

DISS. ETH NO. 18319

**The daily temperature amplitude
and
surface solar radiation**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

DOCTOR OF SCIENCES

presented by

Knut Makowski

dipl. Geogr., University of Zurich

born 2 October 1979

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Thomas Peter, examiner
Prof. Dr. Atsumu Ohmura, co-examiner
Dr. Martin Wild, co-examiner
Dr. Beate G. Liepert, co-examiner

Zurich 2009

Abstract

The surface solar radiation (SSR) is an important factor influencing the local and global energy budget. Since it has varied measurably over the last decades, the question concerning the impact of these changes arises. An important measure reflecting those changes is the diurnal temperature range (DTR). The DTR is defined as the difference between daily maximum and minimum temperature. From this definition stems a particular suitability of the DTR for investigating changes in SSR. The changes are due mostly to changes in the daily maximum temperature. However, the daily maximum temperature always depends on the preceding daily minimum temperature which, in turn, is influenced by the cooling which occurs between noon and the subsequent sunrise. By subtracting the daily minimum temperature from the daily maximum temperature, the signal of a short and long-term change of SSR is found in the DTR.

It has been widely accepted that DTR decreased on a global scale during the second half of the twentieth century. In this thesis it is shown, however, that the long-term trend of annual DTR has reversed from a decrease to an increase during the 1970s in Western Europe and during the 1980s in Eastern Europe. The trend analysis, performed using polynomial regression analysis and standardized statistical tests, is based on the high-quality dataset of the European Climate Assessment and Dataset Project. It incorporates approximately 200 stations covering the area bordered by Iceland, Algeria, Turkey and Russia for the period 1950 to 2005. National and regional annual means, as well as the pan-European mean have been investigated with respect to trends and reversal periods. Good agreement was found between trends in SO₂ emissions, radiation and DTR in areas affected by high pollution. Consequently, it can be inferred that the trends in DTR were influenced by changes in emissions and the associated changes in incoming solar radiation.

Furthermore, this thesis reveals strong correlations between SSR and DTR in Europe between 1970 and 2005, which is the period with the best data availability on seasonal and decadal scales. For this purpose a subset of 31 pairs of stations (31 DTR and 31 SSR) in Europe were used with collocated long term SSR and DTR measurements. When comparing the European mean anomaly time series of SSR and DTR, composed of all 31 individual SSR and DTR records, a correlation coefficient of 0.87 was found in the annual mean and between 0.61 and 0.92 in the seasonal mean anomalies. When investigating the pairs of SSR and DTR individually it was found that most local correlations are lower than the European mean which is potentially due to the local influence of advected air masses, as discussed in the final section of this thesis. The correlations between the pairwise investigated sites decrease with a decrease of the average solar incident angle which decreases either due to season or latitude or both. At high alpine altitude the correlations

are generally lower, again most likely due to an advective influence, as discussed in the last section. The highest correlation on local and seasonal scales seems to be connected to the variability of the large scale circulation in Europe. The output of eleven simulations of current generation regional climate models over Europe confirms the strong relationship between SSR and DTR. The seasonal dependence of the relationship is well reproduced but the absolute values of DTR and SSR are mostly too low. The pattern of decrease (dimming) and increase (brightening) in SSR and DTR was not reproduced in the modeled time series. In summary, there is strong evidence from both models and observations that DTR is a reliable representative of SSR.

Finally, the connection between SSR and two different measures of daily temperature amplitude for twenty sites around the globe is analyzed. One is the previously used DTR and the other is the periodic amplitude (PerAmp). The latter is defined as the monthly average of the warmest hour of the day minus the monthly average of the coldest hour of the day. The averaging causes a reduction of the influences of advected air masses in the PerAmp. Consequently, PerAmp should be more closely connected to SSR than DTR. Comparing the mean annual cycles, the smallest possible difference between the PerAmp and SSR curves is about 10% less than between SSR and DTR. At Arctic sites PerAmp explains 84% of the SSR variability, in the best case, while DTR explains a maximum of 50%. In the mid-latitudes, annual cycles of both temperature amplitude measures and SSR are closely related at individual sites; the perennial variability of DTR and PerAmp is in most cases significant and positively correlated with SSR. Correlations between SSR and PerAmp are higher than between SSR and DTR in more than 60% of the cases. In the long term development the highest agreement between SSR and the daily temperature amplitudes was found in the Asian subtropics and in the Arctic. It can be concluded that PerAmp is indeed more strongly related to SSR than DTR. The substantially larger amount of data which has to be processed to derive PerAmp is, however, a major drawback that needs to be considered.

Summarizing the conclusions of the individual subsections it can be stated that changes in SSR influence the diurnal temperature cycle and thereby mean temperature over both short and long time scales. Due to this strong connection, the diurnal temperature amplitude holds the key to understanding past changes of SSR and disentangle surface solar and greenhouse influences on global warming.

Zusammenfassung

Die solare Einstrahlung an der Erdoberfläche (surface solar radiation - SSR) ist eine der wichtigsten Komponenten der Energiebilanz. Da die SSR sich im Verlauf der letzten Jahrzehnte messbar verändert hat, drängt sich die Frage nach dem Einfluss dieser Veränderungen auf. Eine wichtige Messgrösse, welche diese Veränderungen potentiell widerspiegelt, ist die tägliche Amplitude der Lufttemperatur (diurnal temperature range - DTR). Die DTR ist definiert als Differenz zwischen dem absoluten Tagesmaximum und dem absoluten Tagesminimum der Temperatur. Aus dieser Definition lässt sich direkt die gute Anwendbarkeit der DTR zur Untersuchung der Veränderung der SSR ableiten. Veränderungen der SSR schlagen sich grösstenteils in der täglichen Maximaltemperatur nieder. Diese ist jedoch immer abhängig von der erreichten Minimaltemperatur des vorangegangenen Tages. Die Minimaltemperatur ihrerseits hängt von der Abkühlung zwischen der Mittagszeit und dem darauffolgenden Sonnenaufgang ab. Durch die Reduktion der Maximaltemperatur um die Minimaltemperatur wird sowohl das Signal der kurzfristigen, wie auch der langfristigen Variationen der SSR in der DTR manifestiert.

Es wird allgemein als zutreffend betrachtet, dass die DTR global gesehen während der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts abgenommen hat. In der vorgelegten Arbeit wird jedoch für Europa eine Trendumkehr bezüglich der Langzeittrends aufgezeigt. Die Umkehr findet während der 70er Jahre in Westeuropa und während der 80er Jahre in Osteuropa statt. Die Trendanalyse, welche unter Anwendung polynomialer Regressionsverfahren und standardisierten statistischen Tests durchgeführt wurde, basiert auf dem qualitativ hochwertigen Datensatz des European Climate Assessment and Dataset Projektes. Sie beinhaltet Daten von rund 200 Stationen, für den Zeitraum 1950 bis 2005. Die Stationen sind auf ein Gebiet verteilt, welches von Island, Algerien, der Türkei und Russland umschlossen wird. Im Rahmen der Analyse wurden nationale, überregionale und ein gesamteuropäisches Mittel der DTR bestimmt, welche bezüglich Trendverlauf und Trendumkehr untersucht wurden. Beim Vergleich der gemittelten DTR - Zeitreihen mit der langfristigen Entwicklung von SSR und SO₂-Emissionen konnten in den Regionen mit hohen Emissionen Übereinstimmungen im Trendverlauf identifiziert werden. Demzufolge kann geschlussfolgert werden, dass die Entwicklung der DTR teilweise von der Entwicklung der Emissionen und den damit verbundenen Veränderungen der SSR abhängt.

Im Weiteren werden in der vorgelegten Arbeit die hohen Korrelationen zwischen SSR und DTR zwischen 1970 und 2005 in Europa auf saisonaler und mehrdekadischer Basis aufgezeigt. Zur Bearbeitung dieses Themenbereichs wurde ein Datensatz bestehend aus 31 Stationspaaren (31 DTR und 31 SSR) mit Langzeitmessungen in Europa verwendet. Beim Vergleich der gemittelten europäischen DTR und SSR Zeitreihen, welche aus den

Anomalien aller 31 Einzelzeitreihen bestehen, wurden Korrelationskoeffizient von 0.87 für die Jahresmittel und zwischen 0.61 und 0.92 für die saisonalen Mittel bestimmt. Bei der individuellen Untersuchung der Stationspaare zeigte sich, dass die lokalen Korrelationen zumeist niedriger sind als jene des europäischen Mittels, was durch den lokalen advektiven Einfluss verursacht wird, wie im abschliessenden Kapitel dieser Arbeit diskutiert. Die Korrelation zwischen den paarweise untersuchten Stationen nehmen in Jahreszeiten und Breiten mit geringerem Einstrahlungswinkel sowie in alpinen Hochlagen rasch ab. Hohe Korrelationskoeffizienten auf regionaler und saisonaler Ebene scheinen mit der Variabilität der grossräumlichen Zirkulation über Europa zusammen zu hängen. Die Ergebnisse von elf aktuellen Regionalen Klimasimulationen für den Raum Europa bestätigen den starken Zusammenhang zwischen DTR und SSR. Die saisonale Abhängigkeit der Übereinstimmung zwischen DTR und SSR wird in den Modellen ebenfalls richtig reproduziert, jedoch sind die berechneten absoluten Werte meist zu tief. Das für die SSR und DTR bekannte Entwicklungsmuster von Abnahme (dimming) und Zunahme (brightening) wurde in den modellierten Zeitreihen zumeist nicht reproduziert. Sowohl die modellierten wie auch die gemessenen Daten geben jedoch Grund zu der Annahme, dass die DTR ein zuverlässiger Indikator für die Entwicklung der SSR ist.

Abschliessend wurde in dieser Arbeit der Zusammenhang zwischen der SSR und zwei unterschiedlichen Masszahlen der täglichen Temperaturamplitude für zwanzig global verteilte Stationen beleuchtet. Eine der beiden Masszahlen ist die bereits zuvor verwendete DTR die andere ist die Periodische Amplitude (PerAmp). Letztere ist definiert als Differenz der im Monatsmittel wärmsten und kältesten Stunde des Tages. Die Mittelung verursacht eine Reduktion des advektiven Einflusses auf die PerAmp. Folglich sollte die PerAmp in engerem Zusammenhang mit der SSR stehen als die DTR. Beim Vergleich der mittleren Jahreszyklen zeigt sich, dass die kleinstmögliche Differenz zwischen der PerAmp und der SSR etwa 10% geringer ist als jene zwischen SSR und DTR. An den arktischen Stationen erfasst die PerAmp im besten Fall 84% der SSR Variabilität während die DTR maximal 50% widerspiegelt. An jeweiligen Stationen der mittleren Breiten sind die Jahreszyklen beider Messgrössen eng mit der SSR verbunden. Die mehrjährige Variabilität von DTR und PerAmp ist meist signifikant und positiv mit der SSR korreliert. Die Korrelationen zwischen SSR und PerAmp sind in mehr als 60% der Fälle höher als zwischen SSR und DTR. Die höchsten Korrelationen bezüglich der Langzeitentwicklung zwischen der SSR und den Masszahlen der Amplitude Tagestemperatur sind in den Subtropen Asiens und in der Arktis zu finden. Gesamthaft kann daraus geschlussfolgert werden, dass die PerAmp tatsächlich stärker mit der SSR verbunden ist als die DTR. Die deutlich grössere Datenmenge welche zur Bestimmung der PerAmp verarbeitet werden muss, ist jedoch ein grosser Nachteil bei der Analyse, der mit in Betracht gezogen werden muss.

Zusammenfassend kann auf Basis der Schlussfolgerungen aus den einzelnen Teilabschnitten festgehalten werden, dass Veränderungen in der SSR langfristiger und kurzfristiger Natur, Einfluss auf die tägliche Temperaturamplitude und damit die Durchschnittstemperatur haben. Infolge des starken Zusammenhangs mit der SSR

beinhaltet die tägliche Temperaturamplitude das Potential, die zurückliegende Entwicklung der SSR zu untersuchen und damit den Einfluss von Veränderungen in der kurzwelligen Einstrahlung und der langwelligen Ausstrahlung auf die globale Erwärmung zu trennen.