der Atmosphäre sowie der Verlauf der Bewölkung von 1983 bis 2010 dargestellt. Die Abb. 4 zeigt die Abweichung der jährlichen

Niederschlagsmenge vom langjährigen Mittelwert. Aus dem Vergleich der beiden Darstellungen 3 und 4 ist ein Anstieg der mittleren Bewölkung und ein Abfall der tiefen Bewölkung in den Jahren ab 1998 zu erkennen, verbunden mit einem Ansteigen der Niederschlagsrate. Die Gesamtbewölkung mit mittleren und tiefen Wolken bleibt jedoch weitgehend konstant bei 48%. Trotz Niederschlag ändert sich der Wassergehalt der Atmosphäre nur wenig, jedoch ab 1998 ist ein sprunghafter Abfall auf 24 mm (s. nachfolgende Ausführungen) zu sehen. Gleichzeitig steigt die mittlere Bewölkung von ca. 20 auf 23 % und die tiefe Bewölkung sinkt von 28 auf 25%.

Seit dieser Zeit stagniert auch die globale Erwärmung.

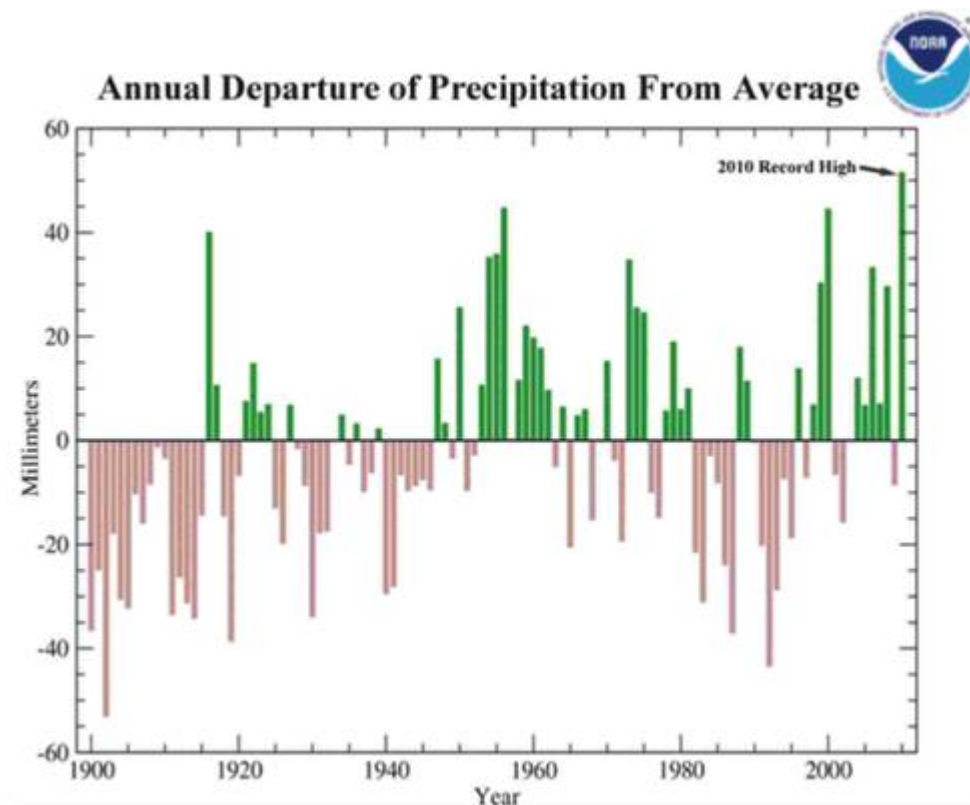


Abb. 4: Abweichung des globalen Niederschlags über Landflächen vom Mittelwert für die Jahre 1900 bis 2010

(Image credit: NOAA's National Climatic Data Center.)

Ein Vergleich der Abb.4 mit der Abbildung 1 zeigt, dass eine Stagnation der globalen Temperaturanomalie in den Perioden hohen Niederschlags auftritt. Sowohl in den Perioden zwischen 1945 bis

1980 als auch ab 1998 bis 2010 ist eine deutlich positive Abweichung der Niederschlagsmenge zu beobachten.

Wolken und Niederschlag sind das Bindeglied der Atmosphäre zum Ozean.

Die Wassermenge der Ozeane, Verteilt auf ihre Fläche ergibt eine durchschnittliche Tiefe von 3800m. Doch die tieferen Schichten des Ozeans beteiligen sich kaum an den Temperaturänderungen der Oberfläche. Ab einer bestimmten Tiefe, der sog. Thermoklinen gleicht sich die Oberflächentemperatur der Tiefentemperatur an.

Die Abbildung 5 zeigt die Zunahme des Wärmeinhalts des Ozeans von 1970 bis 2005 um ca. $1,6 \cdot 10^{23}$ J .

Im gleichen Zeitraum stieg die Oberflächentemperatur um $0,4^{\circ}\text{C}$.

Daraus berechnet sich die Lage der durchschnittlichen Thermoklinen bei einer Tiefe von ca. 300m. In dieser Wassertiefe sind ca. 1/13 der Wassermassen des Ozeans betroffen und erfordern für die Aufheizung um 1K ca. $4 \cdot 10^{23}$ J.

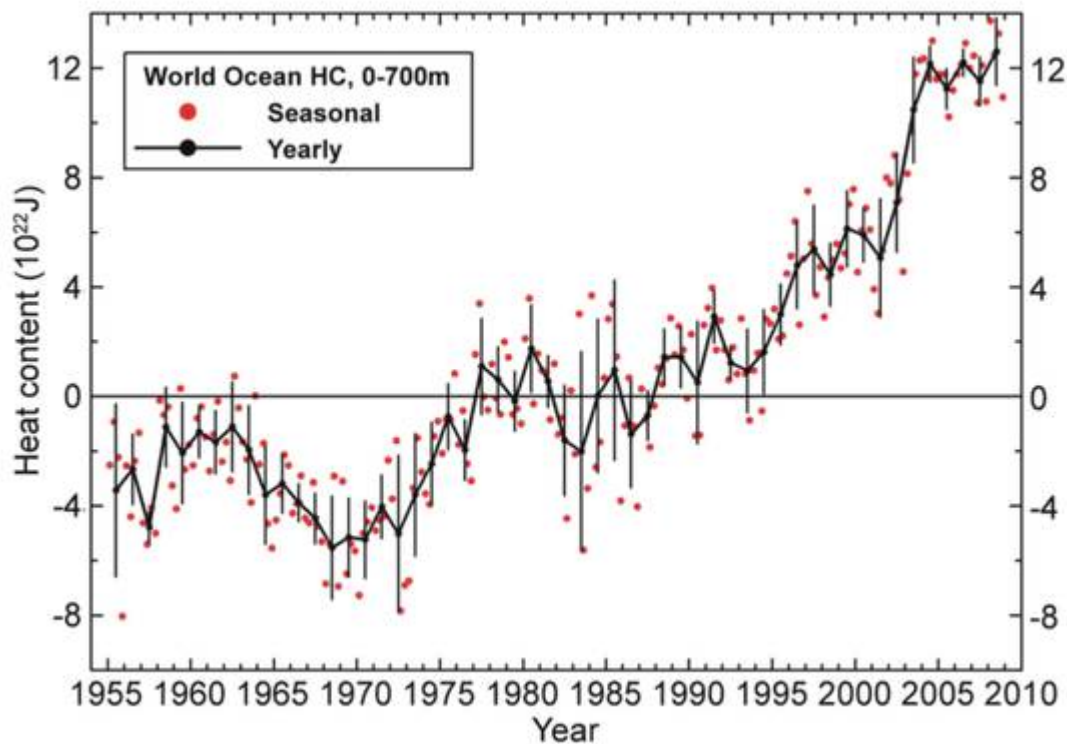


Abb.5 Veränderung des Wärmeinhalts der Ozeane

http://www.nodc.noaa.gov/OC5/3M_HEAT_CONTENT/

Die in der Atmosphäre enthaltene Wassermenge entspricht einem kondensierten Volumen von $1,3 \cdot 10^{13} \text{ m}^3$. Verteilt man das Wasservolumen der Atmosphäre auf die Erdoberfläche von $511 \cdot 10^6 \text{ km}^2$, so erhält man eine Wassersäule von ca. 25 mm, s. Abb. 3. Mit der Verdampfungswärme von 2257 kJ/kg Wasser, die zur Überführung des Wassers vom flüssigen in den dampfförmigen Zustand erforderlich ist, ergibt sich eine gesamte im Wasserdampf der Erde enthaltene latente Wärme von ca. $3 \cdot 10^{22} \text{ Joule}$, entsprechend $3 \cdot 10^4 \text{ EJ}$.

Die mittlere Verdunstungs-, bzw. Niederschlagsrate beträgt etwa 1000 mm Wassersäule pro Jahr. (Baumgartner und Reichel 1975). Das bedeutet, dass der Zyklus Verdampfung- Kondensation pro Jahr ca. 40 mal abläuft.

Nach dieser Abschätzung verdunsten so alljährlich 520.000 km^3 Wasser von der Erdoberfläche. Die genaueren Zahlen liegen bei 505.000 km^3 , davon 434.000 km^3 über den Ozeanen und 71.000 km^3 über dem Land. Die in der Bilanz fehlende Menge von ca. 36.000 km^3 wird den Ozeanen durch die Flüsse wieder zugeführt.

Mit der Verdunstungswärme von 2257 kJ/kg ergibt sich daraus eine Wärmemenge von $9,8 \cdot 10^{23} \text{ J/a}$, die den Ozeanen jährlich entzogen wird und eine Wärmemenge von $1,6 \cdot 10^{23} \text{ J/a}$, die von den Landflächen kommt, insgesamt also eine Wärmemenge von $11,4 \cdot 10^{23} \text{ J/a}$ oder $1,14 \cdot 10^6 \text{ EJ}$ pro Jahr. Diese werden im Gleichgewichtszustand wieder durch die Sonneneinstrahlung ausgeglichen.

Eine Abweichung der jährlichen Niederschlagsrate um 1% (10 mm pro Jahr) verändert diese Energiemenge

für die Ozeane um ca. $1 \cdot 10^{22}$ J/a.
daraus lässt sich eine Veränderung
der Wärmeabstrahlungsleistung von
 $0,86 \text{ W/m}^2$ Ozeane errechnen.

Die unter Berücksichtigung der
Niederschlags- und
Temperaturentwicklung berechnetet
Energiebilanz für den Zeitraum
zwischen 1900 und 1998 ergibt nun
folgendes Ergebnis:

-Zwischen 1900 und 1945 wurde dem
Ozean eine Energiemenge von $1,6 \cdot$
 10^{23} J zugeführt, die sich aus der
geringeren Niederschlagsrate (im
Mittel $-1,2\%$) von ca. 570 mm
entsprechend ca. $5,7 \cdot 10^{23}$ J,
einer auf Grund der
Temperaturerhöhung des Ozeans
gestiegenen Wärmeabstrahlung von ca.
 $5,6 \cdot 10^{23}$ J und einer bis 1945 um
ca. $0,6 \text{ W/m}^2$, gestiegenen
Wärmeinstrahlung (ca. $1,6 \cdot 10^{23}$ J)
durch erhöhte Sonneneinstrahlung

zusammensetzt. Der Anstieg der Wärmeeinstrahlung betrug pro Jahr ca. $0,013\text{W}/\text{m}^2$.

-In der Zeit zwischen 1945 und 1980 stieg diese zusätzliche Sonneneinstrahlung auf $0,93\text{W}/\text{m}^2$. In dieser Zeit fielen 350mm mehr Niederschlag als im statistischen Mittel, d.h. im Durchschnitt jedes Jahr 1% mehr als normal. Das führte bis 1970 als die weiter steigende Wärmeeinstrahlung den Wert des Wärmeverlustes durch die gestiegenen Niederschläge erreichte, zu einem Temperaturrückgang. Ab diesem Zeitpunkt überwog der Einfluss der gestiegenen Sonneneinstrahlung und die Temperatur stieg wieder.

-Im Zeitraum 1980 bis 1998 ist wieder eine unterdurchschnittliche Niederschlagsmenge von ca. 1% in jedem Jahr zu verzeichnen, Im gleichen Zeitraum stieg die solare

Einstrahlung auf $1,3\text{W}/\text{m}^2$, was zu einer Temperaturerhöhung im Jahr 1998 um $0,55\text{ K}$ führte.

-Ab 1998 bis 2010 setzt ein um $1,5\%$ stärkerer Niederschlag ein. Eine Stagnation weiterer Temperaturerhöhung ab 1998 war die Folge.

Die Energiebilanzen der einzelnen Zeitabschnitte führen zu dem Ergebnis, dass die effektive solare Einstrahlung von 1900 bis 1998 um ca. $1,3\text{ W}/\text{m}^2$ gestiegen sein muss. Dieses Ergebnis wird auch durch die nachfolgenden Überlegungen zu Albedoveränderungen und Wolkenbildungsprozessen bestätigt.

Streuung und Reflektion der von der Sonne auf die Erdoberfläche treffenden Strahlung führt zu einer durchschnittlichen Albedo von 30% . Albedo ist der Betrag der

Rückstreuung und Reflektion der Sonneneinstrahlung durch Atmosphäre, Wolken und Erdoberfläche, er kommt dem Wärmehaushalt der Erde nicht zugute.

Stärkere Bewölkung führt zu höheren Albedo-Werten, geringere zu niedrigeren Werten, letztere verbunden mit der dann höheren Einstrahlung auf die Erdoberfläche.

Die folgenden Abbildungen 6 und 7 zeigen die Messungen des Erdalbedos der Jahre 1985 bis 2010 im Vergleich zu der weltweiten Wolkenbedeckung von 1983 bis 2010

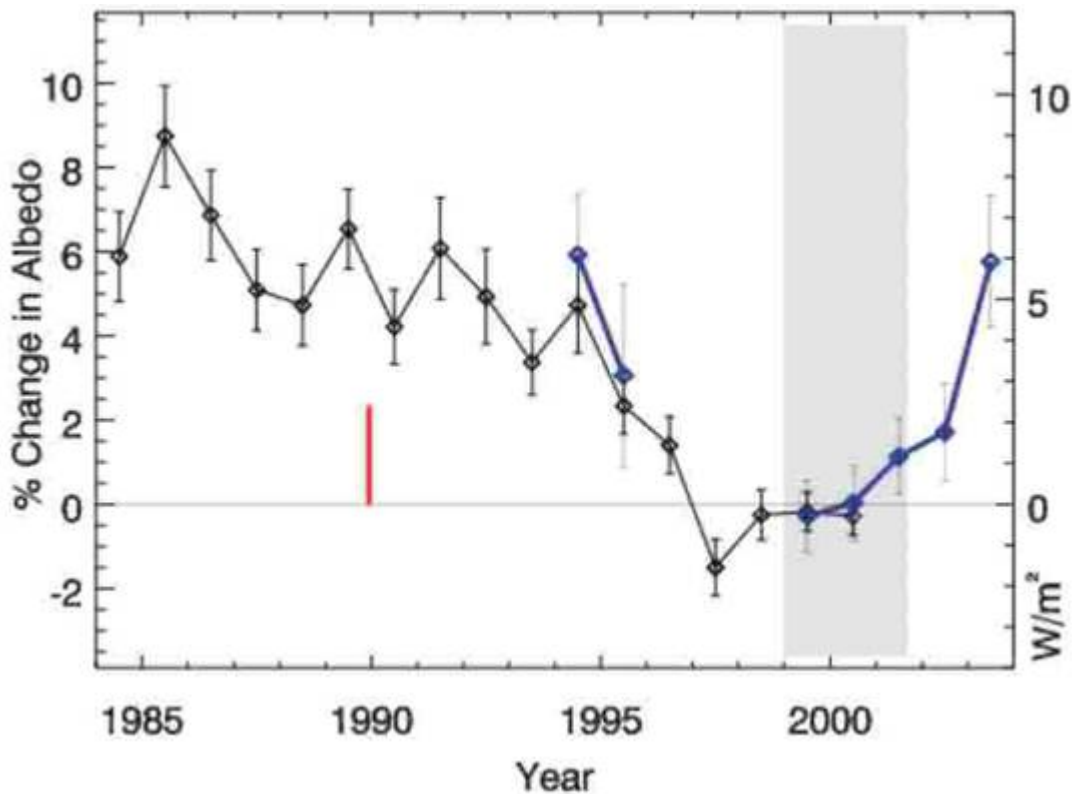


Abb.6 Veränderung der Erdalbedo nach (Palle, E, et all 2004)

http://www.iac.es/galeria/epalle/reprints/Palle_etal_Science_2004.pdf

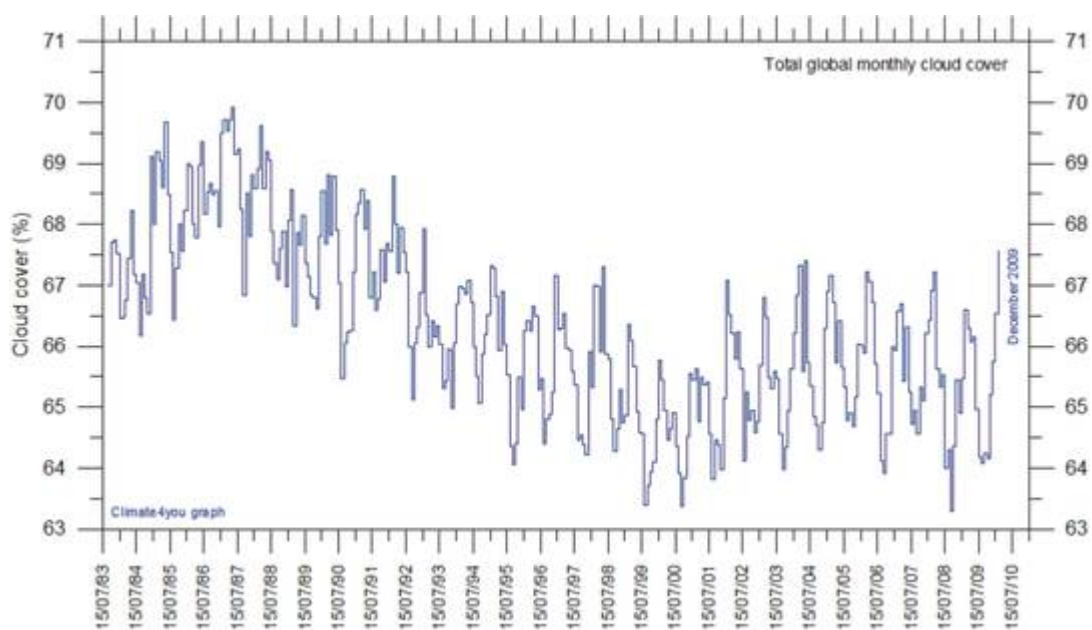


Abb.7 Weltweite Wolkenbedeckung ab 1983

([www.climate-4you.com /images/CloudCover Low Level Observations Since1983 gif](http://www.climate-4you.com/images/CloudCover%20Low%20Level%20Observations%20Since1983.gif))

Ca. 5% Änderung der gesamten Wolkenbedeckung haben nach diesen Ergebnissen eine Änderung der Erdalbedo um ca. 6% von 30 auf 28,2% zur Folge. Das bedeutet, dass jedes Prozent einer Änderung der Wolkenbedeckung eine Albedoänderung von 1,2 % bewirkt. Die solare Einstrahlung ändert sich damit um ca. +/-1,4 W/m² von 239,4 auf 240,8 W/m² bzw. 238 W/m² bei einer Änderung der Wolkenbedeckung um +/- 1%.

Nach der Theorie von Svensmark ist die durch kosmische Strahlung verstärkte Ionenbildung für die Entstehung von zusätzlichen tiefen

Wolken verantwortlich.

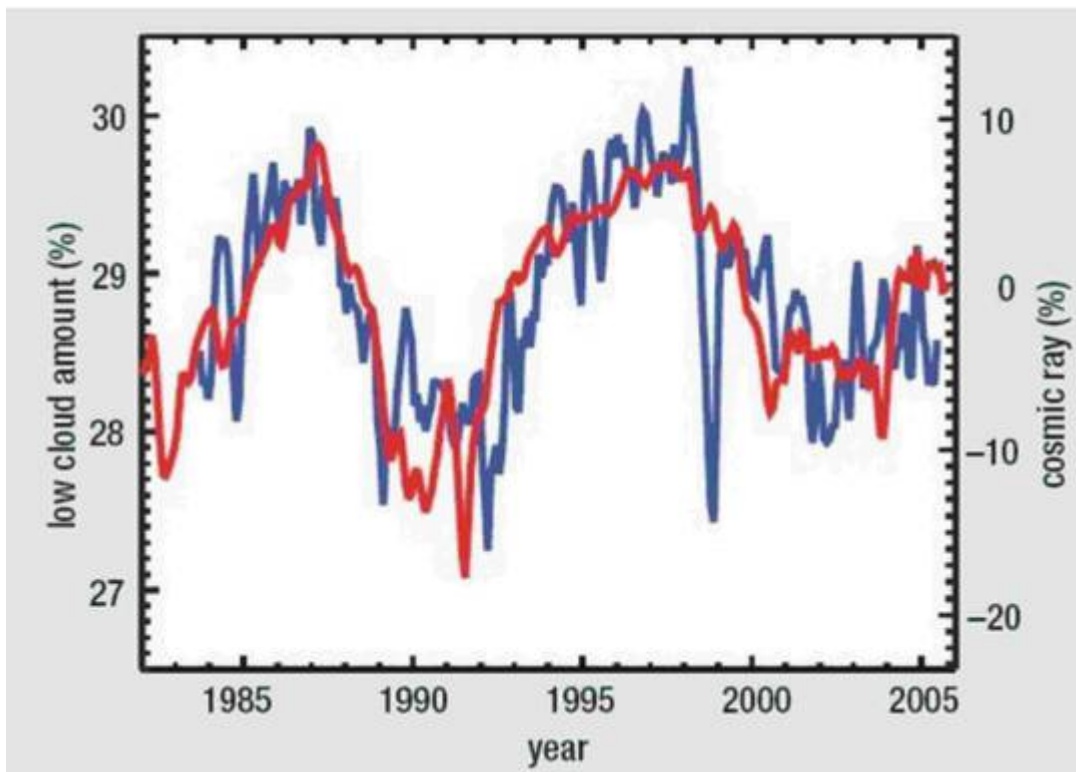


Abb. 8: Kosmische Strahlung und Bewölkung nach Svensmark

**Marsh & Svensmark 2003 (DOI:
10.1029/2001JD001264.)**

20 % Variation bzgl. der kosmischen Strahlung bedeuten danach 2% Variation in der Wolkenbedeckung.

Die kosmische Strahlung ist eine hochenergetische Teilchenstrahlung,

die von der Sonne, der Milchstraße und von fernen Galaxien kommt.

Die Intensität der kosmischen Strahlung, die die Erdatmosphäre erreicht, ist abhängig von der durch die Sonnenaktivität hervorgerufenen Störung bzw. Abschirmung des Erdmagnetfeldes.

Der Geomagnetische Index, der sog. aa-Index, ist ein Maß für diese Störung und damit ein Maß für die Abschirmwirkung des Erdfeldes gegenüber kosmischer Einstrahlung.

Der aa- Index wird in nT angegeben. Sein Verlauf seit 1860 ist in der folgenden Abbildung 9 wiedergegeben, aus der erkennbar ist, dass der geomagnetische Index von einem Tiefpunkt, der um das Jahr 1900 lag, bis ca. 2000 ständig gestiegen ist.

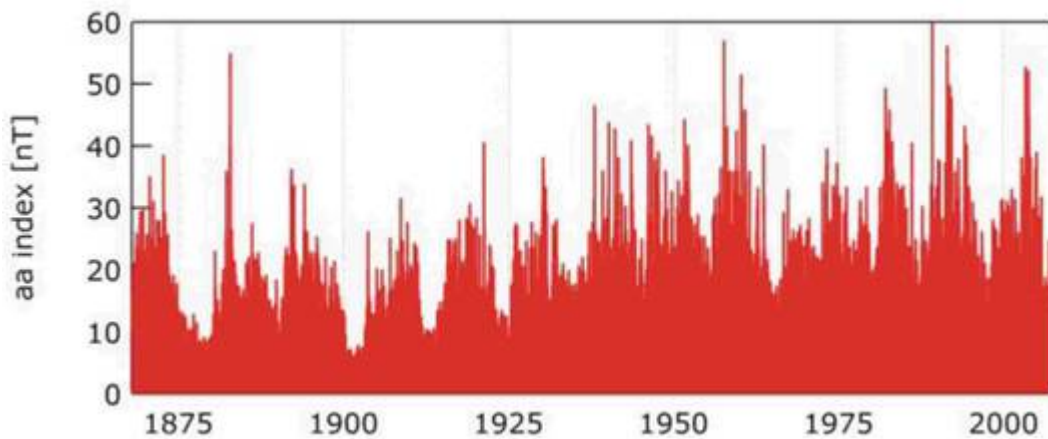


Abb.9: Geomagnetischer Index

[<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/geomag/aastar.html>]

Zwischen kosmischer Einstrahlung CR und aa- Index besteht nach Palle der aus der folgenden Abb.10 ableitbare Zusammenhang:

$$CR = 5000 - 45 < aa > .$$

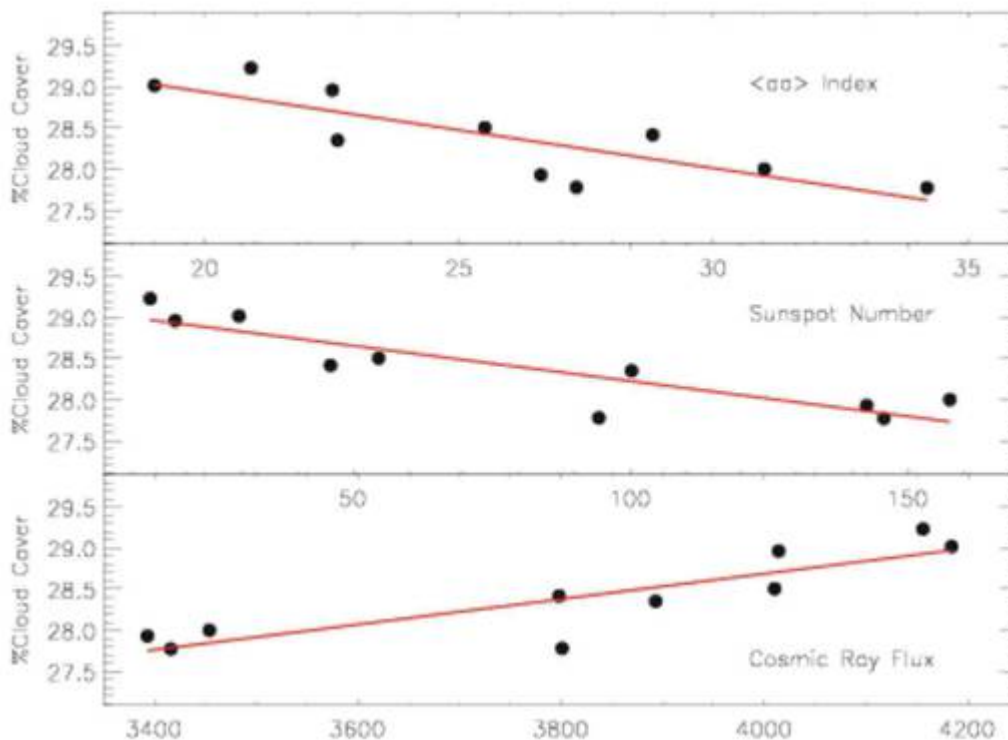


Abb 10. The influence of cosmic rays on terrestrial low clouds and global warming in the years 1984-1993

**E. Palle Bago and C. J. Butler:
Astronomy & Geophysics, August 2000.
Vol 41, Issue 4, pp.18-22.**

1900 lag der aa-Index bei 14nT und stieg bis zum Jahr 1990 auf ca.30nT.

Damit ist die kosmische Einstrahlung von einem Wert von 4370 im Jahr 1900

auf 3650 im Jahr 1990 gesunken, und die Wolkenbedeckung mit tiefen Wolken verringerte sich bei Verwendung der Ergebnisse von Svensmark um 2%.

Da die Wolkenbedeckung tiefer Wolken etwa 50% der gesamten Wolkenbedeckung ausmacht, kann von einem Abfall der gesamten Wolkenbedeckung bis 1990 um ca. 1% ausgegangen werden, was eine zusätzliche solare Einstrahlung von ca. 1,4 W/m² bis 1990 bedeutet.

Die von 1900 bis 1998 gestiegene Sonnenaktivität ist die alleinige Ursache für die Erhöhung der Globaltemperatur, die nur durch Perioden hohen Niederschlages in den Jahren 1945 bis 1970 unterbrochen wurde.

Seit dem Jahr 1998 geht die Sonnenflecktenaktivität deutlich

zurück und erreicht mit dem Zyklus 24 Werte, die denen um 1900 entsprechen. Die kosmische Einstrahlung steigt und führt zu verstärkten Niederschlägen.

In den kommenden Jahren ist mit einem aa Index von ca. 15nT zu rechnen, mit entsprechendem Anstieg der kosmischen Einstrahlung, höherer Wolkenbildung und absinkender Globaltemperatur.

Die verstärkte Niederschlagsmenge im Zeitraum 1945 bis 1970 ist auf eine zusätzliche Quelle ionisierender Strahlung zurückzuführen, deren Ursprung in den Kernwaffenversuchen der Zeitperiode 1945 bis 1963 zu suchen sind. Luftverschmutzungen scheiden als Ursache für diesen Zeitraum aus.

Riesige Mengen radioaktiver Stäube und fein verteilter Materie wurden

durch die Explosionen bis in die Stratosphäre geschleudert, verteilten sich mit den Luftströmungen weltweit und bildeten eine ständige Quelle von ionisierendem Mikrostaub für die Entstehung von Kondensationskeimen in der Troposphäre.

Zwischen 1951 und 1963 stieg z. B. der Strontiumgehalt in der Stratosphäre ständig an mit entsprechenden Auswirkungen auf das Wettergeschehen und nahm ab 1963 nach dem Atom-Versuchstop langsam bis 1974 wieder ab.

Erst ab dem Jahr 1974 ist diese Quelle radioaktiver Strahlung versiegt und kommt für Wolkenbildung nicht mehr in Frage.

Zwischen 1945 und 1974, wird die Wolkenbildung also von zusätzlicher radioaktiver Einstrahlung

beeinflusst, die aus den Atomversuchen stammt, ein indirekter Beweis für die Theorie von Svensmark. Erst ab dieser Zeit setzt sich der Einfluss der fallenden kosmischen Strahlung wieder als Klimafaktor durch und der Temperaturanstieg geht entsprechend der gestiegenen Sonneneinstrahlung weiter.

Ab 1998 sinkt der aa- Index und erreicht 2010 Werte um 15, wie sie Anfang des 19. Jahrhunderts herrschten. Die kosmische Einstrahlung und damit die Wolkenbedeckung steigen seit dieser Zeit. Die solare Zusatzeinstrahlung sinkt auf Werte, die Anfang des 20sten Jahrhundert herrschten. Das führt zu einem Rückgang der globalen Temperatur. Wann diese Entwicklung zum Stillstand kommt hängt allein vom Verlauf der solaren Aktivität ab.

**(Eine ausführlichere Darstellung
kann als pdf – Datei geladen
werden)**

Related Files

- **020615_waermebilanz_der_erde_und_globale_temperaturaenderung_1-pdf**