

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

36/08

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

ISSN 0177-3984

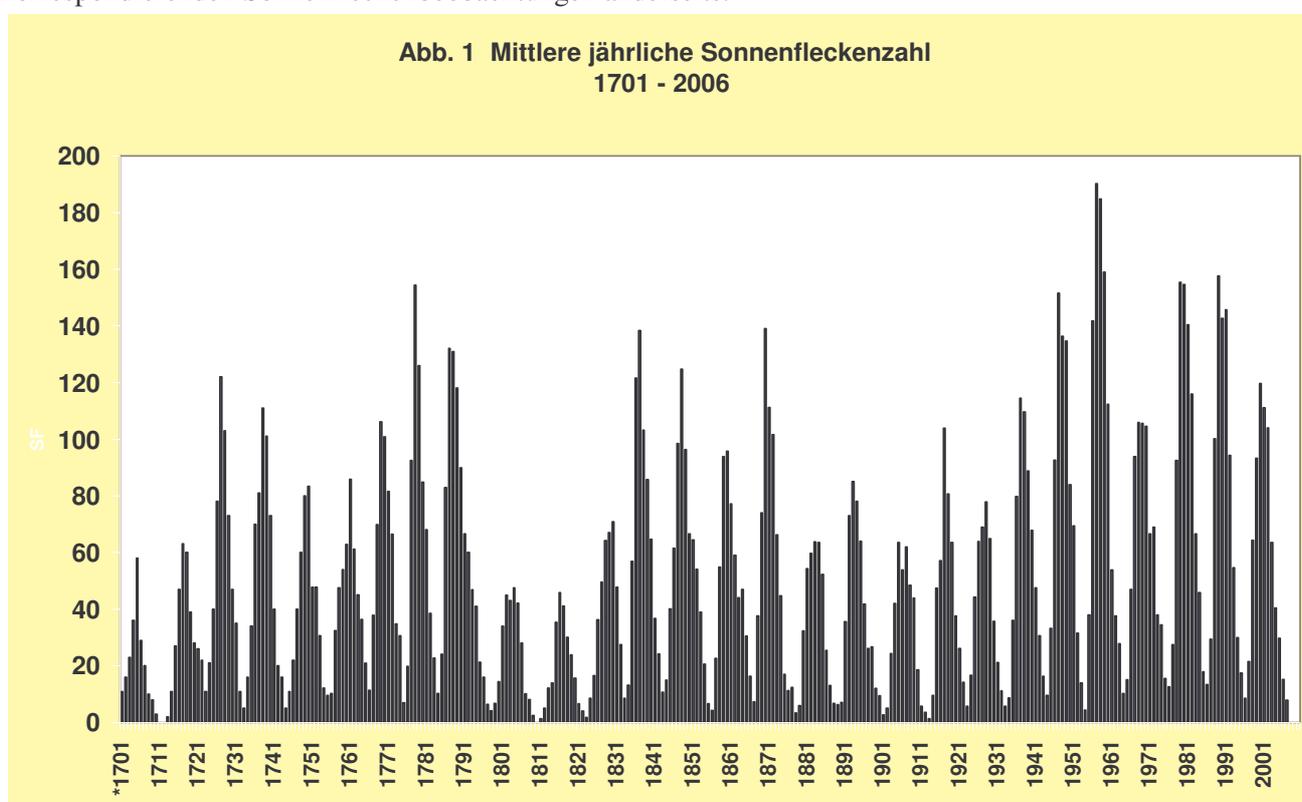
SO 20/08

7.5.2008

Die unruhige Sonne und der Klimawandel

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

In dem Beitrag zur Berliner Wetterkarte SO 29/07 war unter dem Titel „Über den dominierenden solaren Einfluss auf den Klimawandel seit 1701“ eine Analyse der Klimaentwicklung der letzten 300 Jahre im Zusammenhang mit dem langperiodischen solaren Verhalten vorgestellt worden. Die Datenbasis der Analyse waren die Klimabeobachtungen in Mitteleuropa seit 1701 und die globale Temperaturreihe seit 1850 einerseits sowie die korrespondierenden Sonnenfleckenbeobachtungen andererseits.



Die Sonnenflecken, die durch das sich ständig verändernde Magnetfeld der Sonne erzeugt und variiert werden, sind ein Indikator für die solare Aktivität, d.h. deren zeitliche Variabilität. Die o.g. Untersuchung basierte auf dem Ansatz, dass zwischen der mittleren Sonnenfleckenanzahl je Sonnenfleckenzyklus und dem damit korrespondierenden mittleren solaren Energiefluss und der globalen, hemisphärischen und mitteleuropäischen Klimaentwicklung ein signifikanter Zusammenhang besteht. Mittels einer Korrelationsanalyse konnte der Ansatz in vollem Umfang bestätigt werden.

In der folgenden Analyse werden die gleichen Beobachtungsdaten zu Grunde gelegt. Jedoch wird ein anderer Untersuchungsansatz gewählt. An Stelle der mittleren Sonnenfleckenanzahl je Zyklus wird der Zusammenhang zwischen dem globalen, hemisphärischen und mitteleuropäischen Temperaturverlauf der letzten 150–300 Jahre und der Varianz, also der Variabilität der jährlichen Sonnenfleckenanzahl je Sonnenfleckenperiode, untersucht

Die empirische Varianz s^2 ist ein statistisches Maß für die Streubreite einer Größe in einem Beobachtungskollektiv mit n Werten. Die positive Quadratwurzel aus der Varianz ist die empirische Standardabweichung s . Sie ist somit ein Maß für die Variabilität der Beobachtungsgröße. Neben dem Mittelwert stellt sie die wichtigste Maßzahl zur Beschreibung des Verhaltens einer Beobachtungsgröße dar.

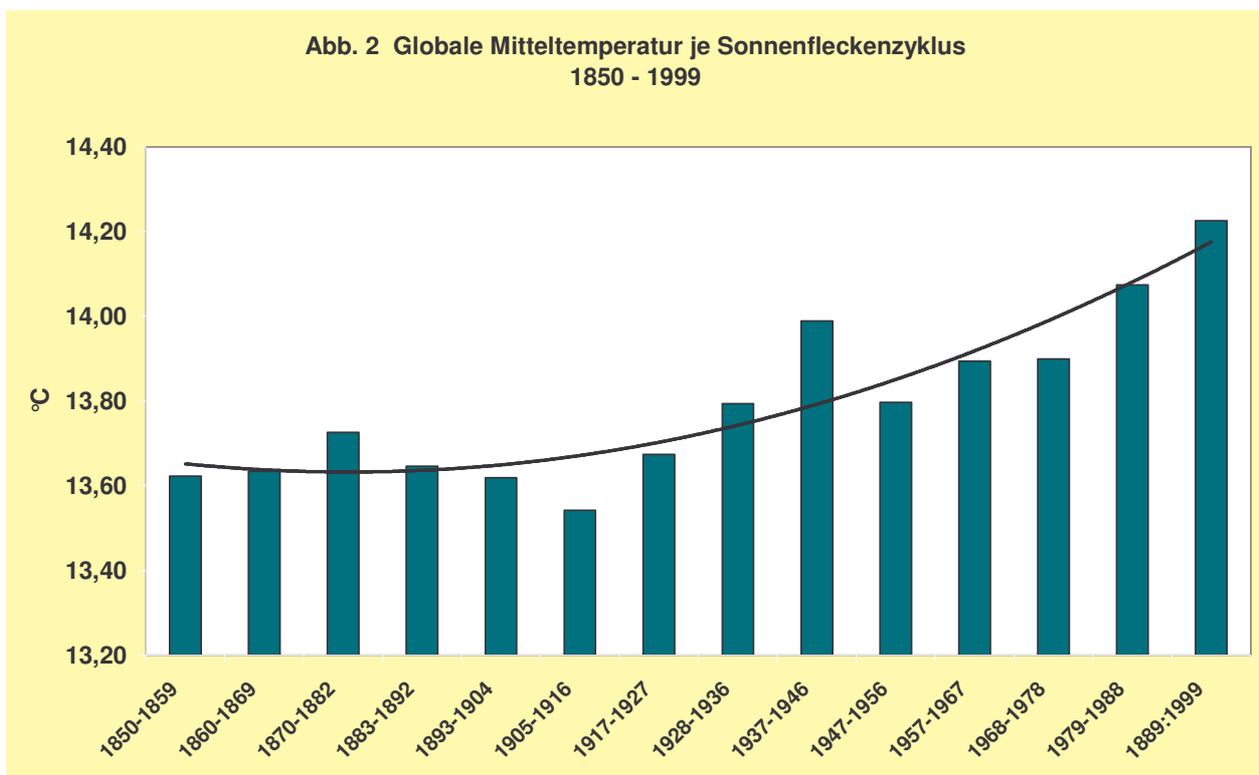
In Abb. 1 sind die mittleren jährlichen Sonnenfleckenanzahlen im Zeitraum 1701–2006 dargestellt. Dabei erkennt man deutlich die Sonnendynamik der vergangenen 300 Jahre. So weisen erstens die Sonnenfleckenzyklen sehr unterschiedliche Periodenlängen zwischen aufeinander folgenden Maxima bzw. Minima auf. Bei einem mittleren Abstand von 11 Jahren schwanken die individuellen Zykluslängen zwischen 8 und 16 Jahren.

Zum zweiten wird deutlich, dass sich die Sonnenfleckenmaxima der einzelnen Zyklen bis zum Faktor 4 unterscheiden. So liegen die Maxima zwischen rund 50 (1804, 1816) und 190 (1957). Auch die Breite der Flügel um die Sonnenfleckenmaxima, also das Intervall der Nebenmaxima, ist verschieden und belegt, dass das Maximum alleine zur Beurteilung der solaren Aktivität eines Zyklus nicht ausreicht.

Drittens sind im Sonnenfleckenverhalten und damit bei der solaren Aktivität langfristige Trends sowie eine übergeordnete wellenartige Struktur zu erkennen. Der Zunahme im 18. Jahrhundert folgt eine Abnahme im 19. Jahrhundert und danach wieder eine Zunahme im 20. Jahrhundert. Damit wird deutlich, dass der Klimaantrieb der Sonne sowohl eine kurz- als auch eine langperiodische Komponente aufweist. Die Umsetzung der solaren Energieflussänderungen erfolgt sowohl thermisch vor allem über den Ozean als auch dynamisch über die großräumige Zirkulation. Dabei kommt der troposphärischen Hadley-Zirkulation zwischen Tropen und Subtropen wie der Brewer-Dobson-Zirkulation, durch die u.a. Ozon von den Tropen in die höheren Breiten transportiert wird, eine wesentliche Rolle zu. Auf Grund dieser Prozesse sind Phasenunterschiede zwischen solarem Antrieb und Klimareaktion zu erwarten.

Die globale Erwärmung

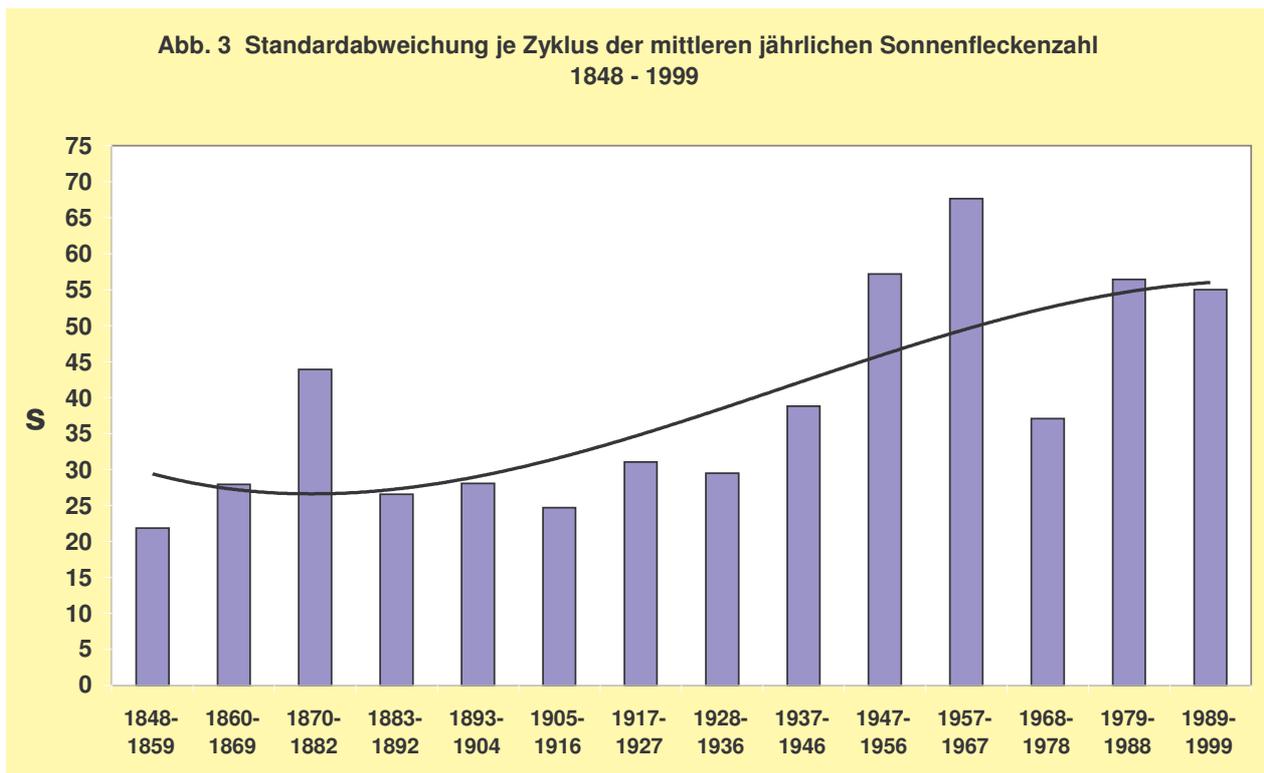
Wie erwähnt, lässt sich die Variabilität der solaren Aktivität innerhalb eines Sonnenfleckenzyklus durch die Standardabweichung s beschreiben. Damit erhebt sich die Frage, ob ein Zusammenhang zwischen der Varianz der Sonnenfleckenperioden und dem globalen/hemisphärischen Temperaturverhalten seit 1850 nachweisbar ist.



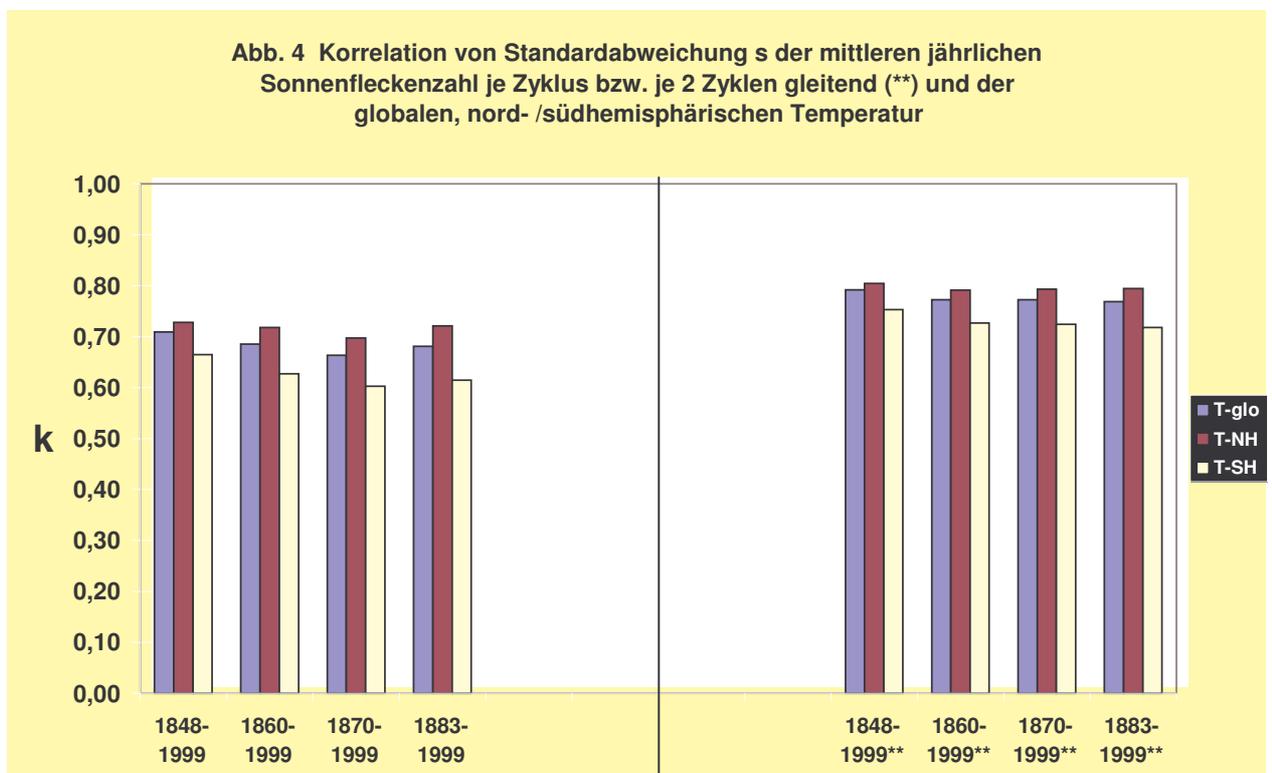
In Abb. 2 ist der Verlauf der globalen Mitteltemperatur bezogen auf die Sonnenfleckenzyklen seit 1850 wiedergegeben. Die globale Erwärmung von 0,6 K im Zeitraum 1850–1999 ist unverkennbar.

In Abb. 3 ist die Variabilität der mittleren jährlichen Sonnenfleckenanzahl der einzelnen Sonnenfleckenperioden anhand der empirischen Standardabweichung s dargestellt. Wie man erkennt, nimmt die Streuung von rund 22 Sonnenflecken zu Beginn der globalen Klimareihe auf Werte von 55 bis 67 in den letzten Sonnenfleckenzyklen zu, d.h. die Variabilität der Sonnenfleckenperioden hat sich synchron zur globalen Erwärmung um den Faktor 2,5 bis 3 erhöht. Die Dynamik der Sonne hat in den letzten 150 Jahren wesentlich zugenommen. Von einem

ruhigen Zustand im 19. Jahrhundert ist die Sonne zu einem unruhigeren im 20. Jahrhundert mit allen Konsequenzen für unser Klima übergegangen.



Vergleicht man den globalen Temperaturverlauf in Abb. 2 mit dem Verhalten der solaren Variabilität in Abb. 3, so ist das grundsätzlich synchrone Verhalten unverkennbar. Dieser optische Eindruck wird durch die Korrelationsanalyse bestätigt.



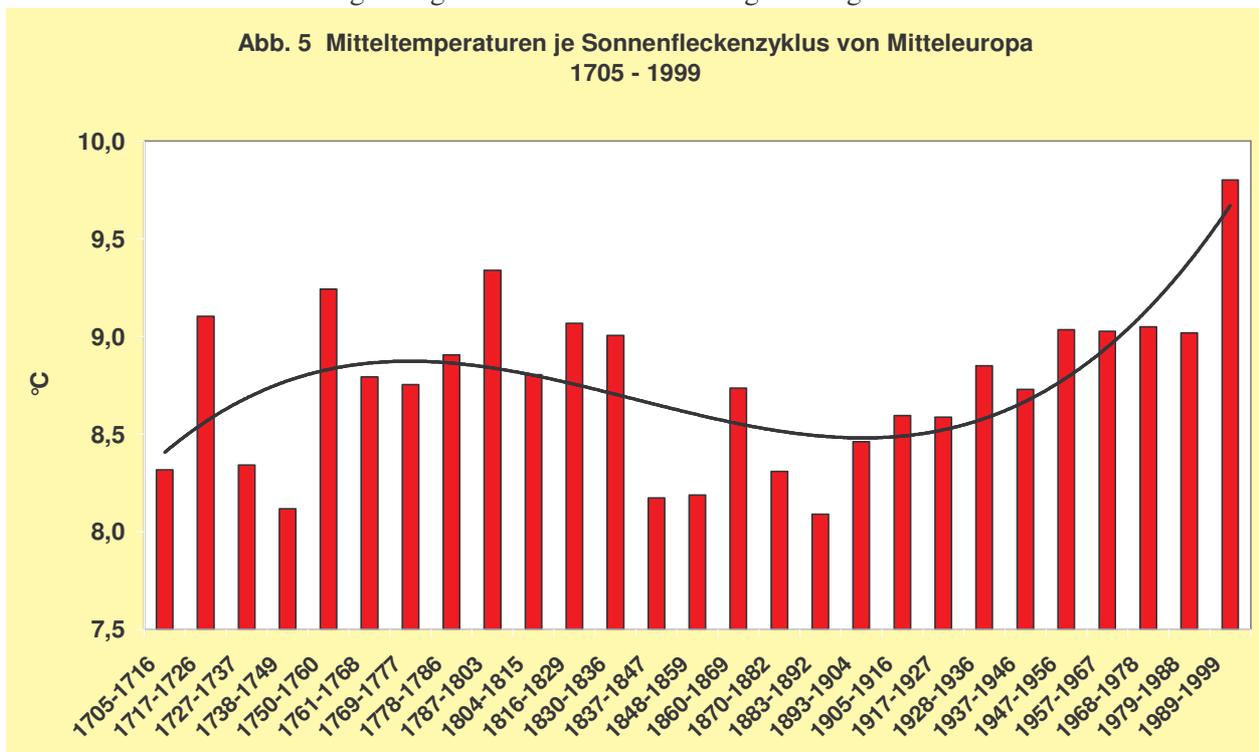
In Abb. 4 sind die Korrelationskoeffizienten über den Zusammenhang zwischen der solaren Varianz und der globalen sowie der nord- und südhemisphärischen Temperaturentwicklung dargestellt. Geht man von der Annahme aus, die solare Aktivität eines Zyklus würde nur das Temperaturverhalten im gleichen Zyklus beeinflussen, so errechnen sich Korrelationskoeffizienten von rund +0,70. Diese sind zeitstabil, gleichgültig ob die Korrelation ab 1848, 1860, 1870 oder 1883 berechnet wird. Das bedeutet: Unter Einbezug aller Klimaantriebe, also

auch der kurzperiodischen wie z.B. El Niño oder Vulkantätigkeit, vermag der solare Einfluss rund 50% des globalen und hemisphärischen Temperaturverhaltens der letzten 150 Jahre zu erklären.

Filtert man durch eine gleitende Mittelbildung die kurzperiodischen Klimaeinflüsse nach Möglichkeit heraus, so liefert die statistische Analyse Korrelationskoeffizienten von rund +0,80. Auch diese erweisen sich als zeitstabil, wie der rechte Teil in Abb. 4 zeigt. Somit vermag die Variabilität der solaren Aktivität rund zwei Drittel des langfristigen globalen und hemisphärischen Temperaturverhaltens zu erklären. Dabei reagiert die Nordhalbkugel wegen ihres großen Festlandanteils offensichtlich direkter als die Südhalbkugel, auf der der thermisch träge Ozean rund 80% der Halbkugel bedeckt.

Die Temperaturentwicklung Mitteleuropas

Wie bereits in dem Beitrag zu Berliner Wetterkarte SO 29/07 ausgeführt, ist die globale Klimareihe so kurz, dass sie nur den Temperaturanstieg der letzten 150 Jahre erfasst, nicht aber den wellenartigen Klimaverlauf der letzten 300–350 Jahre widerspiegelt. Dieses längerfristige Klimaverhalten kommt in der Klimareihe von Mitteleuropa deutlich zum Ausdruck. Da zwischen der Temperaturentwicklung von Mitteleuropa und dem globalen Temperaturanstieg seit 1850 eine Korrelation von +0,9 besteht, werden durch die Mitteleuropareihe auch vor 1850 die wesentlichen Züge der globalen Klimaentwicklung wiedergegeben.

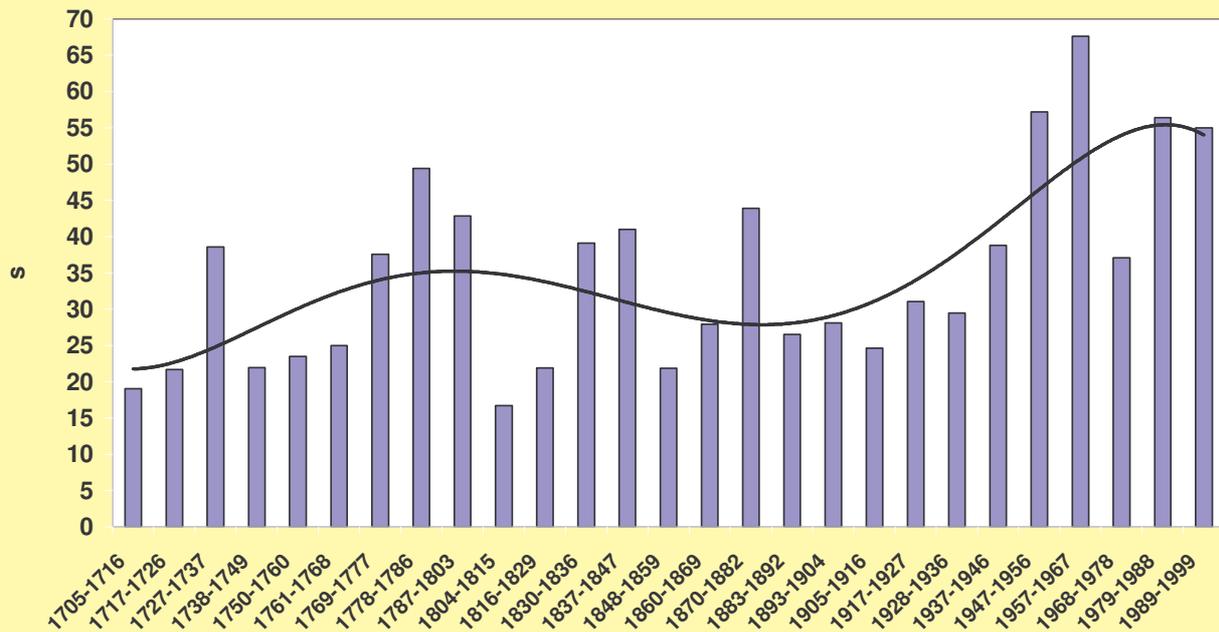


In Abb. 5 ist, bezogen auf die Sonnenfleckenperioden, der Temperaturverlauf Mitteleuropas für den Zeitraum 1705–1999 dargestellt. Zu Beginn des 18. Jahrhunderts lag Mitteleuropa noch unter dem Einfluss der Endphase der Kleinen Eiszeit. Danach stieg die Temperatur an und führte um 1800 zu einem Wärmeoptimum. Hier liegt eindeutig der Schwachpunkt der globalen Klimareihe, denn von dieser vorindustriellen Wärmeperiode, die allein auf natürliche Klimaprozesse zurückgeht, „weiß“ die globale Reihe nichts. Auch den Umstand, dass dem Temperaturanstieg des 18. Jahrhunderts ein drastischer Temperaturrückgang folgte, kennt die globale Reihe nicht. Erst nach dem Ende der Kaltzeit des 19. Jahrhunderts kam es danach im 20. Jahrhundert zu einem erneuten Temperaturanstieg bis auf das heutige Niveau. In Zahlen ausgedrückt heißt das: Von einer Mitteltemperatur von 8,3°C in der Periode 1705-1716 stieg die Temperatur bis 9,3°C im Zyklus 1787-1803, sank in wenigen Jahrzehnten dann bis zum Zyklus 1837-1847 auf 8,2°C ab und stieg erst nach der Periode 1883-1892 auf 9,8°C im letzten Sonnenfleckenzyklus an.

In Abb. 6 sind die Veränderungen der Varianz der jährlichen Sonnenfleckenanzahl anhand der Standardabweichung s für die letzten 300 Jahre wiedergegeben. Deutlich wird die Sonnendynamik anhand der hohen Variabilität sichtbar. Der Zunahme der solaren Variabilität im 18. Jahrhundert folgt eine markante Abnahme im 19. Jahrhundert und eine erneute Zunahme im 20. Jahrhundert.

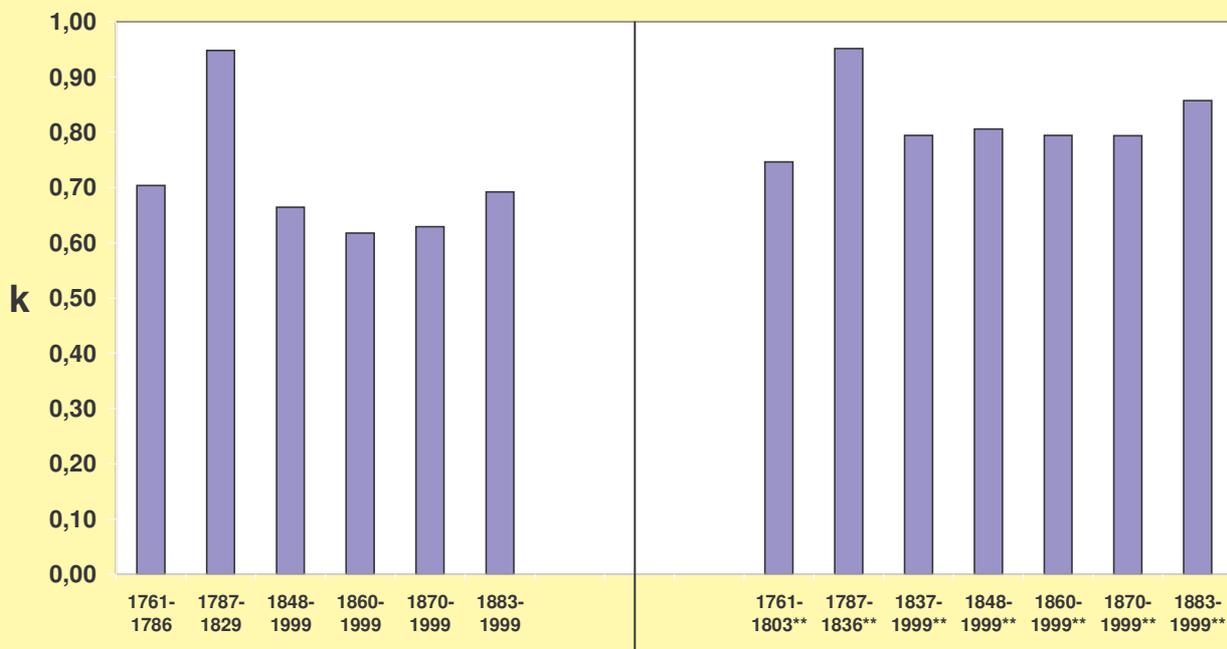
In Zahlen heißt das: Von rund 20 nahm die Standardabweichung der Sonnenfleckenanzahl auf rund 50 um 1800 zu, verringerte sich im 19. Jahrhundert wieder bis rund 20 und stieg danach auf Werte von 55 bis 67 an.

Abb. 6 Standardabweichung s der mittleren jährlichen Sonnenfleckenanzahl je Zyklus: 1705 - 1999



Vergleicht man die Variabilität der solaren Aktivität (Abb. 6) mit dem Klimawandel Mitteleuropas seit 1705 (Abb. 5), so ist das synchrone Verhalten unverkennbar. Zeiten mit einer ruhigen Sonne korrespondieren mit kalten Klimaepochen, Zeiten mit einer unruhigen Sonne weisen ein Wärmeoptimum auf. Das wellenförmige Verhalten der solaren Varianz spiegelt sich deutlich im Temperaturverlauf der letzten 300 Jahre wider.

Abb. 7 Korrelation von Standardabweichung der Sonnenfleckenanzahl je Zyklus bzw. je 2 Zyklen gleitend () und der Temperaturentwicklung Mitteleuropas: 1761 - 1999**



Um den optischen Zusammenhang zwischen der solaren Variabilität und der Temperaturentwicklung zu quantifizieren, wurde - wie bei der Betrachtung der globalen Verhältnisse - eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Das Resultat ist in Abb. 7 wiedergegeben.

Den Ergebnissen im linken Teil von Abb. 7 liegt wiederum die Annahme zu Grunde, dass sich die Variabilität jeder Sonnenfleckenperiode nur auf das Temperaturverhalten im selben Zeitraum auswirkt. Dieses ist sicherlich insofern eine einschränkende Betrachtungsweise, als es sich bei dem solaren Fluss zum einen um einen konti-

nuierlichen Vorgang handelt und zum anderen die kurzperiodischen Klimaprozesse im Temperaturverhalten stärker in Erscheinung treten. Dieses gilt insbesondere für den Einfluss der hochfrequenten Nordatlantischen Oszillation (NAO), also der Luftdruckschaukel zwischen Subtropen (Azorenhoch) und Polarregion (Islandtief), auf die Winter Mitteleuropas.

Unter diesen Bedingungen folgt für die Erwärmungsperiode 1761-1786 ein Korrelationskoeffizient von +0,70. Für die Zeit des Dalton-Minimums der solaren Aktivität (1787-1829) mit der korrespondierenden markanten Abkühlung ergibt sich ein Korrelationskoeffizient zwischen solarer Variabilität und Temperatur von +0,95, was einer erklärten Varianz von über 90% entspricht. Das heißt: Bei der hohen Intensität des solar bedingten Temperaturrückgangs spielen die anderen klimarelevanten Prozesse nur eine untergeordnete Rolle. Für die Erwärmungsphase ab 1848 berechnen sich Korrelationskoeffizienten bis +0,70. Offensichtlich treten bei den wesentlich langsamer verlaufenden Erwärmungen die kurzperiodisch wirkenden klimavariierenden Einflüsse stärker in Erscheinung.

Filtert man die sekundären, unsystematischen, kurzperiodischen Klimaantriebe durch eine gleitende Mittelbildung in Näherung heraus und korreliert sodann die solare Varianz je Zyklus mit der mitteleuropäischen Temperaturentwicklung, so erhält man die in Abb. 7, rechts, dargestellten Ergebnisse. Für die Erwärmungsphase 1761-1803 berechnet sich ein Korrelationskoeffizient von +0,75. Die markante Abkühlung im Zusammenhang mit dem Dalton-Minimum der solaren Aktivität weist wiederum einen Korrelationskoeffizienten von +0,95 auf. Für den nachfolgenden Temperaturanstieg Mitteleuropas bis 1999 ergeben sich Korrelationen mit der solaren Variabilität von +0,79 bis +0,86. Damit vermögen die langfristigen Veränderungen der solaren Varianz rund zwei Drittel der langsam verlaufenden Erwärmung Mitteleuropas in den letzten 150 Jahren und mehr als 90 % der katastrophalen Abkühlung nach 1800 zu erklären. So sei in diesem Zusammenhang erwähnt, dass in der Kälteperiode um 1850 in Deutschland wegen der Mißernten Menschen verhungert sind und dass zu dieser Zeit die große Auswanderungswelle in die USA einsetzte. Die globale Temperaturreihe beginnt genau an diesem Tiefpunkt in der jüngeren Klimageschichte, und die Erwärmung seither sollte als Segen und nicht als Katastrophe begriffen werden.

Zusammenfassung

Die Korrelationsanalyse über den Zusammenhang zwischen der Varianz der Sonnenflecken, d.h. der solaren Variabilität, und der globalen/ hemisphärischen Erwärmung seit 1850 bzw. den Klimaschwankungen Mitteleuropas der letzten 300 Jahre belegt den hohen solaren Einfluss auf das Klimasystem der Erde. Die Ergebnisse bestätigen in vollem Umfang die früheren Untersuchungen. Der anthropogen beeinflusste Treibhauseffekt der Erde wird danach offensichtlich im IPCC- Report im Vergleich zum langfristigen solaren Antrieb wesentlich überschätzt. Aus diesem Grund können auch derzeitige ungewöhnliche Witterungserscheinungen nicht mit dem anthropogenen Einfluss in Verbindung gebracht werden.

Der Einwand, die solaren Energieflussänderungen reichten alleine nicht aus, um den Klimawandel zu erklären, verkennt zwei Sachverhalte. Zum einen sind bei der solar verursachten Erwärmung die gleichen Rückkopplungseffekte in Bezug auf Wasserdampfzunahme in der Luft, Wolkenbildung und Schnee-Eis-Albedo wirksam wie bei einer treibhausbedingten Erwärmung (s. Beitrag zur Berliner Wetterkarte SO 02/08). Zum anderen handelt es sich bei dem solaren Effekt um einen über viele Zyklen ablaufenden, akkumulativ sich verstärkenden und rhythmisch angestoßenen Prozess. Dieses langfristige Wirken der Sonne wird bei der solaren Varianz ebenso wie bei der Zu- und Abnahme der mittleren Sonnenfleckenanzahl je Zyklus über die letzten Jahrhunderte deutlich.

Ein weiterer Einwand ist, dass die Untersuchungsergebnisse (noch) nicht international veröffentlicht seien. Zum einen ist dazu anzumerken, dass die Ergebnisse dadurch keine anderen werden. Der grundsätzliche Zusammenhang zwischen der solaren Aktivität und dem Klimawandel der letzten Jahrhunderte ist so offenkundig, dass er problemlos nachvollzogen werden kann. Natürlich vermag eine statistische Untersuchung nicht alle Fragen zu beantworten, da sie in der Regel die physikalischen Prozesse integral erfasst, wie z.B. den direkten solaren Effekt inklusiv der damit verbundenen Rückkopplungen. Das aber ändert nichts an den Zusammenhängen und den grundlegenden solaren Auswirkungen auf unser komplexes Klimasystem.

Zum anderen möchte ich in diesem Zusammenhang auf die Modellstudie deutscher Klimaforschungsinstitute für das BMBF „Herausforderung Klimawandel“ (2004) hinweisen, in der es wörtlich heißt: „Nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand müssen wir davon ausgehen, dass die Klimaänderung des letzten Jahrhunderts sowohl durch natürliche Faktoren als auch durch den Menschen verursacht worden ist. Während der letzten drei Jahrzehnte wird vermutlich der Beitrag des Menschen sogar dominant gewesen sein.“ Als natürliche Ursachen werden Änderungen des solaren Energieflusses und geringe Vulkantätigkeit genannt.

Die in der Studie vermutete Dominanz des anthropogenen Einflusses in den letzten Jahrzehnten lässt sich nach meinem Beitrag zur Berliner Wetterkarte SO 34/07 nicht bestätigen, eher das Gegenteil. Ansonsten gibt es keinen Widerspruch zwischen meinen Klimaanalysen und der Modellaussage. Und wenn betont wird, der menschliche Einfluss könnte in den letzten Jahrzehnten sogar dominant gewesen sein, so heißt das doch wohl, dass er es bis zu diesem Zeitpunkt nicht war. In diesem Kontext muss man sich fragen, warum diese Modellstudie in der Diskussion nach Veröffentlichung des IPCC-Berichts so wenig Aufmerksamkeit gefunden hat.

Hingewiesen sei auch auf einen Artikel der US-Wissenschaftler N. Scafetta und B.J. West mit dem Titel „Is Climate Sensitive to Solar Variability“ in „Physics today“ (März 2008). Unter „Conclusions“ heißt es wörtlich: „The non-equilibrium thermodynamic models we used suggest that the Sun is influencing climate significantly more than the IPCC report claims. If climate is as sensitive to solar changes as the above phenomenological findings suggest, the current anthropogenic contribution to global warming is significantly overestimated. We estimate that the Sun could account for as much as 69% of the increasing Earth's temperature, depending on the TSI reconstruction used.“

Schlußbetrachtungen

Sowohl die früheren Untersuchungen als auch die hier durchgeführte Betrachtung über den Zusammenhang zwischen der solaren Variabilität und der globalen und hemisphärischen Erwärmung seit 1850 bzw. der mitteleuropäischen Temperaturentwicklung der letzten 300 Jahre weisen signifikant auf den dominierenden solaren Einfluss hin. Der real existierende anthropogene Treibhauseinfluss wird auch nach diesen Untersuchungsergebnissen in den Klimamodellen derzeit noch überschätzt. In Bezug auf den langfristigen solaren Antrieb spielt er mit hoher Wahrscheinlichkeit nur eine modifizierende Rolle.

Für die Klimazukunft dürfte dem langfristigen solaren Schwingungsverhalten eine essentielle Rolle zukommen. Betrachtet man die jüngere Klimavergangenheit seit dem letzten Höhepunkt der Kleinen Eiszeit, so wird deutlich: Der Kaltzeit zum Maunder-Minimum der solaren Aktivität nach 1650 folgte rund 200 Jahre später die mit dem Dalton-Minimum der Sonnenaktivität verbundene Kaltzeit des 19. Jahrhunderts. Wärmeperioden waren mit den Phasen erhöhter solarer Variabilität um 1800 und um 2000 verbunden. Dieses zyklische Verhalten entspricht dem rund 210-jährigen De-Vries-Zyklus, der durch Überlagerung mit dem rund 90-jährigen Gleissberg-Zyklus der solaren Aktivität periodenartig noch intensiviert werden kann.

Nach Berechnungen von Sonnenphysikern der NASA (<http://www.spaceandscience.net/id16.html>) besteht eine große Wahrscheinlichkeit, dass - entsprechend dem aufgezeigten langperiodischen solaren Verhalten - die solare Aktivität und damit der solare Energiefluss in den kommenden Sonnenfleckenzyklen nachhaltig zurück gehen wird. Was das bedeutet, haben wir an dem plötzlichen 20%-tigen Rückgang der Sonnenfleckenzahlen der 1960/70er Jahre erlebt. In der Nordpolarregion kam es dabei zu einer drastischen Abkühlung. Die winterliche Eisdecke auf dem Atlantik breitete sich so weit südwärts aus, dass die Eisbären zu Fuß zwischen Grönland und Island hätten wandern können. In internationalen Symposien haben wir damals die Frage diskutiert, ob das der Beginn einer neuzeitlichen Kleinen Eiszeit sei. In den 1980er Jahren stiegen jedoch die Sonnenfleckenzahlen wieder um 20 % an und damit auch die Temperatur.

Es könnte fatale Folgen haben, nur von einer fortschreitenden treibhausbedingten Erwärmung auszugehen. In der Menschheitsgeschichte waren es immer die Kaltzeiten, die dem Menschen große Probleme bereitet haben. Dabei lagen die Bevölkerungszahlen noch weit unter den heutigen bzw. zukünftigen. Aus diesem Grund ist den Schlussfolgerungen in den früheren Beiträgen zur Berliner Wetterkarte nichts hinzuzufügen.

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
- 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)
- Scafetta; N. and B.J. West: Is Climate Sensitive to Solar Variability. *Physics today*. (2008)
- Svensmark, H. - Cosmic rays and earth`s climate. *Space Science Rev.* 93 (2000)
 - Cosmic Climatology – A new theory emerges. *A&G*, Vol. 48 (2007)
- Svensmark, H., Fris-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 Temperaturreihen basieren auf der Internet-Veröffentlichung des Climatic Research Unit, UK. (www.cru.uea.ac.uk/cru/data)

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

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