

Beiträge des Instituts für Meteorologie der Freien Universität Berlin zur Berliner Wetterkarte

Herausgegeben vom Verein BERLINER WETTERKARTE e.V.
c/o Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10, 12165 Berlin
<http://www.Berliner-Wetterkarte.de>

59/07
SO 29/07

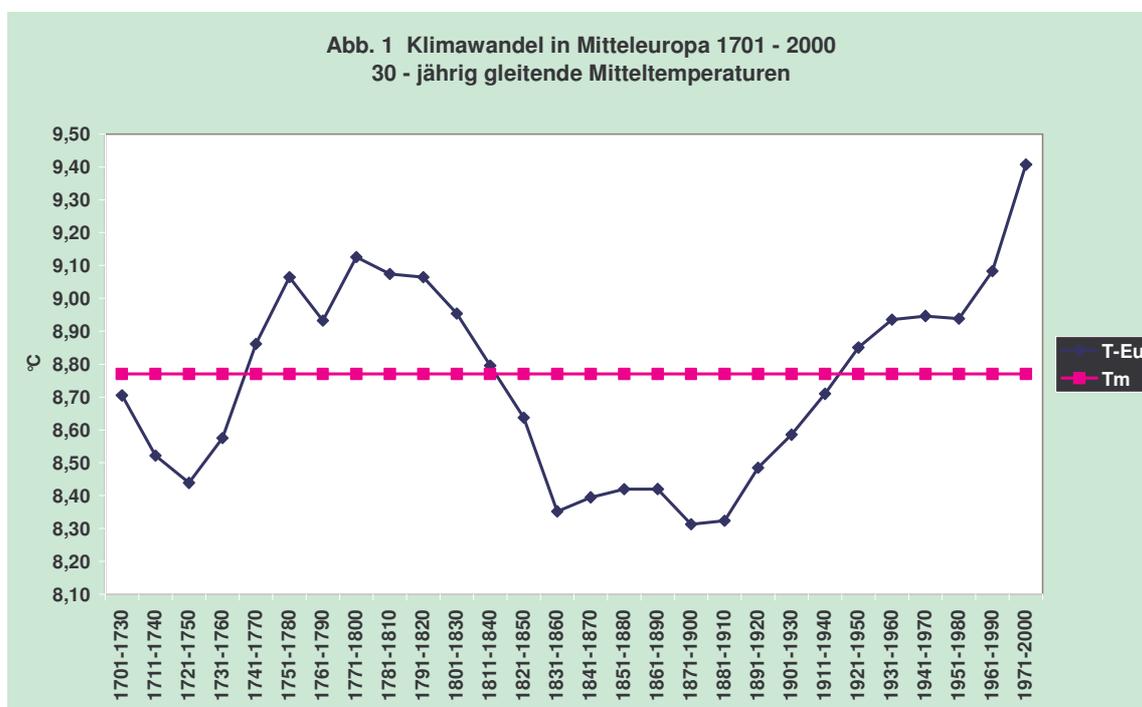
ISSN 0177-3984
29.8.2007

Über den dominierenden solaren Einfluss auf den Klimawandel seit 1701

300-jährige Klimadiagnose kontra Treibhausdebatte
Horst Malberg, Univ.-Prof. (a.D.) für Meteorologie und Klimatologie

Der UN-Klimabericht 2007 (IPCC, 2007) über einen anthropogen verursachten Klimawandel hat in Wissenschaft, Politik, Medien und Öffentlichkeit intensive Reaktionen ausgelöst. In der zum Teil emotional bis ideologisch geführten Diskussion vermischen sich dabei aus meteorologischer Sicht nicht selten Dichtung und Wahrheit. Reine Szenarienrechnungen werden in unzulässiger Weise wie Prognosen interpretiert und dramatisiert. Völlig unhaltbar wird es in der Klimadebatte, wenn singuläre Wetter- und Witterungsereignisse, also kurzfristige und regionale Launen der Natur, als Indiz oder Beweis für die Auswirkungen einer anthropogen verursachten globalen Erwärmung dargestellt werden.

Wer sich jemals mit den Wetteraufzeichnungen vergangener Jahrtausende befasst hat, der weiß, dass Extremwetterlagen zu allen Klimaepochen und in allen Klimazonen aufgetreten sind. Kein Jahrhundert blieb verschont vor extremer Wärme oder Kälte, vor Starkregen, Überschwemmungen und Dürreperioden, vor Schneemassen, Orkanen und Sturmfluten (Hennig, 1904). Erst eine über mehrere 30-jährige Klimaperioden signifikante Häufigkeitsänderung von Extremereignissen kann mit einer nachhaltigen Veränderung der atmosphärischen Zirkulation in Verbindung gebracht werden. Wenn z.B. der milde Winter 2006/07 in Mitteleuropa als Indiz für die globale Erwärmung dargestellt wird, dann müssen die gleichzeitige Kälte und Schneemassen im Nordosten der USA und der kalte, schneereiche Winter 2005/06 in Mitteleuropa wohl ein Indiz für die nächste Eiszeit sein.



Zwar spektakulär, aber synoptisch falsch ist es, eine Zunahme oder Intensivierung von Orkantiefs in unseren Breiten mit dem anthropogenen Treibhauseinfluss zu begründen. Orkantiefs entstehen nur im Winter. Nur dann ist als Folge der Polarnacht die Polarregion extrem kalt und der Temperaturunterschied zwischen Subtropen und Polarregion mit mehr als 40 K groß genug für die Bildung von Orkantiefs. Im Sommer ist die Polarregion als Folge des Polartags relativ warm. Der meridionale Temperaturunterschied ist nur halb so

groß wie im Winter, so dass in der warmen Jahreszeit keine außertropischen Orkantiefs entstehen. Orkane zeigen somit an, dass die Polarluft in ihrem Entstehungsbereich sehr kalt ist.

Nach der Treibhaustheorie soll sich die Polarregion doppelt so stark erwärmen wie die Subtropen, d.h. durch den anthropogenen Treibhauseffekt würde der meridionale Temperaturgradient schwächer. Die Voraussetzung für die Orkanbildung müsste schlechter statt besser werden.

Erstaunlich ist aus synoptischer Sicht auch die Aussage, die Hochwasserwahrscheinlichkeit werde sich in naher Zukunft bei uns verzehnfachen, da durch die globale Erwärmung die Niederschläge im Gebirge vermehrt als Regen fallen und weniger als Schnee gespeichert werden. Zum einen ist eine Klimaprognose über die Häufigkeit stationärer zyklonaler Wetterlagen über den Quellregionen der Flüsse völlig utopisch. Zum anderen würde logischerweise eine verringerte winterliche Schneeanammlung im Gebirge sogar die Hochwasserwahrscheinlichkeit bei der Schneeschmelze zurück gehen lassen.

Auch der beobachtete Rückgang der Alpengletscher kann nicht mit der Erwärmung Mitteleuropas von 1°C (K) seit 1850 erklärt werden, denn eine Temperaturzunahme von 1°C hat nur eine Höhenverschiebung der Schneefallgrenze um 150 m zur Folge, nicht aber das Abschmelzen der hochgelegenen Gletscher. Der Rückzug der Gletscher lässt sich nur strahlungsphysikalisch erklären. Industrialisierung und Urbanisierung haben über lange Zeit durch Staub- und Russ-Emission zu einer Verschmutzung der Gletscher geführt. Die Folge war eine Abnahme ihres Reflexions- bzw. eine Zunahme ihres Absorptionsvermögens. Verstärkt wurde dieser Strahlungsprozess noch durch zwei weitere Effekte. So führten einerseits die Luftreinhaltemaßnahmen der letzten Jahrzehnte zu einer verringerten Schwächung der Sonnenstrahlung in der klareren Luft, so dass mehr Strahlungsenergie am Gletscher ankommt. Diese Erklärung hat nach Medienberichten die NASA aufgrund von Satellitenmessungen auch für das Verhalten der grönländischen Gletscher gegeben. Zum anderen, wie noch gezeigt wird, ist es seit 1850 zu einer Erhöhung des solaren Energieflusses, der „Solarkonstanten“, gekommen. Wie der o. g. Strahlungseffekt wirkt, lässt sich im Winter leicht an Hausdächern mit einer Süd- und einer Nordseite erkennen. Bei Temperaturen unter Null Grad Celsius schmilzt der Schnee auf der Südseite, während er auf der Nordseite liegen bleibt. Entsprechend ist die klimatische Schneegrenze auf der Alpensüdseite 200 m höher als auf der Alpennordseite.

Das „stabile“ Klima

Auch in Bezug auf das Klimaverhalten selber gibt es grundsätzliche Missverständnisse. So wird in der Klimadiskussion z. T. der Eindruck erweckt, als habe es vor 150 Jahren, also zu Beginn der globalen Klimareihe, ein stabiles und optimales Klima gegeben und als sei ein Klimawandel ein anomaler Vorgang. Genau das Gegenteil ist der Fall. Zum einen war es vor 150 Jahren so kalt in Mitteleuropa, waren die Ernten so miserabel, dass Menschen verhungert (!) sind. Zum anderen ist die Vorstellung absurd, das Klimaverhalten der letzten Jahrhunderte ließe sich durch einen Hockeyschläger beschreiben: vor 1850 gleich bleibende Temperaturen und danach steiler Temperaturanstieg.

Nicht nur in den vergangenen ein bis zwei Millionen Jahren mit dem mehrfachen Wechsel von Kalt-/Eis- und Warmzeiten, auch in der jüngeren Vergangenheit hat sich das Klima ständig verändert. So folgte nach dem Wärmemaximum um 1200 n. Chr., dem mittelalterlichen Klimaoptimum (warm = optimal) bis etwa 1700 die mittelalterliche Kleine Eiszeit. Ist man für diesen Zeitraum noch auf indirekte Klimadaten (Proxidata) angewiesen, so ist die Klimaentwicklung in Mitteleuropa ab 1701 durch Messdaten dokumentiert.

Abb. 1 zeigt das Temperaturverhalten von Mitteleuropa auf der Grundlage 30-jährig gleitender Mittelwerte. Die Linie der Durchschnittstemperatur ($8,8^{\circ}\text{C}$) lässt erkennen, in welchen Perioden es wärmer und in welchen es kälter war als im langfristigen Mittel. Wie der Temperaturverlauf deutlich macht, ist der ständige Klimawandel von Natur aus auch auf kürzeren Zeitskalen das Normale. Mathematisch gesehen lässt sich der grundsätzliche Klimaverlauf durch eine Funktion $F = T(t)$ beschreiben, deren erste zeitliche Ableitung $F' = T'(t)$ das Ausmaß der Klimaänderung zu jedem Zeitpunkt beschreibt.

Globaler Klimawandel und Treibhauseffekt

Abb. 2 zeigt die globale Temperaturentwicklung seit Beginn der globalen Beobachtungsreihe (Brohan et al., 2005) anhand 10-jähriger Mittelwerte. Die globale Erwärmung von 1850 bis 2000 beträgt rund $0,6^{\circ}\text{C}$ (K) und ist unstrittig. Anders ist es bei der Frage nach der primären Ursache des Temperaturanstiegs. Hier zerfällt die Wissenschaft in zwei Lager, und zwar in das große Lager der Treibhaustheoretiker und in eine kleine Gruppe der Treibhauskeptiker. Demokratisch gesehen ist das scheinbar eine klare Angelegenheit.

Beim atmosphärischen Treibhauseffekt handelt es sich um das Verhalten der Luft gegenüber der infraroten (langwelligen) Wärmeausstrahlung der Erde. Die Treibhausgase haben die Eigenschaft, bestimmte Spektralbereiche der terrestrischen Wärmestrahlung zu absorbieren, so dass ein Teil der Wärmeenergie nicht in den Weltraum geht, sondern im System Erde – Atmosphäre bleibt. Das wichtigste Treibhausgas ist der Wasserdampf. Er macht allein mehr als 60% des natürlichen Treibhauseffekts aus. Weitere Treibhausgase sind vor allem Kohlendioxid, Methan und Distickstoffoxid.

Durch die Industrialisierung seit der Mitte des 19. Jahrhunderts und infolge einer rasant angewachsenen Weltbevölkerung erhöht der Mensch die Konzentration der Treibhausgase in der Luft. So hat sich durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe (Kohle, Erdöl, Erdgas) in den letzten 150 Jahren der CO₂-Gehalt von 280 ppm (parts per million) auf 380 ppm, also um rund 35%, erhöht. Ferner haben die intensive Bearbeitung (Düngung) und die Ausdehnung der landwirtschaftlich genutzten Flächen (u. a. der Reisanbauggebiete) sowie die millionenfache Rinder- und Schafhaltung (Wiederkäuer) zu einer Zunahme von Distickstoffoxid und Methan in der Luft geführt. Auch dieser Sachverhalt ist unstrittig. Umstritten ist dagegen, welche Auswirkung die Zunahme der Treibhausgase auf das globale und regionale Klima hat.



Für die vielen Treibhaustheoretiker ist der anthropogene Treibhauseinfluss die primäre Ursache der globalen und regionalen Erwärmung. Die natürlichen Klimaprozesse sollen ihrer Meinung nach nur noch eine untergeordnete Rolle beim Klimawandel spielen. Basierend auf dieser Prämisse und den Hypothesen über das zukünftige Niveau der Treibhausgase fällt die von den Klimamodellen berechnete Erwärmung für die nächsten 100 Jahre je nach Szenario von moderaten 1,5 - 2°C (K) bis zu apokalyptischen globalen Werten von mehr als 6°C (K) aus. Die Eintreffwahrscheinlichkeit der Modellergebnisse beträgt je nach Szenario 65% bis maximal 90%.

In der Statistik gilt eine Eintreffwahrscheinlichkeit unter 90% wegen der großen Irrtumswahrscheinlichkeit als nicht gesichert. Selbst eine Eintreffwahrscheinlichkeit von 90% weist noch eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 10% auf. Erst bei einer statistischen Sicherheit von 95% - 99% oder mehr sind Ergebnisse wegen ihrer geringen Irrtumswahrscheinlichkeit als signifikant bis hochsignifikant anzusehen. Offensichtlich aufgrund dieser Tatsache haben viele Verantwortliche, so auch unsere Bundeskanzlerin, ihre Stellungnahme zum UN-Klimabericht mit den Worten begonnen: "Wenn man den Klimamodellen glauben darf,..". Jedoch gibt es gute Gründe, ihnen nicht zu glauben.

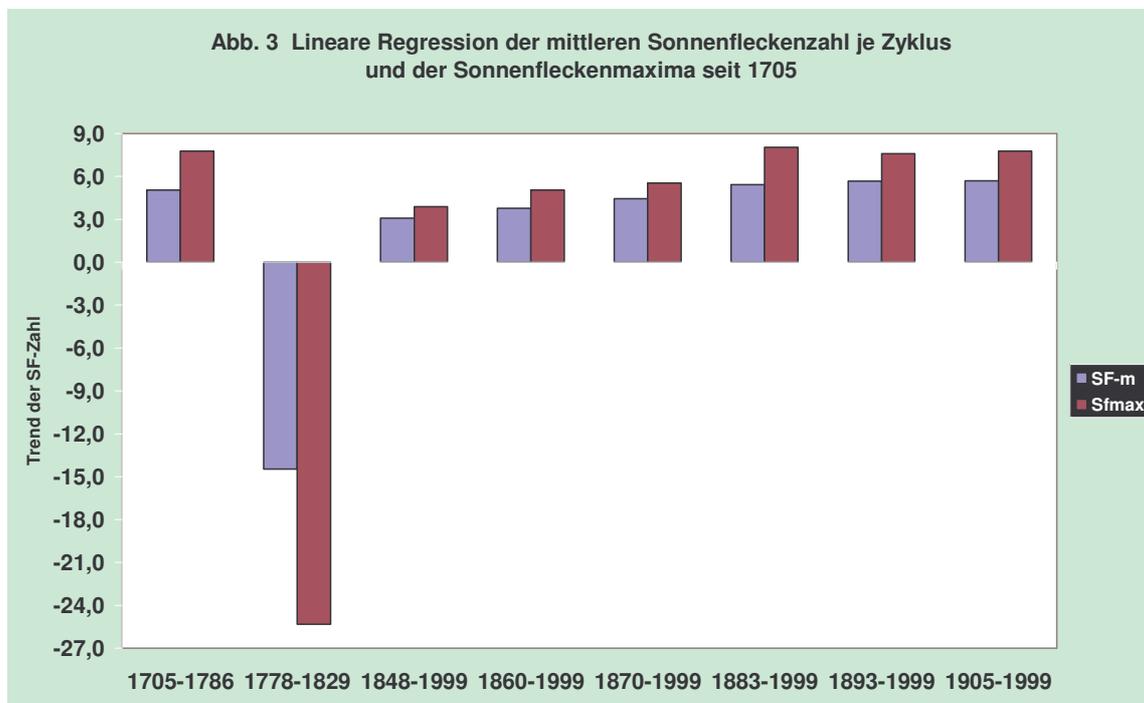
Solare Aktivität und Klimawandel

In Anbetracht eines sich seit Jahrmillionen auf allen Zeitskalen permanent wandelnden Klimas muss man sich fragen, wie realistisch es ist, dass die natürlichen Klimaprozesse bei der globalen Erwärmung im Vergleich zum anthropogenen Treibhauseffekt nur noch eine sekundäre Rolle spielen sollen. Dieses gilt insbesondere für den Einfluss der Sonne.

Ein Indikator für die Veränderungen der solaren Aktivität und damit des solaren Energieflusses zur Erde („Solarkonstante“) sind die Sonnenflecken, also die dunklen Flächen von allgemein 1.000 - 10.000 km Ausdehnung. Erzeugt werden sie durch das sich permanent ändernde solare Magnetfeld. Eine hohe Sonnenfleckenanzahl weist auf eine aktive Sonne mit größerer Ausstrahlung hin, eine niedrige Sonnenfleckenanzahl auf eine ruhige Sonne mit einer geringeren Ausstrahlung. Dabei sind es nicht die Sonnenflecken selber, sondern die synchron mit ihnen auftretenden energieintensiven Sonnenfackeln, die den variablen Strahlungsprozess dominieren. Sonnenflecken sind somit der sichtbare Indikator für die Veränderungen des solaren Energieflusses. Sie werden seit der Erfindung des Fernrohrs im 17. Jahrhundert beobachtet, so dass für Untersuchungen zur solaren Aktivität Daten von mehr als 300 Jahren zur Verfügung stehen.

Dabei zeigt sich, dass die Sonnenfleckenanzahl zum einen kurzperiodisch zu- und abnimmt. Die mittlere Periode beträgt rund 11 Jahre, kann aber im Einzelfalle mehrere Jahre davon abweichen. Einen Einfluss dieses kurzperiodischen solaren Signals auf den Ozongehalt, die Temperatur und die Zirkulation der Stratosphäre haben u. a. K. Labitzke (1997, 2005), U. K. Matthes; U. Langematz, et al. (2003, 2005) gezeigt. Die Ursache dafür ist der zwischen Sonnenfleckenminimum und Maximum im UV-Bereich z. T. um mehr als 10% variierende Energiefluss.

Im bodennahen Klima wird die Änderung des Energieflusses zwischen Sonnenfleckenminimum und Maximum eines einzelnen Zyklus in der Regel nicht erkennbar. Durch die halbperiodische Zu- und Abnahme des integralen Energieflusses von rund 0,1% kann der resultierende Effekt auf das Klima Null oder so gering sein, dass er in der natürlichen Variabilität unseres Klimasystems untergeht.



Jedoch treten neben der kurzperiodischen solaren Schwankung auch langfristige Veränderungen der Sonnenfleckenanzahl und damit des solaren Flusses auf (Hoyt, D. V. und Schatten, K. H., 1997 und Landscheidt, T., 1983). Dabei lassen sich über viele Zyklen anhaltende Trends beobachten. In Abb. 3 sind in Form linearer Regression zum einen die Trends der mittleren Sonnenfleckenanzahl je Zyklus und zum anderen die Trends der Sonnenfleckenmaxima in den letzten 300 Jahren dargestellt. Von 1705 bis 1778 sowie von 1848 bis 1999/2000 sind positive Trends der Sonnenfleckenanzahl pro Zyklus aufgetreten, wobei die solare Aktivität nach 1848 eine zunehmende Tendenz aufweist. Die Zeit zwischen 1778 und 1829 ist dagegen durch einen extrem starken negativen Trend der Sonnenaktivität gekennzeichnet. Die mittleren Sonnenfleckenanzahlen verringerten sich um 14,5, die Maxima um über 25 von einem Zyklus zum nächsten.

Im Gegensatz zur einzelnen 11-jährigen Periode ist mit hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass einer langfristigen Zunahme oder Abnahme der Sonnenfleckenanzahl je Zyklus und damit der solaren Aktivität eine wesentliche klimarelevante Bedeutung zukommt. Auf die Frage, wie groß der solare Anteil am Klimawandel der vergangenen 300 Jahre war, soll die nachfolgende Untersuchung über den Zusammenhang zwi-

schen mittlerer Sonnenfleckenanzahl je Zyklus und Temperaturverhalten Aufschluss geben. Dabei spiegelt, wie gesagt, die mittlere Sonnenfleckenanzahl als Indikator die jeweilige Sonnenaktivität und damit den integralen solaren Energiefluss je Sonnenfleckenzyklus wider.

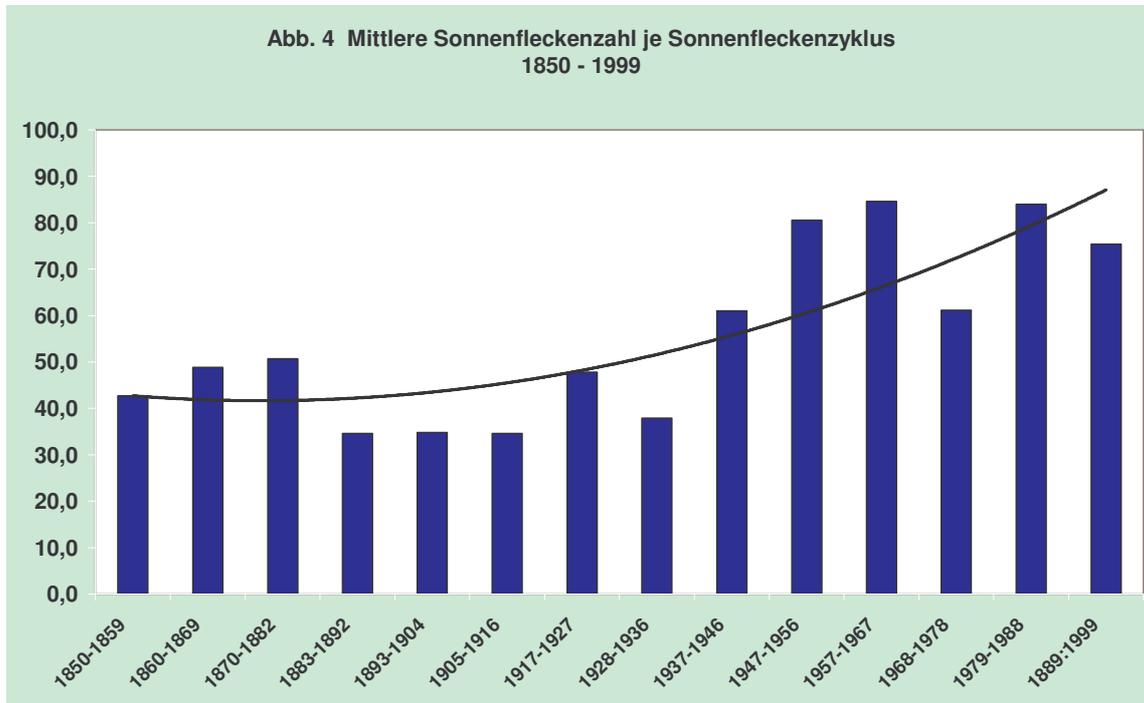


Abb. 4 zeigt die Entwicklung der mittleren Sonnenfleckenanzahl je Zyklus zwischen 1850 und 1999, dem Ende der letzten Sonnenfleckenperiode. Wie man erkennt, hat sich die mittlere Sonnenfleckenanzahl innerhalb der letzten 150 Jahre um fast 100% erhöht. Das aber bedeutet: Die solare Aktivität und damit der solare Energiefluss hat seit dem Beginn der globalen Klimareihe essenziell zugenommen. Vergleicht man diese Entwicklung der mittleren Sonnenfleckenanzahl mit der globalen Temperaturentwicklung seit 1850 (Abb. 2), so ist die grundsätzliche Übereinstimmung unverkennbar. Mit dem Anstieg der mittleren Sonnenfleckenanzahl je Zyklus von 43 auf rund 80 zwischen 1848 und 1999 korrespondiert der beobachtete globale Temperaturanstieg um $0,6^{\circ}\text{C}$ (K).

Wesentlich weiter zurück als die globalen Klimareihen (Jones et al., 1999, Brohan et al., 2005) reichen die Klimabeobachtungen in Mitteleuropa. So wurden die Klimabeobachtungen von Wien und Prag in den 1770er Jahren, die von Basel in den 1750er Jahren und die von Berlin (J. Pelz, 1997) im Jahre 1701 begonnen. Die Mitteltemperatur dieser vier Stationen wird in dieser Untersuchung als „Klimareihe Mitteleuropa“ definiert.

Um den Klimawandel Mitteleuropas ab 1701 untersuchen zu können, wurden für die Periode 1781 - 1840 die mittleren Temperaturdifferenzen zwischen Basel, Prag und Wien zu den 10-jährigen Mitteltemperaturen von Berlin berechnet. Basierend auf der Berliner Temperaturreihe wurde mit den 10-jährigen Abweichungen die Klimareihe Mitteleuropa für die Periode 1701 - 1780 (Prag bis 1786) extrapoliert. Wie die Überprüfung der Reduktionsmethode für den Zeitraum 1841 - 1930 zeigt, lagen die dekadischen Abweichungen zwischen berechneten und beobachteten Mitteltemperaturen in der Regel nur zwischen $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ (absoluter Fehler $+0,06$ K). Folglich vermag die Klimareihe von Mitteleuropa Aufschluss zu geben über den Klimawandel in einem 300-jährigen und damit doppelt so langen Zeitraum wie die globale Klimareihe.

Abb. 5 zeigt die Temperaturentwicklung Mitteleuropas zwischen 1701 und 2000. Wie man sowohl anhand der 10-jährigen Mittelwerte als auch an der geglätteten Temperaturkurve erkennt (s. auch Abb. 1), wurde Mitteleuropa zu Beginn des 18. Jahrhunderts von der letzten Phase der mittelalterlichen Kleinen Eiszeit beherrscht. Im Verlauf des 18. Jahrhunderts stieg die Temperatur an und erreichte ihren Höhepunkt um 1800. Dabei waren die 1790er Jahre, und zwar ohne anthropogenen Treibhauseffekt, nahezu genau so warm wie die 1990er Jahre. Nach 1800 setzte ein rapider Temperaturrückgang ein. Dieser Abkühlung folgte nach 1850 allmählich die derzeit diskutierte Erwärmung.

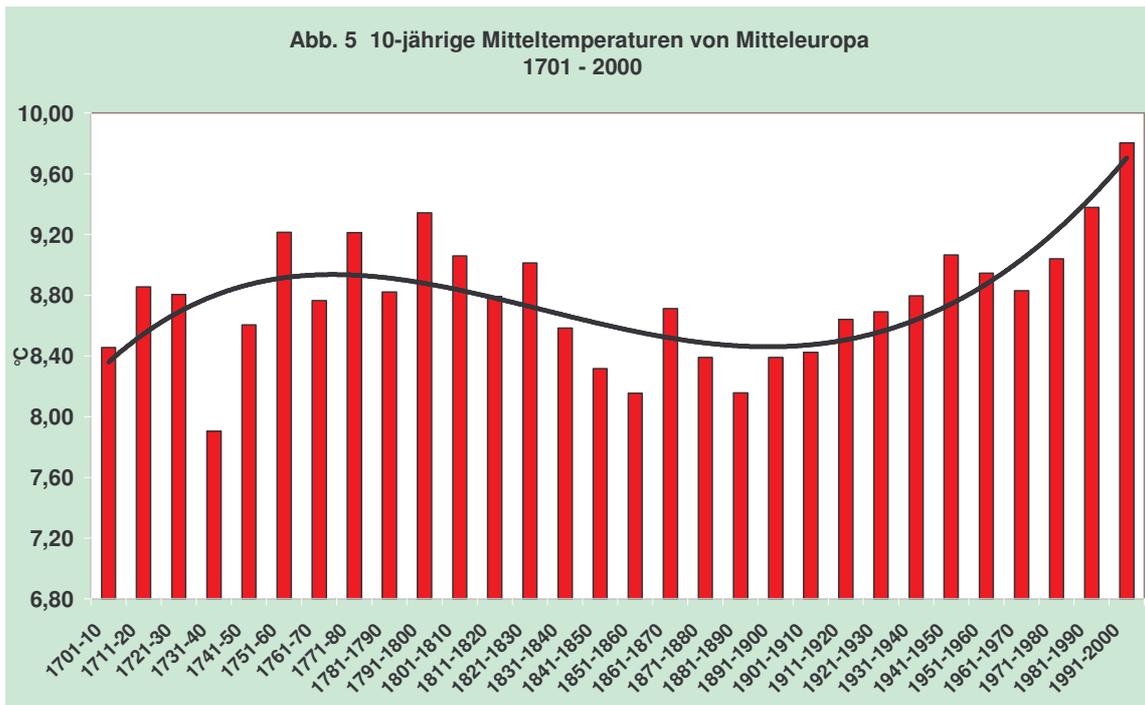
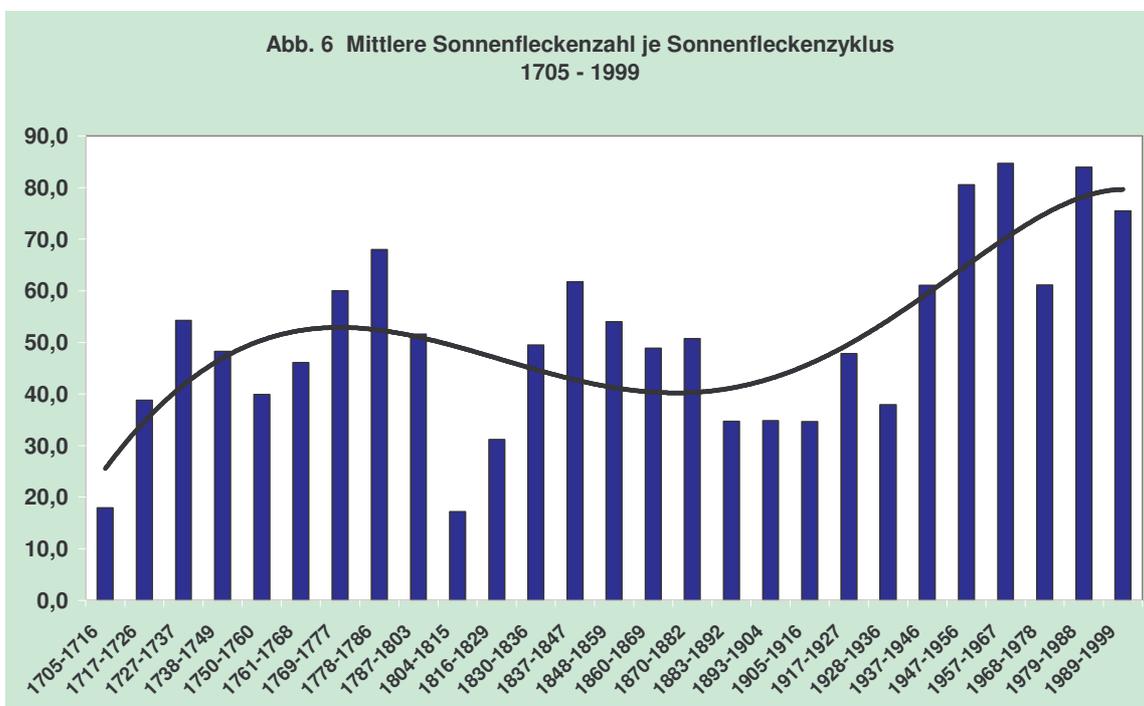


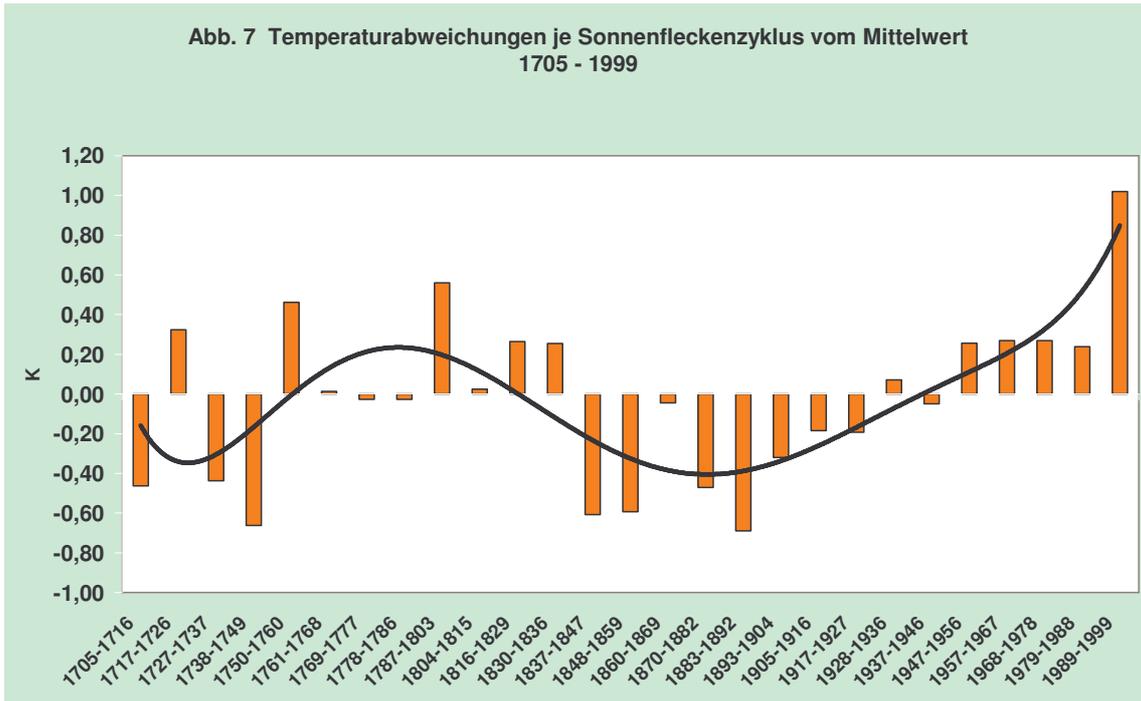
Abb. 6 zeigt die Entwicklung der mittleren Sonnenfleckenanzahl je Zyklus in den letzten 300 Jahren. Zu Beginn des 18. Jahrhunderts lag die mittlere Sonnenfleckenanzahl unter 20. Im Laufe des 18. Jahrhunderts stiegen die Werte je Zyklus bis auf 68 an. Danach gingen sie in relativ kurzer Zeit um über 50% zurück. Dem Minimum des 19. Jahrhunderts folgte ein erneuter Anstieg der solaren Aktivität bis zu den jüngsten Werten von 84 bzw. 75. Das heißt: Die mittlere Sonnenfleckenanzahl der beiden letzten Zyklen ist rund doppelt so groß wie vor 150 Jahren und mehr als viermal so groß wie vor 300 und 180 Jahren. Vergleicht man Abb. 5 und Abb. 6 miteinander, so ist der Zusammenhang von Sonnenfleckenanzahl und Temperatur in den letzten 300 Jahren unverkennbar. Dem solaren Antrieb kommt eine hohe klimarelevante Bedeutung zu.



Fasst man die bisherigen Ergebnisse zusammen, so ergibt sich für die Klimaentwicklung der letzten 300 Jahre folgendes Bild: Nach dem letzten Höhepunkt der mittelalterlichen Kleinen Eiszeit im 17. Jahrhundert, in der in England der Ackerbau zusammengebrochen ist, folgte im 19. Jahrhundert die erste neuzeitliche Kleine Eiszeit. Genau in diese Zeit, also in die lebensfeindlichste Epoche der letzten 250 Jahre, fällt der Beginn der globalen Klimareihe. Alle Angaben zur bisherigen globalen Erwärmung beziehen sich auf diese

Kälteperiode vor 150 Jahren, in der wegen miserabler Ernten Menschen in Mitteleuropa verhungert sind, in der der Weinanbau aus Norddeutschland verschwand und in der Deutsche in Scharen in der Hoffnung auf eine auch klimatisch bessere Zukunft in die Neue Welt auswanderten. Damit sollte einem klar werden, welche glückliche Fügung der Temperaturanstieg seit 1850 ist. Stattdessen wird in der Klimadebatte der Eindruck erweckt, als sei die Erwärmung seit 1850 der erste Teil eines anthropogen verursachten Infernos. Es hieße, die Dinge auf den Kopf zu stellen, würde man das lebensfeindliche Klima des 19. Jahrhunderts als „Normalklima“ ansehen und es zum Maßstab für die weitere Klimaentwicklung machen.

Als weiteres Ergebnis zeigt die Analyse den grundsätzlichen Zusammenhang zwischen den langzeitlichen Änderungen der solaren Aktivität und dem globalen sowie mitteleuropäischen Klimawandel der letzten 150 - 300 Jahre. Dabei sind globale und mitteleuropäische Klimaentwicklungen eng miteinander verbunden, wie für den Zeitraum 1850 - 2000 der Korrelationskoeffizient von 0,9 belegt. Damit dürfte sicher sein, dass die Klimareihe Mitteleuropas auch vor 1850 die prinzipiellen Züge des globalen Klimawandels widerspiegelt.



Die statistische Analyse

Mit der Korrelationsanalyse über den Zusammenhang von Sonnenaktivität und Klimawandel wird untersucht, in welchem Ausmaß die langfristige Variabilität der Sonnenfleckenanzahl und damit des solaren Flusses mit der Variabilität der globalen und mitteleuropäischen Temperatur korrespondiert. Dazu soll zunächst eine anschauliche Betrachtung der Anomalien von Mitteltemperatur und mittlerer Sonnenfleckenanzahl vorgenommen werden, d.h. ihrer Abweichungen je Zyklus vom langfristigen Mittelwert. Auf diese Weise lässt sich erkennen, wann in den letzten 300 Jahren die solare Aktivität unter oder über dem Durchschnitt lag und wann es also kälter oder wärmer als im Mittel war.

Abb. 7 zeigt die Temperaturanomalien der Sonnenfleckenzyklen seit 1705. Die negativen Anomalien zu Beginn des 18. Jahrhunderts charakterisieren das kalte Klima am Ende der mittelalterlichen Kleinen Eiszeit. Im Verlauf des 18. Jahrhunderts erfolgt ein Wechsel zu positiven Anomalien, zu überdurchschnittlichen Temperaturen. Nach 1800 treten bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts über 150 Jahre negative Temperaturanomalien auf. Erst seit etwa sechs Jahrzehnten sind in Mitteleuropa die Temperaturanomalien wieder positiv, ist es wieder wärmer als im Durchschnitt der letzten 300 Jahre.

Abb. 8 zeigt die Anomalien der mittleren Sonnenfleckenanzahl je Sonnenfleckenzyklus seit 1705. Wie die negativen Anomalien zeigen, lag die Sonnenaktivität zu Beginn des 18. Jahrhunderts deutlich unter dem Durchschnitt der letzten 300 Jahre. Diese Tatsache deckt sich mit den Ergebnissen von Eddy (1976), nach denen während des letzten Höhepunkts der Kleinen Eiszeit im späten 17. Jahrhundert nur sehr wenige Sonnenflecken beobachtet worden waren. Wie eine Klimamodellstudie zeigt, führte die „ruhige“ Sonne während dieser Zeit (Maunder-Minimum der solaren Aktivität) zu einer nordhemisphärischen Abkühlung bis zu rund 1°C (A. Claußnitzer, 2003). Im Verlauf des 18. Jahrhunderts erfolgt ein Wechsel von negativen zu positiven Anomalien, also zu einer überdurchschnittlichen Sonnenaktivität. Im 19. und in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts dominieren wieder negative Anomalien. Die Zahl der Sonnenflecken lag wie die Temperatur 150 Jahre unter dem Durchschnitt. Erst seit etwa 1950 sind die Sonnenfleckenanomalien wieder positiv, ist die solare Aktivität wieder höher als der Durchschnitt der letzten 300 Jahre.

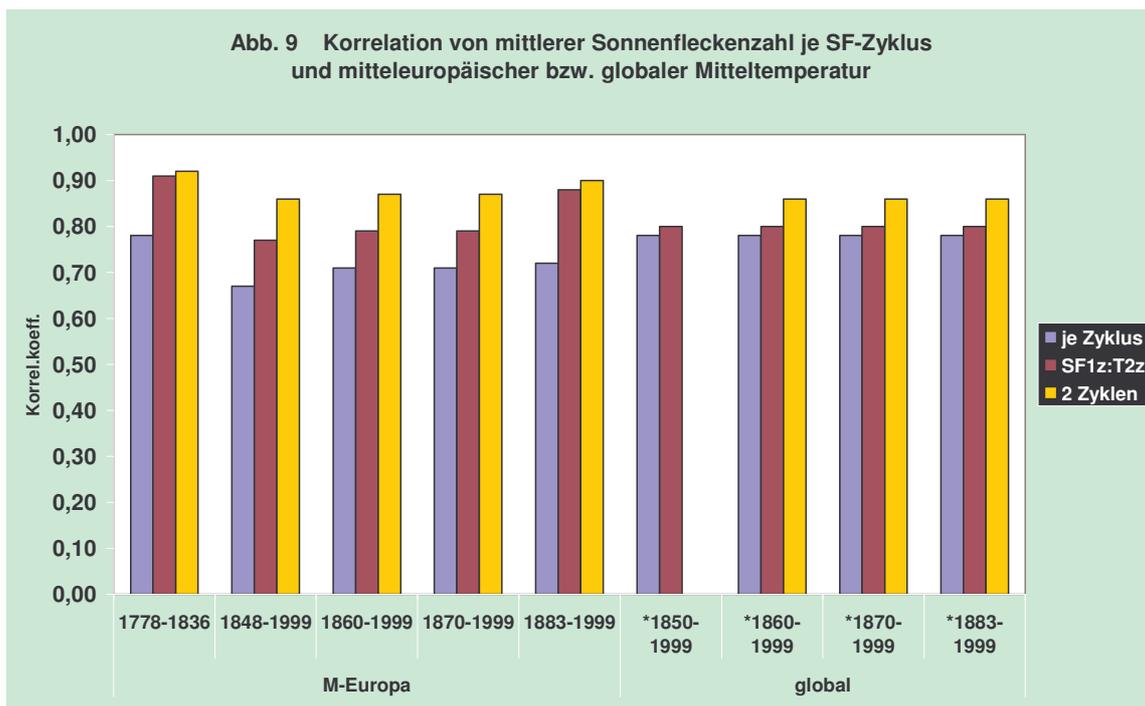
Damit ergibt sich grundsätzlich folgender Zusammenhang: In den Perioden mit unterdurchschnittlichen Sonnenfleckenanzahlen war es in Mitteleuropa kälter als im vieljährigen Mittel, in den Perioden mit überdurchschnittlichen Sonnenfleckenanzahlen war es wärmer als im vieljährigen Durchschnitt. Dieser Zusammenhang gilt auch für die globale Temperaturentwicklung seit 1850.

Die Berechnung der Korrelationskoeffizienten über den Zusammenhang zwischen mittlerer Sonnenfleckenanzahl und Mitteltemperatur wird für Mitteleuropa für die Zeit ab 1778 durchgeführt, d.h. für die Periode mit vollständigen Messdaten an den vier Klimastationen. Für die globale Temperaturentwicklung wird die Zeit ab 1850 (Brohan et al.) bzw. ab 1860 (Jones et al.) untersucht. Die Ergebnisse sind in Abb. 9 dargestellt. Die Berechnung für unterschiedlich lange Intervalle soll zeigen, wie stabil die Korrelationen zeitlich sind. Die Zuverlässigkeit der Korrelationen wird durch das Signifikanzniveau (einseitiger F-Test) festgestellt. Bei der Berechnung der Autokorrelation zeigt sich, dass die Zeitreihe der mittleren Sonnenfleckenanzahl je Zyklus beim 5. Term nahe Null liegt und danach negativ wird.

Bei der ersten Korrelationsanalyse wird die Annahme gemacht, dass sich der solare Energiefluss eines Zyklus nur auf das Temperaturverhalten im selben Zyklus auswirkt. (Abb. 9: je Zyklus). Für die Abkühlungsperiode in Mitteleuropa zwischen 1778 und 1836 folgt bei dieser Annahme ein Korrelationskoeffizient von $+0,78$. Für den nach 1848 beginnenden allmählichen Temperaturanstieg in Mitteleuropa liegen die Korrelationskoeffizienten stabil bei $+0,70$. Für die globale Erwärmung berechnen sich für die vier Zeitintervalle 1850-1999, 1860-1999, 1870-1999, 1883-1999 stabile Korrelationskoeffizienten von $+0,76$ (Brohan et al.) bis $+0,81$ (Jones et al.). Alle Ergebnisse für die mitteleuropäische wie für die globale Erwärmung der letzten 150 Jahre sind auf dem 99%-Niveau hochsignifikant.

Da es sich bei dem solaren Energiefluss aber um einen kontinuierlichen Prozess handelt, und das Klimasystem der Erde ein Trägheitssystem ist, das einige Zeit braucht, um Antriebsänderungen umzusetzen, wird bei der zweiten Analyse von der physikalisch realistischen Annahme ausgegangen, dass der solare Einfluss eines Sonnenfleckenzyklus sich auf die Mitteltemperatur des gleichen und des jeweils nachfolgenden Zyklus auswirkt (Abb. 9: SF1z : T2z). Für die Abkühlungsperiode in Mitteleuropa berechnet sich ein Korrelationskoeffizient von $+0,91$ und für die Erwärmung Mitteleuropas von $+0,77$ bis $+0,79$. Für die beiden globalen Temperaturreihen ab 1850/1860 ergeben sich Korrelationskoeffizienten von $+0,76$ bis $+0,83$. In diesem Fall, in dem auch alle anderen klimarelevanten Prozesse wirksam sind, vermag der solare Effekt somit rund 80% der

Varianz der mitteleuropäischen Abkühlung sowie bis zu 65% bei der globalen und mitteleuropäischen Erwärmung zu erklären. Alle Ergebnisse sind auf dem 99%-Niveau statistisch hochsignifikant.



Bei der dritten Analyse wird versucht, den langfristigen solaren Antrieb von kurzfristigen Klimaprozessen zu trennen. Das Klimasystem der Erde ist ein physikalisch hochkomplexes nichtlineares System, das von externen Einflüssen (Sonne und vulkanismusbedingte atmosphärische Trübung) sowie von internen Einflussgrößen (Atmosphäre, Ozean, Biosphäre, glaziale und Erdbodenverhältnisse) angetrieben wird. Alle internen Prozesse stehen in Wechselwirkung untereinander. Sie reagieren zum einen auf die externen Antriebe und zum anderen agieren und reagieren sie in Form positiver und negativer Rückkopplungen. Die Vielzahl dieser klimarelevanten Prozesse spiegelt sich in der Variabilität des globalen wie regionalen Temperaturverhaltens wider. Wie die unsystematischen jährlichen und dekadischen Temperatursprünge zeigen, wirken viele Prozesse nur auf der kurzfristigen Klimaskala.

Um diese, den generellen Klimaverlauf und solaren Einfluss überlagernden, kurzfristigen und unsystematischen „Störungen“ zu eliminieren und um auf diese Weise den klimarelevanten Einfluss des permanenten solaren Antriebs zu erfassen, wird eine dritte, zyklenübergreifende Analyse durchgeführt, d. h. es wird eine über zwei Zyklen gleitende Mittelwertbildung der Daten vorgenommen. Wie sich zeigt, bleiben alle wesentlichen Strukturen auch erhalten, wenn die Fluktuationen eliminiert werden.

Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse sind in Abb. 9: 2 Zyklen dargestellt. Für die mitteleuropäische Abkühlungsperiode 1778 - 1836 folgt über den Zusammenhang von Sonnenflecken- und Temperaturverhalten ein Korrelationskoeffizient von +0,92. Der solare Einfluss vermag somit mehr als 80% der klimarelevanten Temperaturänderung während der Abkühlungsperiode zu erklären. Für die globale und für die mitteleuropäische Erwärmung in den letzten 150 Jahren folgen stabile Korrelationskoeffizienten von +0,85 bis +0,87. Damit kann der solare Effekt mehr als 70% der Varianz des klimarelevanten langfristigen Temperaturanstiegs seit 1850 erklären. Die Ergebnisse sind auf dem 99,9%-Niveau statistisch hochsignifikant.

Fazit: Der veränderliche solare Energiefluss ist mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit der dominierende Antrieb im Klimasystem der Erde. Seine Abnahme zu Beginn des 19. Jahrhunderts vermag über 80% der lebensfeindlichen Abkühlung Mitteleuropas zu erklären. Die deutlich gesteigerte solare Aktivität nach 1850 vermag mindestens zwei Drittel der mitteleuropäischen und globalen Erwärmung seit 1850 hochsignifikant zu erklären.

Damit folgt: Der Temperaturanstieg in den letzten 150 Jahre kann maximal zu einem Drittel durch den anthropogenen Treibhauseffekt verursacht worden sein. Der anthropogene Treibhauseffekt wird somit in den Klimamodellen des UN-Klimareports 2007 wesentlich überschätzt.

Bei einer globalen Temperaturerhöhung seit 1850 von $+0,6^{\circ}\text{C}$ lassen sich folglich $+0,4^{\circ}\text{C}$ durch den gesteigerten solaren Energiefluss erklären und maximal nur $+0,2^{\circ}\text{C}$ durch den anthropogenen Treibhauseinfluss. Da der CO_2 -Effekt allein zur Zeit rund 50% des anthropogenen Treibhauseffekts ausmacht, folgt: Die CO_2 -Zunahme von 35% in den letzten 150 Jahren kann nur einen Temperatureffekt von $+0,1^{\circ}\text{C}$ an der globalen Erwärmung seit 1850 erklären. Klimamodelle, die den Einfluss der langfristigen Veränderungen der solaren Aktivität unterschätzen, haben a priori einen elementaren Fehler und werden zu keinen zuverlässigen Aussagen über den Klimawandel kommen.

Quo vadis Klima ?

Betrachtet man die grundsätzliche Temperaturentwicklung von der mittelalterlichen Kleinen Eiszeit bis heute, so weist sie unverkennbar einen wellenartigen, sinusförmigen Verlauf auf. Die Wellenlänge beträgt rund 200 Jahre. Synchron dazu zeigt die solare Aktivität das gleiche langfristige Schwingungsverhalten. Bei der periodischen Zu- und Abnahme der solaren Aktivität handelt es sich offensichtlich um den aus der Astrophysik bekannten „De-Vries-Zyklus“, dessen mittlere Periode 210 Jahre beträgt. Die beobachteten Zyklusminima der solaren Aktivität lagen in den letzten 350 Jahren im 17. (Maunder Minimum) und im 19. Jahrhundert (Dalton Minimum). Die Maxima der solaren Aktivität traten um 1800 und 2000 auf. Die Klimaentwicklung seit der mittelalterlichen Kleinen Eiszeit folgt dem solaren De-Vries-Zyklus (u. U. derzeit verstärkt durch den im Mittel 88-jährigen Gleisberg-Zyklus).

Aufgrund dieses Zusammenhangs von periodisch sich ändernder Sonnenaktivität und der Klimaentwicklung in den letzten 300 Jahren muss man folgern: Nach der derzeitigen Wärmeperiode folgt mit hoher Wahrscheinlichkeit entsprechend dem langperiodischen Sonnenverhalten ein weiteres zyklisches Minimum der solaren Aktivität und damit eine dem Treibhauseffekt entgegen wirkende Abkühlung im Verlauf des 21. Jahrhunderts. Die von den Klimamodellen berechnete fortschreitende Erwärmung erscheint vor diesem Hintergrund höchst unwahrscheinlich.

Wie die dramatische Klimaentwicklung zwischen 1661 und 1700 (Zentralenglandreihe) sowie von 1800 bis 1850 (Mitteleuropareihe) zeigt, als die 10-jährigen Mitteltemperaturen in nur vier bzw. fünf Jahrzehnten um $-1,0^{\circ}\text{C}$ (K) sanken, können Abkühlungen abrupt einsetzen und über viele Jahrzehnte das Klima bestimmen.

Als schwerwiegender Fehler könnte sich in der Klimazukunft erweisen, den solaren Einfluss auf den Klimawandel falsch eingeschätzt zu haben. Wir werden uns nach dem periodischen Verhalten der Sonnenaktivität voraussichtlich schneller in einer weiteren Abkühlungsphase befinden als uns lieb ist. Einen ersten Temperatureinbruch gab es in den 1960er/70er Jahren, als die Sonnenfleckenanzahl vorübergehend um 25% zurückging und sich als Folge des verringerten solaren Energieflusses die Nordpolarregion um mehrere $^{\circ}\text{C}$ (K) dramatisch abkühlte. Aus diesem Grund erscheint es dringend geboten, Klimafolgestrategien für den Fall einer raschen Abkühlung zu entwickeln. Allein an eine fortlaufende anthropogen verursachte Erwärmung zu glauben, könnte sich schon in wenigen Jahrzehnten als einäugig erweisen.

Abschließend sei noch auf die Tatsache eingegangen, dass sich die globale und regionale Erwärmung in den letzten Jahren beschleunigt hat. Dieses mit dem anthropogenen Treibhauseinfluss zu begründen, ist durch nichts bewiesen. Zum einen ist die solare Aktivität auf dem höchsten Niveau seit weit über 300 Jahren, und zwar noch um 25 - 30% höher als beim Wärmehöhepunkt der 1790er Jahre. Zum anderen können bei Abkühlungen wie Erwärmungen positive Rückkopplungen mit anderen Klimafaktoren auftreten, was eine Verstärkung des Prozesses zur Folge hat. So wird durch eine globale Erwärmung die mit Eis und Schnee bedeckte Fläche kleiner. Das führt zu einer verminderten Reflexion der Sonnenstrahlung, d.h. zu einer erhöhten Absorption und damit einer sich weiter verstärkenden Erwärmung. Analoges gilt für den Selbstverstärkungsprozess in Abkühlungsperioden, wenn die schnee- und eisbedeckte Fläche anwächst und sich dadurch die globale Albedo erhöht.

Schlussbetrachtungen

Nach den obigen Ergebnissen über die globale wie mitteleuropäische Klimaentwicklung der vergangenen 150 bzw. 300 Jahre wird der anthropogene Treibhauseffekt auf den Klimawandel im UN-Klimabericht 2007 wesentlich überschätzt und in der öffentlichen Darstellung in wissenschaftlich unzulässiger Weise dramatisiert. Unsichere, auf Hypothesen beruhende und im Konjunktiv gemachte Szenarienaussagen werden wie Fakten behandelt. Die daraus resultierende derzeitige Klimahysterie und der unausgegrenzte CO_2 -Aktionismus sind vor dem Hintergrund der bisherigen Klimaentwicklung nicht nachvollziehbar. Nicht der Mensch, sondern die veränderliche Sonnenaktivität ist aufgrund der 300-jährigen Klimadiagnose die treibende Kraft, ist der „global player“ in unserem Klimasystem. So hat zur globalen Erwärmung im Zeitraum

1850-2000 von $+0,6^{\circ}\text{C}$ (K) die CO_2 -Zunahme um 35% lediglich $+0,1^{\circ}\text{C}$ (K) beigetragen. Was aber bedeutet das für die Klimapolitik? Es wäre ein Irrtum, würde man folgern, damit sei der Mensch aller Klimaprobleme enthoben.

Zum einen müssen wir uns, wie alle unsere Vorfahren, auf weitere naturgegebene globale und regionale Klimaänderungen, d.h. auf wärmere und kältere Perioden, einstellen. Mit der Entwicklung entsprechender Strategien gilt es, sich vorausschauend auf verändernde Lebensbedingungen einzustellen. Dabei ausschließlich von einer fortschreitenden Erwärmung auszugehen, erscheint in Anbetracht der langperiodisch sich ändernden Sonnendynamik einäugig. In Abwandlung eines geflügelten Wortes kann man sagen: Die nächste Abkühlung (Kleine Eiszeit) kommt bestimmt. Daran wird der Mensch kaum etwas ändern können.

Die Anstrengungen zur globalen Reduzierung der CO_2 -Emissionen sollten in erster Linie aus energiepolitischen Überlegungen abgeleitet werden. Vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeit erscheint es dringend geboten, den Schutz der Ressourcen um der Ressourcen - und damit unserer Nachkommen - willen zu betreiben. Selbst wenn unsere fossilen Energiereserven noch über 100 Jahre reichen, was sind, abgesehen von ihrer zunehmenden Verknappung/Verteuerung, ein oder zwei Jahrhunderte vor dem Hintergrund der Menschheitsentwicklung. Auch ist zu bedenken, dass der Energiebedarf bei einem Rückgang der Temperatur höher sein wird als bei der „prognostizierten“ Erwärmung.

Vor diesem Hintergrund kommt dem Einsatz regenerativer Energien als Ergänzung zu den konventionellen Energieträgern eine wichtige Rolle zu. Allerdings sollte man auch die Grenzen beim Einsatz erneuerbarer Energien klar erkennen. So stehen z.B. uns in Mitteleuropa in der kalten und dunklen Jahreszeit, wenn der Energiebedarf besonders hoch ist, im Mittel nicht mehr als 10% der Sonnenenergie im Vergleich zu den Sommermonaten zur Verfügung. Entsprechend liefern meine Solarröhren an den vielen trüben Herbst- und Wintertagen bei Kollektortemperaturen unter 20°C nicht einmal genug Wärme für das tägliche Spülwasser.

Last but not least sollte dem regionalen und überregionalen Umweltschutz höchste Priorität eingeräumt werden. Die Reinhaltung von Luft, Wasser und Boden, der Erhalt der Wälder usw. kommen den Menschen unmittelbar zu gute und stellen in der Summe einen effektiven und nachhaltigen Beitrag zum Klima und zur Lebensqualität auf unserem blauen Planeten dar.

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
- Eddy, J.A. „The Maunder Minimum“. *Science* 192. 1976
- 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, Associated University Press, 1983, 301, 302, 304.
- Malberg, H. Beiträge des Instituts für Meteorologie der Freien Universität Berlin
- 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* (2002)
- Die nord- und südhemisphärische Erwärmung seit 1860 und ihr Zusammenhang mit der Sonnenaktivität. *SO 10/03* (2003)
- Der solare Einfluss auf das mitteleuropäische und globale Klima seit 1778 bzw. 1850. *SO 01/07* (2007) – In Memoriam Prof. Richard Scherhag.
- Klimawandel und Klimadiskussion unter der Lupe. *Z. für Nachhaltigkeit* 5. 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
- Pelz, J. Die Berliner Jahresmitteltemperaturen von 1701 bis 1996, Beilage Berl. Wetterkarte, 06/97 (1997)
- Svensmark, H. Cosmic rays and earth`s climate. *Space Science Rev.* 93 (2000)

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 Temperaturreihen basieren auf der Internet-Veröffentlichung des Climate Research Unit, UK. (www.cru.uea.ac.uk/cru/data)

Die Angaben über die Sonnenfleckenzenzahlen entstammen der Internet-Veröffentlichung von NOAA (ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_Data/Sunspot_Numbers/Monthly/)

Die Sonnenfleckenzenzahlen für den Zeitraum 1701-1748 wurden im Rahmen der o.g. Diplomarbeit aus verschiedenen Quellen ermittelt.