

EINE NEUE GLOBALE NIEDERSCHLAGSKLIMATOLOGIE FÜR DEN ZEITRAUM 1951-2000

C. BECK¹, J. GRIESER¹, B. RUDOLF¹ und U. SCHNEIDER¹

¹*Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie,
Deutscher Wetterdienst, Deutschland*

1 EINLEITUNG

Gerasterte globale Niederschlagsdaten stellen eine unverzichtbare Grundlage für verschiedene Teilbereiche der Klimaforschung dar. Exemplarisch zu nennen sind globale und regionale Wasserhaushalts- und Klimavariabilitätsstudien, der Abgleich und die Kalibrierung von aus satellitengestützten Beobachtungen abgeleiteten klimarelevanten Parametern oder auch die Verifizierung von Klimamodellen.

Die in allen Anwendungsbereichen erwartete Qualität globaler Niederschlagsdatenfelder setzt eine hohe Zuverlässigkeit der zugrundeliegenden Stationsdaten sowohl hinsichtlich der Genauigkeit der Messwerte als auch bezüglich der Korrektheit der Stationsmetadaten und nicht zuletzt eine ausreichende Stationsdichte voraus.

Insbesondere mit Blick auf den Einsatz gerasterter Klimadaten im Rahmen von Untersuchungen zur langzeitlichen Klimavariabilität ergibt sich die Forderung nach Homogenität der Rasterdaten, die nur durch die weitestgehende Gewährleistung zeitlicher Homogenität und Kontinuität der zugrundeliegenden stationsbasierten Beobachtungsdaten erfüllt werden kann.

In den letzten Jahren wurden verschiedene globale monatliche Niederschlagsdatenfelder unter Verwendung terrestrischer Beobachtungsdaten für unterschiedliche Zeiträume erstellt. Unter anderen sind zu nennen die verschiedenen, im Kontext des Global Precipitation Climatology Project (GPCP) erzeugten Datensätze (Rudolf *et al.* 1994, Xie *et al.* 1996, Huffman *et al.* 1997, Chen *et al.* 2002, Adler *et al.*, 2003), die globalen Niederschlagsfelder von Dai *et al.* (1997) und schließlich der momentan wohl am weitesten verbreitete Datensatz der Climatic Research Unit (CRU) (New *et al.* 2000).

Innerhalb des im Rahmen des Deutschen Klimaforschungsprogramms (DEKLIM) geförderten Projekts VASclimO (Variability Analyses of Surface Climate Observations) erfolgt am Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie (WZN/GPCC Global Precipitation Climatology Centre), angesiedelt beim Deutschen Wetterdienst (DWD), die Erstellung einer neuen globalen monatlichen Niederschlagsklimatologie für die Landflächen für den Zeitraum 1951-2000 mit einer räumlichen Auflösung von $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ auf der Basis der weltweit umfangreichsten Sammlung monatlicher Niederschlagsdaten.

Alle verfügbaren Stationsdaten werden dabei einer gründlichen Qualitätskontrolle unterzogen, die die Überprüfung sowohl der Stationsmetadaten als auch der Niederschlagsmesswerte umfasst. Für die Erstellung der gerasterten Niederschlagsfelder mittels des Interpolationsverfahrens nach Shepard (1968) und Willmott *et al.* (1985) werden nur solche Stationen verwendet, die für den Analysezeitraum (1951-2000) eine Datenbelegung von mindestens 90% aufweisen. Durch diese Beschränkung der Datengrundlage wird das Risiko der Erzeugung zeitlicher Inhomogenitäten der interpolierten Rasterfelder infolge zeitlicher Diskontinuitäten der Stationsverteilung minimiert. Dies ist insbesondere hinsichtlich des geplanten Einsatzes der Niederschlagsfelder in Klimavariabilitätsstudien von maßgeblicher Bedeutung.

2 ZUR DATENGRUNDLAGE UND DATENAUFBEREITUNG

2.1 DATENVERFÜGBARKEIT

Zur Erstellung der gerasterten globalen monatlichen Niederschlagsfelder werden Daten aus unterschiedlichen, beim WZN verfügbaren Quellen herangezogen. Diese verschiedenen, im weiteren als Messnetze bezeichneten Datenquellen unterscheiden sich bezüglich der Bearbeitungsschritte und Verbreitungswege, die zwischen der Messwerterhebung an den Beobachtungsstationen und der Integration in die relationale globale Klimadatenbank des WZN liegen.

Drei wesentliche Messnetze stellen die globalen historischen Datensammlungen der Food and Agriculture Organization der UN (FAO, 13.500 Stationen), der Climate Research Unit (CRU, 9.500 Stationen) und des Global Historical Climatology Network (GHCN, 22.600 Stationen) dar. Der überwiegende Teil der Beobachtungsreihen dieser Messnetze hat zwar den Vorteil weit in die Vergangenheit hinein zu reichen, jedoch enden die Zeitreihen zumeist deutlich vor dem Ende des vorigen Jahrhunderts.

Weitere drei Messnetze enthalten Daten, die über das Globale Telekommunikationssystem (GTS) der WMO weltweit verfügbar gemacht werden. Dies sind einerseits die Termin-Werte von zur Zeit ca. 6000 Stationen, die im WZN zu Monatswerten aggregiert werden (GPCC-SYNOP). Daneben stehen dem WZN auch die vom Climate Prediction Center (CPC) in den USA aufbereiteten SYNOP-Meldungen zur Verfügung (CPC-SYNOP). Da die elektronisch und kurzfristig übermittelten Terminwerte ungeprüft und teilweise lückenhaft sind und sich die Bearbeitungsschritte zur Ableitung monatlicher Niederschlagssummen zwischen GPCC und CPC unterscheiden ergeben sich teilweise deutliche Diskrepanzen zwischen den Beobachtungswerten dieser beiden Messnetze. Das dritte per GTS übermittelte Messnetz (CLIMAT) umfasst die bereits an den Beobachtungsstationen zu Monatsniederschlägen kumulierten und qualitätskontrollierten CLIMAT-Meldungen. Dieses letztgenannte Messnetz umfasst derzeit ca. 2000 Stationen.

Zusätzlich zu diesen sechs Messnetzen unterhält das WZN direkte Kontakte zu 173 innerhalb der WMO vertretenen Staaten. Von den jeweiligen nationalen meteorologischen und hydrologischen Diensten erhält das WZN direkt von diesen aufbereitete Daten. Dieses Messnetz (National) deckt unterschiedliche Subintervalle des Untersuchungszeitraums ab und wird in unregelmässigen zeitlichen Abständen aktualisiert. Schliesslich fasst ein letztes Messnetz (Regional) weitere Datenquellen zusammen (z.B. Daten aus Forschungsprojekten und von verschiedenen Forschungseinrichtungen).

Die aktuelle Verfügbarkeit monatlicher Niederschlagsdaten im Zeitraum 1951 bis 2004 ist, differenziert nach den verschiedenen genannten Messnetzen bzw. Gruppierungen von diesen, in Abb. 1 dargestellt.

Deutlich in Erscheinung tritt das ausgeprägte Maximum der Stationsbelegung um 1986, das einhergeht mit dem Beginn des ursprünglich innerhalb des WZN betrachteten Analysezeitraums. Eine Ausdehnung des Betrachtungszeitraums in die Vergangenheit gelingt aber unter Verwendung der verschiedenen historischen Datensammlungen (CRU, FAO, GHCN). Da die globale Datensammlung des Global Historical Climatology Network noch nicht in die relationale Datenbank des WZN integriert ist, beschränkt sich die Verfügbarkeit der historischen Datensammlungen derzeit noch auf die beiden Datenkollektive von FAO und CRU. Die Reduktion der Anzahl verfügbarer Niederschlagsdaten in den jüngsten Jahren, die auf eine verzögerte Aktualisierung der meisten Datensätze zurückgeführt werden kann, lässt sich zumindest teilweise durch die Verwendung der zeitnah übermittelten GTS-Daten (CLIMAT, GPCC-SYNOP, CPC-SYNOP) kompensieren.

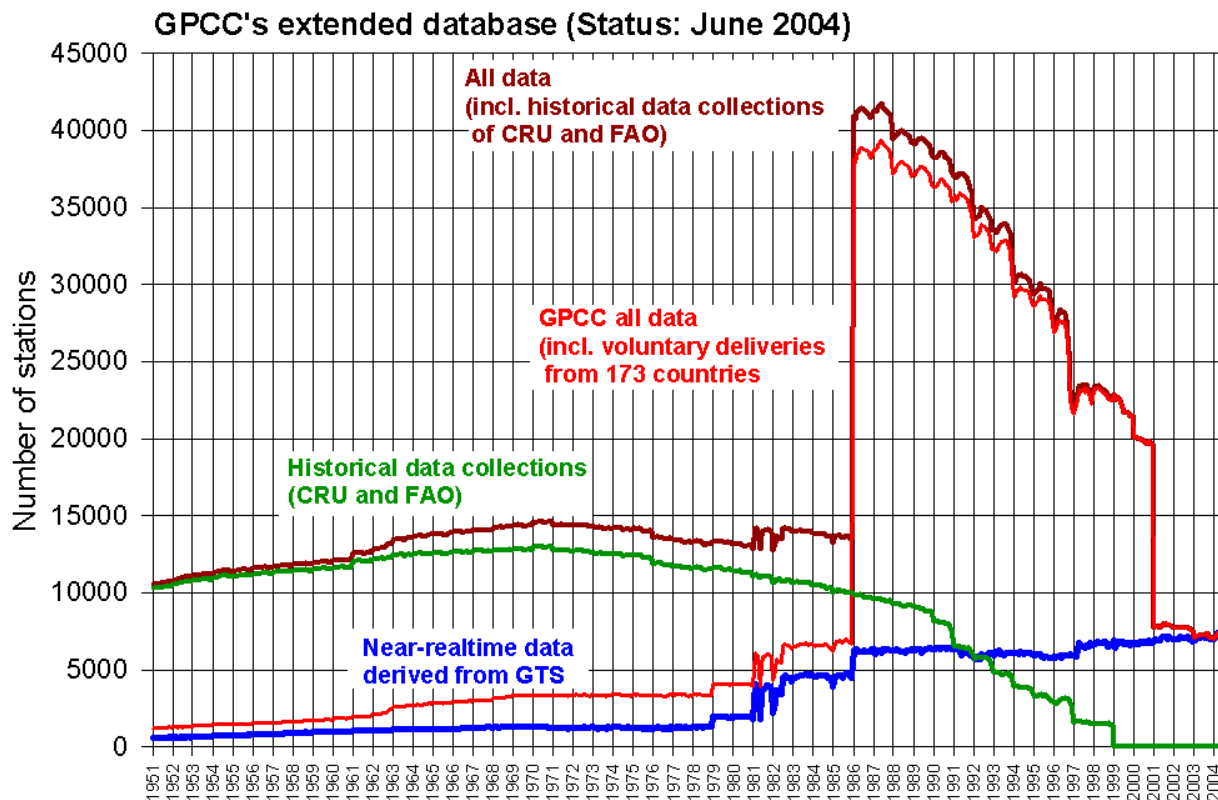


Abbildung 1: Aktueller zeitlicher Verlauf der Niederschlagsdatenbelegung ab 1951 der Datenbank des Weltzentrums für Niederschlagsklimatologie, differenziert nach Messnetzen bzw. Messnetzgruppen.

2.2 QUALITÄTSKONTROLLE

Die verschiedenen Messnetze enthalten zum Teil Beobachtungsdaten von übereinstimmenden Stationen.

Um Fehlzuordnungen und Dubletten innerhalb der WZN-Datenbank zu vermeiden ist es daher notwendig im Rahmen einer gründlichen Qualitätsprüfung der Niederschlagsdaten und Stationsmetadaten die Verlässlichkeit der Messwerte und die Korrektheit der Metadateninformationen sicherzustellen. Erst durch die zweifelsfreie Stationszuordnung der Daten aus verschiedenen Messnetzen wird die Kompilation langer Stationszeitreihen aus den verschiedenen verfügbaren Messnetzen ermöglicht.

Zur eindeutigen Identifikation von Stationen werden die geografischen Lageparameter, Länge, Breite und Stationshöhe, sowie zusätzliche Informationen, wie Stationsname, WMO-Identifikationsnummer (wenn vorhanden) und nationale Kennnummern herangezogen. Ergänzend werden, bei Vorhandensein zeitlicher Überlappungsintervalle zwischen verschiedenen Messnetzen, auch Vergleiche der jeweils vorhandenen messnetzspezifischen Beobachtungswerte im Rahmen der Stationszuordnung durchgeführt.

Für etwa die Hälfte aller zu bearbeitenden Fälle kann eine eindeutige Stationszuordnung mittels eines weitgehend automatisierten Verfahrens erzielt werden. In den verbleibenden Fällen treten Unklarheiten auf, die eine individuelle Bearbeitung nötig machen. Ursachen solcher aufwändig zu klärenden Zweifelsfälle können variierende oder fehlerhafte Schreibweisen von Stationsnamen, ungenaue oder falsche Koordinaten- oder Höhenangaben oder inkorrekte Stationskennzeichnungen sein. Schliesslich

sind auch Fehlzuordnungen von Beobachtungsdaten zu Stationen bei mehreren Stationen mit quasi-identischen Metainformationen nicht auszuschliessen.

Die Bedeutung dieser Bearbeitungsschritte für alle nachfolgenden klimatologischen Analysen ergibt sich aus Abb. 2, die zeigt, dass beispielsweise durch Fehlerhaftigkeit der geographischen Koordinaten Stationen in andere, nichtadäquate Klimazonen verlegt werden können. Wesentliches Ziel der Qualitätskontrolle ist es, solche Fehler, die eine interpolierte Klimatologie maßgeblich verfälschen würden, zu detektieren und nach Möglichkeit zu korrigieren.

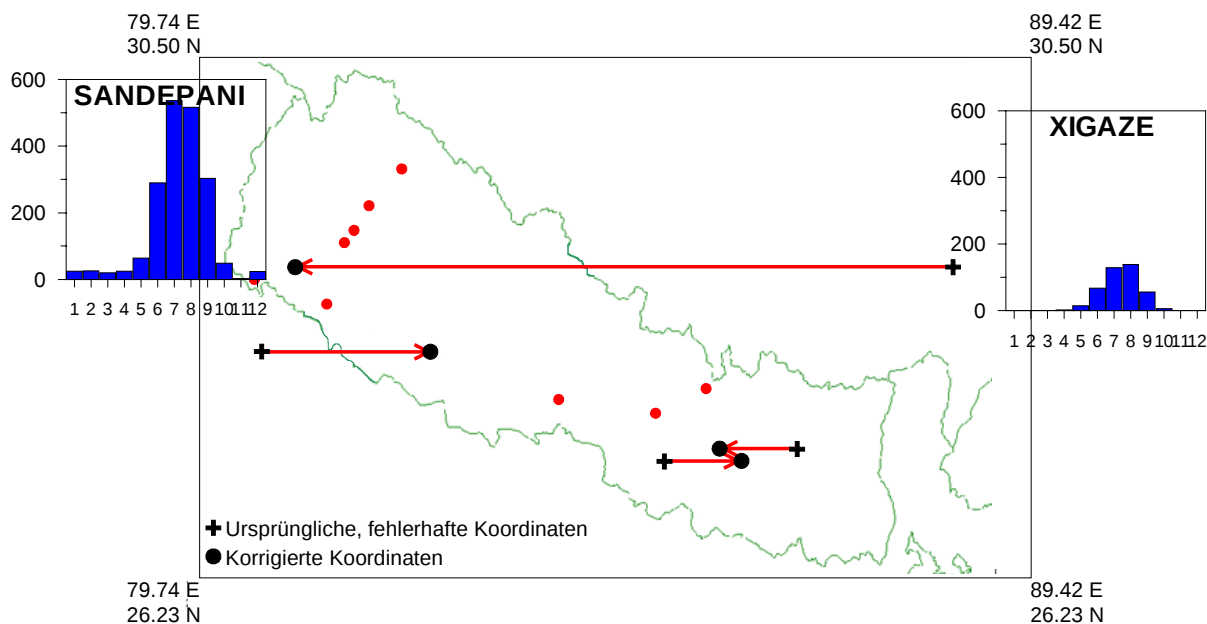


Abbildung 2: Ursprüngliche fehlerhafte und im Rahmen der Qualitätskontrolle korrigierte geographische Koordinaten einiger nepalesischer Stationen. Für die Beispielstation Sandepani ist der Niederschlagsjahresgang am korrekten Ort und am ursprünglich angegebenen Ort (Nähe Station Xigaze) wiedergegeben.

2.3 KOMPILATION LANGER STATIONSREIHEN FÜR DEN ZEITRAUM 1951-2000

Auf der Basis der verschiedenen am WZN verfügbaren Datenquellen werden lange Stationszeitreihen der monatlichen Niederschlagssummen für den Zeitraum 1951-2000 erstellt. Für jeden Einzelmonat muss hierbei für jede Station – bei Verfügbarkeit mehrerer Messnetze - eine Entscheidung bezüglich der jeweils zu verwendenden Datenquelle getroffen werden.

Um hierbei das Risiko der Erzeugung zeitlicher Inhomogenitäten innerhalb der Zeitreihen infolge des Wechsels zwischen Daten verschiedener Messnetze weitestgehend zu minimieren, wird eine Strategie zur Zeitreihenkompilation verfolgt, die sicherstellt, dass jede Zeitreihe aus der geringstmöglichen Anzahl unterschiedlicher Messnetze erstellt wird.

Zusätzlich werden nach Möglichkeit dabei bevorzugt nur solche Messnetze innerhalb einer Reihe kombiniert, die nach den Ergebnissen von Untersuchungen zu bestehenden Unterschieden zwischen den

Daten verschiedener Messnetze (siehe Tab. 1) ein hohes Mass an Übereinstimmung bezüglich orts- und zeitgleich vorhandener monatlicher Niederschlagsdaten aufweisen. Tabelle 1 ist zu entnehmen, dass die historischen Datensätze (FAO und CRU) untereinander und im Vergleich zu nationalen Daten nur vergleichsweise geringe Abweichungen zeigen. Die auf SYNOP-Meldungen beruhenden Messnetze CPC und GPCC hingegen zeigen sowohl untereinander, als auch im Vergleich zu den anderen Messnetzen erhebliche Abweichungen.

	National	FAO	GHCN	CRU	CLIMAT	Regional	GPCC	CPC
National	-	6.9	-	6.6	11.1	12.3	24.0	27.1
FAO	6.9	-	-	5.4	21.2	8.6	36.0	26.4
GHCN	-	-	-	-	-	-	-	-
CRU	6.6	5.4	-	-	21.6	11.7	38.3	31.6
CLIMAT	11.1	21.2	-	21.6	-	17.9	34.5	32.6
Regional	12.3	8.6	-	11.7	17.9	-	28.5	26.2
GPCC	24.0	36.0	-	38.3	34.5	28.5	-	29.3
CPC	27.1	26.4	-	31.6	32.6	26.2	29.3	-

Tabelle 1: Wurzel der mittleren quadratischen Differenz (RMS-Differenz) zwischen zeit- und ortsgleich verfügbaren monatlichen Niederschlagssummen (in mm) aus verschiedenen Messnetzen, gemittelt über 13268 Stationen für den Zeitraum 1951-2000.

Für 5082 Stationen, für die mindestens 90% aller Monate des Zeitraums 1951 – 2000 mit Daten belegt sind (Abb. 3), wurden entsprechend diesen Vorgehens Stationszeitreihen kompiliert.

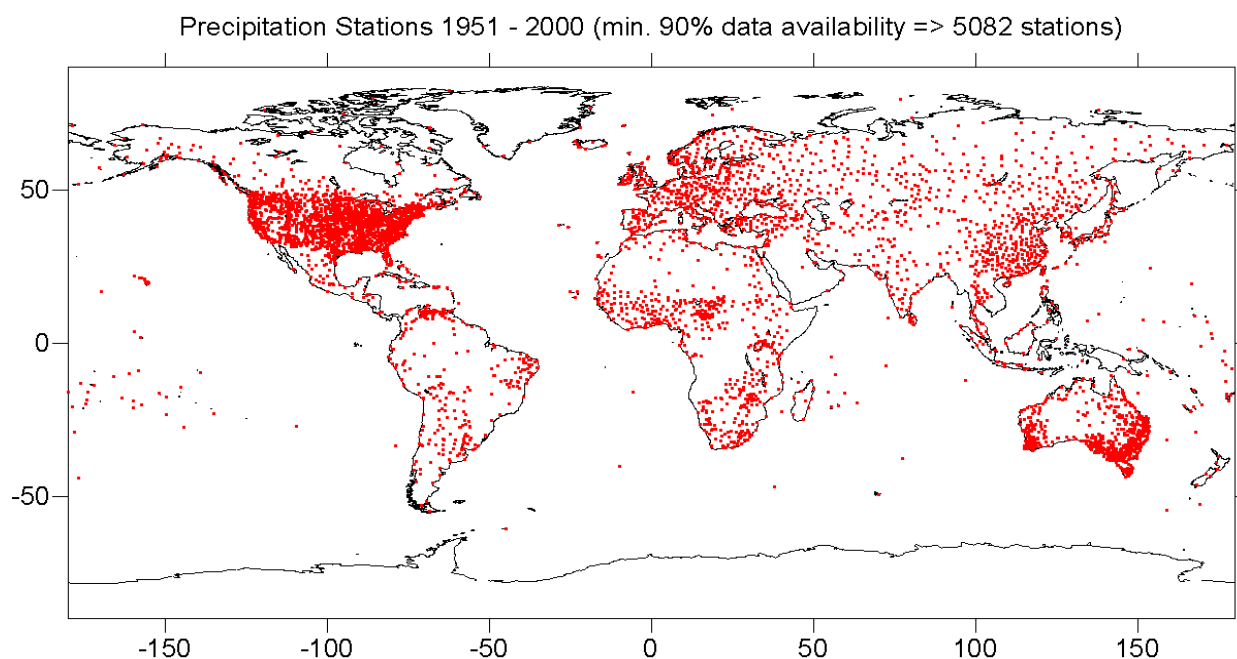


Abbildung 3: Räumliche Verteilung der Niederschlagsstationen mit mindestens 90% Datenbelegung im Zeitraum 1951-2000.

Die Zusammensetzung der resultierenden kompilierten Reihen aus den verschiedenen zur Verfügung stehenden Messnetzen ist in Abb. 4 dargestellt. Abb. 5 illustriert die zeitlichen Variationen der messnetzspezifischen Zeitreihenanteile im Zeitraum 1951-2000.

Der grösste Anteil an allen kompilierten Reihen kommt mit insgesamt etwa 86% den historischen Datenquellen (CRU, FAO, GHCN) zu, weitere etwa 11% aller Daten beruhen auf nationalen und regionalen Quellen sowie dem CLIMAT-Messnetz und lediglich etwa 3% der Datengrundlage stammen aus den per GTS übermittelten SYNOP-Messnetzen (GPCC-SYNOP, CPC-SYNOP).

Aus Abb. 5 wird deutlich, dass die letztgenannten SYNOP-Messnetze aber trotz ihres insgesamt geringen Anteils derzeit unverzichtbar für die Erstellung langer Reihen sind, da sie für einen beträchtlichen Teil der Stationen ab etwa Ende der 1980er Jahre häufig die einzige zur Verfügung stehende Datenquelle darstellen. Ab den frühen 1990er Jahren nimmt – infolge verzögerter Aktualisierung der Datenquellen – auch der Anteil der Fehlwerte zu und erreicht mit etwa 20% in den letzten Jahren des Analysezeitraums sein Maximum.

Zwar setzen sich fast alle Stationsreihen (etwa 95%) aus Daten von mehr als einem Messnetz zusammen, bei deutlich mehr als der Hälfte aller Stationen wird dabei aber nicht auf die am deutlichsten von allen anderen Messnetzen abweichenden SYNOP-Datenquellen zurückgegriffen, damit sollten die betreffenden Zeitreihen nur in geringem Maße von kompilationsbedingten Inhomogenitäten betroffen sein.

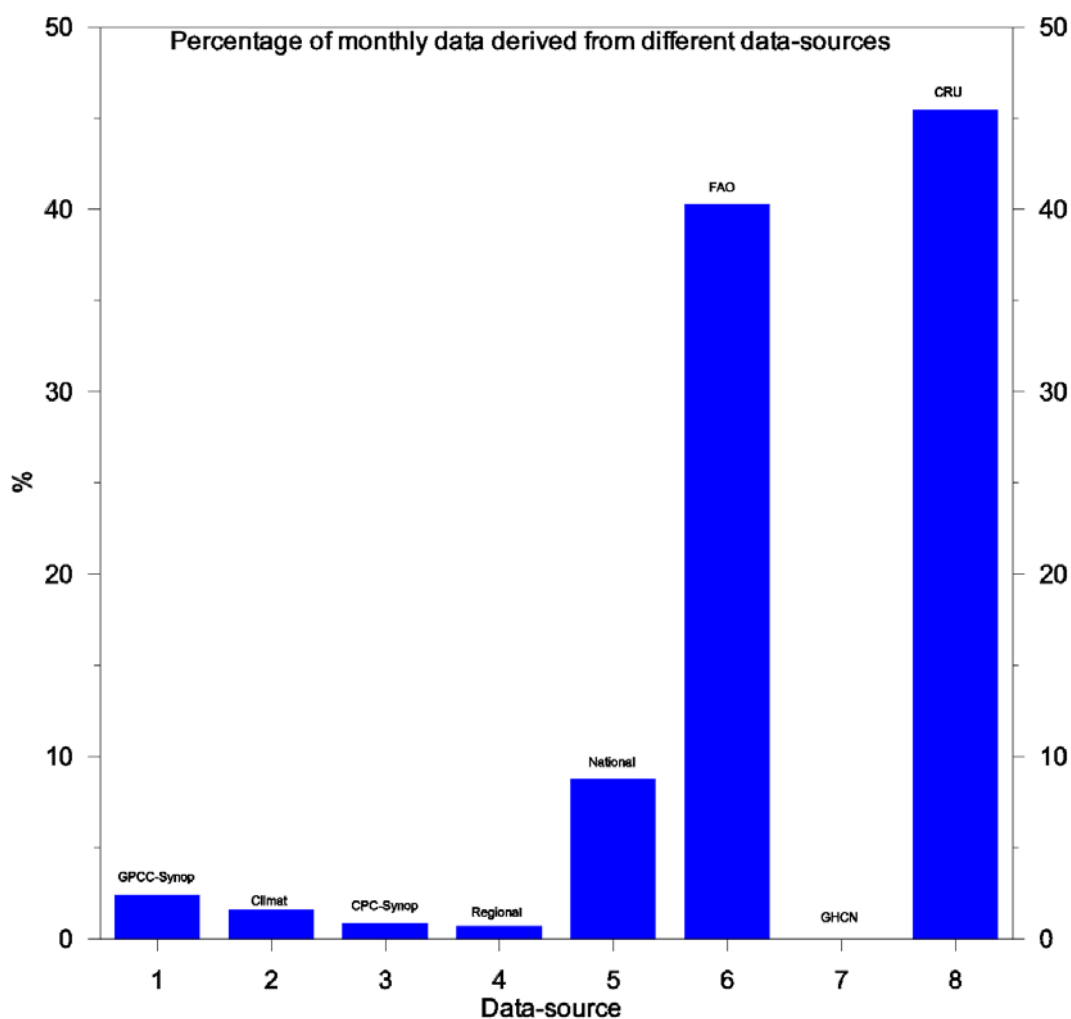


Abbildung 4: Prozentuale Anteile verschiedener Datenquellen an den monatlichen Niederschlagsdaten von 5082 Stationszeitreihen für den Zeitraum 1951-2000.

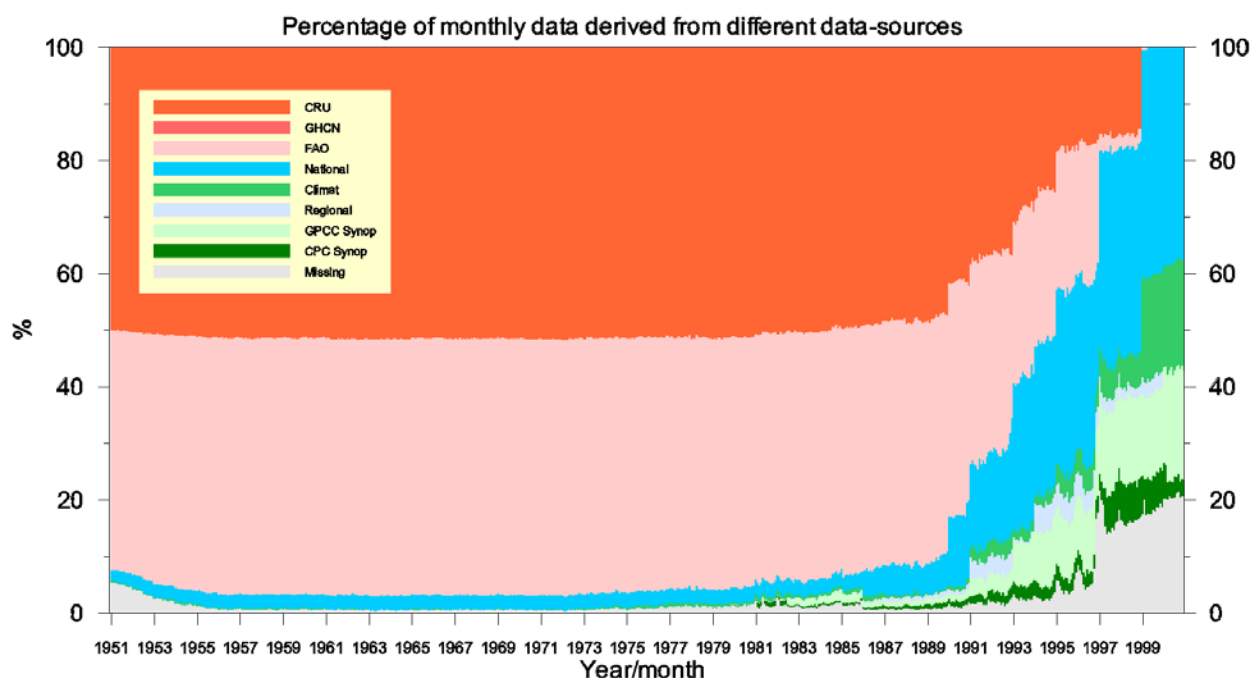


Abbildung 5: Prozentuale Anteile verschiedener Datenquellen an kompilierten Stationszeitreihen für den Zeitraum 1951-2000.

2.4 HOMOGENITÄT DER KOMPILIERTEN STATIONSREIHEN

Neben der Kompilation der Zeitreihen kommen weitere Ursachen für Inhomogenitäten in Frage. Insbesondere Änderungen der Stationseigenschaften, z.B. Wechsel von Messgeräten bzw. deren Umgebung oder die räumliche Verlegung von Stationen können die Homogenität der beobachteten Zeitreihen negativ beeinflussen. Daher werden die verwendeten Stationszeitreihen einem Homogenitätstest (Alexandersson, 1986) unterzogen. Dieser relative Homogenitätstest basiert auf sog. Referenzreihen, die durch eine mehrstufige Anwendung des Tests erzeugt werden. In einem ersten Schritt werden alle Zeitreihen benachbarter Stationen herangezogen. Zeitreihen, die besonders gut mit benachbarten Reihen korrelieren, werden dann in einem zweiten Schritt als Referenzreihen verwendet. Damit sind über 70% der Stationszeitreihen mit Referenzreihen vergleichbar und ihre Homogenität somit testbar. Diese Untersuchung ist noch nicht abgeschlossen.

3 INTERPOLATION AUF EIN REGELMÄSSIGES GITTER

Zur Interpolation von Klimadaten stehen zahlreiche Algorithmen zur Verfügung. Aus der Vielzahl der allgemeinen Interpolationsverfahren wurde mit Hilfe von Vergleichsexperimenten, unter Anwendung des Jack-Knife-Fehlers, das für die Variable Niederschlag am besten geeignete ausgewählt.

Der Jack-Knife-Fehler gibt die Differenz zwischen dem für einen Ort interpolierten Wert und dem dort beobachteten Wert an. Dieser Fehler ist umso größer, je geringer die Stationsdichte im Vergleich zur räumlichen Variabilität der untersuchten Variablen ist. Je höher der Jack-Knife-Fehler einer Station ist, desto schlechter lassen sich die dortigen Beobachtungen aus denen der Nachbarstationen rekonstruieren. Die Ursache hierfür können einerseits fehlerhafte Beobachtungsdaten sein, andererseits kann ein hoher Jack-Knife-Fehler aber auch durch einen besonderen klimatologischen Informationsgehalt der

betreffenden Station bedingt sein, und damit auf die Bedeutsamkeit einer Station hinweisen (beispielsweise Bergstation).

Die Interpolationsmethode nach Shepard (Shepard, 1968), angewendet in Kugelgeometrie (Willmott *et al.* 1985) hat sich als sehr geeignet herausgestellt. Sie ist eine exakte Methode, d.h. liegt eine Station genau auf einem zu interpolierenden Gitterpunkt, erhält der Gitterpunkt exakt den Stationswert (glättende Verfahren ordnen auch in einem solchen Fall dem Gitterpunkt einen mittleren Wert aus mehreren benachbarten Stationen zu). Für die Interpolation jeden Gitterpunktes verwendet Shepards Methode zwischen 4 und 10 Nachbarstationen. Die Selektion der jeweils verwendeten Anzahl von Nachbarstationen ergibt sich aus der Bedingung, dass das Gewicht mit dem die Beobachtung einer Station in die Mittelung einfließt, in einer möglichst für alle Gitterpunkte gleichen Entfernung (hier 250 km) den Wert 0 erreichen sollte. Nur wenn in dieser Umgebung weniger als 5 Stationen liegen, wird der Radius erhöht. Liegen mehr als 10 Stationen in dieser Umgebung wird der Radius reduziert. Somit gibt die Methode zwar eine Entfernungsskala vor, passt sich aber der unterschiedlichen Stationsverteilung an, falls die Vorgaben unter der gegebenen Stationsverteilung nicht eingehalten werden können. Die Methode von Shepard vermeidet steile Gradienten (insb. in der unmittelbaren Umgebung von Stationen) sowie Extrapolationen. Zudem wird der Einfluss von Stationen, die gesehen vom zu interpolierenden Gitterpunkt hinter näher gelegenen Stationen liegen und die somit keine zusätzliche Information bezüglich des Gitterpunktes beitragen, systematisch verringert.

Monatliche Niederschlagssummen zeigen ausgeprägte systematische räumliche Strukturen. So kann z.B. für das Gebiet von Deutschland etwa 50% der langzeitlichen räumlichen Niederschlagsvariabilität auf eine Höhenabhängigkeit zurückgeführt werden. Ein anderer für den Niederschlag wichtiger orographischer Effekt ist der Luv-Lee-Effekt. Trotz des Wissens um die Bedeutung dieser Effekte wurden sie nicht in die Interpolationsroutine eingebaut, da aufgrund der derzeit zu geringen Stationsdichte nicht für alle Teile der Erde zu allen Zeitpunkten ausreichende Informationen vorliegen. Experimente haben vielmehr gezeigt, dass bei der gegebenen Datenlage die Interpolationsergebnisse unter Berücksichtigung dieser Effekte zum Teil verschlechtert würden.

Die Interpolation findet von den 5082 ausgewählten Stationen auf ein $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ Raster statt. Das Raster ist so gewählt, dass es die Landgebiete der Erde abdeckt. Antarktis und Grönland wurden wegen der dort schlechten Datenbelegung ausgeschlossen. Es verbleiben etwa 71.000 zu interpolierende Gitterpunkte – etwa 14 mal so viele wie zugrundeliegende Stationen. Abgesehen von wenigen Teilen der Erde würde eine feinere Aufteilung keine detailliertere Information ergeben. Abbildung 6 ist für jeden Gitterpunkt zu entnehmen, in welchem Abstand sich die nächste Station befindet. Es zeigt sich deutlich, dass unterschiedliche Gebiete der Erde sehr unterschiedlich gut mit Daten für den Interpolationszeitraum von 1951 bis 2000 abgedeckt sind. Entsprechend sind auch die resultierenden Interpolationsergebnisse für verschiedene Regionen unterschiedlich zu bewerten.

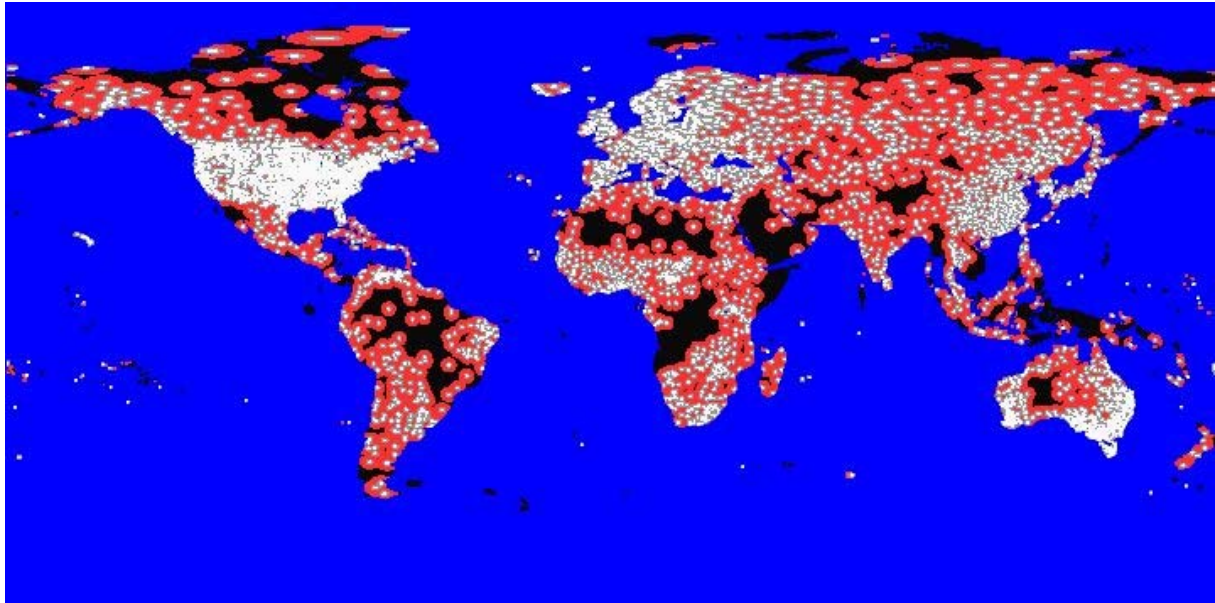


Abbildung 6: Entfernung der nächstgelegenen Station für jeden Land-Gitterpunkt (Antarktis und Grönland ausgeschlossen) eines $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ Gitters. Weiss: weniger als 50km; grau: 50km bis 100km; rot: 100km bis 250km; schwarz: über 250 km.

4 AUSBLICK

Die monatlich interpolierten Niederschlagsfelder der globalen Landflächen für den Zeitraum 1951–2000 werden der internationalen Forschergemeinschaft frei verfügbar gemacht werden.

Im weiteren Projektverlauf werden weitere globale Rasterdatensätze der monatlichen Niederschlagssummen für alternative Zeiträume (z.B. 1901-2000) auf der Basis unterschiedlich umfangreicher und nach verschiedenen inhaltlichen Gesichtspunkten selektierten Stationsdatenkollektiven (z.B. maximale Anzahl, gesicherte zeitliche Homogenität) erstellt werden.

Daneben sollen die interpolierten Niederschlagsrasterdaten objektiv mit den Produkten anderer Erzeuger (z.B. New *et al.* 2000) verglichen werden. Schliesslich werden die Rasterdatensätze als eine wichtige Grundlage für geplante weiterführende Klimavariabilitätsstudien innerhalb des Projekts VASCLIMO dienen.

DANKSAGUNG

Das Verbundprojekt "Entwicklung einer Beobachtungsdatengrundlage (Europa und global) für DEKLIM und darauf basierende statistische Analyse der Klimavariabilität auf der dekadischen bis säkularen Zeitskala" mit dem internationalen Akronym VASCLIMO ist Teil des deutschen Klimaforschungsprogramms (DEKLIM) und wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung unter der DEKLIM Projekt-Nr. 33 11 0307 gefördert.

LITERATUR

- Adler, R.F., G.J. Huffman, A. Chang, R. Ferraro, P. Xie, J. Janowiak, B. Rudolf, U. Schneider, S. Curtis, D. Bolvin, A. Gruber, J. Suesskind, P. Arkin und E. Nelkin (2003). The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation data analysis (1979-present), *Journal of Hydrometeorology*, 4, 1147-1167.
- Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data, *J. Climatol.*, 6, 661-675.
- Chen, M., P.Xie, J. E. Janowiak und P. A. Arkin (2002). Global Land Precipitation: A 50-yr monthly analysis based on gauge observations. *Journal of Hydrometeorology*, 3, 249-266.
- Dai, A. und A. D. Del Genio (1997). Surface observed global land precipitation variations during 1900-1988, *J. Climate*, 10, 2943-2962.
- Easterling, D. R. und T. C. Peterson (1995). A new method for detecting undocumented discontinuities in climatological time series, *Int. J. Climatol.*, 15, 369-377.
- Huffman, G. J., R. F. Adler, P. Arkin, A. Chang, R. Ferraro, A. Gruber, J. Janowiak, A. McNab, B. Rudolf und U. Schneider (1997). The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) combined precipitation dataset, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 5-20.
- New, M. G., M. Hulme und P. D. Jones (2000). Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: development of 1901–1996 monthly grids of terrestrial surface climate, *Journal of Climate*, 13, 2217-2238.
- Rudolf, B., H. Hauschild, W. Rueth und U. Schneider (1994). Terrestrial precipitation analysis: Operational method and required density of point measurements, in *Global Precipitation and Climate Change*, Desbois, M. und F. Desalmand (eds.) (Springer, Berlin), 173-186.
- Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly spaced data. 23rd ACM National Conference. Brandon Syst. Press: Princeton, USA, 517-524.
- Willmott, C. J., C. M. Rowe und W. D. Philpot (1985). Small-scale climate maps: a sensitivity analysis of some common assumptions associated with grid point interpolation and contouring, *American Cartographer*, 12, 5-16.
- Xie, P., B. Rudolf, U. Schneider und P.A. Arkin (1996). Gauge-based monthly analysis of global land precipitation from 1971 to 1994. *Journal of Geophys. Research*, 101, 19023-19034.