

Beiträge des Instituts für Meteorologie der Freien Universität zur Berliner Wetterkarte

62/02
SO 17/02

9.7.2002

Über den Klimawandel in Mitteleuropa seit 1850 und sein Zusammenhang mit der Sonnenaktivität

Horst Malberg

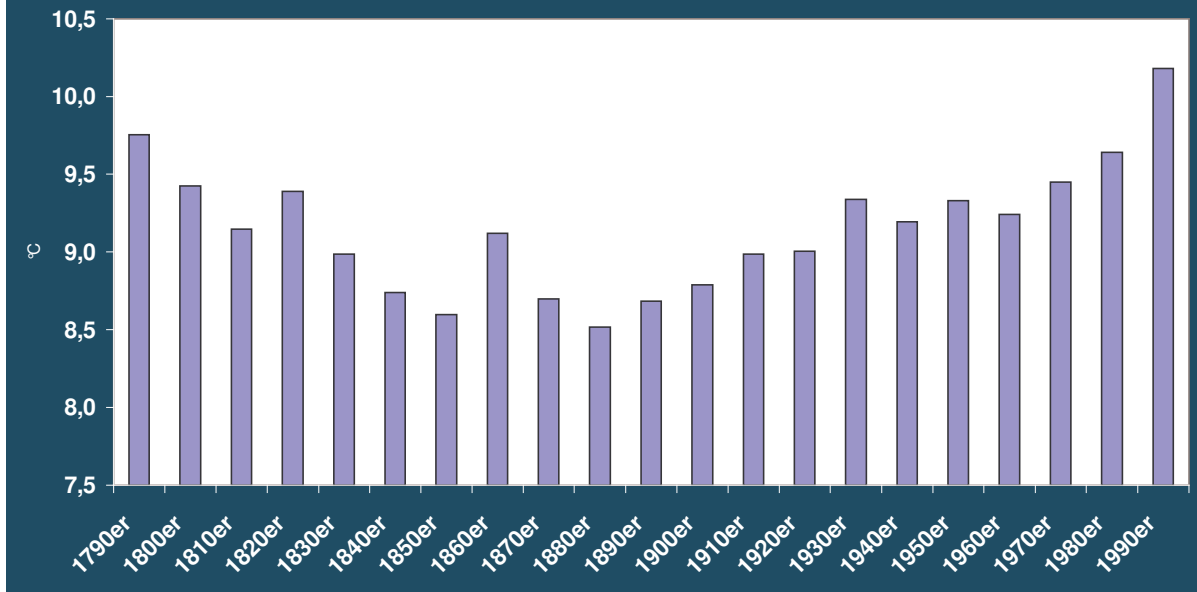
Wie die Betrachtung von gegenwärtigen wie vergangenen Klimaänderungen zeigt, ist das Klimasystem der Erde äußerst komplex und reagiert auf eine Vielzahl von natürlichen externen wie internen Einflußparametern. Zu den externen Antrieben zählen Einstrahlungsschwankungen infolge langperiodischer Änderungen der Erdbahnelemente (Elliptizität, Ekliptik, Präzession) sowie Veränderungen der solaren Ausstrahlung. Interne Antriebe auf das Klimasystem gehen aus von Ozean, Biosphäre, Erdoberflächenparametern (z. B. veränderten Schnee- und Eisverhältnissen) oder Vulkanausbrüchen. Wie das pazifische ENSO-Phänomen deutlich macht, kommt es zu fortlaufenden Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und internen Antrieben; so hat jede Änderung des Windfeldes Einfluß auf den Ozean und jede Änderung der Ozeantemperatur Auswirkungen auf die Atmosphäre und damit auf das Witterungsgeschehen, z. T. sogar in weit entfernten Regionen. Das Integral über alle klimarelevanten Prozesse ergibt schließlich den Zustand, den wir als Klima bzw. als Variabilität des Klimas auf der räumlichen wie zeitlichen Skala bezeichnen.

Bei jeder Klimaänderung ist daher die Frage nach ihren Ursachen zu stellen, genauer, die Frage nach ihren potentiellen Ursachen, denn noch ist die Klimaforschung weit davon entfernt, das nichtlineare Klimasystem mit allen seinen Wechselwirkungen vollständig verstanden zu haben. In jüngster Zeit wird vor allem in Wissenschaft, Öffentlichkeit, Medien und Politik darüber diskutiert, in welchem Ausmaß der Mensch durch die Emission von Treibhausgasen (vor allem Kohlendioxid, Methan, Distickstoffoxid) das Klima nachhaltig beeinflusst. Dieses geht in den Medien z. T. so weit, daß Kohlen-dioxid, ein natürliches atmosphärisches Gas, als Klimakiller und die globale Erwärmung als Treibhaus-katastrophe bezeichnet wird. Folgte man dieser Argumentation, so würde man behaupten, daß die gegenwärtige Klimaverteilung (mit allen seinen „Unzulänglichkeiten“ z. B. bei der globalen Niederschlagsverteilung) die beste aller möglichen ist.

Klimaänderungen hat es zu allen Zeiten gegeben. Muß nicht das mitteleuropäische Klima recht warm gewesen sein, als es Hannibal einst möglich war, mit seinen tropischen Elefanten über die Alpen gegen Rom zu ziehen? Herrschte nicht um 1200 n.Chr. ein relativ warmes, eisarmes Klima im nordatlantischen Bereich, als die Wikinger nach Westen aufbrachen und Grönland entdeckten? Der anthropogene Klimaeinfluß kann somit nur ein Parameter neben vielen natürlichen in unserem Klimasystem sein.

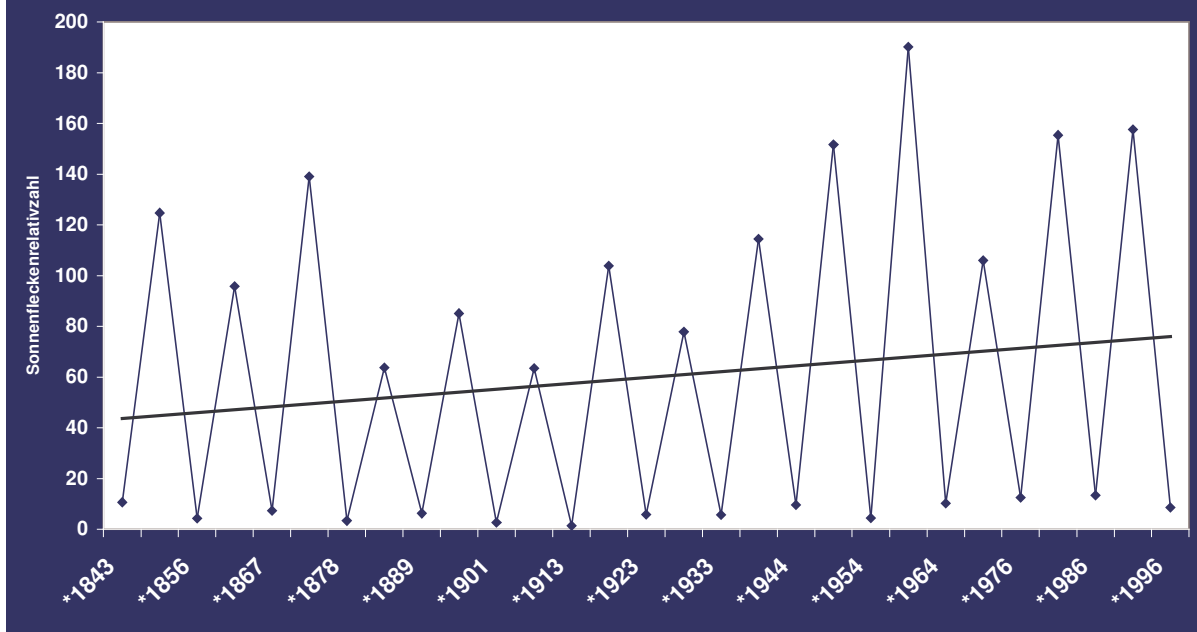
In der aktuellen Diskussion ist grundsätzlich die Rede vom „globalen“ Klima. Was aber ist das globale Klima? Zum einen kann die globale Mitteltemperatur auf Grund des dünnen Meßnetzes über den Ozeanen, die 70% der Erde ausmachen, nur als Näherungswert angegeben werden, vor allem in der Vergangenheit. Zum anderen ist das globale Klima die Summe aller regionalen Klimate. Diese aber verändern sich keineswegs einheitlich. Aus diesen Gründen ist es naheliegend, den Temperatur-anstieg seit 1850 einmal speziell für Mitteleuropa zu untersuchen, wo man lange, bis ins 18. Jahrhundert zurückreichende, Klimareihen zur Verfügung hat. Zusätzlich hat in Mitteleuropa eine starke Industrialisierung und Urbanisierung mit einer hohen CO₂-Emission stattgefunden.

Abb. 1 10-Jahresmittel der Temperatur in Mitteleuropa 1790-1999



In Abb. 1 sind die 10-jährigen Mitteltemperaturen der letzten 210 Jahre für Mitteleuropa (als Mittelwert der Klimadaten von Berlin, Basel und Wien) dargestellt. Wie man erkennt, setzte nach den warmen 1790er Jahren, in denen der anthropogene Treibhauseinfluß mit Sicherheit keinen Beitrag zu dem hohen Temperaturniveau geleistet hat, ein drastischer Temperaturrückgang ein. Der Tiefpunkt der Abkühlung wurde Mitte des 19. Jahrhunderts erreicht. Danach stieg die Temperatur wieder an, jedoch dauerte es rund 140 Jahre, bis sie das hohe Niveau der 1790er Jahre wieder erreicht hatte.

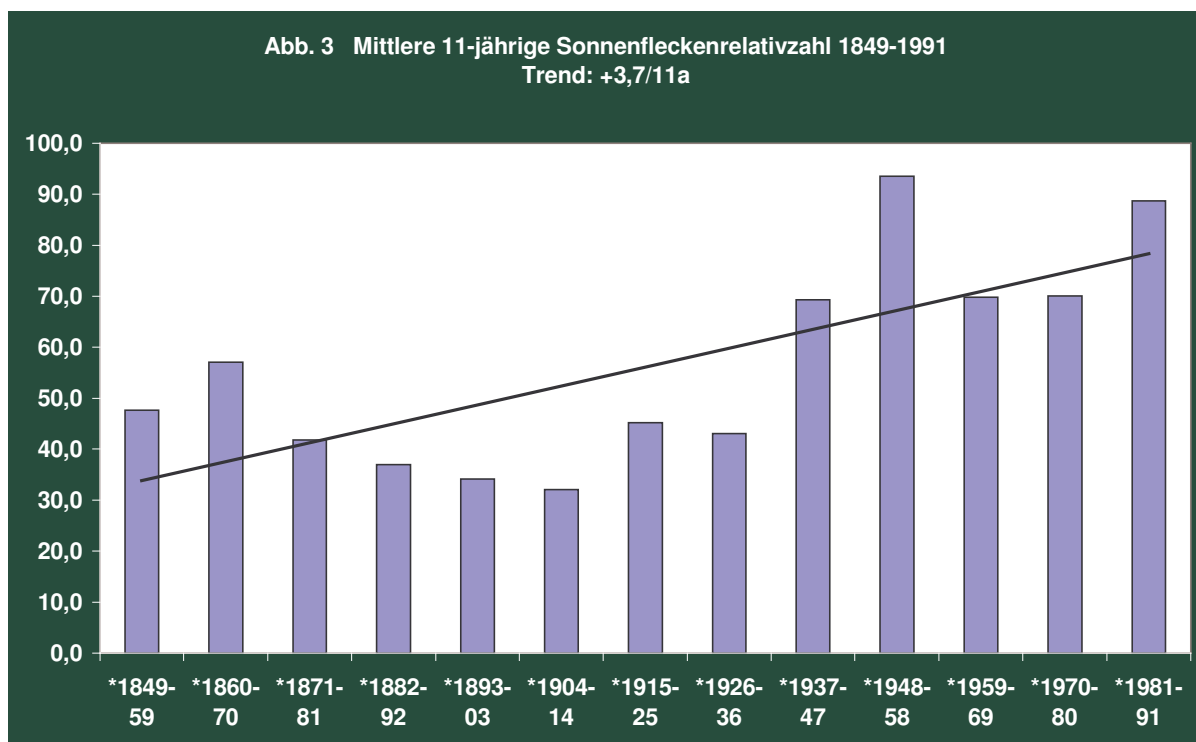
Abb. 2 Sonnenfleckenzyklen (Minima/Maxima) 1843-1996



Damit ergibt sich die Frage nach den Ursachen für den Temperaturanstieg seit 1850? Dabei kommt der Erwärmung insofern ein ganz besonderes Interesse zu, legt sie doch die Vermutung nahe, daß mit dem Beginn der Industrialisierung Mitte des 19. Jahrhunderts der anthropogene Einfluß auf den Treibhauseffekt der primäre Grund für den Temperaturanstieg ist. Große CO₂-Mengen sind bei der

Verbrennung fossiler Brennstoffe (Kohle, Heizöl, Erdgas) in die Atmosphäre gelangt und haben die CO₂-Konzentration bis heute um 25-30% erhöht. Die Zunahme der Weltbevölkerung hat gleichzeitig eine verstärkte Freisetzung von Methan (Reisanbau, Rinder-/Schafhaltung) und Distickstoffoxid (Düngung) zur Folge gehabt.

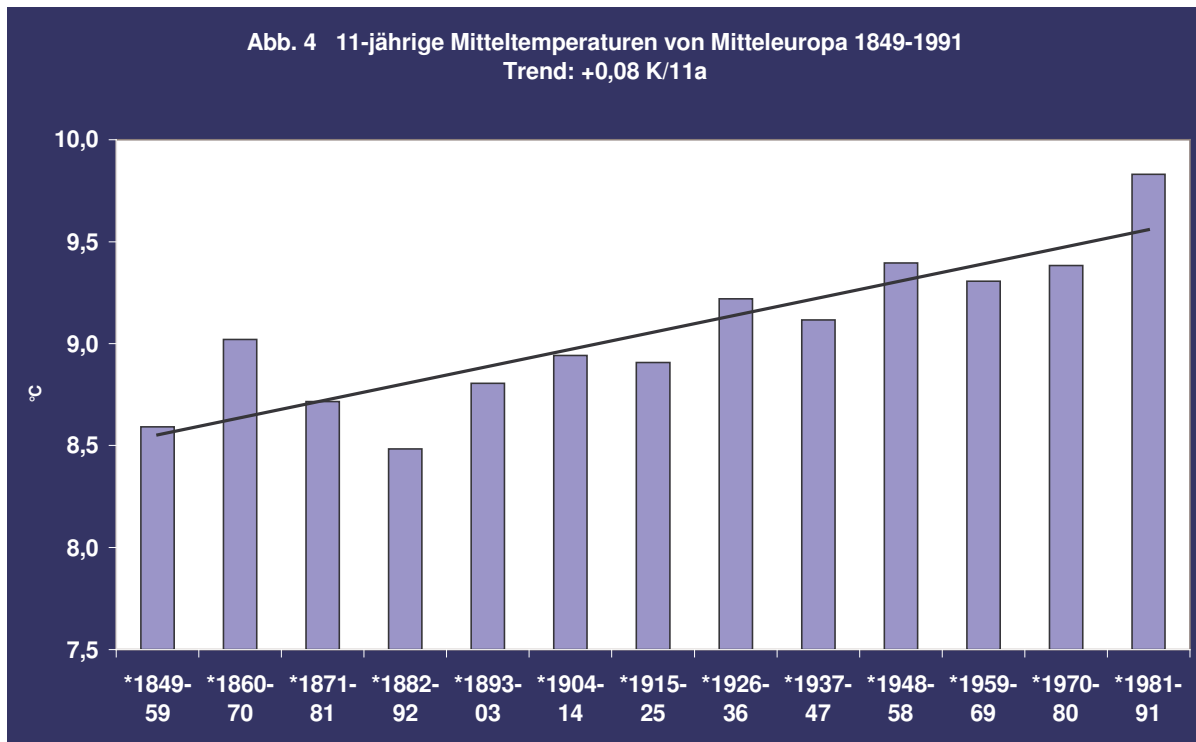
In jüngster Zeit weisen jedoch sowohl Auswertungen von Beobachtungsdaten als auch Modellrechnungen darauf hin, daß bei stratosphärischen wie troposphärischen Veränderungen ein Zusammenhang mit Veränderungen der Sonnenaktivität besteht. Um einen solchen solaren Einfluß auf die Klimaentwicklung der vergangenen 150 Jahre in Mitteleuropa zu überprüfen, wurden die mitteleuropäische Temperaturentwicklung seit 1849 zur Variabilität der Sonnenfleckenrelativzahl in Beziehung gesetzt. Dazu wurde die Länge der gemittelten Temperaturintervalle dem mittleren 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus angepaßt. Der statistisch ausgewertete Untersuchungszeitraum umfaßt 13 Sonnenfleckenzyklen (Abb. 3). Er beginnt 1849 und reicht bis 1991.



Wie Abb. 3 veranschaulicht, ist seit dem Sonnenfleckenmaximum von 1848 die mittlere 11-jährige Sonnenfleckenrelativzahl angestiegen, und zwar um durchschnittlich 3,7 Flecken pro 11-jährigem Zyklus. Bei einer differenzierten Betrachtung stellt man fest, daß es die Sonnenfleckenmaxima sind, die sich wesentlich erhöht haben. So beträgt die mittlere Zunahme seit 150 Jahren bei den Minima nur 0,6 Flecken pro Zyklus, bei den Maxima aber rund 4,5 Flecken pro 11 Jahre.

Vergleicht man den Verlauf der 11-jährig gemittelten Temperatur von Mitteleuropa seit der Mitte des 19. Jahrhunderts mit einem Trend von 0,08 Grad pro 11 Jahre (Abb. 4) mit dem zeitgleichen Verhalten der Sonnenflecken, so ist eine grundsätzliche Übereinstimmung im Trend und in der Variabilität unverkennbar. Damit liegt der Schluß nahe, mittels einer Korrelationsanalyse zu prüfen, wie groß der statistisch gesicherte Zusammenhang zwischen der Variabilität der Temperatur auf der klimatischen Zeitskala und der solaren Aktivität in den betrachteten 140 Jahren ist. Dabei ist bekanntlich der direkte Zusammenhang um so größer, je näher der Korrelationskoeffizient an +1,0 liegt, d.h. je weiter er von Null entfernt ist.

Die Untersuchung führt zu folgendem Ergebnis: Zwischen der 11-jährig gemittelten Temperatur Mitteleuropas und der mittleren 11-jährigen Sonnenfleckenrelativzahl beträgt im Zeitraum zwischen 1849 und 1991 der Korrelationskoeffizient +0,81. Das bedeutet, daß die gesteigerte Sonnenaktivität rund 65% der klimatischen Temperaturvarianz Mitteleuropas seit Mitte des 19. Jahrhunderts erklärt. Der durchgeführte Signifikanztest zeigt ferner, daß dieses Ergebnis auf dem 99,9%-Niveau statistisch hochsignifikant ist.



In einer ergänzenden Betrachtung wurde untersucht, welcher Zusammenhang zwischen den 11-jährigen Mitteltemperaturen der Sommer- und Winterhalbjahre in Mitteleuropa und der Sonnenaktivität besteht. Dabei ergibt sich für den Zeitraum 1849-1991 für die Winterhalbjahre ein Korrelationskoeffizient von +0,65 und für die Sommerhalbjahre von +0,83. Daraus folgt, daß die Variabilität der Sonnenaktivität 42% der winterlichen und 69% der sommerlichen Temperaturentwicklung seit 1849 zu erklären vermag. Ganz offensichtlich sind die Einfluß-mechanismen auf die winterlichen Temperaturverhältnisse wesentlich komplexer als auf die sommerlichen. Dieser von der Synoptik her bekannte Sachverhalt spiegelt sich somit auch auf der klimatologischen Zeitskala wider. So dürfte den Schnee- und Eisverhältnissen eine besondere jahreszeitliche Rolle zukommen. Allerdings könnte der Korrelationskoeffizient der Winterhalbjahre auch durch den verstärkten Wärmeinseleffekt der Großstädte beeinflusst sein, der sich bekanntlich vor allem auf die Wintertemperatur der Städte ausgewirkt hat.

Der statistisch hochsignifikante Zusammenhang zwischen der Sonnen(flecken)aktivität und der Temperaturentwicklung Mitteleuropas seit 1849 bleibt ein Faktum, auch wenn die physikalischen Umsetzungsprozesse noch nicht bekannt sind. So müßte grundsätzlich eine hohe Zahl von Sonnenflecken, deren Temperatur bis zu 1500 Grad unter der Umgebungstemperatur liegt, eine verminderte solare Ausstrahlung zur Folge haben. Jedoch wurde in jüngster Zeit gezeigt, daß eine gesteigerte Sonnenfleckenaktivität auch mit einer Zunahme der Sonnenfackeln verbunden ist, wodurch es zu einer deutlich erhöhten Ausstrahlung im UV-Bereich kommt. Effektiv resultiert daraus eine Verstärkung der Ausstrahlung zu Zeiten der aktiven Sonne im Vergleich zur ruhigen Sonne.

Damit spricht vieles dafür, daß die erhöhte solare UV-Ausstrahlung zur Zeit der Sonnenflecken-maxima letztlich über die allgemeine Zirkulation von Stratosphäre und Troposphäre umgesetzt wird. Ausgehend von den tropischen Breiten, über die Dobson-Brewer- sowie die Hadley-Zirkulation, greift sie auch in das außertropische Klimageschehen ein. Im Zusammenwirken mit den anderen, z. T. nur regional wirkenden Antrieben, kommt es im Endergebnis zu den beobachteten regionalen Klima-änderungen. Die Sonnenflecken wären somit nicht die Ursache, sondern nur ein Indikator für die Wirkung solarer Variabilität auf das Klimasystem der Erde. Dabei scheint die Umsetzung auf das Klima Mitteleuropas besser abzulaufen, wenn die Sonne sich über der Nordhalbkugel befindet, d.h. über die sommerliche Anordnung der allgemeinen Zirkulation.

Bedenkt man abschließend, daß außer dem dominierenden solaren Antrieb auf die Klimaentwicklung in Mitteleuropa seit 1850 auch noch permanent die anderen natürlichen Antriebe gewirkt haben, so muß man folgern, daß der anthropogene Einfluß seit dem Beginn der Industrialisierung nur von untergeordneter Bedeutung gewesen ist. Ob sich das ändert, muß die Zukunft zeigen.