

Ein neuer meteorologischer Datensatz für Deutschland, 1951 – 2003

H.Österle, F.-W.Gerstengarbe, P.C.Werner
Potsdam Institut für Klimafolgenforschung e.V., P.O. Box 60 12 03, D-14412 Potsdam
E-mail: Hermann.Oesterle@pik-potsdam.de

1. Einleitung

Datenqualität und Datenumfang sind wichtige Faktoren beim Aufbau einer klimatologischen Datenbank. Häufig sind Klimareihen nicht vollständig und/oder enthalten systematische, nicht klimatologisch bedingte Inhomogenitäten, die durch Veränderungen der Messbedingungen (Stationsverlegungen, Änderungen von Messgeräten und -methoden usw.) entstanden sind.

Deshalb war es Ziel dieser Arbeit am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) einen in Raum und Zeit homogenen Klimadatensatz auf Tageswertbasis für Deutschland zu erstellen, der hinsichtlich der zeitlichen Länge als auch der Anzahl an Messstationen optimiert wurde. Alle Datenreihen mit Lücken wurden mit Hilfe statistischer Verfahren ergänzt. Inhomogenitäten, sofern sie nicht natürlichen Ursprungs waren, wurden gesucht und beseitigt. Die Datenreihen wurden auf falsche Werte geprüft und diese berichtigt. Im Ergebnis steht damit ein einmaliger Datensatz zur Verfügung der für wissenschaftliche Untersuchungen zur Klimaanalyse, zur Validierung von Klimamodellen als auch in anderen Forschungsbereichen eingesetzt werden kann.

2. Daten

Die Datengrundlage für diese Arbeit wurde im wesentlichen durch den Deutschen Wetterdienst bereitgestellt. Voraussetzung für die Stationsauswahl war die Bedingung, dass die jeweilige Station eine durchgängige Messperiode von 1951 bis 2003 aufweisen musste. Unter dieser Randbedingung konnten letztlich 264 Klimastationen und 2072 Niederschlagsstationen verwendet werden. Bei 222 Klimastationen standen Tageswerte des Maximums, Mittels und Minimums der Lufttemperatur, die Niederschlagssumme, die relative Luftfeuchte, der Luftdruck, der Dampfdruck, die Sonnenscheindauer, der Bedeckungsgrad und die Windgeschwindigkeit zur Verfügung. Für die verbleibenden Klimastationen wurde zusätzlich die Globalstrahlung bereitgestellt. Außerdem konnte bei Bedarf in die jeweilige Stationsgeschichte der Klimastationen eingesehen werden.

3. Kontrolle auf Fehlwerte

Die Qualitätsanalyse wurde in 4 Stufen durchgeführt. In der ersten Stufe wurde geprüft, ob die Messwerte die physikalisch möglichen Grenzwerte der jeweiligen meteorologischen Größe über- bzw. unterschreiten. Die zweite Stufe umfasste die Prüfung auf Konsistenz zwischen den T_{\max} , T_{\min} , T_{mit} ; und zwischen der Sonnenscheindauer und dem Bedeckungsgrad. In der dritten Stufe wurden Sequenzen gleicher Messwerte auf die Plausibilität ihres Auftretens hin untersucht.

Die letzte Stufe umfasste die Suche nach räumlich inkonsistenten Messungen an Stationen, deren Messreihen auf Grund ihrer Lage zueinander hoch miteinander korreliert waren. Dazu wurden, für jede zu prüfende Station (i), die 10 am nächsten liegen Nachbarstationen bestimmt. Auf Basis der Messwerten von diesen 10 Nachbarstationen wurden die Mittelwerte (\bar{x}_i) und die Standardabweichungen (σ_i) den entsprechenden Parameter berechnet. Liegt die Differenz von $|x_i - \bar{x}_i|$ außerhalb des Bereichs von 4σ wird dieser Wert als möglicher Fehler definiert. Zusätzlich wurde mit Hilfe einer linearen eindimensionalen Regressionsgleichung aus den Werten der Nachbarstationen der jeweilige Wert für die zu kontrollierende Station bestimmt. Die Differenz zwischen Schätzwert und tatsächlichem Messwert wurde mit dem mittleren quadratischen Fehler der Regressionsgleichung (RMSE) verglichen. Weisen mehr als 50% der Differenzen einen größeren Wert als $3 * \text{RMSE}$ auf, so ist der kontrollierte Wert als falsch zu kennzeichnen. Die Begrenzung der Verfahren nur auf die erste Methode, so wie es bei (Hubbard, 2001; Feng S. et al., 2004) angegeben wurde, führte zu häufigen Ausmusterungen. Deshalb wurde ein Fehler nur dann als solcher akzeptiert, bei dem beide Bedingungen erfüllt waren. Eine Untersuchung der Niederschlagssummen mit diesem Verfahren wurde nicht durchgeführt, da für dieses Element die räumliche Korrelation häufig gegen Null geht.

4. Datenergänzung

Durch die Aufdeckung von falschen Werten in einer Datenreihe sowie fehlender Messwerte ergaben sich Lücken in den Reihen, die ergänzt werden mussten. Dazu wurde jeweils die Nachbarstation (j) mit der höchsten Korrelation zur zu ergänzenden Station (i) herangezogen. Die täglichen Messwerte einer Station wurden ergänzt, indem auf den jeweiligen Tageswert der am besten korrelierten Nachbarstation die Differenz aus dem langjährigen Monatsmittel zwischen zu ergänzender und Nachbarstation addiert wurde.

$$x_j = x_j + (\bar{x}_i - \bar{x}_j) \quad (1)$$

Bei den meteorologischen Größen mit begrenztem Intervall (z.B. relative Luftfeuchte $0\% \leq \text{RF} \leq 100\%$) wurden die Korrekturen proportional zu den relativen Differenzen berechnet:

$$x_j = x_j * \bar{x}_i / \bar{x}_j \quad (2)$$

Wenn man, wie von Hubbart (2001) vorgeschlagen, die Datenergänzung durch das Einsetzen gewichteter Mittelwerte realisiert, wird der verbleibende Fehler selbstverständlich minimiert, allerdings auf Kosten einer realistischen Streuung, die bei dieser Vorgehensweise stark gedämpft wird – ein Effekt, der nicht immer unberücksichtigt bleiben kann.

Anzumerken ist noch, dass die Ergänzung von Globalstrahlungsdaten über Regressionsbeziehungen aus der Sonnenscheindauer (Oesterle, 2001) durchgeführt wurde.

5. Homogenitätsanalyse und Homogenisierung den Zeitreihen

5.1 Homogenisierung den Zeitreihen unter Verwendung von Angaben zur Stationsgeschichte

Bei diesem Ansatz wurden die Stationsreihen durch Einbeziehung der vorhandenen Stationsgeschichten auf Homogenität untersucht und bei Bedarf entsprechen korrigiert.

Aus der DWD-Stationsdatei wurden die vorhandenen Informationen zu Verlegungen der dem PIK bereitgestellten Stationen herausgesucht. Danach wurden für die jeweiligen meteorologischen Parameter (Tageswerte) die Mittelwerte der vom Jahresgang befreiten Reihe vor und nach der/den Stationsverlegung/en berechnet. Da die Anomalien in der Regel normalverteilt sind, konnten deren Mittelwerte mit Hilfe des t-Tests (Lozan and Kausch, 1998) verglichen werden. Der Testwert des einfachen t-Tests ist wie folgt definiert:

$$t = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) / \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} \quad (3)$$

mit n_1 und n_2 = Umfang der beiden Stichproben, \bar{x}_1 und \bar{x}_2 = Mittelwerte, und s_1^2 und s_2^2 = Varianz.

Mit diesem Test ist es möglich, die Mittelwerte zweier unabhängiger normalverteilter Stichproben miteinander zu vergleichen.

Lag der t-Wert oberhalb der gewählten Signifikanzschranke für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.1%, bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den Teilreihen. War dies der Fall, wurde der gleiche Test auf eine benachbarte Station ohne Stationsverlegung angewandt. Eine natürliche Inhomogenität lag vor, wenn auch die Referenzstation die gleiche Inhomogenität aufwies. Im anderen Fall, war die Inhomogenität eine Folge der Stationsverlegung. Damit war eine Korrektur der inhomogenen Reihe notwendig. Die Korrektur erfolgte durch eine Anpassung der Daten vor der Stationsverlegung an die nach der letzten Verlegung unter Berücksichtigung der zeitlichen Änderungen an der Referenzstation, ähnlich wie es bei der Datenergänzung verläuft mit (1) und (2).

5.2 Homogenisierung von Zeitreihen auf Basis der Differenzreihen zu benachbarten Stationen und der Trendanalyse

Die mit dem oben dargestellten Verfahren durchgeführten Korrekturen wurden die Reihen in der Regel verbessert, ohne allerdings eine vollständige Homogenität zu erreichen. Ein Beispiel dafür sind unterschiedliche Trends bei benachbarten Stationen. Das heißt dass die Stationsreihen noch zu für uns unbekanntem Zeitpunkten, Inhomogenitäten aufweisen.

Um hier zu einer Lösung zu kommen, wurde die zu kontrollierende Reihe gleichzeitig mit mehreren, in der gleichen Gegend liegenden Stationen verglichen. Dazu wurden die Differenzreihen zu den benachbarten Stationen untersucht. Zusätzlich wurden die Trends in den Reihen analysiert.

Dazu wurde wie folgt vorgegangen: zuerst wurden, für jede zu prüfende Station (i), die 10 am nächsten liegen Nachbarstationen bestimmt. Für die zu kontrollierende Station und die Nachbarstationen wurden die Trends (Tr), und für die Gesamtheit der Nachbarstationen der mittlere Trend (\overline{Tr}) und die Standardabweichung der Trends (σ), berechnet. Bei $|Tr_i - \overline{Tr}| \geq 3 * \sigma$, wurde die Zeitreihe der zu kontrollierenden Station als möglicherweise inhomogen gekennzeichnet.

Dann wurde ein gleitender t-Test der monatlichen Differenzreihen durchgeführt, wobei jeweils benachbarte Zeitintervalle von je 48 Monaten Länge miteinander verglichen wurden. Man erhielt auf diese Weise eine Zeitreihe der t-Werte. Lokale Maxima (Minima), die die Signifikanzgrenze überschritten, wurden als mögliche Inhomogenitäten interpretiert. Traten solche Inhomogenitäten zu jeweils gleichen Zeitpunkten an der zu prüfenden Station und an mehr als 50% der Nachbarstationen auf, wurden die Differenzreihen in Intervalle unterteilt, die durch die Maxima (Minima) getrennt sind. Diese Sub-Intervalle wurden mittels t-Tests auf Unterschiede geprüft. Waren diese Unterschiede bei mehreren Differenzreihen signifikant, wurde die ursprünglich als mögliche Inhomogenität interpretierte Stelle als tatsächlich vorhandene Inhomogenität anerkannt. Die Korrektur der inhomogenen Reihen erfolgte wie in 5.1 bereits erwähnt wurde.

Als letzte Etappe wurde eine Trendanalyse der korrigierten Reihen durchgeführt. War $|Tr_{i,kor} - \overline{Tr}| \leq 2 * \sigma$, wurden die Korrekturen als korrekt anerkannt. War die Differenz $|Tr_{i,kor} - \overline{Tr}|$ größer als 2σ , wurden die empfohlenen Korrekturen abgelehnt. Der Anteil der inhomogenen Reihen variierte zwischen 25% (T_{max}) und 90% (relative Feuchte)

6. Zusammenfassung

Gegenwärtig enthält die PIK-Datenbank für Deutschland 264 Klima- und 2072 Niederschlagsstationen mit kompletten Zeitreihen von 11 meteorologischen Parameter für den Zeitraum 1951-2003. Die Stationsreihen wurden zeitlich und räumlich kontrolliert und die gefundenen Fehler beseitigt. Die vorhandenen Lücken wurden auf Basis der Daten der Nachbarstationen geschlossen. Die komplettierten Zeitreihen wurden auf Inhomogenitäten hin untersucht und beim Bedarf homogenisiert. Die Globalstrahlung wurde mit Regressionsgleichungen aus der Sonnenscheindauer berechnet. Bei den Niederschlagsstationen wurden die fehlenden Parameter von den Klimastationen interpoliert. Im Ergebnis steht damit ein einmaliger Datensatz zur Verfügung, der für wissenschaftliche Untersuchungen zur Klimaanalyse, zur Validierung von Klimamodellen als auch in anderen Forschungsbereichen eingesetzt werden kann. Benutzt wurden die Daten bereits in zahlreichen Projekten innerhalb und außerhalb des PIKs.

Literaturverzeichnis

Feng S., Hu Q., Qian W. 2004: Quality control of daily meteorological data in China, 1951-2000: a new dataset. *Int. J. Climatol.* **24**: 853-870

Hubbard KG. 2001: Multiple station quality control procedures. *In Proceedings of Automated Weather stations for Applications in Agriculture and water Resources Management: Current Use and Future Perspectives.* Hubbard KG, Sivakumar MVK (eds), Lincoln, Nebraska, USA, 6-10 March 2000; 133-136

Lozan J., Kausch H., 1998: Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler, **2.**, überarbeitete und ergänzte Auflage. *Parey Buchverlag Berlin.* 287

Oesterle H., 2001: Reconstruction of Daily Global Radiation for Past Years for use in Agricultural Models. *Phys.Chem. Earth (B)*, Vol. **26**, No.3. 253-256.