

Beiträge zur Berliner Wetterkarte

Herausgegeben vom Verein BERLINER WETTERKARTE e.V.
zur Förderung der meteorologischen Wissenschaft

c/o Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin, C.-H.-Becker-Weg 6-10, 12165 Berlin

06/09

<http://www.Berliner-Wetterkarte.de>

ISSN 0177-3984

SO 03/09

27.1.2009

Über die kritische Grenze zwischen unruhiger und ruhiger Sonne und ihre Bedeutung für den Klimawandel - oder: Folgt der globalen Erwärmung jetzt die globale Abkühlung?

Horst Malberg, Univ. Prof. a.D. für Meteorologie und Klimatologie

Wer in den vergangenen Monaten die täglichen Aufnahmen von der Sonne verfolgt hat (z. B. unter www.eike-klima-energie.eu), der konnte feststellen, dass die Sonne an vielen Tagen völlig frei von Sonnenflecken war bzw. dass sich die wenigen neuen Sonnenflecken schon nach kurzer Zeit wieder aufgelöst hatten. „The sun is blank – no sunspots“ war die Standardformulierung. Abb. 1 zeigt eine Sonnenaufnahme von Januar 2009. Die Sonnenoberfläche ist fleckenfrei. Wegen der großen Bedeutung der Vorgänge auf und in der Sonne für den Klimawandel sollen einige Grundzüge der Sonnenphysik beschrieben werden.



Abb.1 „The sun is blank – no sunspots“ – 26.01.2009 (SOHO/MDI)

Auf die Sonne entfällt ein Massenanteil von über 99,8% unseres gesamten Sonnensystems. Ihre Materie besteht zu 70% aus Wasserstoff und zu 28% aus Helium. Im Gegensatz zum starren Körper Erde weist der Gasball Sonne unterschiedliche Umdrehungsgeschwindigkeiten in den heliographischen Breiten auf. So dreht sich die Sonne an ihrem Äquator bei einer Umlaufperiode von rund 24 Tagen schneller als in ihren polnahen Breiten, wo die Periode rund 31 Tage beträgt. Dadurch kommt es zu einer ständigen Verdrehung ihrer Massen, zur internen Verdrillung.

Im Sonneninneren steigt die Temperatur bis über 15 Mio. °C an, und zwar infolge einer unter hohem Druck permanent ablaufenden Kernfusion. Dabei werden Wasserstoffatome zu Heliumkernen verschmolzen. Nach dem Gesetz von EINSTEIN: $E = m \cdot c^2$ (c = Lichtgeschwindigkeit) wird bei dem Prozess Masse m in Energie E umgewandelt. Die Folge ist eine solare Ausstrahlung von im Mittel $F = 3,86 \cdot 10^{23}$ kW.

Bei einer mittleren Entfernung von 150 Mio. km erhält die Erde am Oberrand der Atmosphäre bei senkrechtem Sonnenstand, also in den Tropen, einen mittleren Energiefluss von rund 1366 Watt/m². Dieses ist die sog. „Solarkonstante“. Rechnet man diesen Wert auf die Kugelgestalt der Erde um, ergibt sich im räumlich-zeitlichen Durchschnitt für die Erde eine Solarkonstante von rund 340 W/m² am Oberrand der Atmosphäre.

Wie aber die Strahlungsmessungen von Hochgebirgsobservatorien (oberhalb der wasserdampf- und staubreichen Luftschichten) und die Satellitenmessungen der letzten Jahrzehnte belegen, ist die „Solarkonstante“, also der solare Energiefluss zur Erde, keineswegs eine Konstante, sondern kurz- und längerfristigen Schwankungen unterworfen: Die Sonnenaktivität weist folglich eine zeitliche Variabilität auf, d.h. es gibt Phasen mit einer ruhigen und Zeiten mit einer aktiven, unruhigen Sonne.

Ein Indikator für die veränderliche solare Aktivität und damit für den variierenden solaren Energiefluss sind die Sonnenflecken. Sonnenflecken sind dunkle Regionen auf der Sonne mit einem Durchmesser von 1.000 bis 10.000 km. Erzeugt werden sie durch das sich kurz- und langfristig ändernde solare Magnetfeld, das wiederum eine Folge der Strömungsprozesse der ionisierten Sonnenmaterie ist.

Die im Sonneninnern erzeugte Wärme gelangt durch konvektive Prozesse an die Sonnenoberfläche. Erkennbar werden diese Vorgänge an der granulatartigen Struktur der Sonnenoberfläche. In diesen konvektiven Wärmetransport greift das solare Magnetfeld mit der Folge ein, dass im Bereich der Sonnenflecken der Wärmestrom aus dem Sonneninnern an die Oberfläche reduziert wird. Während die sog. „effektive Strahlungstemperatur“ der Sonnenoberfläche rund 5700 K (6000°C) beträgt, liegt sie in den Sonnenflecken 1000-1500°C niedriger.

In anderen Gebieten der Sonne findet jedoch infolge der hohen Sonnenaktivität gleichzeitig ein verstärkter konvektiver Energietransport an die Sonnenoberfläche statt. Sichtbarer Ausdruck dafür sind die heftigen energetischen Eruptionen in Form von Sonnenfackeln (solar flares).

Fazit: In Zeiten mit einer hohen mittleren Sonnenfleckenanzahl je Sonnenfleckenzyklus ist die Sonnenaktivität und damit der solare Energiefluss groß, in Phasen mit einer geringen mittleren Sonnenfleckenanzahl je Sonnenfleckenzyklus ist die solare Aktivität und damit der solare Energiefluss reduziert.

Nach der Hypothese von Svensmark et al. soll ferner das solare Magnetfeld die kosmische Strahlung zur Erde beeinflussen. Bei hoher Sonnenaktivität/starkem Magnetfeld wird die kosmische Strahlung stärker abgelenkt als in Zeiten geringer Sonnenaktivität/schwachem Magnetfeld. Im ersten Fall stehen dadurch der Bildung hoher Wolken weniger Kondensations-/Eiskerne zur Verfügung und die globale Temperatur ist aufgrund der geringeren Wolkenbedeckung höher als in Zeiten einer ruhigen Sonne, in denen die vielen Kondensations-/Eiskerne zur erhöhten Wolkenbildung, d.h. zu einer verringerten Solarstrahlung am Erdboden führen soll.

Die ruhige Sonne und die Kaltzeiten in Mitteleuropa seit 1672

Seit der Erfindung des astronomischen Fernrohrs zu Beginn des 17. Jahrhunderts werden die Sonnenflecken beobachtet, zunächst unsystematisch und später systematisch. Eine Zusammenstellung der Monatsmittelwerte seit 1749 ist im Internet zu finden (NOAA). Die Jahresmittelwerte für den Zeitraum 1672 – 1749 wurden (u.a. in einer Diplomarbeit) verschiedenen Literaturquellen entnommen. Auf diese Weise standen für die durchgeführte Untersuchung über den Zusammenhang von solarer Aktivität und Klimawandel jährliche Sonnenfleckenanzahlendaten für einen über 330-jährigen Zeitraum (1672-2008) zur Verfügung.

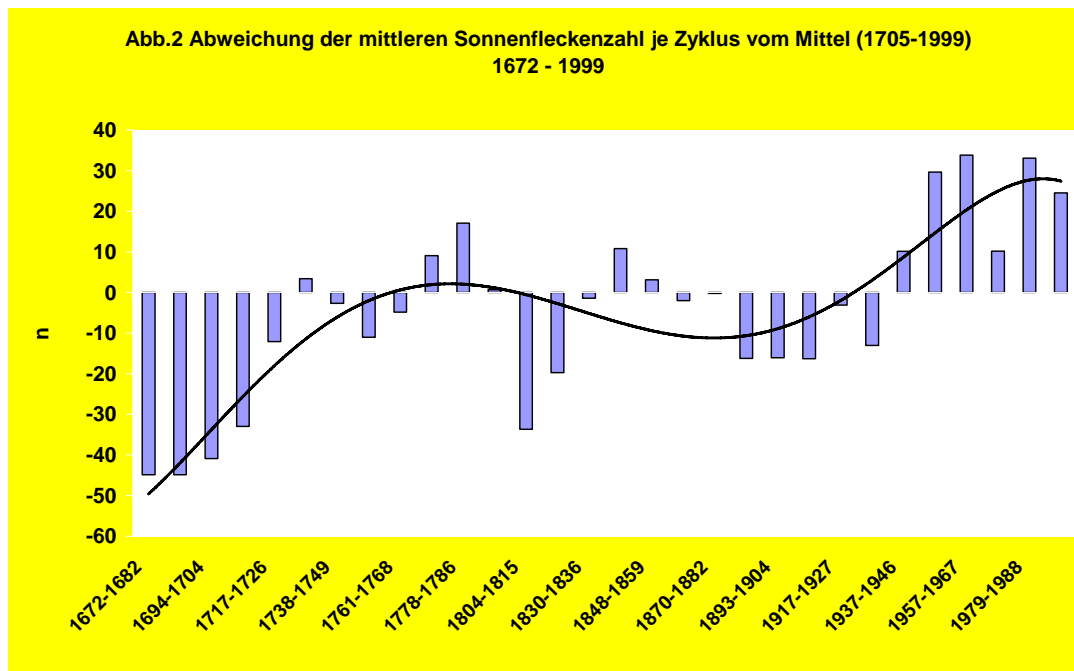
Um die Frage zu klären, in welchen Perioden eine ruhige und in welchen Zeiten eine aktive Sonne in der Vergangenheit aufgetreten ist, wurde zunächst die durchschnittliche Sonnenfleckenanzahl je Sonnenfleckenzyklus für den Zeitraum 1705–1999 berechnet. Die durchschnittliche Sonnenaktivität entspricht danach einer mittleren Sonnenfleckenanzahl je Zyklus von rund 50.

Wird der Mittelwert von rund 50 Sonnenflecken je Zyklus überschritten, so haben wir es mit einer überdurchschnittlichen Sonnenaktivität, einer aktiven, unruhigen Sonne zu tun. Wird der Durchschnittswert von rund 50 unterschritten, so haben wir es mit einer unterdurchschnittlichen Sonnenaktivität, einer passiven, ruhigen Sonne mit einem reduzierten solaren Energiefluss zu tun. Die sog. „Solarkonstante“ variiert somit je nach dem Zustand der solaren Aktivität.

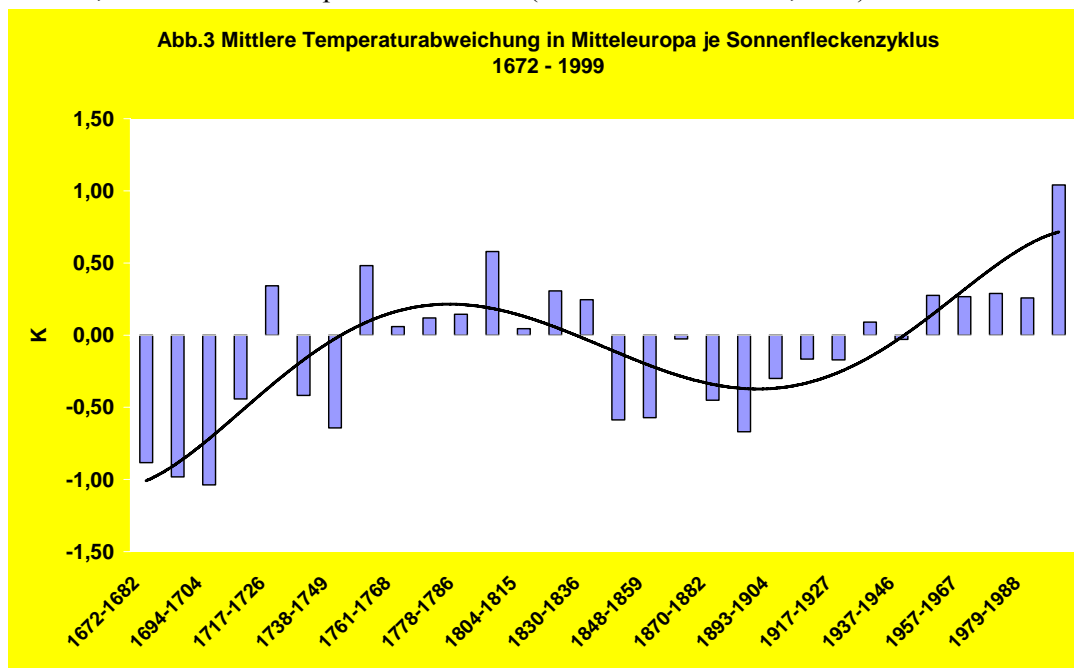
In Abb. 2 sind für den Zeitraum 1672-1999 die Abweichungen der mittleren Sonnenfleckenanzahl je Zyklus vom langfristigen Durchschnitt wiedergegeben, d.h. die Anomalien der Sonnenaktivität. Die Perioden mit einer ruhigen Sonne werden durch die negativen Anomalien, die Zeiten mit einer aktiven Sonne durch die positiven Anomalien erfasst.

In zwei Perioden der vergangenen 330 Jahre sind deutlich negative Anomalien, also Phasen einer ruhigen Sonne, zu erkennen, und zwar zum einen vom Ende des 17. Jahrhunderts bis zum beginnenden 18. Jahrhundert. Dieses entspricht dem „Maunder-Minimum“ der solaren Aktivität. Die zweite Phase mit einer ruhigen Sonne findet sich im 19. Jahrhundert, und wird in der Astrophysik als „Dalton-Minimum“ bezeichnet. Die Zeiträume zwischen beiden Minima und das 20. Jahrhundert sind durch positive Anomaliewerte, d.h. durch eine aktive Sonne gekennzeichnet.

EDDY war es, der 1976 darauf hingewiesen hat, dass während der Kleinen Eiszeit Ende des 17. Jahrhunderts praktisch keine Sonnenflecken beobachtet worden sind. In Abb.2 entspricht dieser Sachverhalt den großen negativen Abweichungen von über -40 Sonnenflecken vom Mittelwert.



Um den Zusammenhang zwischen solarer Aktivität und dem Klima durch Fakten zu belegen, ist in Abb.3 die Temperaturentwicklung Mitteleuropas für den Zeitraum 1672–1999 dargestellt, und zwar in Form der mittleren Temperaturabweichung je Sonnenfleckenzyklus vom 300 jährigen Mittelwert (1701-2000). Dabei wurden die Temperaturwerte vor 1701 aus den Temperaturbeobachtungen der Zentralenglandreihe, der ältesten Klimareihe, auf die Mitteleuropareihe reduziert (mittlere Differenz: $-0,53^{\circ}\text{C}$).



Negative Abweichungen zeigen an, dass diese Perioden kälter waren als normal, d.h. sie dokumentieren die Kälteperioden seit 1672. Die positiven Anomalien entsprechen den übernormalen Temperaturverhältnissen und dokumentieren die Wärmeperioden der letzten 330 Jahre in Mitteleuropa.

Wie man erkennt, hatte nach der Mitte des 17. bis zum beginnenden 18. Jahrhundert die Kleine Eiszeit Mitteleuropa im Griff. Die Mitteltemperaturen lagen z. T. um mehr als $1,0^{\circ}\text{C}$ unter dem 300-jährigen Klimamittel von $8,8^{\circ}\text{C}$. Einzeljahre wiesen negative Anomalien von $-1,5$ bis -2°C auf.

Nach der anschließenden Warmphase des 18. Jahrhunderts traten mit dem Beginn des 19. Jahrhunderts erneut negative Anomalien, also unternormale Temperaturen auf. Erst seit den 1940er Jahren, also erst seit sieben Jahrzehnten, liegen die Temperaturen wieder über dem 300-jährigen Mittelwert.

Wie aus Abb. 3 ferner hervor geht, verlaufen Abkühlungen wesentlich rascher als Erwärmungen. So hat das Klima nach 1850 150 Jahre benötigt, um den Temperatursturz zwischen 1800 und 1850 auszugleichen.

Vergleicht man die Kurvenverläufe von Abb.2 und Abb.3 miteinander (am besten, indem man beide Abbildungen übereinander legt), so ist das grundsätzliche synchrone Verhalten zwischen Temperaturentwicklung und solarer Aktivität seit 1672 so eindeutig, dass eine rein zufällige Übereinstimmung ausgeschlossen werden kann. Temperatur und Sonnenaktivität weisen das gleiche sinusförmige Schwingungsverhalten auf. Bei beiden beträgt die Periodenlänge rund 200 Jahre. Beide Parameter weisen bei der Zu- wie Abnahme ein synchrones Verhalten auf. Zeiten mit unternormaler Sonnenaktivität (negative Anomalien) fallen mit Kälteperioden zusammen, Zeiten mit übernormaler Sonnenaktivität (positive Anomalien) mit Wärmeperioden. Damit kann es nur eine Schlussfolgerung geben: Die Sonne ist der dominierende Antrieb in unserem Klimasystem. Das Verhalten der solaren Aktivität bestimmt primär den langfristigen Klimawandel.

Eine weitere elementare Schlussfolgerung aus dem Vergleich von solarem und Temperaturverhalten ist: Es existiert eine Grenze der solaren Aktivität zwischen der ruhigen und der aktiven Sonne, also ein kritischer Energiefluss zwischen Kalt- und Warmzeit. Dieser solare Grenzbereich wird durch die mittlere Sonnenfleckenanzahl von rund 50 je Zyklus beschrieben. Folglich entspricht dieser kritische Wert der durchschnittlichen Aktivität der Sonne.

Wird der Grenzwert von im Mittel 50 Sonnenflecken je Zyklus unterschritten, kommt es zu einer Kälteperiode, wird der Grenzwert überschritten, stellt sich eine Wärmeperiode ein.

Grundsätzlich lässt sich feststellen: Einem Rückgang der Sonnenfleckenanzahl je Zyklus folgt mittelfristig ein Temperaturrückgang. Einer Zunahme der mittleren Sonnenfleckenanzahl je Zyklus folgt ein Temperaturanstieg. Dabei verlaufen die Abkühlungen, wie gesagt, wesentlich rascher als die Erwärmungen. Wenn es im Einzelfall zu Phasenverschiebungen zwischen Sonnenflecken- und Temperaturverlauf kommt, ist das vor allem auf die thermische Trägheit des Ozeans oder auf das Wirken sekundärer Klimaantriebe, wie El Niño, Vulkanausbrüche oder der Nordatlantischen Oszillation (NAO) zurückzuführen. Diese Vorgänge werden besonders deutlich an dem globalen Temperaturverhalten der El Niño-Ereignisse 1982/83 bzw. 1997/98. (Beiträge zur Berliner Wetterkarte SO 02/08).

Fazit: Die Zeiten der ruhigen Sonne sind mit Kälteperioden verbunden. Zur Zeit des Maunder-Minimums herrschte die Kleine Eiszeit. Die Folge des Dalton-Minimums der solaren Aktivität war die Kälteperiode des 19. Jahrhunderts. Der kritische Grenzwert zwischen einer Wärme- und einer Kälteperiode liegt bei einer mittleren Sonnenfleckenanzahl je Zyklus von rund 50 Sonnenflecken.

Mittlere jährliche Sonnenaktivität 1879 – 2008

Um die gegenwärtige globale und hemisphärische Klimaentwicklung und ihre Ursachen zu verstehen sowie die zukünftige abzuschätzen, soll die Klimavergangenheit der letzten 130 Jahre unter die Lupe genommen werden, also die Zeit vom Ende der Kälteperiode des 19. Jahrhunderts bis heute.

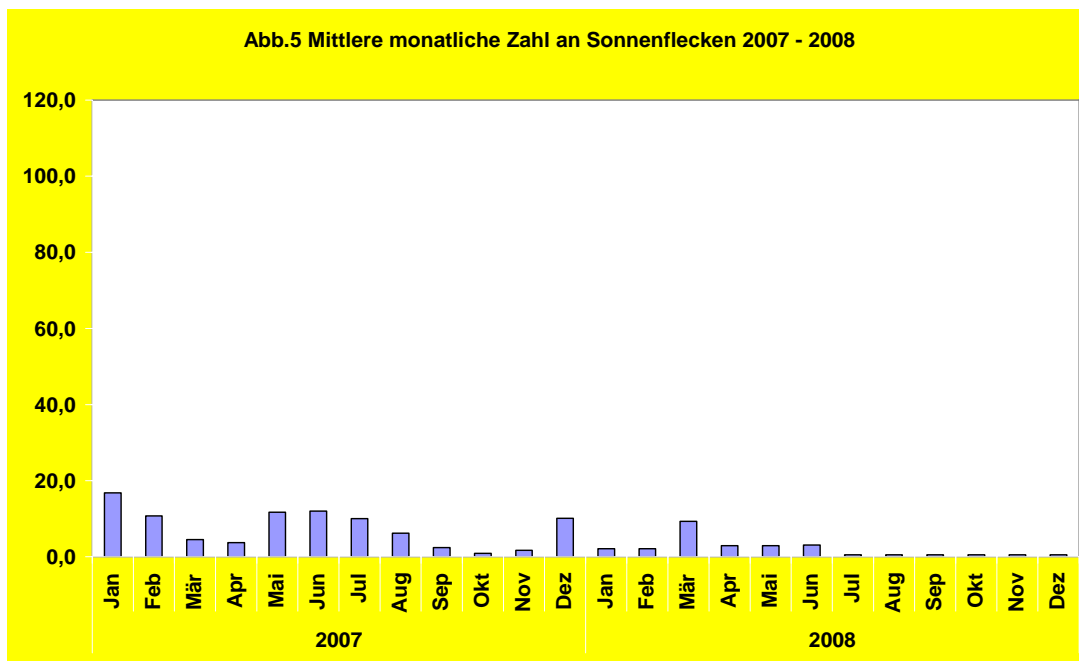
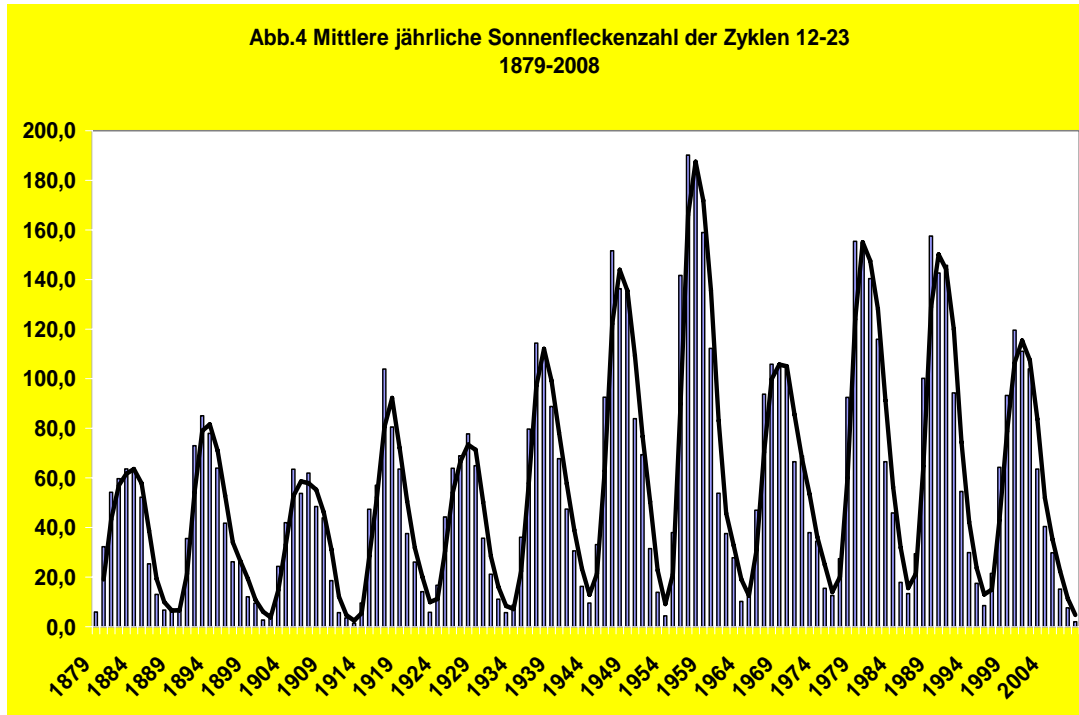
Die globale Temperaturreihe beginnt Mitte des 19. Jahrhunderts, wie der Vergleich mit Abb.3 zeigt, in der kältesten, lebensfeindlichsten Periode seit der Kleinen Eiszeit. Dass Mitteleuropa das globale/ nordhemisphärische Klimaverhalten widerspiegelt, beweist die Korrelation der 10-jährigen Mitteltemperaturen Mitteleuropas mit den globalen Werten. Der Korrelationskoeffizient beträgt für den Zeitraum 1851-2000 +0,9. Berücksichtigt man durch eine 20-jährige gleitende Mittelbildung kürzere, sekundäre Einflüsse und ozeanbedingte Phasenverschiebungen, so erhöht sich der Korrelationskoeffizient auf +0,95. Das bedeutet: Die globale und die mitteleuropäische langfristige Klimaentwicklung verlaufen synchron und unterliegen somit dem gleichen primären Klimaantrieb.

In Abb. 4 sind die zwölf letzten Sonnenfleckenzyklen aufgrund der mittleren jährlichen Sonnenfleckenanzahl wiedergegeben (Zyklen 12-23). Dabei wird augenfällig, dass die einzelnen Sonnenfleckenzyklen hinsichtlich ihrer Sonnenfleckenanzahl und somit ihrer solaren Aktivität große Unterschiede aufweisen. Mathematisch beschrieben wird dieser physikalische Sachverhalt durch das Flächenintegral unter der jeweiligen einhüllenden Glockenkurve. Der solare Energiefluss variiert somit zum Teil erheblich von Zyklus zu Zyklus. Kann man in jedem Einzelzyklus bei der Zu- und Abnahme der Sonnenflecken die Änderung des solaren Energieflusses noch u.U. vernachlässigen, gilt das nicht mehr für das langzeitliche Verhalten der Zyklen. Grundsätzlich gilt:

$$\Delta H/\Delta t = \Delta E - \alpha \cdot \Delta T_0,$$

d.h.: Bei einer Änderung der solaren Strahlungsbilanz ΔE verändert sich der Wärmehalt ($\Delta H/\Delta t$) im Zusammenhang mit der Änderung der Klimatemperatur ΔT_0 . Bei einem positiven wie negativen Trend verstärken sich daher sowohl die direkte Antriebsänderung als auch die Rückkopplungseffekte fortlaufend, so dass jede langfristige solare Antriebsänderung nachhaltige Auswirkungen auf das Klima haben wird. Ein solches Trendverhalten wird trotz aller Schwankungen in Abb.4 deutlich. So erkennt man eine Zunahme der solaren Aktivität, d.h. des integralen solaren Energieflusses vom ersten Zyklus zum Ende des 19. Jahrhunderts bis 1960. Die mittlere Sonnenfleckenanzahl je Zyklus ist von 34 im Zyklus 1879-1889 bzw. 31 im Zyklus 1902-

1913 auf über 95 im Zyklus 1955-1964, also um den Faktor 3 angestiegen. Danach bricht die mittlere Sonnenfleckenanzahl im Zyklus 1965-1976 auf unter 60 ein. In den beiden nachfolgenden Zyklen kommt es wieder zu einer Zunahme der solaren Aktivität mit mittleren Sonnenfleckenanzahlen von 83 bzw. 78. Betrachtet man den Sonnenfleckenzyklus 23 (1997-2008), so weist die mittlere Sonnenfleckenanzahl, also die solare Aktivität, einen erneuten Einbruch auf. Sie liegt mit 56 nahe dem kritischen Wert von rund 50. Das heißt: Die Sonnenaktivität hat den Grenzbereich zwischen der aktiven Phase und dem Zustand einer ruhigen Sonne erreicht. Gegenüber dem Zyklus 22 (1987-1996) ist die integrale solare Einstrahlung um $-0,16 \text{ W/m}^2$ im Zyklus 23 zurückgegangen (Hauptobservatorium Pulkov/St. Petersburg). Das entspricht einem Einstrahlungsdefizit von 5 Mio. Watt pro Quadratmeter und Jahr. Dieser Effekt muss klimatische Auswirkungen zur Folge haben.

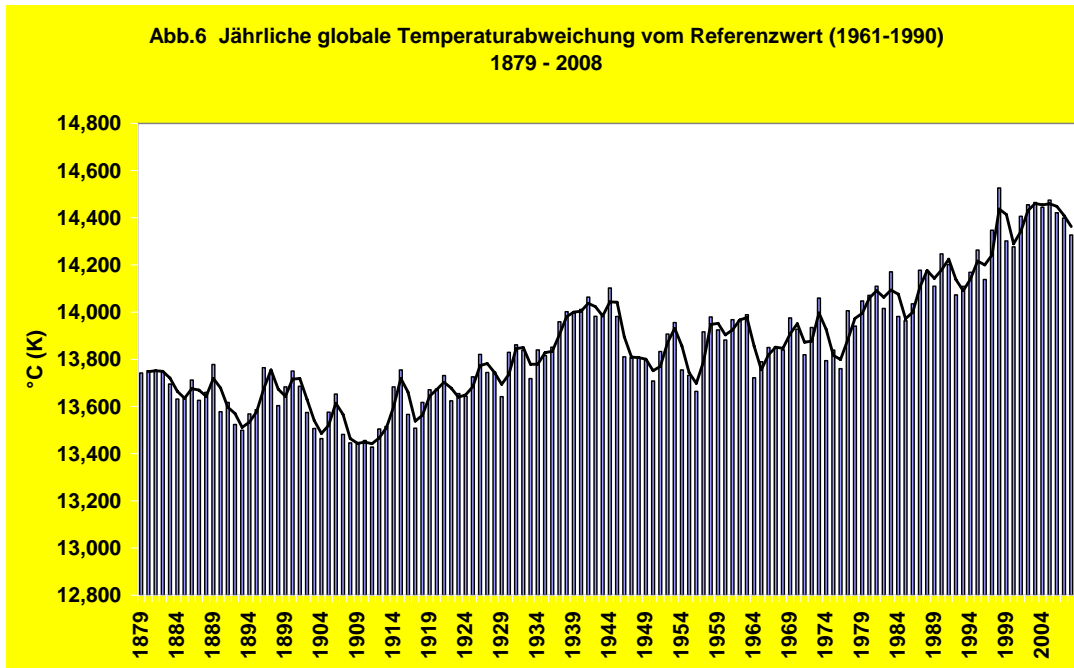


Im Detail bietet das Sonnenfleckenverhalten gegenwärtig folgendes Bild: Nach dem letzten Maximum im Jahr 2000 hat die Sonnenfleckenanzahl bis zum gegenwärtigen Minimum rasch abgenommen. Die Abnahme an sich ist normal, nicht aber das Verharren auf dem extrem niedrigen Niveau seit zwei Jahren. Wie eingangs erwähnt, ist an einer Vielzahl von Tagen die Sonne völlig fleckenfrei gewesen bzw. blieb die Neuentwicklung von Flecken im Ansatz stecken. In den Monaten Juli-Dezember lagen die Monatsmittelwerte nahe Null.

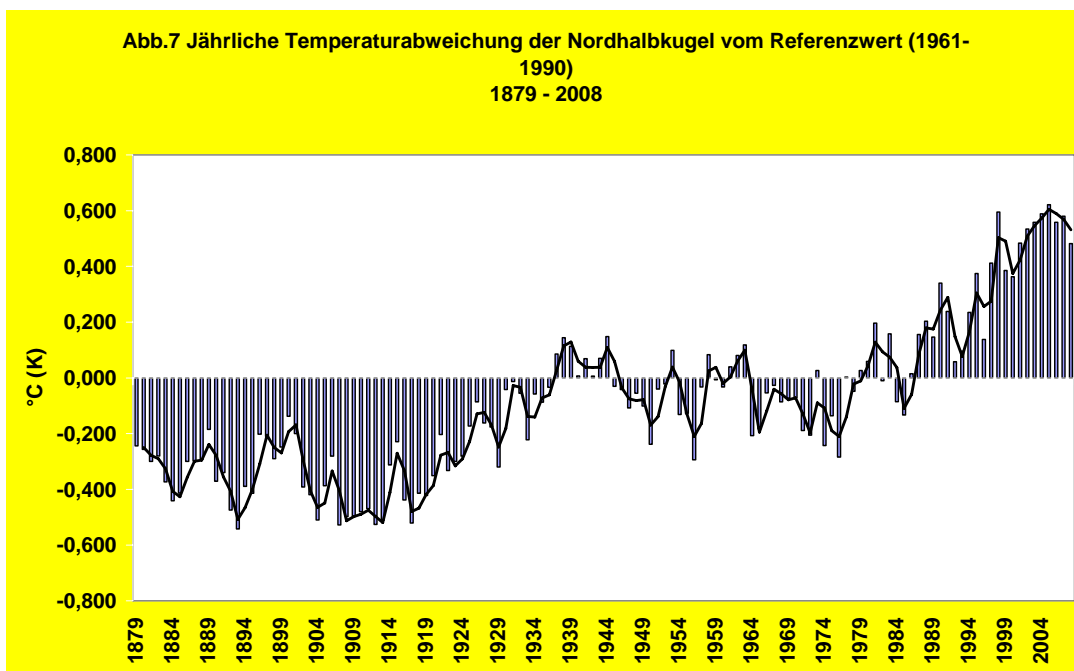
Abb. 5 zeigt diese lange Minimumphase. Die Ordinate ist dabei bewusst so gewählt, dass sie mit 120 dem Jahreswert beim letzten Maximum im Jahr 2000 entspricht. Wir befinden uns offensichtlich in der Phase einer ruhigen Sonne. Unter normalen Umständen, d.h. einer 11-jährigen Sonnenfleckenperiode, hätte die Sonnenfleckenzunahme zum nächsten Maximum bereits 2006 beginnen müssen.

Die globale/hemisphärische Temperaturentwicklung seit 1879

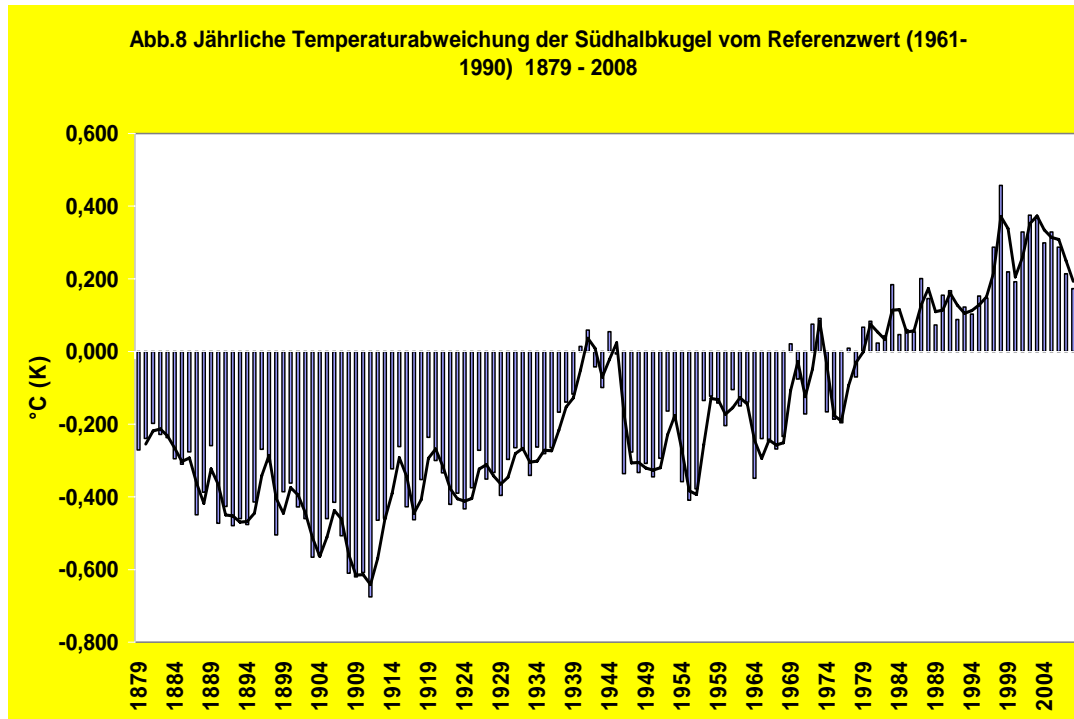
In Abb.6 ist die globale Temperaturentwicklung der letzten 130 Jahre durch die jährlichen Abweichungen vom offiziellen Referenzwert der Klimaperiode 1961-1990 wiedergegeben. Die globale Erwärmung aufgrund langfristiger Klimaantriebe ist unverkennbar. Sie beträgt seit 1881 im Mittel 0,06°C pro Dekade, also insgesamt +0,7 bis +0,8°C. Die ausgeprägten Temperaturschwankungen von Jahr zu Jahr zeigen die kurzperiodischen Klimaeinflüsse durch El Niño, Vulkanausbrüche usw..



Bei näherer Betrachtung erscheinen in Abb.6 für die Frage nach der Hauptursache des Klimawandels, also des dominierenden Klimaantriebs, drei Zeiträume von besonderer Bedeutung. So ist im Zuge der grundsätzlichen Erwärmung zu Beginn des 20. Jahrhunderts ein Temperaturrückgang aufgetreten. Sodann wird in den 1960er/1970er Jahren ein weiterer Temperaturrückgang sichtbar. Und nun weist unser Globus in den letzten 10 Jahren eine erneute Abkühlung auf. Die Gretchenfrage lautet somit: Welcher Klimaantrieb kann nicht nur eine globale Erwärmung, sondern auch globale Abkühlungen ursächlich erklären?



Vor der Beantwortung dieser Frage, soll noch kurz das Klimaverhalten der Nord- und Südhalbkugel seit 1879 betrachtet werden, da für beide Halbkugeln der primäre Klimaantrieb der gleiche sein muss. Unterschiede im Detail beim Klimaverhalten erklären sich vor allem aufgrund der unterschiedlichen Land-Seeer-Anteile sowie der Eisverhältnisse. In Abb. 7 ist die Temperaturentwicklung der Nordhalbkugel und in Abb. 8 jene der Südhalbkugel wiedergegeben. Dabei sind alle drei seit Beginn des 20. Jahrhunderts beobachteten Abkühlungsphasen auf beiden Halbkugeln aufgetreten, wenn auch mit unterschiedlicher Ausprägung.



Wie die Satellitenaufnahmen belegen, war mit der Abkühlungsphase der 1960er/70er Jahre eine deutliche Ausdehnung der nordpolaren Meereisbedeckung verbunden. Die Vereisung reichte im Winter und Frühjahr so weit südwärts, dass die Dänemarkstraße eisbedeckt war. Man könnte sagen: Die Eisbären hätten zwischen Grönland und Island hin und her wandern können. In dieser Zeit der rapiden nordpolaren Abkühlung wurde in der internationalen meteorologischen Wissenschaft die Frage diskutiert, ob das globale Klima auf dem Weg in eine neue Kleine Eiszeit sei. R. SCHERHAG hatte in der Berliner Wetterkarte auf den rapiden nordpolaren Temperaturrückgang aufgrund der Klimabeobachtungen von Franz-Josefs-Land hingewiesen.

Mit dem erneuten Temperaturanstieg der 1980er und 1990er Jahre wurde die Abkühlungsdiskussion beendet. An die Stelle der empirischen Klimadiagnose trat die theoretische Klimamodellrechnung, an die Stelle der natürlichen Klimaantriebe als Hauptursache des Klimawandels trat der anthropogene Treibhauseinfluss, trat der modellierte CO₂- Effekt.

Das grundsätzliche Problem der anthropogenen Treibhauseklärung ist, dass sie im beobachteten globalen/hemisphärischen Temperaturverhalten nur zur Erwärmung passt, die Abkühlungsphasen aber nicht erklären kann. Der CO₂-Gehalt der Luft steigt ständig, nicht aber die Temperatur. Dieser Erklärungsnotstand gilt für die Abkühlung zu Beginn des 20. Jahrhunderts, der 1960er/70er Jahre und auch für den deutlichen globalen und hemisphärischen Temperaturrückgang der letzten Jahre. Gegenüber dem El Niño-Jahr 1998 hat die globale Temperatur bis 2008 um -0,2°C abgenommen (Abb.6). Auf der Nordhalbkugel beträgt die Abkühlung -0,1°C (Abb.7), und auf der Südhalbkugel hat die aktuelle Abkühlung mit -0,3°C innerhalb einer Dekade extreme Züge angenommen.

Bedenkt man, dass die globale/hemisphärische Erwärmung +0,7 bis +0,8°C in 130 Jahren betragen hat, so kann man ermessen, wie dramatisch der Abkühlungstrend des letzten Jahrzehnts ist. Die Natur zeigt, wie die behauptete Dominanz des beschleunigt ansteigenden CO₂ in unserem Klimasystem zu bewerten ist.

Zusammenfassende Analyse von Sonnenaktivität und Klimawandel

Vergleicht man die langfristige Temperaturentwicklung in Mitteleuropa seit dem letzten Höhepunkt der Kleinen Eiszeit am Ende des 17. Jahrhunderts (Abb. 3) mit dem Verhalten der mittleren Sonnenfleckenanzahl je Zyklus (Abb. 2), so ist das synchrone Verhalten beider Kurvenverläufe während der vergangenen 330 Jahre eindeutig. Die wechselnde solare Aktivität, d.h. der variierende solare Energiefluss hat das langfristige Klima-

verhalten nachweislich bestimmt. Niemand kann ernsthaft behaupten, eine 330-jährige Übereinstimmung zwischen Sonnenaktivität und Klimawandel sei Zufall. Das CO₂, das seit dem Ende der letzten Eiszeit konstant bei 280 ppm lag, scheidet als Einflussfaktor auf den beobachteten Klimawandel vor 1850 aus. Die treibende Kraft langfristiger Klimaänderungen kann nur die Sonne gewesen sein.

Aber auch für den Zeitraum nach 1850, also seit dem Beginn der Industrialisierung und der globalen Klimareihe, verläuft die allgemeine Erwärmung nachweislich synchron zur Sonnenaktivität.

Als Konsequenz dieser 330-jährigen Klimadiagnose folgt: Unser Klimasystem reagiert primär auf Veränderungen der Sonnenaktivität. Nimmt die mittlere Sonnenzahl der Zyklen längerfristig zu, führt dieses zu einer Erwärmung. Weist dagegen die mittlere Sonnenfleckenanzahl von Zyklus zu Zyklus einen Abwärtstrend auf, nimmt also die solare Aktivität ab, kommt es zu einem Temperaturrückgang. Sinkt die mittlere Sonnenfleckenanzahl je Zyklus unter 50, so muss mit einer Kälteperiode gerechnet werden.

Das bedeutet: Es existiert in der Abhängigkeit unseres Klimas von der solaren Aktivität eine kritische Grenze des solaren Energieflusses. Oberhalb des Grenzwerts, erfasst durch die mittlere Sonnenfleckenanzahl von rund 50 je Zyklus, treten warme, unterhalb der kritischen Grenze kalte Perioden auf. Über ihre Dauer und Intensität entscheidet das zeitliche Verhalten und das Ausmaß der Über- bzw. Unterschreitung des kritischen Werts.

Diese aus der mitteleuropäischen Klimaentwicklung abgeleitete Aussage gilt natürlich auch für das globale/hemisphärische Klima. Das lässt sich belegen, indem man die 10-jährigen globalen Mitteltemperaturen seit 1851 mit den mitteleuropäischen Temperaturwerten korreliert. Dabei errechnet sich ein Korrelationskoeffizient von +0,9 bis +0,95 (Nordhalbkugel +0,96).

Vergleicht man nun die Entwicklung der Sonnenfleckenzyklen seit 1878 (Abb.4) mit der globalen/ hemisphärischen Temperaturentwicklung (Abb.6-8), so korrespondiert der Temperaturanstieg bis etwa 1960 mit dem Anstieg der Sonnenfleckenanzahl je Zyklus. Die danach beobachtete Abkühlung der 1960er/70er Jahre wie auch die Abkühlung zu Beginn des 20. Jahrhunderts korrespondieren mit einem Rückgang der Sonnenfleckenanzahl. Mit dem jeweils nachfolgenden Anstieg der Sonnenfleckenanzahl kommt es auch wieder zu einem globalen/ hemisphärischen Temperaturanstieg. Wie im Beitrag zur Berliner Wetterkarte SO 34/07 dargelegt, ist dabei der starke Temperaturanstieg der 1990er Jahre im Wesentlichen auf das extrem starke El Niño-Ereignis von 1997/98 zurückzuführen. Stieg die Temperatur von 1980 bis 1995 nur um 0,07°C, so schnellte sie danach mit der Erwärmung des tropischen Pazifiks förmlich in die Höhe.

Seit dem letzten Sonnenfleckenmaximum im Jahr 2000 befindet sich die Sonnenfleckenanzahl auf einer ungewöhnlich langen Talfahrt. Die Sonnenfleckenanzahl hätte bereits vor über 24 Monaten in den Anstieg zum nächsten Maximum übergehen sollen. Stattdessen verharrt die Sonnenaktivität auf niedrigem Niveau.

Parallel dazu wird in den Abb.6-8 deutlich, dass die globale und hemisphärische Temperatur in den letzten Jahren trotz einiger mittlerer El Niño-Ereignisse und trotz des stärksten CO₂-Anstiegs seit Beginn der Industrialisierung von 1,9 ppm pro Jahr (bzw. rund 20 ppm seit 1998) markant zurück gegangen ist, und zwar um -0,2°C global, -0,1°C nordhemisphärisch und -0,3°C auf der Südhalbkugel.

Schlussfolgerungen

Die auf den Zeitraum 1672 bis 2008 erweiterte Klimadiagnose hat die Ergebnisse früherer Untersuchungen über den engen Zusammenhang von veränderlicher solarer Aktivität und globalem/ hemisphärischem sowie mitteleuropäischem Temperaturverhalten in vollem Umfang bestätigt. Zum einen untermauert die Analyse die rund 200-jährige Schwingung der solaren Aktivität (De-Vries-Zyklus) einerseits und des langfristigen Klimawandels andererseits.

Zum anderen ist deutlich geworden, dass es einen kritischen Grenzwert des solaren Energieflusses für unser Klimasystem gibt. Als Indikator dient die Sonnenfleckenanzahl. Mittlere Sonnenfleckenanzahlen je Zyklus von mehr als (rund) 50 über einen längeren Zeitraum sind mit übernormalen Temperaturen, sind mit einer Wärmeperiode verbunden. Sinkt die mittlere Sonnenfleckenanzahl je Zyklus unter 50, kommt es zu unternormalen Temperaturen, zu einer Kälteperiode!

Ferner zeigt sich: Im Gegensatz zum CO₂-Effekt vermag der solare Antrieb auch die nachhaltigen Abkühlungsperioden der letzten Jahrhunderte - inklusive der Kleinen Eiszeit - signifikant zu erklären. Der anthropogene CO₂-Effekt kennt dagegen nur eine Richtung, den Temperaturanstieg. Jede Abkühlung belegt die Schwäche, d.h. den untergeordneten Einfluss des anthropogenen CO₂-Effekts auf den Klimawandel. So steht folglich auch die globale Abkühlung der letzten zehn Jahre in totem Widerspruch zu dem kräftig steigenden CO₂-Gehalt der Luft.

Wie die Korrelationsrechnungen zwischen mittlerer Sonnenfleckenanzahl je Zyklus und mitteleuropäischem bzw. globalem Temperaturverhalten seit 1860 zeigen, ergeben sich Korrelationskoeffizienten von +0,76, wenn die kurzperiodischen Antriebe nicht ausgefiltert werden bzw. von +0,85 bei Ausfilterung der kurzperiodischen

Klimaantriebe. Das bedeutet: Rund 70% der langfristigen Erwärmung wie Abkühlung werden demnach durch den solaren Einfluss verursacht. Der anthropogene Treibhauseffekt vermag maximal 30% der Erwärmung von +0,6°C zwischen 1860 und 1999 und Null Prozent der Kälteperioden der letzten 330 Jahre zu erklären. Da der reine CO₂-Effekt nur etwa die Hälfte des gesamten anthropogenen Treibhauseffekts (weitere Treibhausgase: Methan, Lachgas usw.) ausmacht, kann man folgern, dass er an der globalen Erwärmung von 1860-1999 nur in der Größenordnung von +0,1°C beteiligt ist. Der anthropogene CO₂-Effekt auf die Klimaentwicklung ist aufgrund der Klimadiagnose daher als marginal und nicht als dominant anzusehen.

Zukunft braucht Herkunft

Damit stellt sich die Frage: Quo vadis, Klima - wohin führt die Klimazukunft? Aufgrund der rund 200-jährigen Periode der solaren Aktivität muss man folgern, dass analog der Wärmeperiode des 18. Jahrhunderts auch der des 20. Jahrhunderts eine Abkühlung folgt. Der grundsätzliche Abwärtstrend der Sonnenfleckenanzahl der letzten Zyklen (Abb. 4) hat im aktuellen Sonnenfleckenzyklus (1997-2008) den kritischen mittleren Bereich von rund 50 Sonnenflecken erreicht. Damit ist die solare Aktivität an der kritischen Grenze zwischen einer Wärme- und einer Kälteperiode bei fallender Tendenz angelangt. Unser globales Klima steht auf der Kippe - und zwar zum Kälteren.

Die aktuelle Temperaturentwicklung unterstreicht diesen Sachverhalt. Seit der Temperaturspitze im El Niño-Jahr 1998 geht es mit der globalen wie nord- und südhemisphärischen Temperatur beschleunigt abwärts (Abb.6-8). Dass der Einfluss des anthropogenen Treibhauseffekts trotz rapide ansteigender CO₂-Emissionen der Industrie- und Schwellenländer, insbesondere von China, im Temperaturverhalten unsichtbar bleibt, zeigt, dass der anthropogene Klimaeinfluss in den Klimamodellen wesentlich überschätzt und der solare Einfluss unterschätzt wird.

Die derzeit entscheidende Frage ist: Wie verhält sich die solare Aktivität im jetzt beginnenden und in den nachfolgenden Sonnenfleckenzyklen? Betrachtet man einerseits den Trend der letzten Zyklen und andererseits das gegenwärtige Verhalten der Sonne, so muss man eingedenk der 200-jährigen Schwingungsperiode der solaren Aktivität zu dem Schluss kommen: Die Sonne ist auf dem Weg, von der aktiven Phase in eine inaktive, in den Zustand einer ruhigen Sonne überzugehen. Der kritische mittlere Wert von rund 50 Sonnenflecken je Zyklus ist derzeit bei abnehmender Sonnenaktivität erstmals seit dem Dalton-Minimum im 19. Jahrhundert wieder erreicht worden.

Fazit: Aufgrund der sonnendynamischen Prozesse einerseits und der klimadiagnostischen Zusammenhänge zwischen Sonnenaktivität und Klimawandel andererseits muss man mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, dass sich die derzeitige globale Abkühlung fortsetzt und, unter den üblichen kurzperiodischen Schwankungen, noch verstärken wird.

Auch wenn in Deutschland bei der Politik und bei den Klimamodellierern diese klimadiagnostischen Aussagen nicht geteilt werden, gibt es international in großer Anzahl Wissenschaftler und Forschungsinstitute, die Zweifel an der Hypothese von einem dominanten anthropogenen CO₂-Effekt auf unser Klima haben. U.a. kommen das SSRC (Space Science Research Center) in Orlando/USA und - nach einem Bericht der russischen Zeitung „Novosti“ (Juni 2008) - das russische Hauptobservatorium Pulkov bei Sankt Petersburg zu analogen Ergebnissen wie ich. Nach Aussage der russischen Wissenschaftler soll die stärkste Abkühlung um die Mitte des 21. Jahrhunderts erreicht werden (EIKE, 10.7.2008).

Mit den Worten des Dichters Adalbert von Chamisso lässt sich die gegenwärtige Klimadiskussion am besten beschreiben: „Die Sonne bringt es an den Tag“ – und zwar so oder so. Bis dahin sollte die wissenschaftliche Toleranz oberstes Gebot sein und nicht die Ausgrenzung.

In diesem Zusammenhang seien an die Worte des Universalgenies Alexander von Humboldt auf der 7. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte am 18. September 1828 in Berlin erinnert:

„Entschleierung der Wahrheit ist ohne Divergenz der Meinungen nicht denkbar, weil die Wahrheit nicht in ihrem ganzen Umfange auf einmal und von allen zugleich erkannt wird. Jeder Schritt, der den Naturforscher seinem Ziel zu nähern scheint, führt ihn an den Eingang neuer Labyrinthe. Die Masse der Zweifel wird nicht gemindert, sie verbreitet sich nur wie ein beweglicher Nebenduft über andere und andere Gebiete. Wer golden die Zeit nennt, wo Verschiedenheit der Ansichten oder, wie man sich wohl auszudrücken pflegt, der Zwist der Gelehrten geschlichtet sein wird, hat von den Bedürfnissen der Wissenschaft, von ihrem rastlosen Fortschreiten ebenso wenig einen klaren Begriff als derjenige, welcher in träger Selbstzufriedenheit sich rühmt, in der Geognosie, Chemie oder Physiologie seit mehreren Jahrzehnten dieselben Meinungen zu verteidigen.“ (Biermann, K. R: Alexander von Humboldt, 3. Aufl., Leipzig 1983, 71-72)

Schlussbetrachtung

Eine globale Abkühlung erscheint bei einer weiter wachsenden Weltbevölkerung wesentlich problematischer als eine globale Erwärmung. Zum einen hat ein Temperaturrückgang nachteilige und nachhaltige Auswirkungen auf die Landwirtschaft und damit auf die Welternährung. Zum anderen führt eine Abkühlung zu einem erhöhten Energiebedarf. Die Ressourcen werden schneller reduziert, d.h. Energie wird teurer. Unter diesen Gesichtspunkten ist aus klimatologischer Sicht eine Energiepolitik zu formulieren, sind Klimafolgenstrategien zu entwickeln, ist die Forschung und Entwicklung effizienter alternativer Energien das Gebot der Stunde. Mit den derzeitigen Sonnenkollektoren z.B. ist in unseren Breiten, wie meine Anlage zeigt, wegen tief stehender Sonne an den kurzen, trüben Herbst- und Wintertagen kein nennenswerter Beitrag zur Energieversorgung zu leisten.

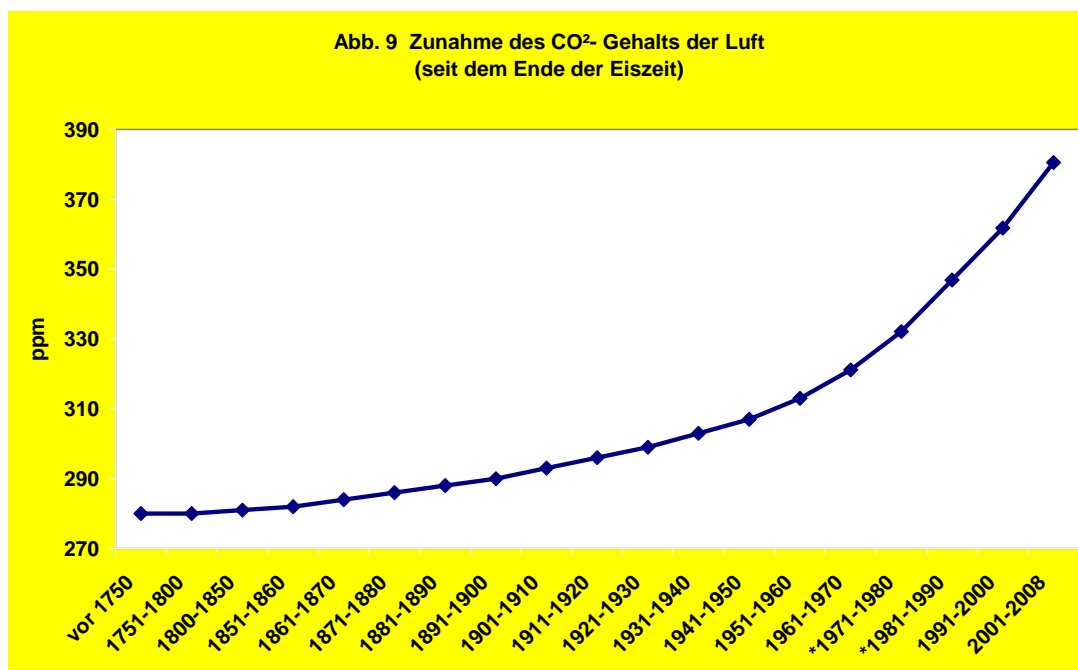
Was allerdings Not tut, ist dem eigentlichen Umweltschutz höchste Priorität einzuräumen. Saubere Luft und Niederschläge, unbelastete Böden, Seen, Flüsse und Ozeane sowie der Erhalt der großen Wälder gehören zu den Grundrechten des Menschen. Ein stabiles Klima hat es in der Erdgeschichte nie gegeben und wird es von Natur aus auch in Zukunft nie geben.

Post Scriptum

Von einem Kollegen und Treibhausbefürworter bekam ich kürzlich (gruß- und kommentarlos) die deutsche Version der IPCC-Broschüre „Klimaänderung 2007–Synthesebericht“ zugeschickt. Wie die Lektüre zeigt, gibt es natürlich hinsichtlich der beobachteten Temperaturerhöhung seit 1850 um $+0,7$ bis $+0,8^{\circ}\text{C}$ keinen Dissens. In Bezug auf die dominierende Ursache des Klimawandels stellt hingegen der auf Modellrechnungen beruhende IPCC-Bericht die Antithese zu meinen klimadiagnostischen Ergebnissen dar. Einige Anmerkungen zum Kapitel „Ursachen für Änderungen“ im IPCC-Bericht sollen den Sachverhalt verdeutlichen.

Im Unterkapitel 2.2 „Antriebe des Klimawandels“ finden sich folgende wörtliche Ausführungen:

1. „Es besteht sehr hohes Vertrauen darin, dass der globale durchschnittliche Nettoeffekt menschlicher Aktivitäten seit 1750 eine Erwärmung war, mit einem Strahlungsantrieb von $+1,6$ ($+0,6$ bis $+2,4$) W/m^2 .“
2. „Der gesamte Strahlungsantrieb aufgrund der Zunahme von Kohlendioxid, Methan und Lachgas beträgt $+2,3$ ($2,1$ bis $2,5$) W/m^2 , ...“
3. „Der Strahlungsantrieb durch Kohlendioxid ist zwischen 1995 und 2005 um 20% angestiegen, was die größte Änderung innerhalb eines Jahrzehnts während mindestens der letzten 200 Jahre darstellt.“
4. „Im Vergleich dazu wird der seit 1750 durch Änderungen der Sonneneinstrahlung verursachte Strahlungsantrieb auf $+0,12$ ($+0,06$ bis $+0,30$) W/m^2 geschätzt.“



Was würde ich zum Kap. 2. bzw. den obigen Ausführungen bei einer Diplomarbeit anmerken?

a. Wie lautet die Begründung dafür, dass dem in der Erdgeschichte so bedeutsamen solaren Einfluss auf unser Klima nur wenige Zeilen, dem anthropogenen Treibhauseffekt aber mehrere Seiten und Abbildungen einge-

räumt werden? Wieso wird die langfristige Schwingung der Sonnenaktivität, d.h. der Wechsel von ruhiger und aktiver Sonne und der Zusammenhang mit den Kälte- und Wärmeperioden seit dem 17. Jahrhundert nicht diskutiert?

b. Was ist unter der wenig wissenschaftlichen Formulierung „Es besteht sehr hohes Vertrauen“ zu verstehen? Bei wem besteht dieses hohe Vertrauen, da es in der internationalen Klimawissenschaft keinen Konsens über einen wesentlichen anthropogenen Klimaeinfluss gibt. In den USA sowie in einer Eingabe an den UN-Generalsekretär zur Bali-Klimakonferenz (2007) haben sich insgesamt mehr als 650 Wissenschaftler aus aller Welt gegen die angebliche Dominanz des CO₂-Effekts und die Katastrophen-Szenarien ausgesprochen.

c. Wieso wird der Beginn des anthropogenen Klimaeinflusses auf 1750 datiert, da der CO₂-Gehalt der Luft in der Nacheiszeit bis 1850 als quasi konstant bei 280 ppm angenommen wird? Mit der Industrialisierung ab 1850 stiegen er (Abb.9) sowie die Weltbevölkerung zunächst allmählich und erst nach 1950 erheblich an. Die „hockey-stick“-Annahme des IPCC, dass wegen des fehlenden CO₂-Anstiegs vor 1850 auch das Klima konstant gewesen sei und die Temperatur sich nur ab 1850 geändert habe, steht im krassen Widerspruch zur Temperaturentwicklung Mitteleuropas seit 1670 und ihrer hohen Korrelation mit dem globalen/ nordhemisphärischen Temperaturverhalten ab 1850 (Korrelationskoeffizienten +0,9 bis +0,96).

d. Bei der Angabe der Beträge der einzelnen Strahlungsantriebe fällt auf, dass beim anthropogenen Einfluss der Wert vor der Klammer jeweils dem mittleren Wert des in der Klammer angegebenen Intervalls entspricht. Beim solaren Antrieb dagegen werden +0,12 (+0,06 bis +0,30) W/m² angegeben, obwohl der mittlere Intervallwert +0,18 W/m² beträgt, also 50% höher als der angegebene ist. Ferner heißt es, dass es sich bei dem solaren Antrieb um einen reinen Schätzwert (!) handelt.

e. Irreführend und falsch ist die Aussage, der „Strahlungsantrieb durch Kohlendioxid“ habe in dem „Jahrzehnt“ 1995-2005 um „20%“ zugenommen. Dazu folgende Anmerkungen:

1. Der mittlere jährliche CO₂-Gehalt der Luft betrug 1995 rund 360 ppm und 2005 rund 380 ppm. Das entspricht einer CO₂-Änderung von +20 ppm bzw. von 20/360 gleich +5,5%!! Wie kommt die angegebene Änderung des Strahlungsantriebs durch CO₂ von 20% zustande, d.h. der im Vergleich mit dem CO₂-Anstieg um den Faktor 3,6 höhere Wert? Wie kann es zu einem derart unrealistischen IPCC-Ergebnis kommen, dem zu Folge sich bei einem CO₂-Zuwachs um X ppm der Strahlungsantrieb um den gleichen Prozentsatz erhöht?

Aus der IPCC-Aussage kann die Politik besten Gewissens den Schluss ziehen, das wegen des unvermindert starken CO₂-Anstiegs pro Jahrzehnt die globale Erwärmung bereits in ein paar Jahrzehnten jenen Wert erreicht, der bei einer CO₂-Verdopplung (von 360 auf 720 ppm) zu erwarten ist, also realistisch in etwa 150 (120-180) Jahren. Ein „klima-katastrophaler“, für den Laien nicht erkennbarer Fehler im o.g. IPCC-Bericht.

Erkennbar für jedermann ist dagegen, dass es sich bei dem Zeitraum 1995-2005 klimatologisch nicht um ein „Jahrzehnt“ handelt. Das Intervall 1995-2005 besteht aus 11 Beobachtungsjahren, also 11 Jahresmittelwerten, und nicht aus 10.

2. Wie konnte es bei dem stärksten CO₂-Anstieg seit „mindestens der letzten 200 Jahre“ in den letzten 10 Jahren global zu einer erheblichen Abkühlung kommen, wenn der postulierte anthropogene Klimaeinfluss dominant sein soll? Analoges gilt für die Abkühlungen zu Beginn des 20. Jahrhunderts sowie in den 1960/70er Jahren.

3. Was soll im Zusammenhang mit dem starken CO₂-Anstieg von 1995-2005 der (effekthaschende) Hinweis auf das Vorindustrieeitalter mit den Worten „während mindestens der letzten 200 Jahre“?

Fazit: Meine Zweifel an der behaupteten Klimadominanz des anthropogenen CO₂-Effektes sind nach der Lektüre des IPCC-Berichts nicht geringer geworden. Ich vermag keinen Grund zu erkennen, mich dem Zeitgeist (neu-deutsch: main stream) anzuschließen und den Klimamodellen ein größeres „Vertrauen“ entgegen zu bringen als der empirischen Klimadiagnose. Meine Überzeugung über die Dominanz des solaren Klimaeinflusses seit 1670 ist unverändert. Wenn aber in den Klimamodellen die Grundannahmen bereits fraglich sind, so gilt das logischerweise erst recht für die Klimaprojektion in die Zukunft und die daran gekoppelten Klimafolgen. Solange der solare Antrieb in den Klimamodellen unterschätzt und der anthropogene Treibhauseffekt überschätzt wird, sollte das IPCC mit seiner Aussage „Es besteht hohes Vertrauen“ sehr vorsichtig sein, denn die Politik ist nur zu leicht geneigt, dieses zu „glauben“.

Literatur

- Brohan, P., J.J. Kennedy, I. Haris, S.F.B. Tett and P.D. Jones: Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. J. Geophysical Research 111, D12106, doi:10.1029/2005JD006548 -- pdf
- BMBF „Herausforderung Klimawandel“. 2004: <http://www.bmbf.de/pub/klimawandel.pdf>
- Claußnitzer, A. Das Maunder-Minimum. Eine Modellstudie mit dem „Freie Universität Berlin Climate

- Middle Atmosphere Model“ (FUB-CMAM). Diplomarbeit. 2003
- Cubasch, U. Variabilität der Sonne und Klimaschwankungen. Max-Planck-Forschung. Das Wissenschaftsmagazin der Max-Planck-Gesellschaft (2001)
 - Eddy, J.A. „The Maunder Minimum“. Science 192. 1976
 - EIKE: www.eike-klima-energie.eu
 - Hennig, R. Katalog bemerkenswerter Witterungsereignisse – von den alten Zeiten bis zum Jahre 1800. Abh. Kgl. Preuß. Met.Inst.Bd.II/4 .1904
 - Hoyt, D. V. und Schatten, K. H.: The role of the sun in climate change. New York-Oxford, Oxford University Press. 1997
 - Jones, P.D., New, M., Parker, D.E., Martin, S. and Rigor, I.G., 1999: Surface air temperature and its variations over the last 150 years. Reviews of Geophysics 37, 173-199.
 - Labitzke, K. and H. van Loon: The signal of the 11-years sunspot cycle in the upper troposphere-lower Stratosphere. 1997
 - Labitzke, K. On the solar cycle – QBO – relationship. J.A.A., special issue 67, 45-54. 2005
 - Landscheidt, T. Solar oscillations, sunspot cycles, and climatic change. In: McCormac, B. M., Hsg.: Weather and climate responses to solar variations. Boulder, Ass. Univ. Press (1983)
 - Malberg, H. Beiträge des Instituts für Meteorologie der Freien Universität Berlin/ Berliner Wetterkarte e.V.
 - Über den Klimawandel in Mitteleuropa seit 1850 und sein Zusammenhang mit der Sonnenaktivität. SO 17/02 (2002)
 - Die globale Erwärmung seit 1860 und ihr Zusammenhang mit der Sonnenaktivität. SO 27/02
 - Die nord- und südhemisphärische Erwärmung seit 1860 und ihr Zusammenhang mit der Sonnenaktivität. SO 10/03)
 - Der solare Einfluss auf das mitteleuropäische und globale Klima seit 1778 bzw. 1850. SO 01/07 (2007) – In Memoriam Prof. Richard Scherhag.
 - Über den dominierenden solaren Einfluss auf den Klimawandel seit 1701. SO 27/07
 - El Nino, Vulkane und die globale Erwärmung seit 1980. SO 34/07
 - El Niño und der CO₂-Anstieg sowie die globale Erwärmung bei CO₂-Verdopplung. SO 02/08
 - Die unruhige Sonne und der Klimawandel. SO 20/08
 - Malberg, H. Klimawandel und Klimadiskussion unter der Lupe. Z. für Nachhaltigkeit 5. 2007
 - Malberg, H. Klimawandel und Klimadebatte auf dem Prüfstand. Verh. Ges.Erdkunde zu Berlin. 2007
 - Matthes, K., Y. Kuroda, K. Kodera, U. Langematz: Transfer of the solar signal from the stratosphere to the troposphere: Northern winter. J. Geophys. Res., 111.2005
 - Matthes, K., U. Langematz, L. L. Gray, K. Kodera Improved 11- year solar signal in the Freie Universität Berlin climate middle atmosphere model. J. Geophys. Res., 109. 2003
 - Negendank, J.W. Gehen wir einer neuen Kaltzeit entgegen? Klimaänderungen und Klimaschutz. TU-Cottbus (2007)
 - Pelz, J. Die Berliner Jahresmitteltemperaturen von 1701 bis 1996, Beilage Berl. Wetterkarte, 06/1997
 - Scafetta; N. and B.J. West: Is Climate Sensitive to Solar Variability. Physics today. (2008)
 - Scherhag, R. Die gegenwärtige Abkühlung der Arktis. Beilage Berliner Wetterkarte SO31/1970
 - Svensmark, H. Cosmic rays and earth's climate. Space Science Rev. 93 (2000)
 - Svensmark, H. Cosmic Climatlogy – A new theory emerges. A&G, Vol. 48 (2007)
 - Svensmark, H., Friis-Christensen, E. Reply to Lockwood and Fröhlich – The persistent role of the Sun in Climate forcing. Danish Nat.Space Center. Scientific Report 3/07 (2007)

Daten

Den Temperaturdaten von Basel und Wien liegen die Klimareihen von F. Baur zugrunde, die im Rahmen der „Berliner Wetterkarte“ (P. Schlaak) fortgeführt und in jüngster Zeit durch Werte aktualisiert wurden, die von den beiden Stationen direkt zur Verfügung gestellt worden sind.

Die Temperaturdaten von Prag wurden der Internet-Veröffentlichung www.wetterzentrale.de/Klima/ entnommen, erweitert durch Werte, die von der Station Prag direkt zur Verfügung gestellt wurden.

Die Temperaturreihe von Berlin entspricht der Klimareihe von Berlin-Dahlem, auf die die Beobachtungen von 1701-1908 von J. Pelz reduziert worden sind.

Die globalen Temperaturen finden sich unter: Climatic Research Unit, <http://www.cru.uea.ac.uk>.

Die Sonnenfleckenzahlen sind der Internet-Veröffentlichung von NOAA entnommen:

(ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_Data/Sunspot_Numbers/Monthly/)

Die Sonnenfleckenzahlen für den Zeitraum vor 1749 wurden im Rahmen der o.g. Diplomarbeit aus verschiedenen Quellen ermittelt.