

Temperaturaufzeichnungen in Berlin für die letzten 310 Jahre*

Ulrich Cubasch, Christopher Kadow

Einleitung

Der Klimawandel in Großstädten ist Gegenstand vieler Studien. Schlünzen et al. (2009) etwa analysieren die Niederschlags- und Temperaturveränderung in der Großstadtregion von Hamburg. Der Bericht des Weltklimarats (Solomon et al. 2007) greift das Thema der Großstädte nicht explizit auf, sagt aber aus, dass auf regionaler Skala der Klimawandel stärker ausgeprägt sein kann als im globalen Mittel. Insgesamt kann man davon ausgehen, dass ein verstärkter Wärmeinsel-Effekt durch das Wachstum der Großstädte zusammen mit der globalen Erwärmung zu deutlich höheren Temperaturen in einer Großstadt führen kann, als es der global gemittelte Temperaturanstieg vermuten lässt.

Klimabeobachtungen in Berlin

Für Berlin existiert eine der längsten Temperaturaufzeichnungen weltweit. Sie fand als eine von vier historischen Klimaaufzeichnungen ihren Weg in den letzten IPCC-Bericht (Solomon et al. 2007). Die ersten Wetteraufzeichnungen in Berlin begannen schon im Jahr 1677. Seit der Gründung der Königlich-Preußischen Akademie der Wissenschaften im Jahr 1700 wurden regelmäßige Temperaturmessungen unternommen, zuerst von dem Akademiemitglied und Astronomen Gottfried Kirch und seiner Familie. Diese Messungen waren in wissenschaftlicher Hinsicht mangelhaft: a) Der Messort wurde mehrfach verändert, b) es gibt Lücken in der Messreihe wegen des Ausfalls der Instrumente, und c) die Eichung der Instrumente ist nur unvollständig dokumentiert und nicht konsistent. Die Situation verbesserte sich, als das Königlich Preußische Meteorologische Institut gegründet wurde, das die Verantwortung für die Messungen übernahm.

Derzeit gibt es drei Datensätze für den Berliner Großraum (Abb. 5):

1. Die erste Messreihe des *Berlin & Dahlem*-Temperaturdatensatzes beginnt 1701 und reicht bis 1907. Diese Messungen, die in der Stadtmitte durchgeführt wurden,

* Eine englische umfangreichere Ausfertigung dieses Textes findet sich in Cubasch, U. & Kadow, C. (2011): The change of the global climate and regional climate aspects of Berlin and Brandenburg. Die Erde 142 (1/2), im Druck.

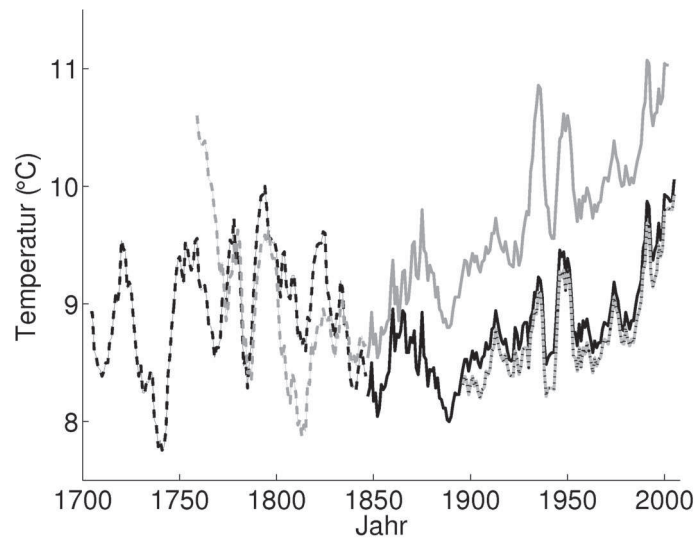


Abb. 5. Die Temperaturentwicklung (7-jähriges gleitendes Mittel) für *Berlin & Dahlem* (schwarz), *H & C* (grau) und *Potsdam* (grau gepunktet). Die Werte, die vor der Gründung des Preußischen Meteorologischen Instituts ermittelt wurden, werden gestrichelt dargestellt. Sie können wegen ihrer Ungenauigkeit und nicht mehr nachvollziehbaren Kalibrierung nicht für eine Trendbetrachtung genutzt werden

wurden im Hinblick auf den Wärmeinsel-Effekt korrigiert und mit der Dahlemer Temperaturmessreihe zusammengeführt. Seit 1908 wird diese in der Königlich Preußischen Gärtner-Lehranstalt in Berlin-Dahlem, damals einer Vorstadt von Berlin, erstellt. Der Messort ist nach 1945 an verschiedene Standorte in Berlin-Dahlem verschoben worden und befindet sich seit 1997 im Botanischen Garten. Details zu dieser Zeitreihe finden sich in Pelz (1997, 2000, 2007).

2. Die *H & C*-Messreihe, die von Hupfer & Chmielewski (2007) beschrieben wird, basiert auf den Messungen aus der Stadtmitte für 1756 bis 1930 und wurde dann von 1931 an mit der Temperaturreihe von Berlin-Dahlem ergänzt. Zu der Dahlemer Reihe wurde dabei ein Zuschlag, der den Wärmeinsel-Effekt repräsentieren soll, addiert. Diese Temperaturmessreihe steigt daher schneller an als der *Berlin & Dahlem*-Datensatz und ist im Jahr 2000 ungefähr 1 °C wärmer als dieser.

Obwohl beide Zeitreihen bis 1901 zumindest theoretisch auf derselben Datenbasis beruhen, so sind sie doch vor 1947 nur teilweise konsistent. Vor 1760 stimmen sie nicht überein, sie sind fast identisch zwischen 1760 und 1800 und zeigen dann ein ähnliches Verhalten, aber mit unterschiedlicher Amplitude zwischen 1800 und 1830. Die Gründe für diese Unterschiede werden aus den Dokumentationen der Datenreihen nicht ersichtlich.

3. Die *Potsdamer Säkular-Reihe* basiert auf meteorologischen Beobachtungen seit 1893 für Potsdam, das ungefähr 20 km von Dahlem entfernt ist (Klimareihe 2010). Anhand dieser Reihe kann wegen der geringen räumlichen Distanz die Konsistenz der anderen beiden Temperaturreihen überprüft werden, um eventuelle Feh-

ler bei den Messungen zu identifizieren. Eine Fortführung der *Berlin & Dahlem*-Reihe und der *Potsdam*-Reihe ist essenziell, um einen hohen Qualitätsstandard der Messungen zu behalten.

Die Temperaturentwicklung der letzten 310 Jahre

Abbildung 5 zeigt die Temperaturentwicklung ab 1700. Deutlich erkennbar ist das Temperaturminimum im Jahr 1740, dem Krönungsjahr von Friedrich II. In vielen Aufzeichnungen wird es als extrem kaltes Jahr mit geringen Ernteerträgen und einer Hungersnot beschrieben. Der unterschiedliche Verlauf der Temperaturkurven vor 1850 ist auf Probleme der Messinstrumente, bei der Durchführung der Messungen und der Kalibrierung zurückzuführen. Die Kurven werden deshalb gestrichelt gezeichnet, da sie nicht zuverlässig genug sind, um sie in eine Betrachtung mit einzubeziehen. Besonders der Zeitraum 1780 bis 1835 gilt nach Pelz (2000) als kritisch in der *Berlin & Dahlem*-Reihe. Nur zum Teil dokumentiert, wurden die Werte mehrfach und vor allem nach oben korrigiert, sodass sich im Vergleich zu den Folgejahren eine nicht realistische Abkühlung abzeichnet. Mit der Einrichtung des Königlich Preußischen Meteorologischen Instituts im Jahre 1847 entstand eine wissenschaftliche Basis für die Wetteraufzeichnungen.

Die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts beginnt mit einer kalten Periode, von der aus die Temperatur in der *Berlin & Dahlem*-Reihe kontinuierlich mit einer Rate von 0,104 K/Dekade (100-jähriger linearer Trend) ansteigt. Dieser Anstieg wird von einer Stabilisierung in den Jahren von 1910 bis 1985 unterbrochen, die auch in der globalen Mitteltemperaturkurve von 1940 bis 1970 zu erkennen ist. Sie wird hervorgerufen durch die ständig wachsende Industrialisierung und dem damit einhergehenden vermehrten Aerosoleintrag, der in der Atmosphäre zu einer Abkühlung führt. Gleichzeitig kommt es zu einer Erwärmung durch die zunehmende Konzentration der Treibhausgase. Beide Effekte haben sich in dieser Zeit kompensiert. Erst nach 1970 führen Maßnahmen zur Reduktion der Luftverschmutzung bei gleichzeitig immer noch ansteigender Treibhausgaskonzentration dazu, dass die Atmosphäre sich deutlich erwärmt (Solomon et al. 2007). Der 100-jährige Trend in Berlin ist mit 0,104 K/Dekade höher als der im IPCC 2007 genannte globale Mittelwert von 0,075 K/Dekade, was auf die kontinentale Lage von Berlin zurückzuführen ist. Die *Potsdamer* Temperaturkurve folgt in ihrem Verlauf im Wesentlichen der *Berlin & Dahlem*-Reihe. Das zeigt, dass das Klima in Potsdam und Dahlem sich nicht wesentlich unterscheiden. Dank der Parallelmessungen in Potsdam ist eine unabhängige Verifikation der Messungen in Dahlem möglich.

Die Häufigkeitsverteilung der Jahresmitteltemperatur zeigt eine Zunahme der höheren Werte, wenn man die Periode 1860 bis 1909 mit dem Zeitabschnitt 1960 bis 2009 (Abb. 6) vergleicht. Während vor etwas über 100 Jahren eine Jahresmitteltemperatur von 6,5 °C in 5 % aller Jahre erreicht wird, werden derartig kalte Jahresmitteltemperaturen heutzutage fast nicht mehr beobachtet. Eine Jahresmitteltemperatur von 10,5 °C wurde im 19. Jahrhundert nur für 3 % der Jahre aufgezeich-

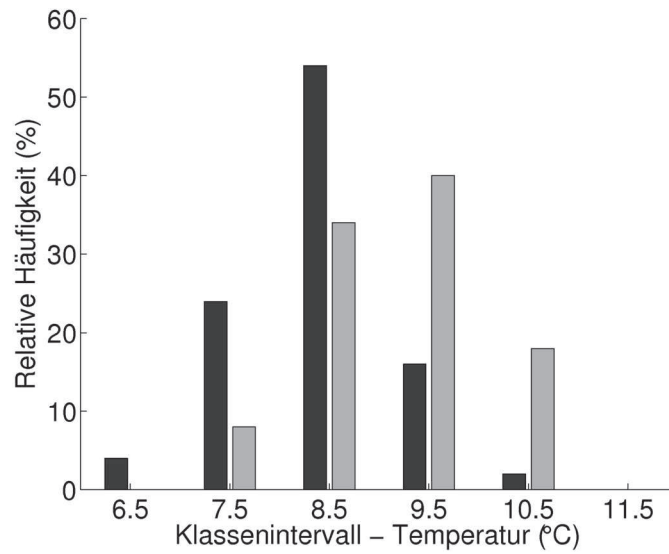


Abb. 6. Die Häufigkeitsverteilung der mittleren Jahrestemperatur berechnet anhand der *Berlin & Dahlem*-Temperaturreihe für die Zeitabschnitte 1860 bis 1909 (schwarz) und 1960 bis 2009 (grau)

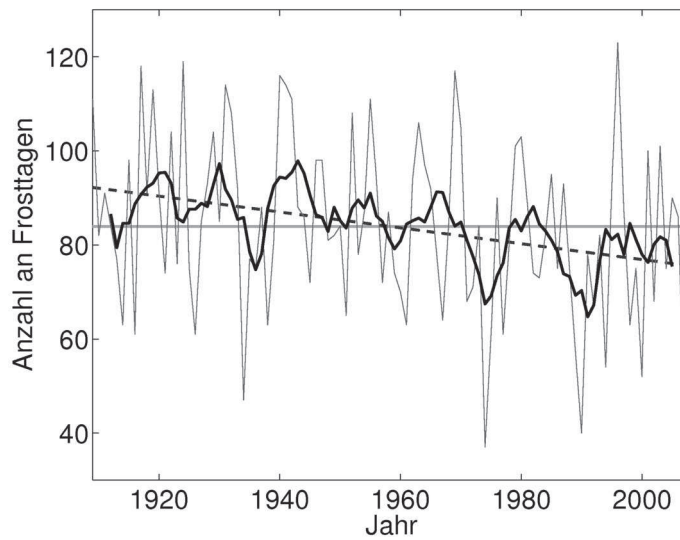


Abb. 7. Die Anzahl der Tage im Jahr mit Temperaturen unter 0 °C (Frosttage) für *Berlin & Dahlem* (graue dünne Kurve, 7-jähriges gleitendes Mittel: schwarze Kurve); der Mittelwert für die Jahre 1909–2008 wird durch die graue gerade Linie angezeigt, der 100-jährige signifikante lineare Trend durch die gestrichelte schwarze Linie (95 % Niveau, Mann-Kendall-Test; Schönwiese 2006)

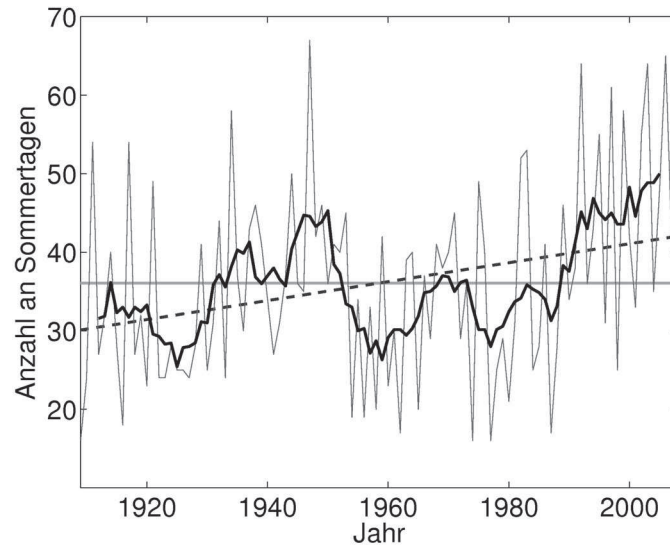


Abb. 8. Die Anzahl der Tage im Jahr mit Temperaturen über 25 °C (Sommertage) für *Berlin & Dahlem* (graue dünne Kurve, 7-jähriges gleitendes Mittel: schwarze Kurve); der Mittelwert für die Jahre 1909 bis 2008 wird durch die graue Linie angezeigt, der 100-jährige signifikante lineare Trend durch die gestrichelte schwarze Linie (95 % Niveau, Mann-Kendall-Test; Schönwiese 2006)

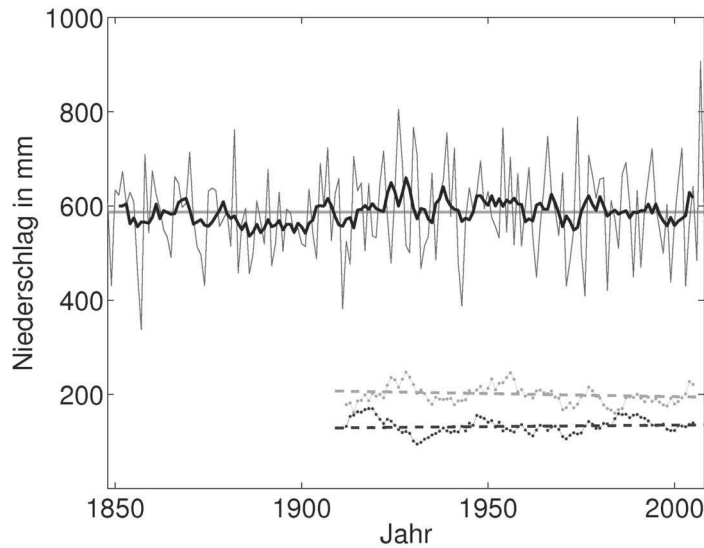


Abb. 9. Der Niederschlag von 1848 bis 2008 (graue dünne Kurve, 7-jähriges gleitendes Mittel: schwarze Kurve) in mm im Jahr sowie der 161-jährige Mittelwert (graue Linie) für *Berlin & Dahlem*; der 7-jährig gemittelte Niederschlag für Winter (DJF) wird in schwarz gepunktet dargestellt, für Sommer (JJA) in grau; die 100-jährigen nicht signifikanten Trends werden durch die gestrichelten Linien dargestellt (95 % Niveau, Mann-Kendall-Test; Schönwiese 2006)

net, am Ende des 20. Jahrhunderts jedoch für über 12 %. Gegenüber dem Ende des 19. Jahrhunderts hat die Anzahl der Frosttage (unter 0 °C) signifikant um 17 Tage abgenommen und liegt jetzt bei 80 Tagen (Abb. 7). Die Anzahl der Tage mit Temperaturen über 25 °C (Sommertage) hat im gleichen Zeitraum signifikant um ungefähr 12 Tage pro Jahr zugenommen (Abb. 8).

Die Niederschlagsentwicklung der letzten 110 Jahre

Der mittlere Jahresniederschlag in der *Berlin & Dahlem*-Reihe verändert sich nur marginal und unsignifikant mit einem Anstieg von 0,2 % seit Anfang des 20. Jahrhunderts (Abb. 9 oben). Es ist eine Tendenz zu mehr Winterniederschlag (ca. 3 % während der letzten 100 Jahre) und weniger Sommerniederschlag zu verzeichnen (ca. 4 % weniger, Abb. 9 unten). Im Jahresmittel heben sich beide Effekte auf. Die Niederschlagstrends sind nicht signifikant und bestätigen die Ergebnisse von Hupfer & Chmielewski (2007).

Ausblick

Der globale Klimawandel ist auch in Berlin bereits sichtbar und wird sich fortsetzen. Auf Basis von Simulationen mit einem Regionalmodell (Jacob et al. 2008) kann man für das Ende des 21. Jahrhunderts von einem Temperaturanstieg von 3,0 bis 3,5 °C für das mittlere IPCC-Szenarium A1B ausgehen, zusammen mit einem Anstieg des Winterniederschlags um 10 bis 20 % und einer Abnahme des Sommerniederschlags um 10 bis 30 %. Dieses entspricht den Ergebnissen von Gerstengarbe et al. (2003).

Die Temperaturmessungen vor 1850 sind sehr unzuverlässig und können in der hier abgebildeten Form nicht zur Herleitung von Klimatrends verwendet werden. Eine Abhilfe kann die Untersuchung von Baumringweiten und -dichten schaffen. Mit ihnen als Proxy kann man die Temperaturen rekonstruieren (Briffa et al. 2004). Für Berlin macht Freund (2010) einen ersten Versuch, die Berliner Temperaturreihe aus den Kiefernbeständen des Tegeler Forstes herzuleiten. Allerdings reicht diese Rekonstruktion nur bis in das Jahr 1840 zurück. Es müssen daher ältere Baumbestände ausfindig gemacht werden, mit denen man die Rekonstruktionen verlängern kann.

Geht man von diesem Szenario aus, wird es mehr Sommertage, aber auch weniger Frosttage geben. Besonders die Zunahme der heißen Tage bedeutet ein erhöhtes Risiko für die Gesundheit, aber auch für die Infrastrukturen allgemein. Die Stadt Berlin sollte entsprechende Vorsorgemaßnahmen treffen.

Die tendenzielle Änderung des Niederschlags bedeutet, dass man längerfristig Wasserspeicher braucht, um eine gleichmäßige Versorgung zu gewährleisten.

Schlussfolgerung

Die hier diskutierten Daten lassen erkennen, in welchem Maße sich der globale Klimawandel bereits in Berlin auswirkt. Dank der Weitsicht der Königlich-Preußischen Akademie der Wissenschaften vor mehr als 300 Jahren liegen heute in Berlin die weltweit längsten Messreihen vor. Die Fortführung der Messungen ist unabdingbar, damit man auch in Zukunft auf lang zurückreichende Daten zurückgreifen kann, um den Klimawandel zu beschreiben und die globalen Projektionen des IPCC's für Berlin zu skalieren. Die heutige Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften sollte darauf drängen, dass beide, die Messungen in Berlin-Dahlem und in Potsdam, auch in Zukunft weitergeführt werden. Um die *Berlin & Dahlem*-Reihe vor 1850 vernünftig interpretieren und validieren zu können, sind weitere Studien und Forschung wie die Baumring- und Isotopenanalyse der Dendroklimatologie notwendig. Die Akademie sollte diese Forschung aktiv unterstützen und auch prüfen, ob man die Zeitreihe noch weiter in die Vergangenheit ausdehnen kann und welche Baumbestände im Großraum Berlin-Brandenburg für eine derartige Studie geeignet sind.

Danksagung

F. Chmielewski und G. Myrcik (2009) stellten die Daten bereit. Viele Diskussionen mit I. Kirchner, M. Freund, G. Myrcik und J. Heise halfen, die Entstehung der Datenreihen besser zu verstehen und sie zu interpretieren. C. Deetz unterstützte uns bei der Formatierung des Literaturverzeichnisses, M. Schuster übernahm das Korrekturlesen. Ihnen allen sei herzlich gedankt. Diese Arbeit basiert auf einem Vortrag zu einem Kolloquium anlässlich des 300. Todestages von Gottfried Kirch, der in *Cubasch, U. & C. Kadow (2010): Die Berliner Temperaturreihe. Acta Historica Astronomiae 41, 112–132* abgedruckt wurde.