

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 6-10165 Berlin
21/10 <http://www.Berliner-Wetterkarte.de> ISSN 0177-3984
SO 11/10 10.3.2010

Rekonstruktion des Klimawandels seit 1860 bzw. 1672 aufgrund solarer Aktivitätsänderungen

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

In mehreren Beiträgen zur Berliner Wetterkarte waren in den vergangenen Jahren Analysen des Klimawandels auf den verschiedenen räumlichen und zeitlichen Klimaskalen vorgestellt worden. Die empirischen Untersuchungen umfassten einerseits die globale und hemisphärischen sowie die regionale und lokale Klimaskala. Andererseits wurden je nach Länge der homogenen Klimareihen Zeiträume zwischen 140 und 330 Jahren betrachtet.

Wie die Untersuchung des Klimaverhaltens deutlich gemacht hat, ist es erforderlich, zwischen kurzperiodischen Klimafluktuationen und langfristigen Klimaschwankungen, also dem Klimawandel, zu unterscheiden. Die kurzperiodischen Klimaeinflüsse, wie z.B. ein regelmäßiger (trendfreier) Wechsel von El Niño und La Niña im tropischen Pazifik oder der sporadische Ausbruch von Vulkanen, haben für Mensch und Natur zwar kurzfristige Witterungsanomalien, aber keine nachhaltigen Klimaauswirkungen zur Folge. Anders ist es bei den langfristigen Klimaantrieben, zu denen der solare Einfluss, der anthropogene Treibhauseffekt, aber auch längere Trends der ENSO-Warmphasen (El Niño) bzw. ENSO-Kaltphasen (La Niña) gehören. Langfristige Klimaantriebe sind die Ursache für anhaltende Kälte- bzw. Wärmeperioden mit den entsprechenden Konsequenzen für Mensch und Natur.

Die Klimaanalysen auf allen räumlichen wie zeitlichen Klimaskalen haben gezeigt, dass beim langfristigen Klimawandel die Sonne der dominierende Klimafaktor ist und dass dem anthropogenen Treibhaus-/CO₂-Effekt nur eine untergeordnete Rolle zukommen kann.

Im Sinne dieser Ergebnisse muss es folglich möglich sein, die Grundzüge des langfristigen Klimawandels der vergangenen Jahrhunderte in Abhängigkeit von der veränderten Sonnenaktivität zu rekonstruieren.

Einen mathematischen Ansatz dazu bietet die (lineare) Methode der kleinsten quadratischen Abweichung. Dabei werden nur die beobachteten Mitteltemperaturen und die mittleren Sonnenfleckenanzahlen der definierten Klimaperioden benötigt. Im Sinne der Klimadefinition der WMO werden Periodenlängen von rund 30 Jahren, d.h. von 3 Sonnenfleckenzyklen (im Mittel 33 Jahre), betrachtet. Für jede Klimaperiode wird nach der Methode der kleinsten quadratischen Abweichung die beobachtete Mitteltemperatur durch einen berechneten Temperaturwert in Abhängigkeit von der mittleren Sonnenfleckenanzahl approximiert.

Ist $y = T(SF)$, so gilt:

$$y = x_0 + x_1 * SF_i,$$

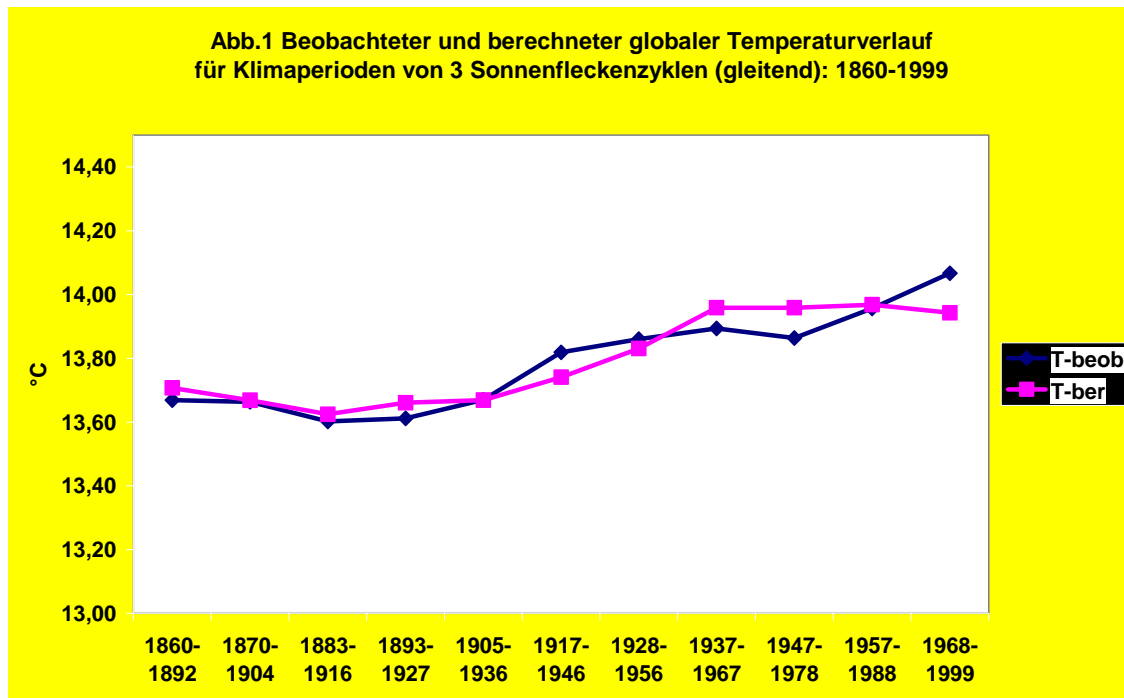
d.h. die berechnete Mitteltemperatur der Klimaperioden ist nur eine Funktion der Sonnenfleckenanzahl SF. Der Schnittpunkt x_0 der Geraden mit der y-Achse folgt aus: $x_0 = T_m - x_1 * SF_m$ und der Anstieg x_1 der Geraden aus:

$$x_1 = \frac{\text{Summe}(SF_i \text{ anom} * T_i \text{ anom})}{\text{Summe}(SF_i \text{ anom})^2}.$$

Die Anomalien (anom) sind die Abweichung der Einzelperioden vom Mittelwert über alle Perioden.

Ergebnisse

Die Antwort auf die Frage, in welchem Umfang sich die Grundzüge des Klimawandels der letzten Jahrhunderte allein anhand der veränderten Sonnenaktivität rekonstruieren lassen, soll für die globale/hemisphärische, die regionale und die lokale Klimaskala gegeben werden.



In **Abb.1** sind für den Zeitraum 1860 - 1999 die beobachtete und die nach der Methode der kleinsten quadratischen Abweichung berechnete globale Temperaturentwicklung wiedergegeben. Die grundsätzliche Übereinstimmung ist unverkennbar. Die mittlere Abweichung zwischen beobachteten und berechneten Werten beträgt $+0,005^{\circ}\text{C}$, die mittlere absolute Abweichung $+0,05^{\circ}\text{C}$ und liegt damit im hundertstel $^{\circ}\text{C}$ -Bereich.

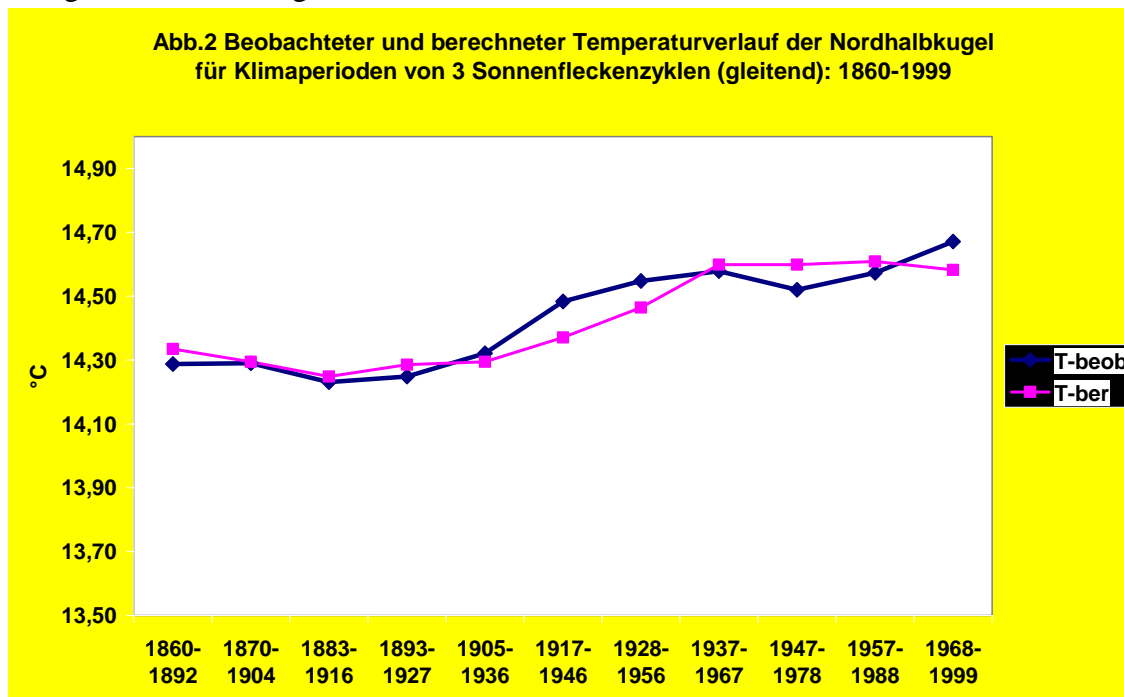
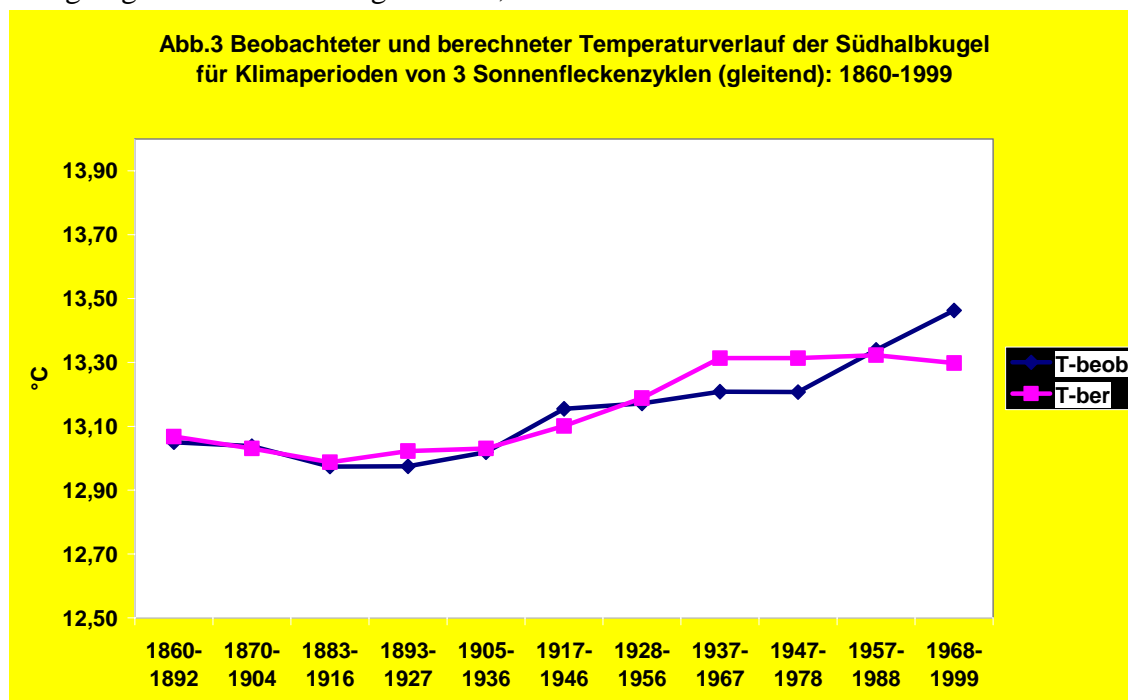
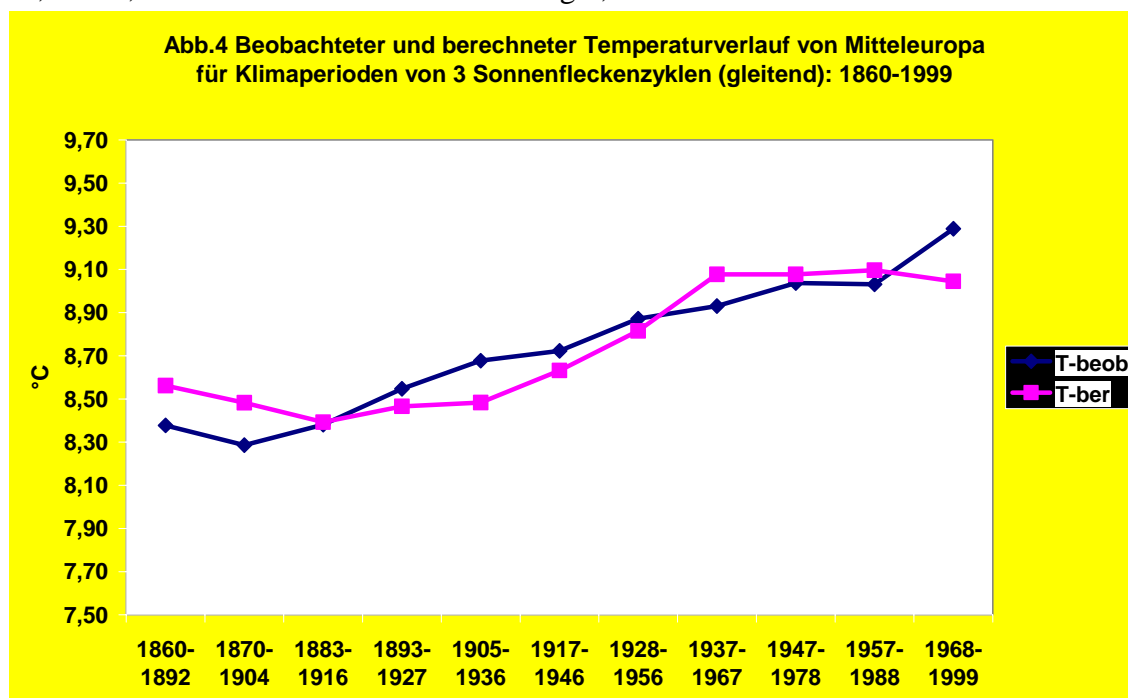


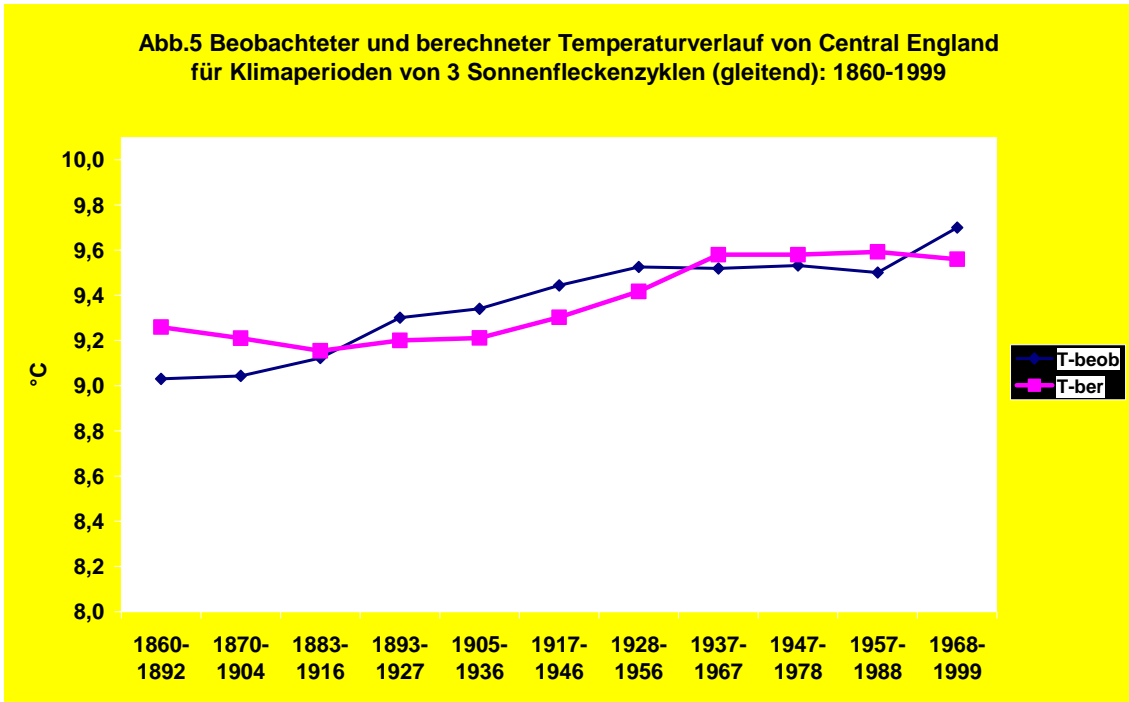
Abb.2 gibt den beobachteten und den berechneten Temperaturverlauf für die Nordhalbkugel, **Abb. 3** für die Südhalbkugel wieder. Die mittlere Abweichung zwischen den beobachteten

und den berechneten Werten beträgt $0,006^{\circ}\text{C}$ bzw. $0,007^{\circ}\text{C}$. Die mittlere absolute Abweichung liegt für beide Halbkugeln bei $0,05^{\circ}\text{C}$.

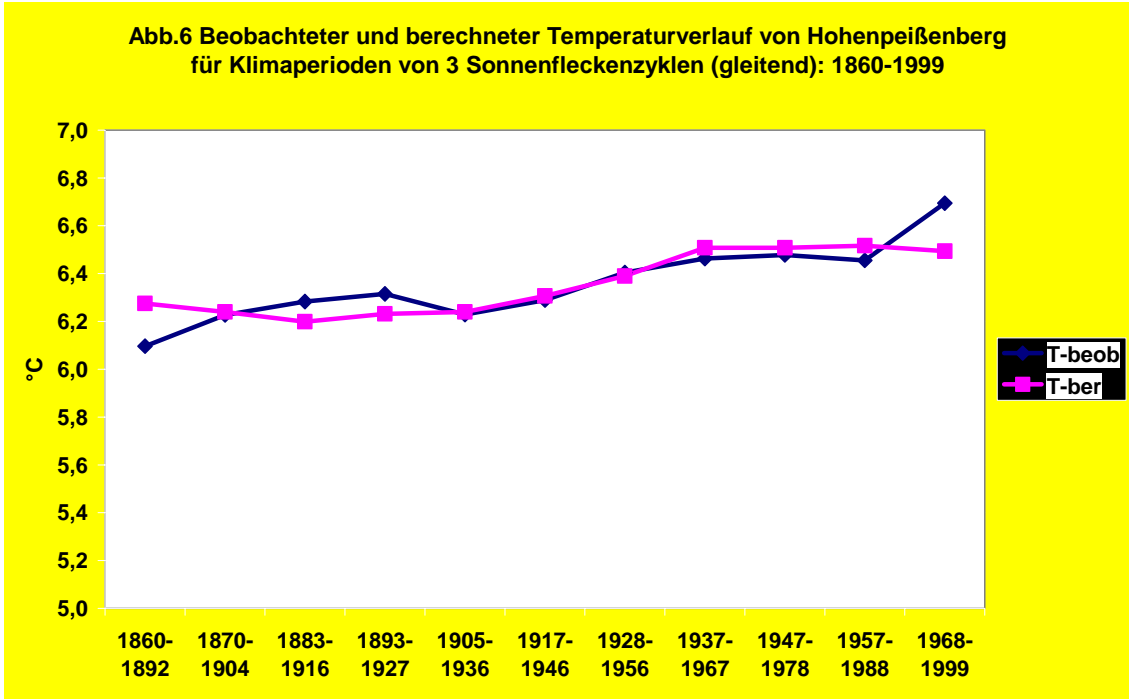


In **Abb.4** sind die beobachtete und die berechnete regionale Temperaturentwicklung von Mitteleuropa dargestellt, d.h. für ein ozeanisch-kontinentales Übergangsklima. Zugrunde liegen bei der Mitteleuropareihe die Klimabeobachtungen von Berlin, Basel, Prag und Wien. Die mittlere Abweichung zwischen beobachteten und berechneten Temperaturen beträgt $+0,002^{\circ}\text{C}$, die mittlere absolute Abweichung $0,12^{\circ}\text{C}$.





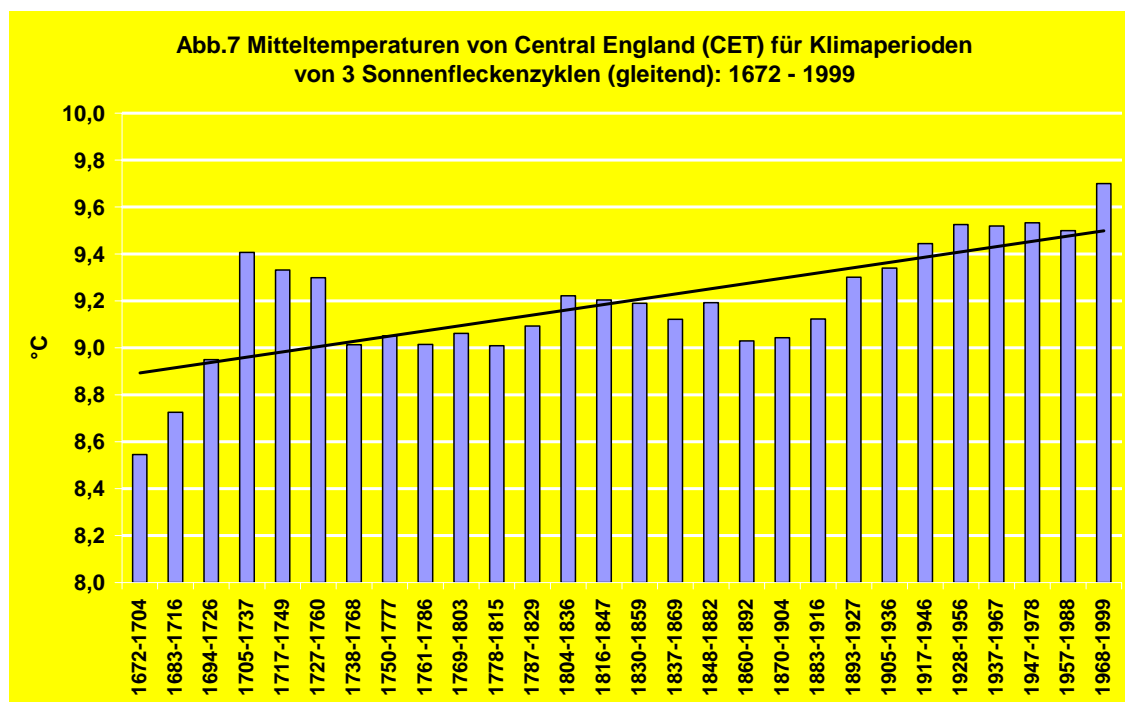
Die Abhängigkeit der Central-England-Temperaturen (CET) vom solaren Effekt im Zeitraum 1860 -1999 ist in **Abb. 5** wiedergegeben. Das regionale Klimaverhalten Central Englands ist ozeanisch, vor allem durch den Golfstrom, mitgeprägt. Als mittlere Abweichung zwischen beobachteten und berechneten Temperaturen ergibt sich ein Wert von $-0,001^{\circ}\text{C}$. Die mittlere absolute Abweichung beträgt $0,11^{\circ}\text{C}$.



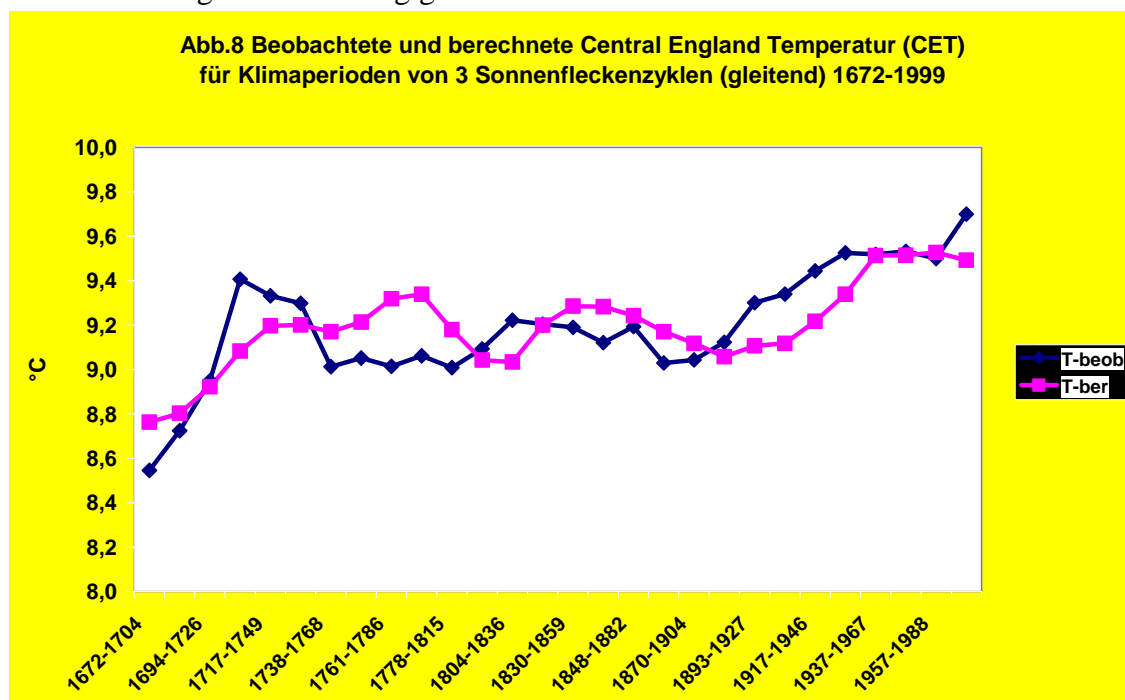
Der solare Einfluss auf den lokalen Klimawandel wird in **Abb.6** sichtbar. Dabei liegt der Analyse die von P. Winkler überarbeitete Klimareihe von Hohenpeißenberg zugrunde. Die mittlere Abweichung zwischen dem beobachteten und berechneten Temperaturverlauf im Zeitraum 1860 - 1999 beträgt $+0,002^{\circ}\text{C}$, die mittlere absolute Abweichung $0,08^{\circ}\text{C}$.

Wie in den Beiträgen SO 29/09 und SO 37/09 gezeigt, weisen solare Aktivität und Klimaverlauf eine langperiodische, rund 200-jährige Schwingung mit solaren Maxima/Wärmeperioden

und solaren Minima/Kälteperioden auf (de-Vries-Zyklus). Das Maunder-Minimum der solaren Aktivität im 17. und das Dalton-Minimum im 19. Jahrhundert sind durch Beobachtungsdaten ebenso belegt wie die Phasen hoher solarer Aktivität im 18. und 20. Jahrhundert. Es liegt nahe, die Rekonstruktionsmethode auf die Central-England-Reihe seit der Kleinen Eiszeit auszudehnen.



Wie Abb. 7 zeigt, ist es seit der Kleinen Eiszeit prinzipiell immer wärmer geworden. In Näherung kann der reale, wellenartige Temperaturverlauf durch eine Gerade beschrieben werden. Mit der Methode der kleinsten quadratischen Abweichung soll der 330-jährige Klimaverlauf von Central England in Abhängigkeit von der Sonnenaktivität rekonstruiert werden.

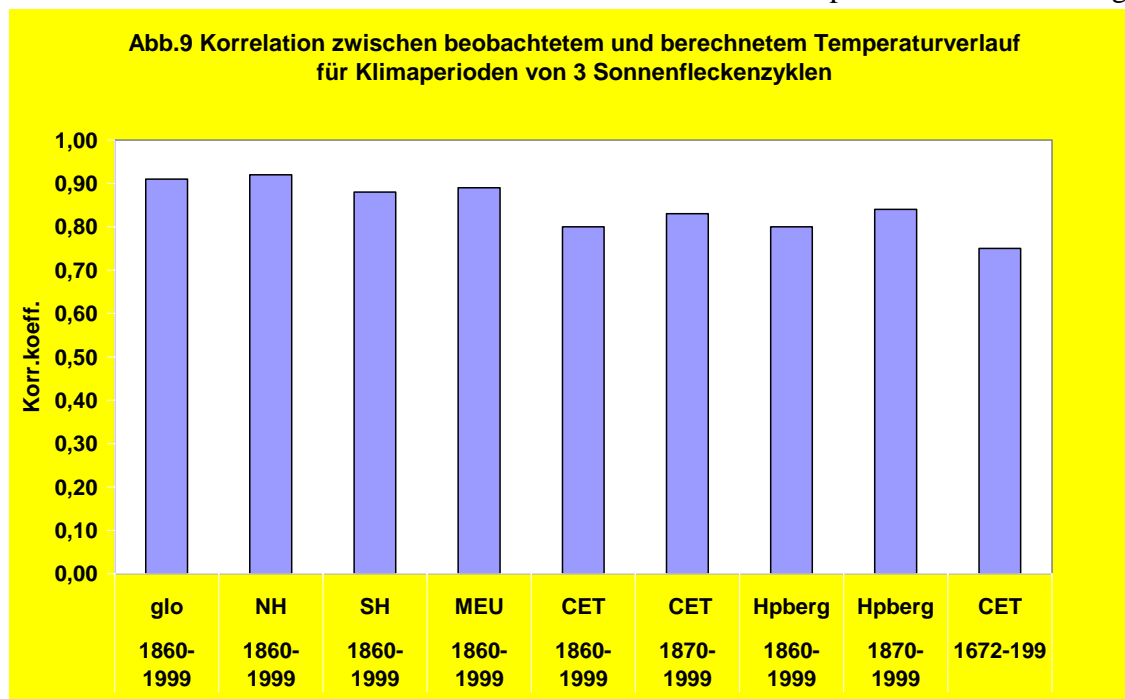


In **Abb.8** sind der beobachtete und der berechnete Klimaverlauf wiedergegeben. Trotz der vereinfachten Betrachtungsweise werden die Grundzüge der Klimaentwicklung in den letzten 330 Jahren erfasst, vor allem der grundsätzliche Temperaturanstieg. Die mittlere Abweichung beträgt $0,001^{\circ}\text{C}$, d.h. positive und negative Abweichungen gleichen sich über den Gesamtzeit-

raum aus. In Einzelphasen treten bei diesem einfachen Ansatz naturgemäß, auch durch sekundäre Klimaprozesse bedingt, größere Abweichungen auf, so dass sich als mittlere absolute Abweichung $0,14^{\circ}\text{C}$ ergibt.

Korrelation und Signifikanz

Um die Frage zu beantworten, in welcher Größenordnung sich das Klimaverhalten seit 1860 bzw. 1672 durch den (integralen) solaren Effekt erklären lässt, wurden Korrelationen zwischen den beobachteten und den berechneten Temperaturreihen durchgeführt.



Wie **Abb.9** zeigt, ergeben sich für die globale Klimareihe wie für beide hemisphärische Klimareihen für die Zeit 1860 - 1999 Korrelationskoeffizienten um $+0,90$ zwischen berechnetem und beobachtetem Temperaturverlauf. Das heißt: Auf der langfristigen Klimaskala werden in diesem Zeitraum rund 80% des Temperaturverhaltens durch die direkten und indirekten solaren Effekte erklärt. Der Zusammenhang ist auf dem 99,9%-Niveau hochsignifikant gesichert. Ein analoges Ergebnis folgt für den Zusammenhang von beobachteter und berechneter Temperaturentwicklung in Mitteleuropa für die Zeit 1860 - 1999. Die Korrelation beträgt $+0,89$ und ist ebenfalls auf dem 99,9%-Niveau statistisch hochsignifikant.

Bei der Klimaentwicklung von Central England spielt der ozeanische Einfluss, insbesondere der Golfstrom, eine modifizierende Rolle. Für den Zusammenhang zwischen beobachtetem und berechnetem langfristigen Temperaturverhalten ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von $+0,80$ ab 1860 und $+0,83$ ab 1870, was einer erklärten Varianz von rund 70% bei einer statistischen Sicherheit von 99% entspricht.

Betrachtet man die gesamte Klimaentwicklung in Central-England seit der Kleinen Eiszeit, so folgt für den 330-jährigen Zeitraum 1672 - 1999 (schon mit dem linearen Ansatz) eine Korrelation von $+0,75$ zwischen beobachtetem und dem aufgrund der solaren Aktivitätsänderungen berechneten langfristigen Temperaturverlauf. Das Ergebnis ist auf dem 99,9%-Niveau statistisch hochsignifikant gesichert.

Auch auf die Klimaentwicklung von Hohenpeißenberg wirken sich naturgemäß lokale Einflüsse aus. Bei der Korrelation folgt für den Zeitraum ab 1860 ein Koeffizient von $+0,80$, ab 1870 von $+0,84$, d.h. der solare Einfluss vermag bis zu 70% des langfristigen Klimaverhaltens von Hohenpeißenberg mit einer statistischen Sicherheit von 99% signifikant zu erklären.

Zusammenfassende Schlussbetrachtungen

Wie die Untersuchung beweist, lassen sich die Grundzüge der langfristigen globalen, hemisphärischen, der regionalen (Mitteleuropa und Central-England) und der lokalen Klimaentwicklung (Hohenpeißenberg) in Abhängigkeit von den solaren Aktivitätsänderungen rekonstruieren. Die Korrelationen zwischen den nach der Methode der kleinsten quadratischen Abweichung berechneten Klimaperiodentemperaturen und den beobachteten Temperaturen liegen für den Zeitraum 1860 - 1999 lokal/ regional zwischen +0,80 und +0,89 sowie global/ hemisphärisch um +0,90. Der integrale solare Effekt vermag somit 70%-80% des Temperaturverhaltens der Erwärmung seit 1860 signifikant zu erklären.

Geht man bei der Central England Reihe, der längsten Klimareihe der Erde, vereinfachend von einem linearen Temperaturanstieg seit der Kleinen Eiszeit aus, so folgt ein auf dem 99,9%-Niveau gesicherter Korrelationskoeffizient von +0,75 zwischen dem beobachteten und dem aufgrund der Sonnenaktivität berechneten Klimaverlauf im Zeitraum 1672 - 1999.

Die mittleren Abweichungen zwischen beobachteten und berechneten Klimaperiodentemperaturen liegen bei allen Klimareihen im Bereich weniger tausendstel °C, d.h. positive und negative Abweichungen heben sich über die gesamte Zeitspanne auf.

Die mittlere absolute Abweichung zwischen den beobachteten und berechneten Klimaperiodentemperaturen liegt bei 0,1°C. Die Ergebnisse belegen nachdrücklich die langfristig dominierende Rolle des integralen solaren Effekts in unserem komplexen Klimasystem.

Auf ein Detail sei noch näher eingegangen. So ist der Unterschied zwischen berechneter und beobachteter Temperatur in der Periode 1968 - 1999 besonders auffällig. Entsprechend dem beobachteten Rückgang der mittleren Sonnenfleckenanzahl liegt die berechnete Temperatur mehr oder weniger unter den beobachteten Werten.

Im Sinne des anthropogenen Treibhauseffekts könnte man (vorschnell) an einen Zusammenhang mit dem verstärkten CO₂-Ausstoß denken. Doch dagegen spricht nicht nur die Rekonstruktion der Klimareihen bis zur Periode 1957 - 1988, sondern auch das Temperaturverhalten seit 1998. So stagniert die globale Temperatur in den letzten 10 Jahren bzw. sinkt sogar trotz des starken CO₂- Anstiegs. Von den natürlichen Klimaprozessen könnte zum einen die Wärmespeicherung/ verzögerte Wärmeabgabe der Ozeane, d.h. ihre thermische Trägheit, den Effekt erklären. Dass zum anderen der seit den 1980er Jahren gesteigerte Einfluss von El Niño wesentlich an den hohen globalen Temperaturen der letzten Dekaden beteiligt ist, war in den Beiträgen zur BWK SO 2/08 und 11/09 gezeigt worden. Für den El Niño-Effekt als Hauptursache der Temperaturdifferenz in der Periode 1968 - 1999 spricht die Tatsache, dass auf der Südhalbkugel die beobachtete Mitteltemperatur 0,16°C, auf der Nordhalbkugel aber nur 0,09°C über den berechneten Werten liegt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen: Die Rekonstruktion des Klimawandels seit 1860 bzw. 1672 ist allein auf der Grundlage der mittleren Sonnenfleckenanzahl der Zyklen möglich und belegt, dass die Veränderungen der Sonnenaktivität der dominierende langfristige Klimantrieb auf allen Klimaskalen ist. Er vermag im Zeitraum 1860 - 1999 rund 70%-80% des regionalen/globalen Temperaturverhaltens signifikant zu erklären. Dem anthropogenen Klimaeinfluss kann folglich nur eine untergeordnete Bedeutung zukommen.

Fazit: Die Sonne ist in unserem Klimasystem zwar nicht alles, doch ohne die Sonne ist alles nichts. Ozeanische Temperaturtrends, vor allem von El Niño/La Niña können auch langfristig global klimawirksam sein. El Niño entsteht zwar infolge einer dynamischen Schwingung zwischen Australien/Indonesien und Südamerika im tropischen Pazifik, doch sind die thermischen Verhältnisse eine Folge von solar bedingten Strahlungsverhältnisse in den Tropen. Erwärmungs- wie Abkühlungstrends der ENSO- Ereignisse werden daher die veränderliche Wärmeenergiebilanz einer zu- oder abnehmenden Sonnenaktivität widerspiegeln. In diesem Sinn muss das längerfristige thermische El Niño-/La Niña-Verhalten als eine phasenverschobene thermische Reaktion des Ozeans auf solare Aktivitätsänderungen verstanden werden.

P.S.: J.d'Aleo und A.Watts haben soeben gezeigt, dass die Redzierung der Klimastationen von 6000 auf 1500 (v. a. vieler kälteren), zur „Erwärmung“ der 1990er Jahre beigetragen hat. (Science and Public Policy, 2010).

Literatur und Daten

- 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. und G. Bökens: Änderungen im Druck-/Geopotential- und Temperaturgefälle zwischen Subtropen und Subpolarregion im atlantischen Bereich im Zeitraum 1960-90. *Z.f.Meteor. N.F.* (1993)
- Malberg, H. Beiträge des Instituts für Meteorologie der Freien Universität Berlin/Berliner Wetterkarte:
 - Über den Klimawandel in Mitteleuropa seit 1850 und sein Zusammenhang mit der Sonnenaktivität. SO 17/02
 - 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 Niño, 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
 - Über die kritische Grenze zwischen unruhiger und ruhiger Sonne und ihre Bedeutung für den Klimawandel. SO 03/09
 - La Niña - El Niño und der solare Einfluss – Der Klimawandel 1950-2008. SO 11/09
 - Über das Stadtklima und den Klimawandel in Deutschland seit 1780. SO 18/09
 - Klimawandel und Klimadiskussion unter der Lupe. *Z. f. Nachhaltigkeit* 5. 2007
- Klimawandel und Klimadebatte auf dem Prüfstand. *Verh. Ges. Erdkunde zu Berlin*. 2007
- Langfristiger Klimawandel auf der globalen, lokalen und regionalen Klimaskala – Zukunft braucht Herkunft. *Beiträge Berl. Wetterkarte* SO 29/09
- Der solare Einfluss auf den Klimawandel in Westeuropa. *Beiträge Berl. Wetterkarte*, SO 37/09
- 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 Climatology – 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)
- Wehry, W. Einige Anmerkungen zu meteorologischen Messungen und Datenreihen. *Beiträge BWK* SO 22/09
- Winkler, P. Revision and necessary correction of the long-term temperature series of Hohenpeissenberg, 1781–2006- *Theor. Appl. Climatol.* 75 (2009)

Daten: Den Temperaturdaten von Basel und Wien liegen die Klimareihen von F. Baur zugrunde, die im Rahmen der „Berliner Wetterkarte“ fortgeführt wurden.

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 von J.Pelz auf Berlin-Dahlem redzierten Werten ab 1701.

Die globalen Temperaturreihen basieren auf den Werten des Climatic Research Unit, UK. (www.cru.uea.ac.uk/cru/data)

Die Sonnenfleckenzahlen entstammen den Veröffentlichungen von NOAA

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

Die Sonnenfleckenzahlen vor 1749 wurden aus verschiedenen Quellen ermittelt (s. Claußnitzer, A.).