

Endbericht HOMDAY

1. 1. – 31. 12. 2008

Auswahl eines Verfahrens zur Homogenisierung von täglichen Klimadaten als notwendige Grundvoraussetzung zur Analyse von täglichen Klimazeitreihen in Hinblick auf „Climate Change“

Christine Gruber, Ingeborg Auer, Anita Jurković

Wien, 23. Dezember 2008

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung -----	3
1 Einleitung -----	3
2 Methoden -----	4
3 Testdatensatz: Semi-synthetische Zeitreihen -----	5
a. Evaluierungsstrategie -----	5
b. Daten -----	5
c. Beispiel: Kremsmünster -----	6
d. Evaluierungsergebnisse des gesamten Testdatensatzes -	8
4 Demonstrationsbeispiel:	
Homogenisierung ausgewählter FORALPS Stationen -----	10
a. Bruchdetektion -----	11
b. Homogenisierung -----	11
c. Auswertung -----	12
5 Zusammenfassung Temperaturdaten -----	17
6 Homogenisierung von täglichen Niederschlagssummen -----	17
a. Die Niederschlagsproblematik -----	17
b. Homogenisierung ausgewählter FORALPS Stationen---	18
c. Zusammenfassung Niederschlag -----	21
7 Zusammenfassung und Ausblick -----	22
Referenzen -----	23
Anhang -----	25
Übersicht über die Verwendung der Finanzmittel-----	27
Präsentationen -----	27
Berichte und Publikationen -----	27

Kurzfassung

Um zeitliche Änderungen klimatischer Extremwerte fundiert beurteilen zu können, ist es notwendig, einen Datensatz basierend auf (sub-) täglichen Messungen zu untersuchen, der nicht durch Messfehler oder Inhomogenitäten verfälscht wird. Daher soll der HISTALP Datensatz (Auer et al., 2007), welcher aus den historisch längstmöglichen, instrumentellen Zeitreihen im Alpenraum (auf Monatsbasis) besteht, nun auf Tagesbasis erweitert werden. Dazu müssen als erster Schritt Daten auch auf Tagesbasis homogenisiert werden. Im Projekt HOMDAY wurden als Vorarbeit dazu mehrere Methoden zur Homogenisierung von Tagesdaten evaluiert. Als Ergebnis dieses Projektes wird die Methode SPLIDHOM (Mestre et al., 2009) empfohlen. Eine Einschränkung ist die Notwendigkeit einer hoch korrelierten (>0.8) Referenzstation. Dies ist für tägliche (Maximum-) Temperaturen meist kein Problem, jedoch für die Homogenisierung von täglichen Niederschlagssummen. (Darum wird es in vielen Fällen nicht möglich sein, Niederschlagsdaten mit dieser Methode zu homogenisieren.)

1 Einleitung

Durch Stationswechsel, Änderungen in den Beobachtungszeiten, systematische Berechnungsfehler, und andere nicht klimatische Einflussfaktoren können Inhomogenitäten in Klimazeitreihen hervorgerufen werden (Aguilar et al., 2003). Diese Inhomogenitäten oder Brüche können sich nicht nur systematisch im Mittelwert auswirken, sondern verändern möglicherweise die gesamte Verteilungsfunktion der Messgröße.

Bisher wurden, beispielsweise mit HOCLIS (Auer et al., 2001), Zeitreihen auf Basis von Monatsdaten homogenisiert, dabei werden deren Mittelwerte angepasst. Dies ist ausreichend, wenn die homogenisierten Zeitreihen dazu verwendet werden, langjährige Trends beispielsweise der mittleren Temperatur abzuschätzen. Sobald jedoch Änderungen in den Extremwerten untersucht werden sollen, ist man mit dem Problem konfrontiert, dass sich Unterschiede, beispielsweise durch einen unterschiedlichen Strahlungsschutz von Messgeräten, je nach Wettersituation unterschiedlich auswirken können (van der Meulen und Brandsma, 2008). An sich müssten Klimadaten (Temperatur) in Abhängigkeit mehrerer Parameter korrigiert werden (Temperatur, Wind, Bewölkung, Feuchte,...). In den meisten Fällen wird dies nicht möglich sein. Studien dazu gibt es noch relativ wenige.

Ein Schritt in diese Richtung sind „Higher order moments“-Methoden. Diese wurden von Trewin und Trevitt (1996) eingeführt und von Della-Marta und Wanner (2006), Mestre et al. (2009) und Štěpánek und Zahradníček (2008) weiterentwickelt. Idee dieser Methoden ist es Korrekturen¹ in Abhängigkeit der Verteilung der betrachteten Klimavariablen zu berechnen. Beispielsweise für Temperaturreihen heißt das, dass diese in Abhängigkeit der Temperatur selbst angepasst werden. Diese Methoden tragen dem Problem Rechnung, dass sich in manchen Fällen Inhomogenitäten in Temperaturdaten für geringe und hohe Werte genau gegensätzlich auswirken können.

Einfachere Methoden, welche darauf basieren, Korrekturfaktoren aus Monatsdaten zu berechnen und auf tägliche Daten zu interpolieren (Vincent et al., 2002), können dies nicht berücksichtigen. Hier wird nur zwischen Korrekturfaktoren für unterschiedliche Monate unterschieden. Dafür ist diese Methode robuster, da nur Mittelwerte angepasst werden. Bei der Homogenisierung von höheren Moment ist man mit dem Problem konfrontiert, dass für immer extremere Werte natürlicher Weise die Datenverfügbarkeit abnimmt und eine robuste Schätzung von Anpassungen erschwert.

¹ Das Wort „Korrektur“ wird im Folgenden gleichbedeutend mit dem Wort Anpassung verwendet. Es wird nicht Anspruch darauf erhoben, dass eine „korrigierte“ Zeitreihe der „Wahrheit“ entspricht.

Im Rahmen von HOMDAY werden zwei der „Higher order moments“-Methoden (Della-Marta und Wanner, 2006 und Mestre et al., 2009), der Methode von Vincent et al. (2002) gegenübergestellt. Es wird der Mehrwert der Methoden zur Bestimmung verteilungsabhängiger Anpassungsfunktionen gegenüber klassischen Methoden basierend auf Monatsmittelwerten evaluiert. Ziel ist es, eine Methode auszuwählen, die in Zukunft an der ZAMG Verwendung findet. Durch die Evaluierung dieser Methoden kann auch ein Beitrag zur COST Aktion ES0601 geleistet werden, die es sich zum Ziel gesetzt hat unterschiedliche Homogenisierungsmethoden (auf Basis von Monats- und Tagesdaten) zu vergleichen, um dann allgemeine Richtlinien zur Homogenisierung von Daten zu erstellen.

Im Folgenden werden die verwendeten Methoden beschrieben. Im Abschnitt 3 werden Experimente mit so genannten „semi-synthetischen“ Daten durchgeführt. Danach werden die Methoden zur Demonstration auf Originaldaten des FORALPS Datensatzes angewendet (Abschnitt 4).

Ursprünglich wurden alle Methoden für Temperaturdaten entwickelt, daher liegt der Schwerpunkt der Vergleich in den Abschnitten 3-5 auch auf Temperaturdaten (genauer tägliche Lufttemperaturmaxima und Minima). Die Anwendbarkeit auf tägliche Niederschlagssummen wird erst in Abschnitt 6 diskutiert.

2 Methoden

Drei Methoden wurden für diesen Vergleich ausgewählt: Vincent et al. (2002), Della-Marta und Wanner (2006) und Mestre et al. (2009). Alle drei Methoden dienen ausschließlich der Korrektur von Brüchen und benötigen Bruchstellen als Eingangsdaten. Alle Methoden sind relative Homogenisierungsverfahren: Sie benötigen eine Referenzzeitreihe. Im Fall von Della-Marta und Wanner (2006) und Mestre et al. (2009) sollte dies eine Zeitreihe der höchstkorrelierten Nachbarstationen sein, wobei eine Korrelation > 0.8 notwendig ist (Della-Marta, 2007). Es sollten keine Zeitreihen von (gewichtet) gemittelten Nachbarstationen verwendet werden, da dadurch ein Teil der Variabilität der Zeitreihe verloren geht.

Vincent et al. 2002 (INTERP)

Diese Methode beruht darauf Anpassungsfaktoren, die durch die Homogenisierung von monatlichen Daten gewonnen werden (für jeden Monat separat berechnet), auf tägliche Daten zu interpolieren. Zur Interpolation wird Fourier smoothing nach Brunetti (pers.comm.) verwendet. Diese Methode korrigiert nur Inhomogenitäten im Mittelwert und nicht in höheren Momenten.

Della-Marta und Wanner, 2006 (HOM)

Eine lokal gewichtete Regression (LOESS) wird zwischen den Daten der zu testenden Station und einer Referenzstation in einer homogenen Testperiode berechnet. Diese dient dazu die Werte der als fehlerhaft angenommenen Periode vorherzusagen. Die beobachteten Werte werden in Perzentile eingeteilt und separat für alle Perzentile werden aus den Differenzen von gemessen und vorhergesagten Werten Korrekturkoeffizienten berechnet.

So wird die gesamte Wahrscheinlichkeitsverteilung angepasst und nicht nur Mittelwerte.

Im Unterschied zur ursprünglichen Methode Della-Marta und Wanner (2006), werden in der Anwendung hier, nicht Zeitreihen getrennt nach Monaten homogenisiert, sondern nach Saisonen, wie in Mestre et al. (2009). Dadurch ist die Berechnung der Anpassungsfaktoren robuster (größere Datenverfügbarkeit) und der Berechnungsaufwand wird reduziert (statt 12 Monatszeitreihen werden 4 Saisonzeitreihen korrigiert).

Mestre et al., 2009 (SPLIDHOM)

In SPLIDHOM wird eine Regression (non-linear cubic spline) von Daten der Teststation und der Referenzstation vor und nach einem Bruch berechnet. Die Differenz der Regressionsfunktionen wird gebildet. Damit werden die Daten der Teststation vor dem Bruch angepasst. Wie in HOM ist die Korrektur eine Funktion der zu testenden Klimavariablen.

3 Testdatensatz: Semi-synthetische Zeitreihen

a. Evaluierungsstrategie

Zur Evaluierung der Methoden werden Stationen gewählt, an welchen Vergleichsmessungen über mehrere Jahre (>10) zur Verfügung stehen. Die beiden verfügbaren Zeitreihen werden an einer vorgegebenen (Bruch-) Stelle zu einer Zeitreihe zusammengesetzt (siehe Abbildung 1). So entsteht eine künstliche Inhomogenität, die den Charakter natürlicher Inhomogenitäten aufweist, wie sie beispielsweise durch Standortwechsel von Stationen auftreten. Die so erzeugte Zeitreihe wird im Folgenden „Semi-synthetisch“ genannt, da die Messwerte real sind, nur die Inhomogenität künstlich erzeugt wurde.

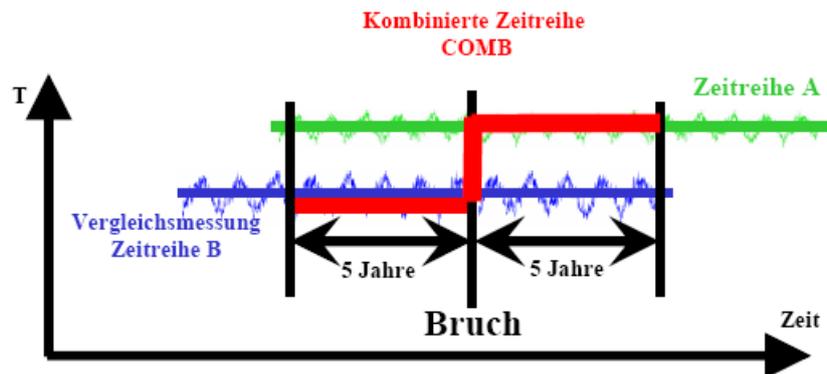


Abbildung 1 : Skizze einer so genannten „semi-synthetischen“ Zeitreihe (rot). Diese setzt sich aus den Zeitreihen A (grün) und B (blau) zusammen. Dadurch entsteht ein künstlicher Bruch.

Diese inhomogene Zeitreihe wird mit den verschiedenen Verfahren homogenisiert. Zur Evaluierung der Ergebnisse dient die originale, homogene Zeitreihen (Zeitreihe A in Abbildung 1).

Die ausgewählten Homogenisierungsverfahren benötigen Referenzreihen zur Homogenisierung. Um nicht ungewollt dem Einfluss von Referenzzeitreihen bzw. Inhomogenitäten oder Trends in Referenzreihen zu unterliegen, wurde als Referenz ebenfalls die originale, homogene Zeitreihe, „die Wahrheit“ verwendet.

b. Daten

Es wurden österreichische Stationen mit verfügbaren Vergleichsmessungen ausgewählt, die die Anforderung des langen Vergleichszeitraums (>10 Jahre) erfüllen und deren Zeitreihen in dieser Periode homogen sind. Dies ist für 9 Stationen der Fall, wobei im Folgenden nur 5 der Stationen (Kremsmünster, Salzburg, Innsbruck, Bregenz und Graz) verwendet werden.

An diesen Stationen wurden die Vergleichsmessungen an vorgegebenen Bruchstellen (wie oben beschrieben) zusammengesetzt und dann homogenisiert. Es wurden Tagesminimum (TMIN) und –maximum (TMAX) Temperaturdaten untersucht.

c. Beispiel: Kremsmünster

In Kremsmünster liegen in einem Zeitraum von 1988-2007 Vergleichsmessungen vor. Zunächst wurden Zeitreihen der Lufttemperaturmaxima im Jahr 1998 zusammengesetzt. Dadurch erhält man eine Zeitreihe, die im Zeitraum 19880101-19971231 aus den Temperaturwerten der Station 5010 besteht und im Zeitraum 19980101-20071231 aus den Werten der Station 5012. Der so entstandene Bruch, wird mit allen Verfahren homogenisiert, dabei wird die Zeitreihe vor dem Bruch an die Periode nach dem Bruch angepasst.

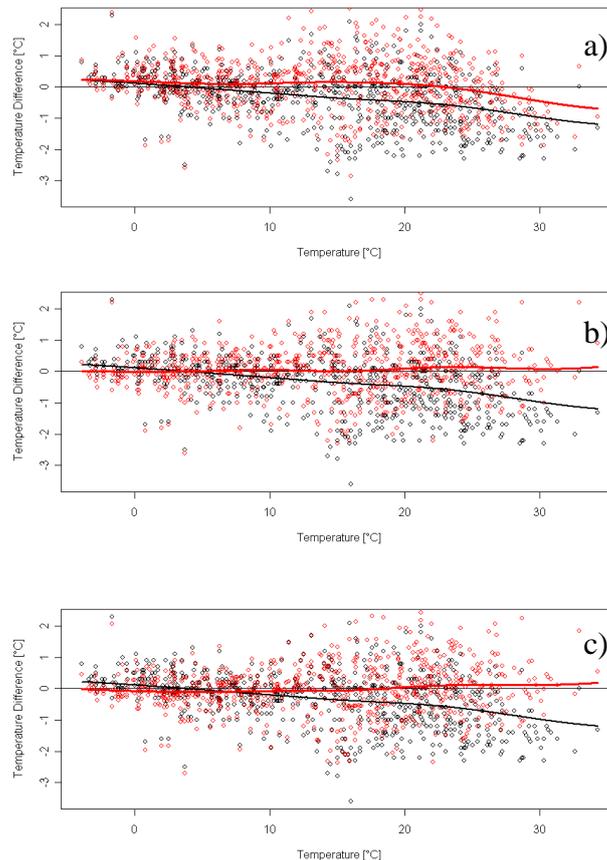


Abbildung 2: Differenzen zwischen der kombinierten Zeitreihe und der „Wahrheit“ (schwarz) für Lufttemperaturmaxima von Kremsmünster von 1988-1998, sowie die Differenzen zwischen homogenisierten Werten und der Wahrheit (rot) für die Methoden INTERP (a), SPLIDHOM (b) und HOM (c). Die Werte wurden mit einem Kernel-Smoother geglättet (durchgezogene Linien).

In Abbildung 2 werden die Differenzen von zusammengesetzter Zeitreihe und der „Wahrheit“ (Station 5012) im Intervall vor dem Bruch, in Abhängigkeit von der „wahren“ Temperatur gezeigt. Diese sind für hohe Temperaturen deutlich größer. Temperaturabhängige Korrekturfaktoren, wie von HOM und SPLIDHOM, sollten genau für diese Fälle geeignet sein. Es zeigt sich auch, dass durch die Homogenisierung mit HOM und SPLIDHOM die Differenzen (Abbildungen 2 b und c), vor allem für hohe Temperaturen verringert werden. Im Gegensatz dazu liefert INTERP (Abbildung 2 a) Anpassungsfaktoren, die nicht von der Temperatur selbst abhängen. Zwar haben die Fehler (auch für Extremwerte) nach der Korrektur mit INTERP durch die Berücksichtigung der Jahreswelle abgenommen, allerdings deutlich weniger.

Weiters wird die Bruchstelle innerhalb des Vergleichszeitraumes variiert, um die Robustheit der Homogenisierung zu untersuchen. So werden mehrere Stichproben derselben Inhomogenität gewonnen.

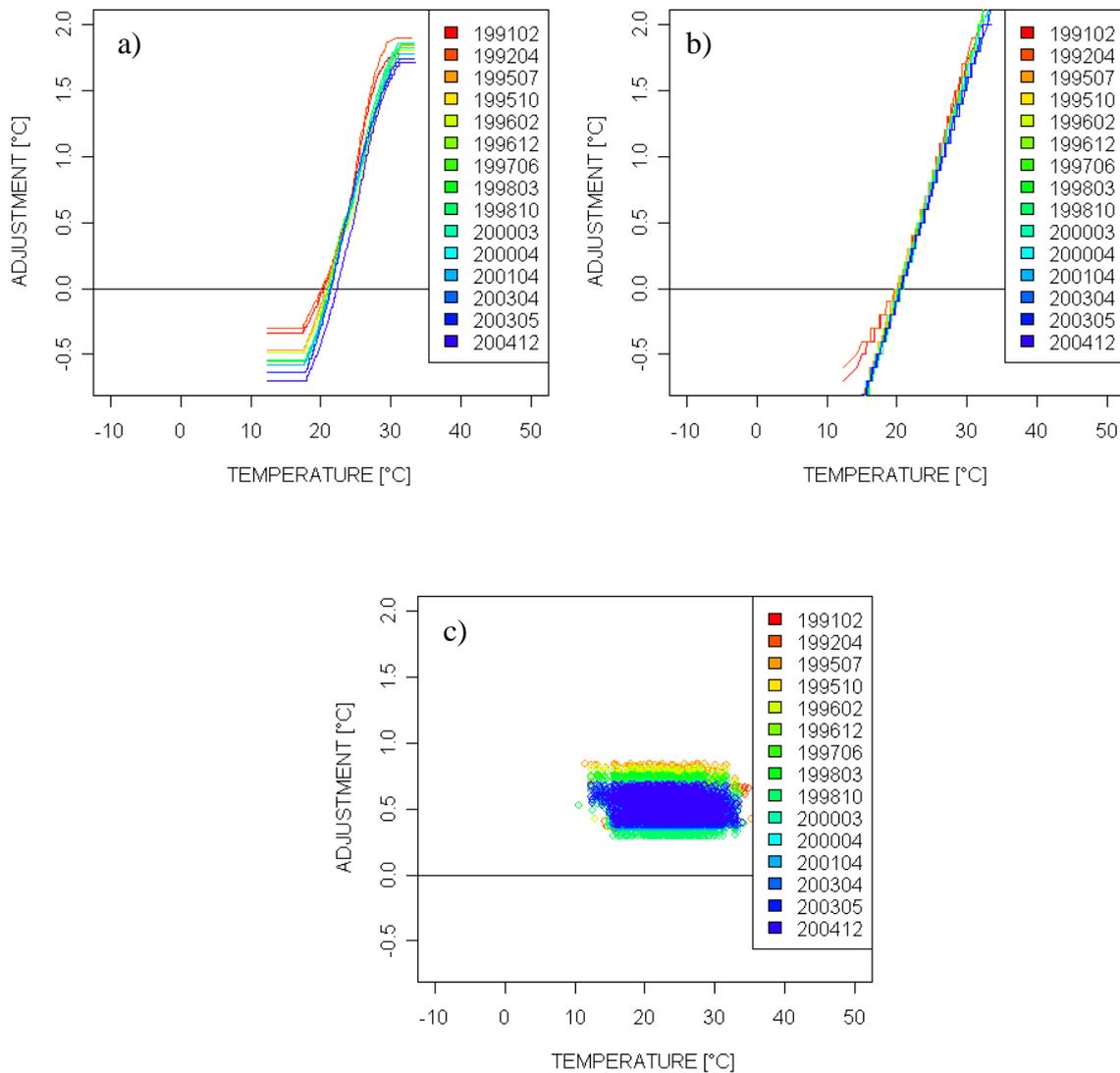


Abbildung 3: Korrekturfaktoren für einen (semi-) synthetischen Bruch in der TMAX Zeitreihe von Kremsmünster für die Sommermonate (JJA) berechnet mit HOM (a), SPLIDHOM (b) und INTERP (c) für 15 verschiedene Bruchstellen innerhalb der Periode 1990-2005. Zur besseren Vergleichbarkeit werden die Korrekturfaktoren von INTERP ebenfalls als Funktion der Temperatur gezeigt.

Die resultierenden Korrekturen für 15 unterschiedliche Bruchpunkte zeigen einen ähnlichen Verlauf (siehe Abbildung 3). Für HOM und SPLIDHOM sind die Unterschiede in den Korrekturen im Bereich von 0.2-0.4°C. Wobei hauptsächlich für Extremwerte größere Unterschiede auftreten. Speziell in kürzeren Intervallen scheint das Sample extremer Temperaturen nicht repräsentativ zu sein, daher die größere Unsicherheit. Es lässt sich auch eine zeitliche Abhängigkeit der Korrekturfaktoren erkennen, die darauf schließen lässt, dass die Zeitreihe der Differenzen nicht stationär ist (z.B. durch Driften der Temperatursensoren). Die Korrekturen für HOM und SPLIDHOM sind bis auf die Extremwerte (durch die schon angesprochene größere Unsicherheit am Rand der Verteilungen) sehr ähnlich. Die INTERP Korrektur unterscheidet sich doch sehr deutlich von HOM und SPLIDHOM. Zum besseren Vergleich wurden die Korrekturen von INTERP auch als Funktion der Temperaturwerte, auf die sie angewendet wurden, aufgetragen. Diese Korrekturen sind ausschließlich positiv. Dadurch werden die Temperaturdaten für niedrige Werte (<10°C) noch weiter „verfälscht“, da diese mit negativen Faktoren angepasst werden müssten (siehe Korrekturen von HOM und SPLIDHOM Abbildungen 3 a und b).

Die Untersuchung einer Zeitreihe alleine, lässt noch keine Interpretation zu. Beispielsweise zeigen sich schon deutlich andere Ergebnisse für die Minimum Temperatur in Kremsmünster (siehe Abbildung 4 b). Hier schneidet SPLIDHOM sogar etwas schlechter ab als INTERP.

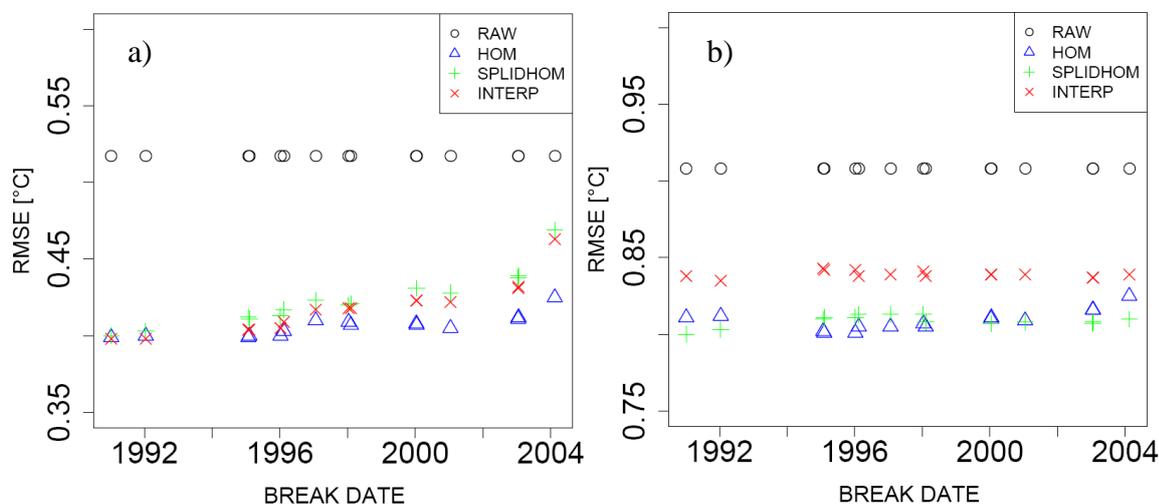


Abbildung 4: (a) RMSE- Werte für die mit den unterschiedlichen Methoden homogenisierten semi-synthetischen Zeitreihen von Kremsmünster (TMAX). Der Bruchpunkt wurde fünfzehnmal variiert. Der RMSE ist als Funktion des Bruchjahres aufgetragen. Der Berechnung des RMSE die Periode 1988-1990 zugrunde. (b) Wie (a) nur für TMIN.

d. Evaluierungsergebnisse des gesamten Testdatensatzes

Eine Zusammenfassung aller Ergebnisse der Evaluierung der semi-synthetischen Daten wird in den Abbildung 5 und 6 gegeben. Es wurden Änderungen der 0.1 (T10), 0.5 (T50) und 0.9 (T90) Perzentile vor und nach der Homogenisierung im Vergleich zur Wahrheit evaluiert, sowie der RMSE vor und nach der Homogenisierung.

Aus Abbildung 5 (a-c) ist zu erkennen, dass der RMSE nach der Homogenisierung in den meisten Fällen verringert wird (unabhängig von der Homogenisierungsmethode). Dies ist nicht selbstverständlich und es ist eine wichtige Voraussetzung, dass der Fehler durch die Homogenisierung nicht wächst.

Die auffälligsten Unterschiede zwischen den Methoden sind in der Auswertung von T10 und T90 ersichtlich. Wie zu erwarten war, schneidet INTERP hier schlechter ab als HOM und SPLIDHOM.

In Fällen in welchen temperaturabhängige Inhomogenitäten auftreten, die sogar das Vorzeichen in Abhängigkeit der Temperatur ändern, kann es vorkommen, dass mit INTERP Temperaturen mit dem falschen Vorzeichen korrigiert werden (wie es beispielsweise auch für Kremsmünster TMAX gezeigt wurde). Gerade in diesen Fällen zeigt sich der Vorteil von verteilungsabhängigen Homogenisierungsmethoden. Die Unterschiede zwischen HOM und SPLIDHOM sind nicht signifikant.

In Abbildung 6 sind die Differenzen von T10, T50 und T90 der homogenisierten (und der nicht homogenisierten) zu den wahren Werten auch quantitativ gezeigt. Es zeigt sich eine deutliche Verbesserung für alle Methoden. Eine Verbesserung der Ergebnisse durch die temperaturabhängigen Korrekturfaktoren von HOM und SPLIDHOM ist nicht so deutlich, da für mehrere Zeitreihen, die Brüche klein und nicht stark verteilungsabhängig sind.

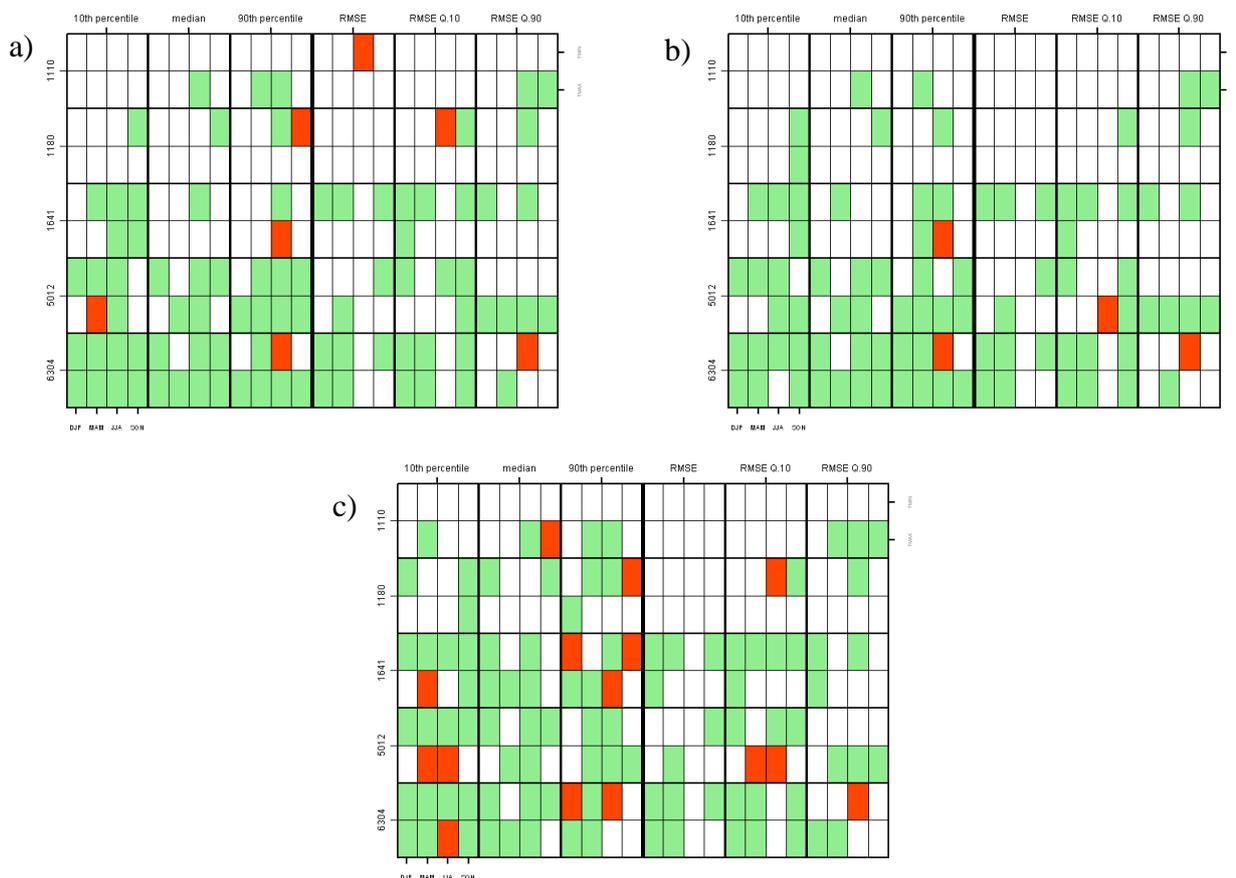


Abbildung 5: Illustration der Resultate der Homogenisierung aller ausgewerteten Zeitreihen für HOM (a), SPLIDHOM (b), INTERP (c). Ausgewertet wurden die Differenzen der 0.1 (T10), 0.5 (T50) und 0.9 (T90) Perzentile der homogenisierten Daten zu den wahren Werten, sowie der RMSE der Zeitreihen vor und nach der Homogenisierung. Hier sind in grün jene Fälle gezeigt, für die Differenzen der Perzentile zur Wahrheit und der RMSE durch die Homogenisierung abgenommen haben. In rot sind jene Fälle eingetragen, in welchen sie zugenommen haben und in weiß, wenn sich dadurch keine signifikante Änderung ergab. In den Zeilen sind Ergebnisse für unterschiedliche Stationen gezeigt, untereinander immer TMIN und TMAX. In jeweils 4 Spalten sind die Ergebnisse für die vier getrennt homogenisierten Jahreszeiten gezeigt.

Im Allgemeinen hat die Evaluierung ergeben, dass sich die Korrekturfaktoren von HOM und SPLIDHOM oft stark ähneln (außer für Extremwerte) und temperaturabhängige Inhomogenitäten ihrer Natur nach besser homogenisieren als INTERP, dadurch kämen beide HOM und SPLIDHOM für die Verwendung an der ZAMG in Frage. HOM ist methodisch deutlich komplexer als SPLIDHOM. Die Komplexität wirkt sich jedoch nicht auf die Ergebnisse aus, somit ist es nicht notwendig eine komplexere Methode zu wählen und es wird empfohlen SPLIDHOM für die Homogenisierung an der ZAMG zu verwenden.

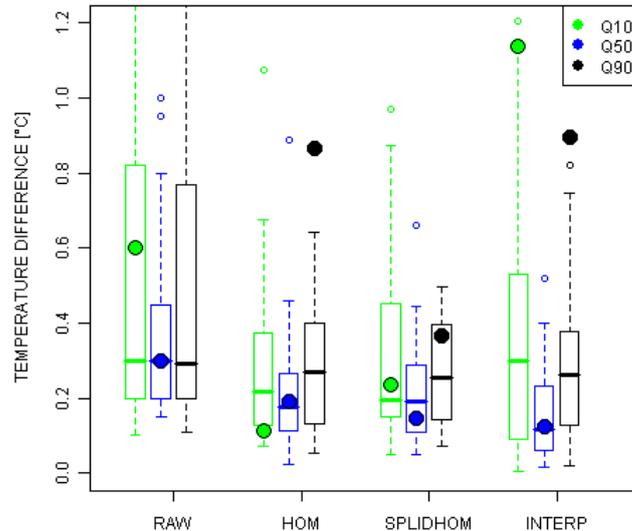


Abbildung 6: Boxplots der Abweichungen der 0.1 (grün), 0.5 (blau) und 0.9 (schwarz) Perzentile der homogenisierten Daten zu den wahren Perzentil Werten für fünf Stationen. Die TMAX, TMIN Zeitreihen und die vier Saisonen DJF, MAM, JJA, SON wurden separat betrachtet (daher wurden die Boxplots aus 40 Werten berechnet). RAW sind die Abweichungen vor der Homogenisierung. (als Punkte sind die Ergebnisse von Kremsmünster TMAX gezeigt)

4 Demonstrationsbeispiel: Homogenisierung ausgewählter FORALPS Stationen

Zur Demonstration der Homogenisierung auf tägliche Daten wurden 7 FORALPS Stationen (Auer et al., 2008) ausgewählt. Dies sind die Stationen Hohenau (HOH), Krems (KRM), Retz (RET), St. Pölten (SPO), Wien Hohe-Warte (WIE), Wien Mariabrunn (WMA) und Stift Zwettl (ZWE). Es wurden Maximum und Minimum-Temperaturen untersucht.

Im Vergleich zu den Experimenten im vorangegangenen Abschnitt treten unter realen Bedingungen noch zusätzliche Probleme auf:

- i) Schwierigkeiten beim Auffinden von Referenzstationen: Stationswechsel, Wechsel in den Beobachtungszeiten, Umstellung auf TAWES, usw. können an mehreren benachbarten Stationen gleichzeitig auftreten und in mehreren Zeitreihen Inhomogenitäten verursachen.
Es kann auch Probleme bereiten hoch korrelierte Nachbarstationen zu finden. Diese ist für TMAX kein so großes Problem, aber für TMIN und vor allem für Niederschlag sind die Daten viel weniger hoch korreliert. Auswertungen der Dekorrelationsdistanz (Auer et al., 2004; Scheifinger et al., 2003) haben ergeben, dass die mittlere Dekorrelationsdistanz (gemeinsame Varianz zumindest 0.5) im alpinen Bereich für Tagesniederschlagsdaten bei 42 km liegt. Dabei ist zu beachten, dass selbst eine gemeinsame Varianz von 0.5 für HOM und SPLIDHOM schon viel zu gering ist.
- ii) Nicht detektierte Sprünge in den Referenzreihen können die Homogenisierungsergebnisse verfälschen. Dies kann vor allem dann zum Problem werden, wenn temperaturabhängige Inhomogenitäten in höheren Momenten auftreten, allerdings nicht im Jahres/Monats-Mittel. Homogenitätstest, wie sie bisher verwendet wurden (z. B. Craddock, 1979) können diese Inhomogenitäten

dann nicht detektieren. Diese könnten in weiterer Folge einen großen Einfluss auf HOM oder SPLIDHOM Korrekturkoeffizienten ausüben. Daher wäre es sinnvoll entweder Zeitreihen mit mehreren verschiedenen Referenzstationen zu homogenisieren und die Ergebnisse zu vergleichen oder die Detektion von Brüchen auf Tagesbasis und verteilungsabhängig durchzuführen.

Dieses Demonstrationsbeispiel soll hauptsächlich dazu dienen, aufzuzeigen welche Unsicherheiten durch die Homogenisierung mit den unterschiedlichen Methoden auftreten. Es werden mit SPLIDHOM (HOM) homogenisierte Zeitreihen mit den von HOCLIS homogenisierten Zeitreihen verglichen. In einem ersten Schritt wurden Bruchstellen und Referenzstationen in allen Methoden gleich gewählt, um sie vergleichbar zu machen. (Das heißt nicht, dass die so mit SPLIDHOM(HOM) homogenisierten Zeitreihen schon die beste Realisierung darstellen, die mit diesen Methoden erzielt werden kann.)

a. Bruchdetektion

Die Zeitreihen wurden als erster Schritt mit HOCLIS, dem and der ZAMG eingeführten Homogenisierungsverfahren auf Monatsbasis homogenisiert.

Zuerst wurden Sprungstellen mit dem Craddocktest (Craddock, 1979), näher beschrieben beispielsweise in Auer et al. (2001), bestimmt. Ein wichtiger Bestandteil des Detektionsverfahrens ist der Vergleich mit Metadaten. Der überwiegende Teil der mit CRADDOCK detektierten Brüche ist auch in den Metadaten verzeichnet. Als weitere Überprüfung der Bruchstellen wurde auch noch ein weiteres Verfahren zur Bruchdetektion angewendet: PRODIGE (Caussinus und Mestre, 2004). PRODIGE basiert auf einem modifizierten penalized-likelihood Verfahren. PRODIGE wurde auf Zeitreihen jahresgemittelter Temperaturdaten angewendet (eine Anwendung auf Monatsmittel wäre auch möglich). Die detektierten Bruchstellen sind zum Großteil kongruent mit jenen, die mit CRADDOCK (basierend auf Halbjahresmitteln) detektiert wurden.

Das und die gute Übereinstimmung zu Metadaten lässt diese Brüche als relativ vertrauenswürdig erscheinen. (Brüche in höheren Momenten wurden jedoch nicht untersucht.)

Die detektierten Bruchstellen sind in den Tabellen 1 und 2 im Anhang zu finden.

b. Homogenisierung

Es wurden zwei Experimente mit unterschiedlichen Referenzstationen durchgeführt: Im ersten Experiment wurden exakt jene Stationen als Referenz verwendet, welche auch in HOCLIS verwendet wurden. Dieses Experiment wird durchgeführt, um die homogenisierten Reihen besser vergleichbar zu machen.

Als zweites Experiment wurden jene Stationen als Referenz herangezogen, welche in der HOM/SPLIDHOM-software (Gruber und Mestre, 2008) als Referenz gewählt werden würden: Es werden die Korrelationen von Testdaten und Referenzdaten in homogenen Subperioden vor und nach dem Bruch berechnet. Dann werden jene Stationen als Referenz gewählt, welche die höchste Korrelation (mindestens 0.8) vor und nach dem Bruch aufweisen. Die Referenzstationen können sich für jeden Bruch und jede Saison (da diese separat behandelt werden) unterscheiden.

Ergebnisse des ersten Experiments (gleiche Referenzstationen in HOCLIS und HOM/SPLIDHOM) werden im Folgenden mit HOM1/SPLIDHOM1 bezeichnet, Ergebnisse des zweiten Experiments mit HOM2/SPLIDHOM2.

c. Auswertung

Da die Wahrheit nicht bekannt ist, gestaltet sich ein quantitativer Vergleich zwischen HOCLIS und HOM/SPLIDHOM schwierig. Es lassen sich jedoch Aussagen darüber treffen wie groß die Unterschiede zwischen den Methoden sind, im Vergleich zu anderen Unsicherheiten der Homogenisierung.

Die Homogenisierung von höheren Momenten in Tagesdaten wird vor allem in Erwägung gezogen, auf Grund des Einflusses verteilungsabhängiger Inhomogenitäten auf Studien von Extremwerten. Daher werden im Folgenden Zeitreihen der 0.1 und 0.9 Perzentile ausgewertet. Die Perzentile werden aus den Daten einzelner Saisonen berechnet. Die homogenisierten Zeitreihen (HOCLIS, SPLIDHOM und HOM) werden mit den Originaldaten verglichen.

Anhand von drei Beispielen werden verschiedene Aspekte diskutiert:

Als erstes Beispiel werden Ergebnisse der Station ZWE (TMAX) besprochen. Dies ist eine der wenigen Zeitreihen, für welche sich die mit HOM und SPLIDHOM homogenisierten Zeitreihen deutlich unterscheiden. Anhand dieses Beispiels wird auch der Einfluss unterschiedlicher Referenzstationen diskutiert.

Als zweites Beispiel werden die Inhomogenitäten der TMAX und TMIN Zeitreihen von RET besprochen. Diese dienen als Beispiel für sehr viele Brüche, die keine Temperaturabhängigkeit zeigen. Im Gegensatz dazu wird die TMAX Zeitreihe der Station WIE diskutiert, deren Inhomogenität im Jahr 1953 temperaturabhängig ist und die Auswertung von Extremwerten stark beeinflusst.

Unterschiede von HOM und SPLIDHOM Korrekturen der Zeitreihe ZWE (TMAX)

Die Zeitreihen der 0.1 und 0.9 Perzentile (T10 und T90) der TMAX Daten (originale und homogenisierte) der Station ZWE (für die Herbstmonate) sind in Abbildung 7 gezeigt. In den Zeitreihen der 0.1 Perzentile ist zu erkennen, dass sich die mit HOM homogenisierte Zeitreihe deutlich von den anderen Zeitreihen unterscheidet. Brüche wurden in den Jahre 1971, 1979 und 1994 detektiert und mit HOH als Referenz angepasst (Experiment 1). Die Anpassungsfunktionen, welche zur Homogenisierung verwendet wurden, sind in Abbildung 8 gegeben. Für niedrige Temperaturen korrigiert HOM deutlich stärker als HOCLIS und SPLIDHOM. Dies zeigt sich in den Anpassungen aller Brüche, da die zeitlich früher auftretenden Brüche von den nachfolgenden Brüchen (welche zuerst angepasst werden) abhängig sind. In diesem Beispiel scheint es sogar, dass sich die Korrekturen bei jedem weiteren, früheren Bruch amplifizieren.

Die Signifikanz der Unterschiede zwischen den Korrekturen von HOM und SPLIDHOM wurde versucht durch den Vergleich unterschiedlicher Referenzen abzuschätzen. Daher wurden die Zeitreihen zusätzlich auch mit KRM (die zu den Daten von ZWE höchst korrelierte Zeitreihe) verwendet (Experiment 2). Das Resultat ist relativ konsistent für die zwei unterschiedlichen Referenzstationen.

Weiters wurde die Unsicherheit abgeschätzt, die sich durch die begrenzte Datenverfügbarkeit vor und nach den Brüchen ergibt. Dazu wurde „bootstrapping“ (Efron, 1979) verwendet. Es wurden vor und nach dem anzupassenden Bruch Datenstichproben gezogen (mit zurücklegen) und für unterschiedliche Stichproben (jeweils mit dem gleichen Datenumfang) die Korrekturfaktoren berechnet. Die Korrekturen, die sich aus 50 verschiedenen Stichproben ergeben, sind in Abbildung 9 gezeigt.

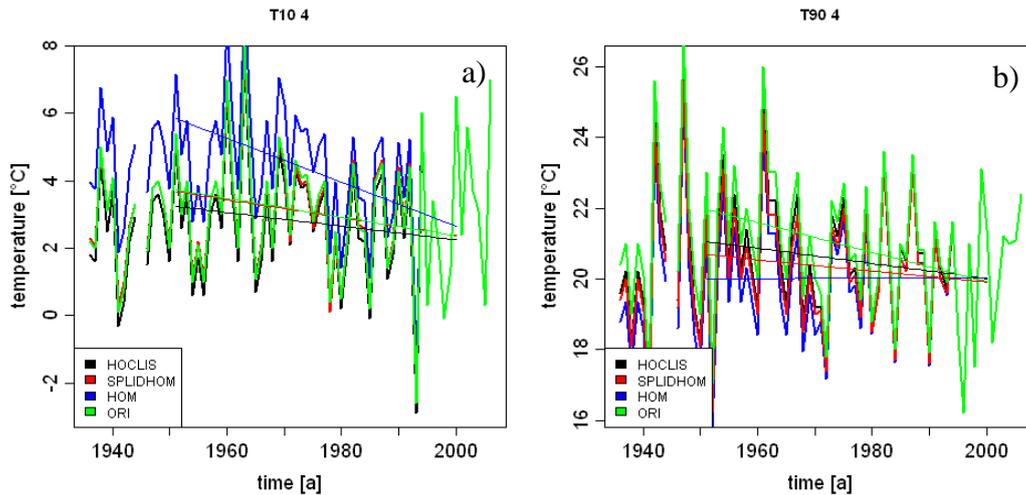


Abbildung 7: Zeitreihen der 0.1 (a) und 0.9 (b) Perzentile berechnet für die Herbstwerte jeden Jahres für die Lufttemperaturmaxima von ZWE. Die Originalzeitreihe ist in grün gezeigt. Die Zeitreihen in schwarz, rot und blau wurden mit HOCLIS, SPLIDHOM und HOM homogenisiert.

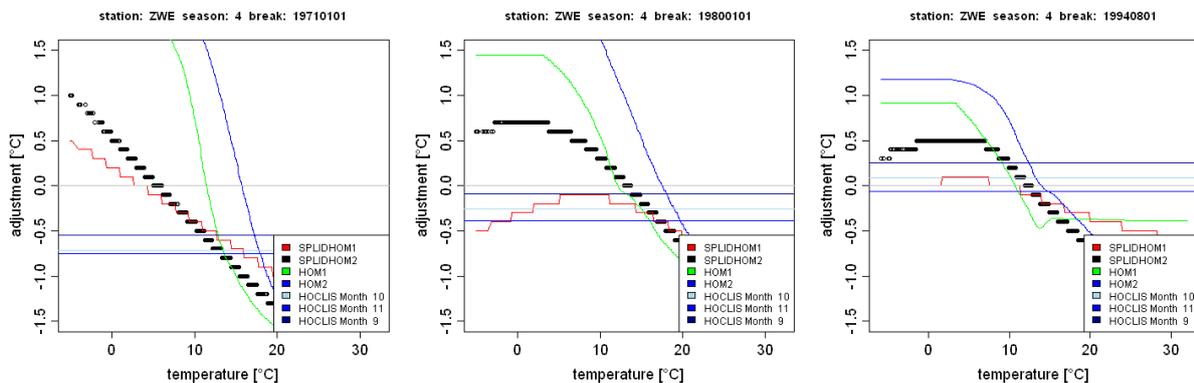


Abbildung 8: Anpassungsfunktionen für die drei Brüche (1971, 1979, 1994) der TMAX Zeitreihen von ZWE. In grün und blau sind die Anpassungen von HOM für die Experimente 1 und 2 gezeichnet und in rot und schwarz für SPLIDHOM. Die blauen horizontalen Linien zeigen die HOCLIS Korrekturkoeffizienten für die Herbstmonate September, Oktober und November.

Es zeigt sich, dass für den letzten Bruch im Jahr 1994 die SPLIDHOM Korrekturen rund um null streuen (mit einer Unsicherheit von ca. 0.5 °C). Der Bruch scheint also nicht signifikant zu sein (auch in HOCLIS ist die Korrektur annähernd null, siehe Abbildung 8). Im Gegensatz dazu zeigen die unterschiedlichen HOM Korrekturen eine scheinbar signifikante Temperaturabhängigkeit und unterscheiden sich teilweise deutlich von Null.

Warum sich in diesem Fall die Ergebnisse von HOM und SPLIDHOM so deutlich unterscheiden, kann nicht gezeigt werden. Für den Bruch im Jahr 1980 werden die Unterschiede zwischen HOM und SPLIDHOM (vor allem für Temperaturen <10°C) noch größer. Dies wirkt sich dann natürlicherweise auch auf die noch früheren Brüche aus, welche erst danach angepasst werden.

Für das Experiment 2, in welchem KRM als Referenzstation verwendet wird, ist die Unsicherheit für die SPLIDHOM Korrektur (1994) so groß, dass KRM als Referenzstation ausgeschlossen werden muss. Es scheint als würden Inhomogenitäten in KRM das Ergebnis ebenfalls beeinflussen. Dies zeigt, dass es nicht ausreicht nur die Korrelation alleine, für die Wahl der Referenzstation in Betracht zu ziehen.

Als Resultat der Homogenisierungsversuche dieser Daten müsste man auf Grund der großen Unsicherheit davon absehen, speziell den Bruch im Jahr 1994 zu homogenisieren. Für die Auswertung von Extremwerten sind die Daten dieser Station mit Vorsicht zu behandeln.

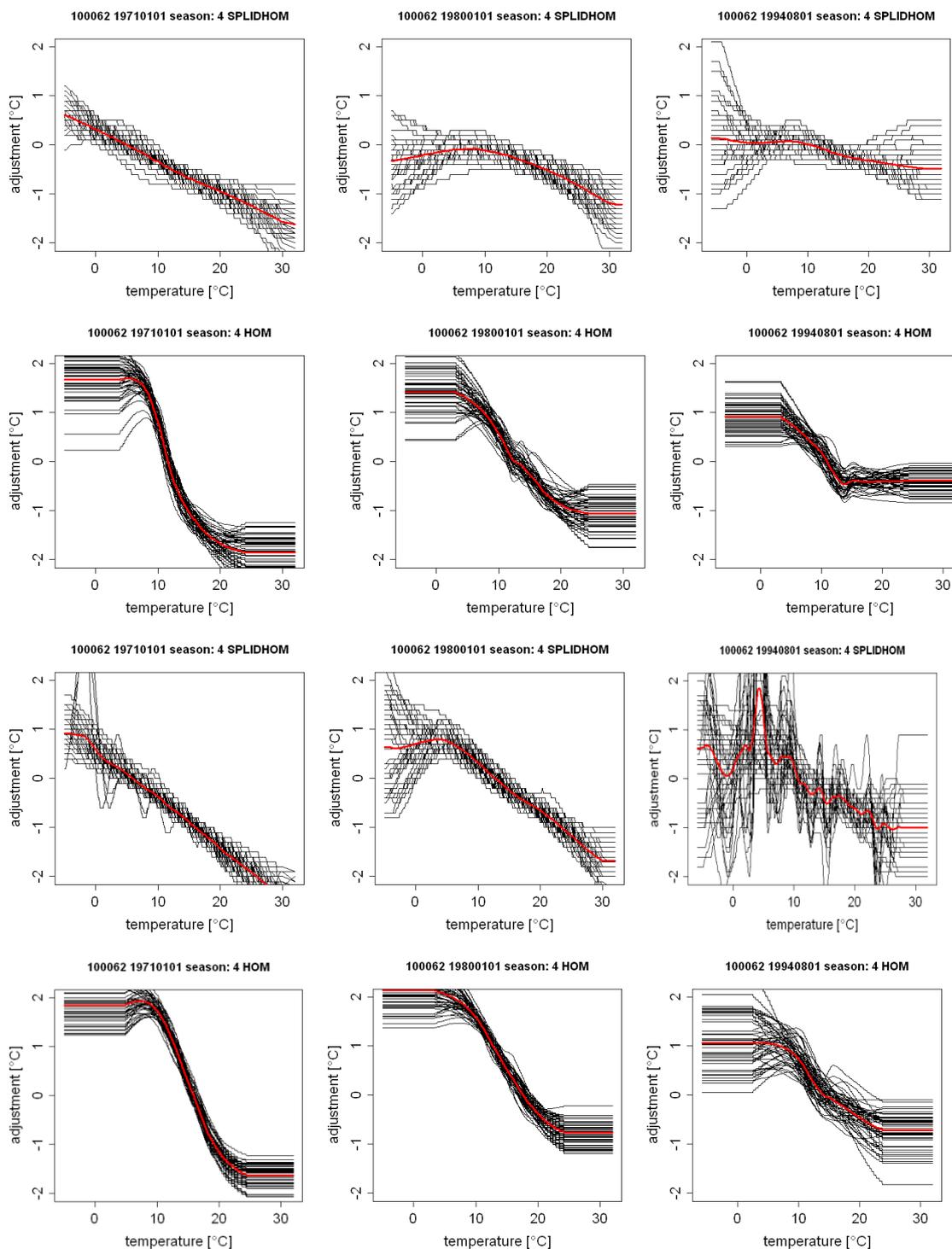


Abbildung 9: Korrekturen berechnet für die TMAX Werte (Herbstmonate) der Station ZWE für die drei verschiedenen Brüche in den Jahren 1971, 1980 und 1994 (unterschiedliche Spalten). In den oberen beiden Zeilen wurde HOH als Referenz verwendet und mit SPLIDHOM bzw. HOM homogenisiert. In den unteren beiden Zeilen wurde KRM als Referenz verwendet. Die unterschiedlichen Linien zeigen die Korrekturen wenn unterschiedliche Stichproben vor und nach dem Bruch verwendet werden („bootstrapping“). Die rote Linie ergibt sich aus dem Mittel der 50 verschiedenen Realisierungen.

Homogenisierung der Station RET

Im Gegensatz zum vorangegangenen Beispiel wurden an anderen Stationen auch eindeutige Brüche detektiert und homogenisiert, jedoch zeigen viele der Brüche keine signifikante Temperaturabhängigkeit. Als Beispiel sind hier die Inhomogenitäten in den Daten der Station RET (sowohl in TMAX als auch in TMIN) angeführt. Im Jahr 1983 gab es einen

Stationswechsel von RET nach RET-Windmühle. Nach der Stationsverlegung sind die TMAX Werte im Mittel um etwa 0.5-1°C kühler und die TMIN Werte um über 1°C wärmer. In Abbildung 10 ist dies für TMIN (Sommermonate) anhand der SPLIDHOM und HOM Korrekturen zu erkennen.

Ebenfalls anhand dieses Beispiels soll an dieser Stelle auf ein Problem von HOM und SPLIDHOM hingewiesen werden. Es ist zu beobachten, dass für die Extreme die Unsicherheit sehr groß werden kann, da sich die Berechnung der Korrekturkoeffizienten an den Rändern der Verteilung nur auf sehr geringe Datenmengen stützt. So kann es zu Unsicherheiten von mehreren Grad Celsius kommen. In diesem Fall dürfen Korrekturfaktoren nur in einem kleinen Temperaturintervall berechnet werden. Für Temperaturwerte außerhalb dieses Intervalls sind die Korrekturfaktoren an den Rändern des noch erlaubten Intervalls anzubringen. Dies wird teilweise automatisch von SPLIDHOM und HOM durchgeführt (wie auch gut in Abbildung 10b anhand der HOM Korrekturen zu sehen ist), doch in manchen Fällen sind selbst die so gewählten Intervalle noch zu groß gewählt und müssen im Moment manuell geändert werden (dies ist in HOM/SPLIDHOM zurzeit noch nicht vorgesehen).

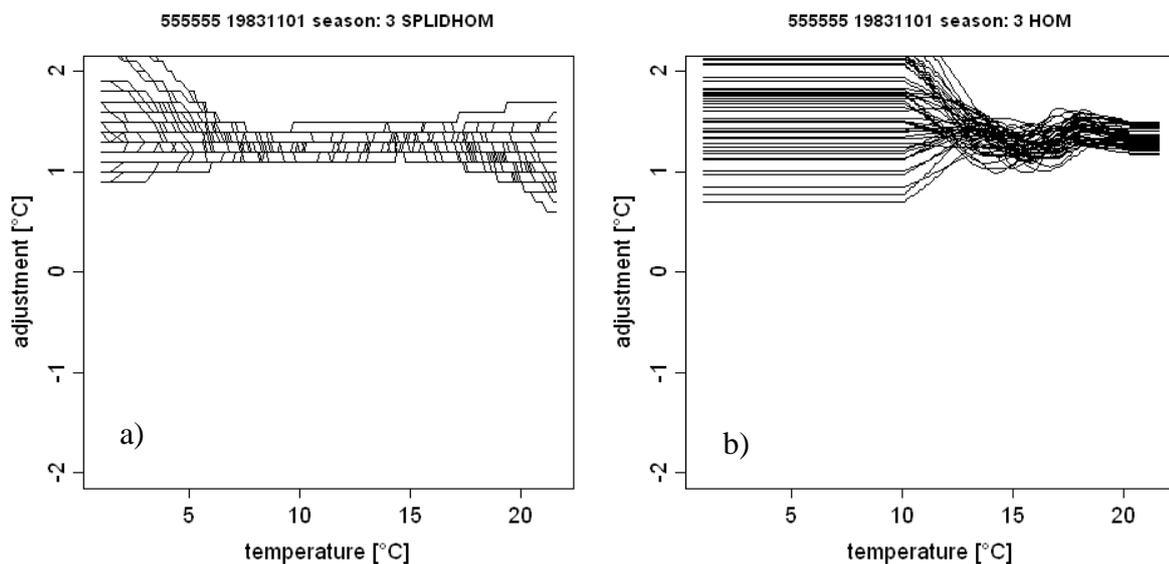


Abbildung 10: Wie Abbildung 9, jedoch für RET. Es sind Korrekturen für einen Bruch im Jahr 1983 in den Sommer Minimum-Temperaturdaten gezeigt: a) berechnet mit SPLIDHOM, b) berechnet mit HOM.

Stationsverlegung Wien-Hannhütte nach Wien-Freilandhütte

Es soll hier genauer auf die gut dokumentierte Stationsverlegung Wien-Hannhütte nach Wien-Freilandhütte eingegangen werden. Diese Stationsverlegung im Jahr 1953 und ihre eindeutigen Auswirkungen auf die täglichen Lufttemperaturmaxima und Minima wurden schon in ALOCLIM (Auer et al., 2001) diskutiert. Auch im Projekt StartClim.1 (Schöner et al., 2003), wurde die Zeitreihe der Station Wien Hohe Warte vor allem in Bezug auf Änderungen in der Extremwertstatistik untersucht. Eines der Resultate ergab eine Änderung des 90sten Perzentils der Lufttemperaturmaxima um 2°C in Bezug auf die Zeiträume 1901-1950 bzw. 1951-2000.

Mit der Hilfe von SPLIDHOM kann gezeigt werden, dass dieses vermeintliche Klimasignal auch eine Folge der Stationsverlegung Wien-Hannhütte nach Wien Freilandhütte sein kann. Nach den Ergebnissen von SPLIDHOM verursacht diese Stationsverlegung eine eindeutige temperaturabhängige Inhomogenität in genau der Größenordnung wie sie in StartClim.1 diskutiert wurde.

In Abbildung 11 sind die Anpassungsfunktionen berechnet mit SPLIDHOM gezeigt. Wie schon in Abbildung 9 und 10 wurde durch Ziehen unterschiedlicher Stichproben (mit zurücklegen) der Daten vor und nach dem Bruch versucht, die Unsicherheit durch das Abgreifen der Daten zu bestimmen.

Die Inhomogenität ist im Vergleich zu anderen detektierten Brüchen mit bis zu 2°C sehr groß und bei einer Unsicherheit von etwa 0.5°C auch signifikant.

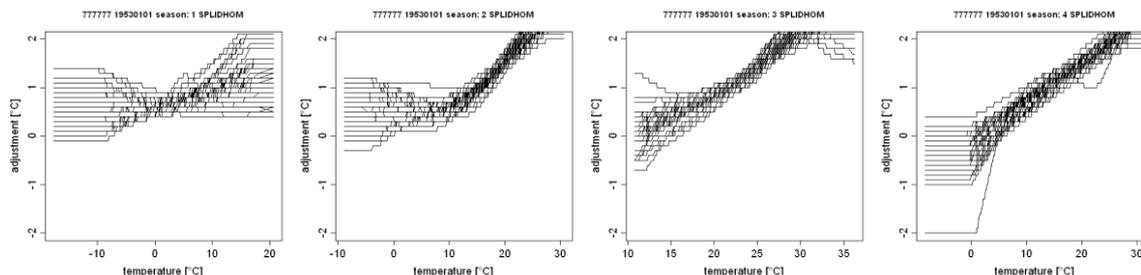


Abbildung 11: Wie Abbildungen 9 und 10 für die Korrekturen von WIE (TMAX) für einen Sprung im Jahr 1953. Gezeigt werden die Korrekturen für die 4 unterschiedlichen Jahreszeiten (von links nach rechts: DJF, MAM, JJA, SON).

Durch die starke Temperaturabhängigkeit unterscheiden sich die homogenisierten Zeitreihen von HOCLIS und SPLIDHOM/HOM deutlich. Dies ist in Abbildung 12 anhand der Zeitreihen der Sommer-Jahresmittel, der 0.9 Perzentile (der Sommerwerte der unterschiedlichen Jahre) und der Sommertage gezeigt. Es ist zu erkennen, dass HOCLIS in der Zeitreihe der 0.9 Perzentile die geringsten Änderungen zur Originalzeitreihe aufweist. In der Anzahl der Sommertage wirken sich die unterschiedlichen Korrekturen deutlich weniger aus, da nur in relativ wenigen Fällen der Unterschied in den Korrekturen dazu führt, dass der Grenzwert für einen Sommertag ($T_{MAX} > 25^{\circ}\text{C}$) überschritten wird. Alle Korrekturen bewirken jedoch eine deutliche Änderung gegenüber den Originaldaten, dies wird auch in der Zeitreihe der Anzahl der Sommertage deutlich.

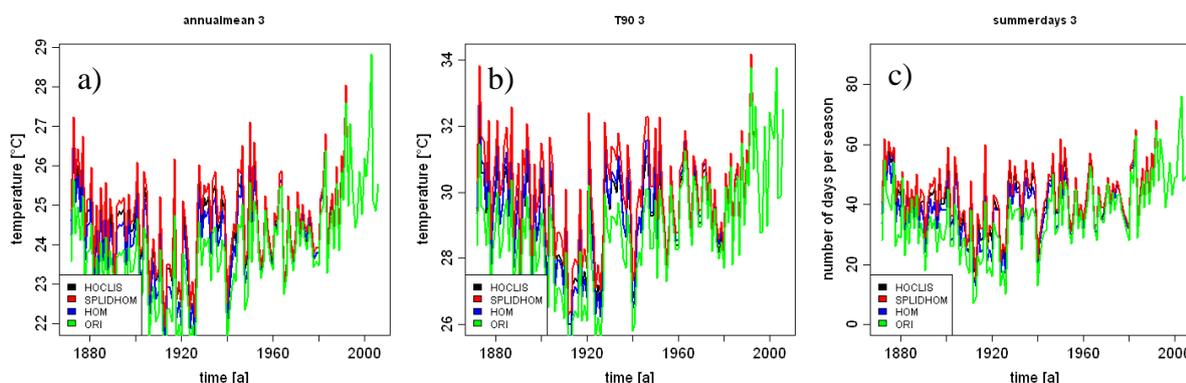


Abbildung 14: (a) Zeitreihen der jahresgemittelten TMAX-Werte für die Sommermonate in Wien: In grün für die Originaldaten, in schwarz, rot und blau homogenisiert mit HOCLIS, SPLIDHOM und HOM. (b) wie (a) nur für die 0.9 Perzentile der unterschiedlichen Jahre. (c) Zeitreihen der Sommertage ($T_{MAX} > 25^{\circ}\text{C}$) für Original- und homogenisierte Daten.

5 Zusammenfassung Temperaturdaten

Es konnte anhand von semi-synthetischen Experimenten und einer Anwendung auf FORALPS- Daten gezeigt werden, dass die Homogenisierung mit der aufwendigeren Berechnung von temperaturabhängigen Korrekturen in einigen Fällen zu einer verbesserten Anpassung führt. Daher sollte auch eine jener Methoden bei der Homogenisierung von Tagesdaten zum Einsatz kommen, auch wenn in vielen Fällen keine deutliche Temperaturabhängigkeit der Inhomogenitäten auftritt.

Weiters konnte anhand der „semi-synthetischen“ Experimente festgestellt werden, dass sich die Korrekturfaktoren von HOM und SPLIDHOM oft ähneln. Hauptsächlich an den Rändern der Temperaturverteilung kann es zu signifikanten Unterschieden kommen, wobei durch die geringe Datendichte die Unsicherheiten (etwa 1°C) in beiden Methoden sehr hoch sind.

Da nicht gezeigt werden konnten, dass eine der beiden Methoden besser zur Homogenisierung der täglichen Temperaturdaten geeignet ist, wird auf Grund der Komplexität der Methoden entschieden. HOM ist methodisch und von der Rechenzeit deutlich aufwendiger. Dieser „Mehraufwand“ gegenüber SPLIDHOM scheint jedoch zu keinem „Mehrwert“ zu führen. Daher gibt es keinen Grund sich für die aufwendigere Methode zu entscheiden.

So wird als Hauptergebnis von HOMDAY empfohlen somit SPLIDHOM als Homogenisierungsmethode für tägliche Temperaturdaten an der ZAMG zu verwenden.

Es ist zu beachten, dass SPLIDHOM mit aus Monatsdaten berechneten Korrekturfaktoren (z.B. aus HOCLIS) ergänzt werden muss, wenn folgende Probleme eintreten:

- Wenn keine ausreichend korrelierte Referenzstation (Korrelation>0.8) gefunden werden kann.
- (Wenn die Inhomogenität nicht temperaturabhängig ist.)
- Wenn die Unsicherheiten der SPLIDHOM Korrekturfaktoren (vor allem an den Rändern der Temperaturverteilung) zu groß sind und/oder kein eindeutiges Vorzeichen aufweisen.

Weiters ist es zu empfehlen nach der Homogenisierung noch eine Qualitätskontrolle der Daten durchzuführen. Durch die temperaturabhängigen Korrekturen und die meist hohe Unsicherheit an den Rändern der Temperaturverteilung könnten Extremwerte eventuell auch verfälscht werden. Dies ist unbedingt zu empfehlen, wenn spezielle Klimaindizes berechnet werden sollen, deren Werte von einzelnen Beobachtungsdaten abhängen, wie zum Beispiel der maximale (minimale) Wert der täglichen Lufttemperaturmaxima und Minima innerhalb jeden Monats (Alexander et al., 2005).

6 Homogenisierung von täglichen Niederschlagssummen

a. Die Niederschlagsproblematik

Die Homogenisierung täglicher Niederschlagssummen verursacht im Vergleich zu den Temperaturdaten noch zusätzliche Probleme.

Durch die höhere räumliche Variabilität des Niederschlages wird ein Vergleich zu Nachbarstationen schwieriger. Die Dekorrelationsdistanz für tägliche Niederschlagsdaten liegt bei 42km, wenn eine gemeinsame Varianz von größer 0.5 verlangt wird (Auer et al., 2003; Scheifinger et al., 2003). Für Verfahren wie SPLIDHOM und HOM ist eine hohe Korrelation (> 0.8) zwischen Test- und Referenzdaten jedoch Voraussetzung. Dadurch wird

SPLIDHOM (HOM) bei ausschließlicher Verwendung von ZAMG Stationen nur an wenigen Messreihen verwendet werden können.

Ein weiteres Problem ist, dass sich bei großen räumlichen Stationsverlegungen die gemessenen Niederschlagshäufigkeiten ändern können (besonders bei häufigen kleinskaligen Niederschlagsereignissen). Nimmt beispielsweise die Anzahl der Tage mit Niederschlag durch eine Stationsverlegungen ab, kann diese, durch derzeit bekannte Homogenisierungsverfahren nicht „tag-genau“ erhöht werden.

Es fehlt noch an Homogenisierungsverfahren, welche auf Niederschlag spezialisiert sind. Die uns bekannten Methoden wurden hauptsächlich entwickelt um Temperaturdaten zu homogenisieren. Erfahrung mit täglichen Niederschlagssummen ist kaum vorhanden. Beispielsweise homogenisieren Štěpánek und Zahradníček (2008) tägliche Niederschlagsdaten mit PROCLIM. Sie verwenden dabei eine Methode ähnlich zu HOM und SPLIDHOM, welche ebenfalls verteilungsbasiert sind. Eine Evaluierung der Ergebnisse hat jedoch noch nicht stattgefunden.

Hier wird untersucht, ob es möglich ist mit SPLIDHOM (oder HOM) auch Niederschlag zu homogenisieren. Dabei wird folgende Vorgehensweise gewählt:

Als ersten Schritt werden die Niederschlagsdaten mit $\log(x+1)$ transformiert, da in SPLIDHOM idealerweise normalverteilte Daten verwendet werden sollten. Die eigentliche Homogenisierung verläuft wie bei den Temperaturdaten und danach werden die homogenisierten Daten wieder zurück transformiert. Niederschlagsfreie Tage werden gezwungen auch niederschlagsfrei zu bleiben.

Auf diese Weise entstehen Niederschlagszeitreihen, deren Jahressummen immer noch Inhomogenitäten aufweisen können, da die Niederschlagshäufigkeiten einen großen Einfluss auf die Jahressummen ausüben. Diese Daten sind daher nicht für Auswertungen der Niederschlagshäufigkeiten geeignet, jedoch (möglicherweise) für Auswertungen von Extremniederschlägen.

Möglicherweise kann nach der Homogenisierung mit SPLIDHOM/HOM noch ein weiterer Homogenisierungsschritt hinzugefügt werden in welchem die niederschlagsfreien Tage mit jenen der Nachbarstationen verglichen werden. Bei Änderungen in der Niederschlagshäufigkeit könnten anteilmäßig zufällige Niederschlagswerte hinzugefügt werden, abhängig von der Niederschlagswahrscheinlichkeit in der Referenzperiode. Ähnlich der Methode von Brunetti et al. (2006), welche zum Schließen von Fehlwerten verwendet wurde. Jedoch sollte dieser Homogenisierungsschritt nur anwendungsorientiert verwendet werden, beispielsweise für die Auswertungen der Anzahl von Niederschlagstagen.

Bei den folgenden Tests werden wie oben erwähnt die Niederschlagshäufigkeiten nicht verändert. Die homogenisierten Daten sollen ausschließlich zur Evaluierung von Extremniederschlagsereignissen oder von Niederschlagsverteilungen verwendet werden.

Eine Evaluierung von Semi-synthetischen Daten, wie bei der Temperatur konnte nicht durchgeführt werden, da die Unterschiede zwischen den Vergleichsmessungen zu gering sind.

b. Homogenisierung ausgewählter FORALPS Stationsdaten

Wie schon für die Temperaturzeitreihen wurden auch für Niederschlag 5 Niederösterreichische (und Wiener) Stationen aus dem FORALPS Datensatz ausgewählt, um SPLIDHOM zu testen. Für diese Region sind die höchsten Korrelationen zwischen den Stationen zu erwarten, da das Terrain weniger komplex ist als in anderen Regionen von Österreich.

Als ersten Schritt werden Bruchstellen mit PRODIGE detektiert, mit Metadaten verglichen sowie mit den Brüchen verglichen, die in HISTALP und FORALPS angepasst wurden. Eine Liste der Bruchstellen findet sich in Tabelle 3 im Anhang.

Als ein erstes Beispiel wurde Retz (RET) mit SPLIDHOM homogenisiert. Diese Station wurde ausgewählt, da PRODIGE zwei deutliche Brüche in dieser Zeitreihe detektiert und diese Station sowohl in HISTALP als auch in FORALPS bereits homogenisiert wurde.

Zur Bruchdetektion mit PRODIGE wurde das penalized-likelihood Kriterium von Caussinus und Lyazrhi verwendet und Jahressummen des Niederschlags untersucht.

In Abbildung 15 sind die getesteten Quotienten-Zeitreihen mit den dazugehörigen detektierten Brüchen dargestellt. In den Jahren 1965 und 1983 sind Brüche zu erkennen, wenn die Stationen KRE, ZWE, WIE, WMA als Referenz verwendet werden. Der Bruch im Jahr 1983 fällt zusätzlich auch mit einem Metadateneintrag zusammen und wurde auch in HISTALP korrigiert. Für den Bruch im Jahr 1965 ist das Beides nicht der Fall, er wurde trotzdem homogenisiert.

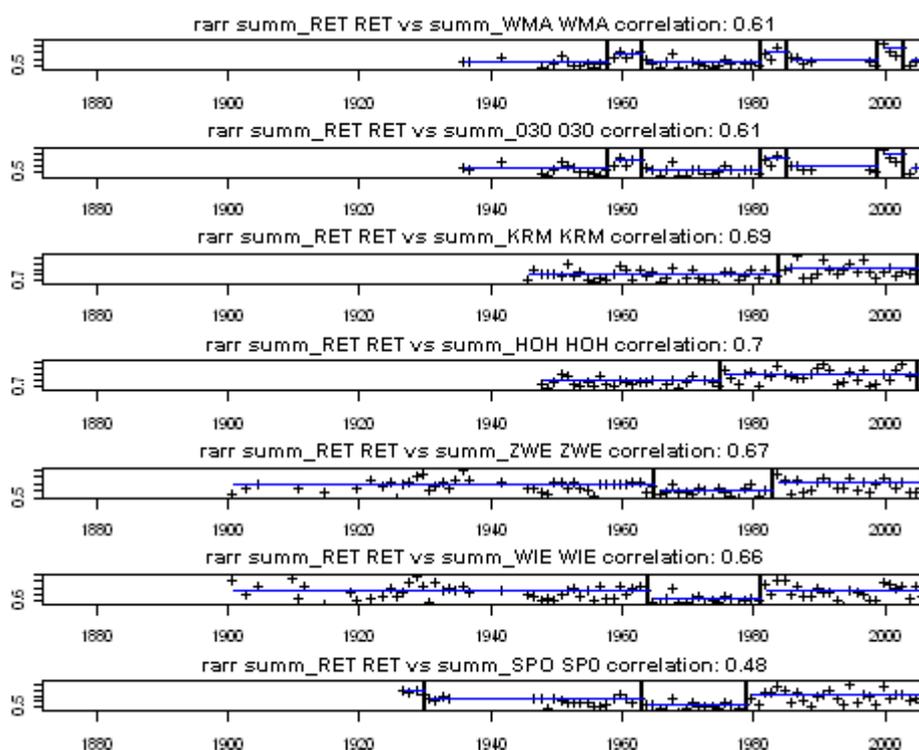


Abbildung 15: Detektierte Bruchstellen für Jahressummen des Niederschlags in RET. Zur Detektion wurde PRODIGE verwendet. Untereinander sind Zeitreihen der Quotienten der Jahressummen von RET zu den Werten aller möglichen Referenzstationen gezeigt. Vertikale Linien zeigen detektierte Bruchstellen an. Der „Bruch“ im Jahr 2007 kennzeichnet nur das Ende der Zeitreihen!

Die größte Problematik, wie schon erwähnt wurde, stellt die relativ geringe Korrelation des Niederschlags zwischen den Stationen dar. Wie ebenfalls aus Abbildung 15 zu erkennen ist, beträgt die Korrelation der Jahressummen nur zwischen 0.48 und 0.7. Werden Tageswerte betrachtet und niederschlagsfreie Tage außer Acht gelassen, ergeben sich für einzelne Monate und homogene Subperioden Korrelationen von derselben Größenordnung. Nach den Erfahrungswerten von Della-Marta (2007) sind diese Korrelationen schon zu gering, um eine vertrauenswürdige Referenz finden zu können.

Eine weitere Problematik stellen auch zeitliche Änderungen der Anzahl der Niederschlagstage dar. In der Zeitreihe der Anzahl der Niederschlagstage pro Jahr wird, wie auch in den

Niederschlagssummen für RET, ebenfalls einen Bruch im Jahr 1983 detektiert. Dies wird im Folgenden jedoch vernachlässigt und es wird dennoch versucht, die Zeitreihe von RET mit SPLIDHOM zu homogenisieren (auf Grund der Resultate, die für die Temperaturdaten gewonnen wurden, wird davon ausgegangen, dass eine Homogenisierung mit HOM ähnliche Korrekturen liefern würde wie mit SPLIDHOM).

Wie schon bei den Temperaturen (Experiment 2), werden die Zeitreihen getrennt nach Saisonen homogenisiert und es wird immer jene Station als Referenz gewählt, welche für die gegebene Saison und die anzupassende Subperiode die höchste Korrelation zur Teststation aufweist.

So wurde die Station HOH als Referenz für RET (Wintermonate) verwendet, ZWE für beiden Sprünge in den Herbstdaten und die beiden Wiener Stationen für die Brüche im Frühling. Die Sommermonate konnten nicht homogenisiert werden, da keine Referenzstation genügend hoch mit RET korreliert ist. Es scheint auch plausibel, da kleinskalige Niederschlagsereignisse hauptsächlich im Sommer auftreten. Eine Homogenisierung dieser Ereignisse ist wahrscheinlich auch nicht Ziel führend.

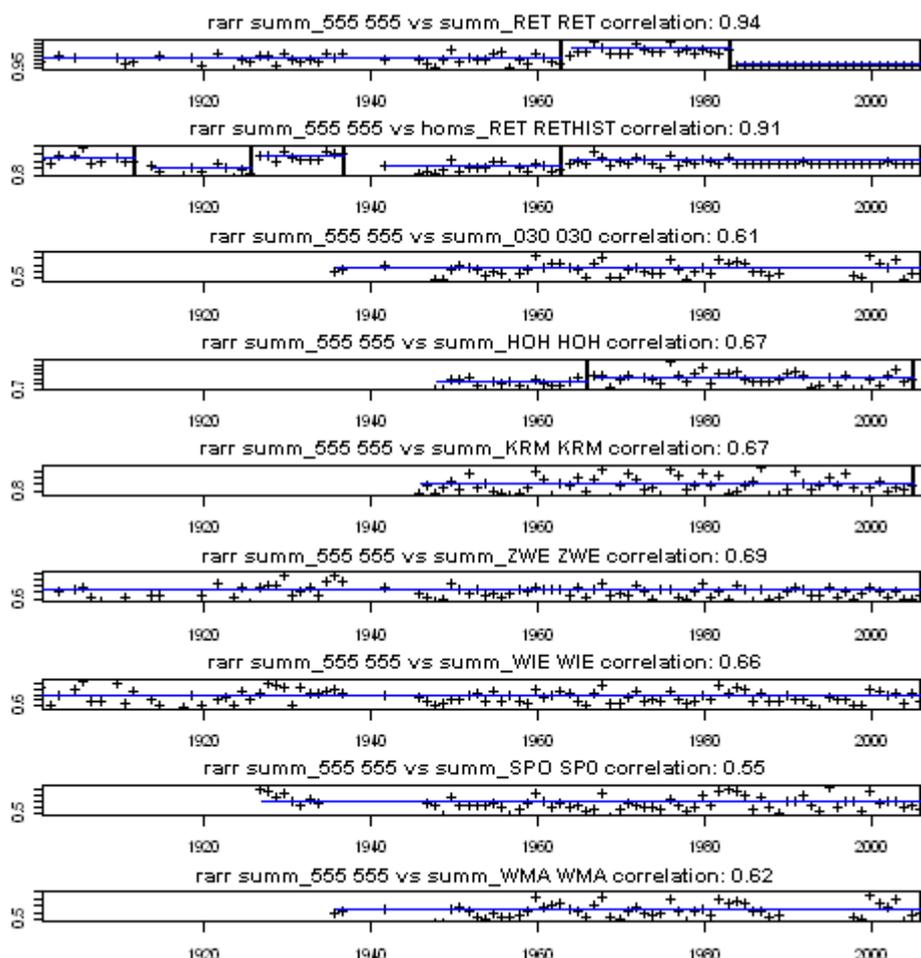


Abbildung 16: Wie Abbildung 15, jedoch für die homogenisierte Zeitreihe von RET (555). In der ersten Zeitreihe ist das Verhältnis der homogenisierten zur originalen Zeitreihe zu sehen, ebenfalls deutlich die zwei homogenisierten Bruchstellen.

Als eine rein statistische Überprüfung der Resultate wurde die homogenisierte Zeitreihe ebenfalls mit PRODIGE auf Brüche untersucht (siehe Abbildung 16). In den Vergleichsreihen zu den umliegenden Stationen werden keine eindeutigen Brüche mehr detektiert. Die Homogenisierung scheint erfolgreich gewesen zu sein.

Durch die Homogenisierung müssten theoretisch die Korrelationen zu den benachbarten Stationen größer werden (Štěpánek, pers. comm.), zumindest zu jenen, die als Referenz verwendet wurden.

Ein grober Vergleich der Korrelationen der Jahressummen ergibt jedoch, dass sich die Korrelationen der homogenisierten Zeitreihe zu den Nachbarstationen verringern (bis auf eine Ausnahme).

Dies ist nicht nur für die Jahressumme der Fall, sondern auch wenn einzelne Monate, wie zum Beispiel der Jännerniederschlag betrachtet werden (der Effekt kommt daher nicht nur zustande, weil die Sommermonate nicht homogenisiert wurden). Die Zeitreihe der homogenisierten Daten aus dem HISTALP-Datensatz ist mit den Nachbarstationen höher korreliert als die Originalzeitreihe. Der Vergleich der Korrelationen der Jahressummen und der Januar - Summen ist in Tabelle 1 gegeben.

In einem weiteren Experiment wurden die Brüche, die in HISTALP angepasst wurden zur Homogenisierung mit SPLIDHOM verwendet. In diesem Fall nimmt die Korrelation noch weiter ab.

Die schon im Voraus geringen Korrelationen der Niederschlagsdaten, scheinen dazu zu führen, dass möglicherweise durch die Homogenisierung die Werte eher verfälscht werden.

Jahressumme	RET ORIG	HISTALP	SPLIDHOM
HOH	0.7	0.76	0.67
KRM	0.69	0.73	0.67
ZWE	0.67	0.67	0.69
WIE	0.66	0.7	0.66
SPO	0.48	0.61	0.55
WMA	0.61	0.67	0.62

Jänner	RET ORIG	HISTALP	SPLIDHOM
HOH	0.82	0.86	0.79
KRM	0.76	0.79	0.74
ZWE	0.73	0.71	0.71
WIE	0.75	0.75	0.75
SPO	0.55	0.57	0.59
WMA	0.69	0.63	0.71

Tabelle 1: Korrelationen der Niederschlagssummen von Retz (Original, homogenisiert in HISTALP und mit SPLIDHOM) mit den Daten der benachbarten Stationen.

c. Zusammenfassung Niederschlag

Die ersten Versuche zur Homogenisierung von Niederschlag mit SPLIDHOM zeigen, dass durch die zu hohe räumliche Variabilität des Niederschlags die Korrelation zwischen Nachbarstationen zu gering ist. Daher sollte SPLIDHOM nicht angewendet werden.

Es wurde trotzdem ein Versuch unternommen die Zeitreihe von RET mit SPLIDHOM zu homogenisieren. Dabei wurde auch das Problem übergangen, dass sich nicht nur die Niederschlagsmengen ändern, sondern auch die Niederschlagshäufigkeiten.

Höchstwahrscheinlich auf Grund dieser Vernachlässigungen konnten keine vertrauenswürdigen Korrekturen berechnet werden. Die Korrelation der homogenisierten Zeitreihe RET zu den Nachbarstationen verringert sich im Vergleich zu den Originaldaten (im Gegensatz zu den in HISTALP homogenisierten Daten). Dies ist ein Indiz für eine falsch angebrachte Korrektur (Štěpánek, pers. comm.).

Die Evaluierung der homogenisierten Niederschlagsdaten (berechnet mit SPLIDHOM) muss in HOM-OP Austria noch auf weitere Stationen ausgeweitet werden. Möglicherweise finden sich in anderen Regionen Stationen, die besser untereinander korreliert sind und deren Niederschlagshäufigkeiten sich nicht sprunghaft ändern. Eine zusätzliche Verbesserung könnte gegebenenfalls durch die Einbeziehung von Hydrodaten erzielt werden. Für diese sind allerdings kaum Metadaten vorhanden, und es nicht zu erwarten, dass Hydro-niederschlagszeitreihen nicht durch Inhomogenitäten beeinträchtigt sind.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

Ziel des internen Projektes HOMDAY war es eine Methode zur Homogenisierung von täglichen Daten für die Verwendung an der ZAMG zu empfehlen. Das Hauptaugenmerk wurde auf die Homogenisierung von täglichen Lufttemperaturmaxima und Minima gelegt. Die Anwendungsmöglichkeit der verschiedenen Methoden (welche hauptsächlich für Temperaturdaten entwickelt wurden!) auf tägliche Niederschlagssummen wurde getrennt davon untersucht. Die Ergebnisse für Niederschlag waren jedoch nicht zufrieden stellend.

Es wurden zwei Homogenisierungsmethoden, welche verteilungs- (z.B. temperatur-) abhängige Korrekturen berechnen (HOM: Della-Marta und Wanner, 2006; SPLIDHOM: Mestre et al., 2009), mit INTERP (Vincent et al., 2002) verglichen. INTERP homogenisiert Tagesdaten auf Basis von monatlichen Korrekturfaktoren.

Es hat sich gezeigt, dass HOM und SPLIDHOM im Falle von temperaturabhängigen Inhomogenitäten gegenüber INTERP verbesserte Anpassungen liefern, wie auch zu erwarten war. Die Ergebnisse von HOM und SPLIDHOM ähneln einander in den meisten Fällen, nur für Extremwerte ($T > T_{90}$, $T < T_{10}$) können sie sich deutlich unterscheiden. Dies ist auf die geringere Datenverfügbarkeit an den Rändern der Verteilung zurückzuführen. Wie anhand der Homogenisierung von ausgewählten FORALPS Stationen gezeigt werden konnte, kann die Unsicherheit der Korrekturen für Extremwerte mehrere Grad Celsius betragen. Dies ist unbedingt bei der Homogenisierung mit diesen Methoden zu beachten, und speziell bei der Auswertung von homogenisierten Zeitreihen.

Für die weitere Verwendung an der ZAMG wird die Methode SPLIDHOM empfohlen.

Es konnte zwar nicht gezeigt werden, dass diese bessere Ergebnisse liefert als HOM, jedoch ist diese Methode deutlich weniger komplex (und daher auch weniger rechenintensiv). Da die Ergebnisse von HOM und SPLIDHOM einander entsprechen, ist es nicht notwendig auf die komplexere Methode HOM zurückzugreifen.

Für die Anwendung von SPLIDHOM gibt es jedoch einige Einschränkungen, auf Grund derer SPLIDHOM in manchen Fällen mit HOCLIS/INTERP ergänzt werden muss: Bei zu geringer Korrelation der Nachbarstationen zur Teststation (< 0.8) oder wenn die Unsicherheiten der berechneten Anpassungen zu groß sind.

Die bisherigen Ergebnisse, SPLIDHOM auch auf Niederschlag anzuwenden, sind wenig viel versprechend. Das größte Problem dabei ist die große räumliche Variabilität (vor allem im Sommer). Es gibt bisher noch sehr wenige Arbeiten zum Thema Homogenisierung von täglichen Niederschlagssummen (Ausnahme: Brunetti et al., 2006). Es bleibt jedoch zu hoffen, dass im Rahmen der COST Aktion ES0601 in den nächsten 1 ½ Jahren Methoden zur Homogenisierung von täglichem Niederschlag erarbeitet werden. Die Zusammenarbeit mit der COST ES0601 hat sich für HOMDAY als sehr fruchtbar erwiesen, andererseits hat HOMDAY bereits wesentliche Beiträge für die COST Aktion WP4 (methods for daily data) geleistet.

Ausblick

Im Nachfolgeprojekt HOM-OP Austria wird es eine der Aufgaben sein, SPLIDHOM mit HOCLIS zu kombinieren, damit flexibel verschiedene Brüche einer Zeitreihe alternierend mit SPLIDHOM und HOCLIS angepasst werden können.

Weiters ist es notwendig auch verschiedene Detektionsmethoden zu testen. Zurzeit stehen an der ZAMG der CRADDOCK-Test, PRODIGE (Caussinus und Mestre, 2004) sowie ProclimDB (Štěpánek, 2008) zur Verfügung. Diese Methoden untersuchen die Zeitreihen jedoch nur auf Brüche im Mittelwert. Möglicherweise ist es aber notwendig, sprunghafte Änderungen höherer Momente zu detektieren. Falls Inhomogenitäten in höheren Momenten (von Referenzstationen) vorhanden sind, nicht jedoch im Mittelwert, kann dies die mit SPLIDHOM berechneten Anpassungen stark verfälschen.

Beabsichtigter Nutzen der Ergebnisse

Mit der nun gewählten Homogenisierungsmethode SPLIDHOM kann an der ZAMG ein Datensatz von auf Tagesbasis homogenisierten Klimareihen (zumindest Temperatur) erstellt werden. Zusätzlich zu den homogenisierten Zeitreihen, soll(te) er auch Information über die Unsicherheit der vorliegenden Zeitreihen enthalten. Diese kann aus der Unsicherheit der berechneten Anpassungsfaktoren geschätzt werden. Ein solcher Datensatz wird im Bereich der Klima- und Klimafolgenforschung dringend benötigt, speziell für Analysen und fundierte Aussagen über mögliche Änderungen klimatischer Extreme.

Danksagung

Für Hilfe bei der Datenaufbereitung danken wir Alexander Orlik und Sandra Karanitsch. Dieses Projekt wurde in enger Zusammenarbeit mit der COST Aktion ES0601 durchgeführt und profitierte besonders durch die Unterstützung der Kooperationspartner Olivier Mestre, Paul Della-Marta, Enric Aguilar, Petr Štěpánek und Victor Venema.

Referenzen

Aguilar E, Auer I, Brunet M, Peterson TC, Wieringa J, 2003: Guidelines on Climate Metadata and Homogenization, World Climate Programme Data and Monitoring, WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186, WMO, Geneva.

Alexander LV, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein Tank A, Haylock M, Collins D, Terwin B, Rahimzadeh F, Tagipour A, Ambenje P, Rupa Kumar K, Revadekar J, Griffiths G, Vincent L, Stephenson D, Burn J, Aguilar E, Brunet M, Taylor M, New M, Zhai P, Rusticucci M, Vazquez-Aquirre JL, 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.*, 111:D05109

Auer I, Böhm R, Schöner W, 2001: ALOCLIM-Austrian Long-term Climate 1767-2000. Multiple Instrumental Climate time series from Central Europe. *Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik*, **25**, 1-147. Publ.Nr. 397. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.

Auer I, Böhm R, Korus E, Schöner W, 2003: Zeitliche Repräsentativitätsanalyse 50jähriger Klimadatenätze im Hinblick auf die Beschreibung der Variabilität von Extremwerten, Endbericht StartClim.2, 52 pp.

Auer I, Böhm R, Scheifinger H, Ungersböck M, Orlik A, Jurkovic A., 2004: Metadata and their role in homogenising. Fourth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases, Budapest, Hungary, 6-10 October 2003, WCDMP-No.56, WMO-TD No.1236, 17-23, WMO, Geneva

Auer I, Böhm R, Jurkovic A, Lipa W, Orlik A, Potzmann R, Schöner W, Ungersböck M, Matulla C, Briffa K, Jones PD, Efthymiadis D, Brunetti M, Nanni T, Maugeri M, Mercalli L, Mestre O, Moisselin JM, Begert M,

- Müller-Westermeier G, Kveton V, Bochnicek O, Stastny P, Lapin M, Szalai S, Szentimrey T, Cegnar T, Dolinar M, Gajic-Capka M, Zaninovic K, Majstorovic Z, Nieplova E. 2007: HISTALP – Historical Instrumental Climatological Surface Time Series of the Greater Alpine Region. *Int. J. Climatol.*, **27**, 17-46. Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/joc.1377
- Auer I, Jurkovic A, Orlik A, Böhm R, Korus E, Sulis A, Marchetti A, Manenti C, Dolinar M, Nadbath M, Vertacnik G, Vicar Z, Pavcic B, Geier G, Rossi G, Leichtfried A, Schellander H, Gabl K, Zardi D, 2008: High quality climate data for the assessment of Alpine climate, its variability and change on regional scale - Collection and analysis of historical climatological data and metadata, Endbericht FORALPS WP5: Meteo-Hydrological Forecast and Observations for improved Water Resource Management in the Alps WP 5 Data Set.
- Brunetti M, Maugeri M, Monti F, Nanni T, 2006: Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series, *Int. J. Climatol.*, **26**, 345-381.
- Caussinus H, Mestre O, 2004: Detection and correction of artificial shifts in climate series, *Appl. Statist.*, **53**, Part 3, 405-425.
- COST ES0601. 2007-2011. <http://www.cost.esf.org/index.php?id=1077>
- Craddock J M, 1979: Method of comparing annual rainfall records for climatic purposes. *Weather*, **34**, 332-346.
- Della-Marta P M, 2007: A Comparison of Methods to Homogenise Daily Temperature Data. Presentation at the 6th ECSN Data Management Workshop, 20-22 November 2007, Wien.
- Della-Marta P M, Wanner H, 2006: A Method for homogenising the extremes and mean of daily temperature measurements, *J. of Climate*, **19**, 4179-4197.
- Efron B, 1979: Bootstrap methods: Another look at the jackknife, *Annals of Statistics*, **7**, 1-26.
- FORALPS. 2005 – 2008. <http://www.unitn.it/foralps/>
- Gruber C, Mestre O, 2008: Implementation of HOM method in QOREEC software. Scientific Report COST STSM-ES0601-03517 (approved).
- Gruber C, Mestre O, 2008: R Software containing HOM and SPLIDHOM - User Manual, 7 pp.
- Mestre O, Prieur C, Gruber C, Caussinus H, Jourdain S., 2009: A method for homogenization of daily temperature observations, submitted to JAMC.
- Scheifinger H, Böhm R, Auer I, 2003: Räumliche Dekorrelation Von Klimazeitreihen Unterschiedlicher Auflösung und Ihre Bedeutung Für Ihre Homogenisierbarkeit und Die Repräsentativität Von Ergebnissen. 6. Deutsche Klimatagung, Klimavariabilität. Schriften der Alfred-Wegener-Stiftung, 2003/6, 375-379.
- Schöner W, Auer I, Böhm R, Thaler S, 2003: Qualitätskontrolle und statistische Eigenschaften ausgewählter Klimaparameter auf Tageswertbasis im Hinblick auf Extremwertanalysen, Endbericht StartClim.1, 54 pp.
- Štěpánek P, Zahradníček P, 2008: Experiences with quality control and homogenization of daily series of various meteorological elements in the Czech Republic, 1961-2007., Proceedings of the sixth seminar for homogenization and quality control in climatological database, Budapest, Hungary, 26-30 May 2008.
- Trewin, B C, Trevitt A C F, 1996: The development of composite temperature records. *Int. J. Climatol.*, **16**, 1227-1242.
- Van der Meulen J P, Brandsma T, 2008: Thermometer Screen Intercomparison in De Bilt (the Netherlands). Part I: Understanding the weather-dependent temperature differences, *Int. J. Climatol.*, **28**, 371-387.
- Vincent L A, Zhang X, Bonsal B R, Hogg W D, 2002 : Homogenisation of daily temperatures over Canada. *J. Climate*, **15**, 1322-1334.

Anhang

Im Folgenden ist eine Übersicht über die, in den FORALPS-Daten (TMAX, TMIN und Niederschlagssummen) detektierten Brüche gegeben.

TMAX	PRODIGE	HOCLIS	META	
HOH	homogen	homogen	1971 05	Stationsverlegung
KRM	1997	197101, 198210, 199604	197101, 198210, 199604	Stationsverlegung Stationsverlegung TAWES Umstellung
RET	1951 1985 1994	1983 11 1987 01 1995 06	1983 11 1995 06	901 zu Windmühle TAWES Umstellung
SPO	1978	1955 09 1971 01 1979 04 1994 01	1955 09 1971 01 1979 04 1994 01	Stationsverlegung 21 → 19 Uhr Stationsverlegung Stationsverlegung
WIE	1951/52 1985 1994	1953 01 1971 01 1980 01 1993 01	1953 01 1971 01 1993 01	HANN → Freilandhütte 21 → 19 Uhr TAWES Umstellung
WMA	1956 1985 (1989)	1956 01 1990 03	1956 01 1990 03	Stationsverlegung Stationsverlegung
ZWE	1971	1971 01 1980 01 1994 08	1971 01 1980 01 1994 08	21 --> 19 Uhr Stationsverlegung TAWES-Umstellung

Tabelle A1: Detektierte Bruchstellen in Maximumtemperatur-Zeitreihen für 7 ausgewählte niederösterreichische (und Wiener) FORALPS Stationen. Bruchstellen wurden mit PRODIGE und HOCLIS detektiert. Auch die Einträge in den Metadaten sind verzeichnet.

TMIN	PRODIGE	HOCLIS	META	
HOH	1950 1969 1987 1992	1971 05 1987 01 1991 05 1995 01	1971 05	Stationsverlegung
KRM	1977	1954 01 1971 01, 1977 06 1982 10, 1996 04	197101, 1977 06 198210, 199604	21 zu 19 Uhr Stationsverlegung Stationsverlegung TAWES Umstellung
RET	1964 1977 (1994)	1962 01 1983 11 1995 06	1983 11 1995 06	901 zu Windmühle TAWES Umstellung
SPO	1955 1977/78 1993/94	1955 09 1979 04 1994 01	1955 09 1979 04 1994 01	Stationsverlegung Stationsverlegung Stationsverlegung
WIE	1953	1953 01	1953 01	HANN → Freilandhütte
WMA	1955 1971 1978 (1987)	1956 01 1971 01 1990 03	1956 01 1971 01 1990 03	Stationsverlegung 21 --> 19 Uhr Stationsverlegung
ZWE	1955 1980 1987	1971 01 1980 01 1994 08	1971 01 1980 01 1994 08	21 --> 19 Uhr Stationsverlegung TAWES-Umstellung

Tabelle A2: Wie Tabelle 1 nur für tägliche Minimumtemperaturen.

Niederschlag	PRODIGE	HISTALP	Metadaten
HOH	1969 1992 2002	Keine HISTALP Station	
KRM	-	1940 1954 1982 1991	1956, 1961, 1977, 1983
RET	1965 1983	1913 1917 1926 1942 1983	 1983
SPO			1936 1947 1955 1994 2003
WIE	-		
WMA	1963 1958	Keine HISTALP Station	
ZWE	-	1907 1917 1938 1981 1986 1995	

Tabelle A3: Potentielle Bruchstellen in den Zeitreihen von Niederschlagssummen der Stationen HOH, KRM, RET, SPO, WIE, WMA und ZWE.

PRODIGE wurde auf Jahressummen des Niederschlages angewendet, um Bruchstellen zu erhalten. Die HISTALP Bruchstellen wurden aus Differenzzeitreihen homogener - originaler Daten entnommen. Jene Jahre, welche fett gedruckt sind, wurden bei der Homogenisierung auf Tagesbasis berücksichtigt.

Projektverlauf und Übersicht der Verwendung der Finanzmittel

Alle Arbeitspakete konnten zeitgerecht abgeschlossen werden (Abbildung A1). Darüber hinaus wurden HOM-DAY Ergebnisse international und national in Form von Vorträgen und Publikationen präsentiert (siehe unten). Besonders sei auf die beiden „invited talks“ bei internationalen Konferenzen hingewiesen.

Für das Projekt HOMDAY stand ein Gesamtbetrag von € 40,892.00 zur Verfügung. Bis 9. Oktober wurden davon € 33,095.12 verbraucht, die geschätzten Kosten bis 31. 12. 2008 betragen € 40,499.71, sodass ein Rest von € 392.29 verbleiben wird. Die Projektmittel wurden zu 100% für die Abdeckung der Personalkosten verwendet.

Präsentationen

Österreichischer Klimatag, Wien, 13./14. März 2008 (Annex 1)

EGU 2008, Wien, 16. April 2008 (Annex 2)

Arbeitstreffen ZAMG – Meteo Schweiz (wie oben Annex 2)

6th Seminar for Homogenisation and Quality Control in Climatological Databases, Budapest, Hungary, 26. – 30. May 2008 (Annex 3)

Workshop "Erste Ergebnisse aus den internen Forschungsprojekten der ZAMG" am 26. und 27. Juni 2008. (Annex 4)

EMS 2008, Amsterdam 29. September-3. Oktober 2008, eingeladener Vortrag (Annex 5)

Geplante Präsentationen:

COST ES0601- Working group meeting, Tarragona 9.-11. März 2009

EGU 2009, Wien 20.-24. April 2009, eingeladener Vortrag

COST ES0601 – MC Meeting Überblickspräsentation

Berichte und Publikationen

Gruber und Auer, 2008: Zwischenbericht Projekt HOM-DAY

Gruber C, Mestre O, 2008: (approved). Implementation of HOM method in QORREC software. Scientific Report COST STSM-ES0601-03517, (Annex 6)

Gruber C, Mestre O, 2008: R Software containing HOM and SPLIDHOM - User Manual. (Annex 7)

Mestre O, Gruber C, Prieur C, Caussinus H, Jourdain S, 2009: A method for homogenization of daily temperature observations, submitted to JAMC (in revision). (Annex 8)

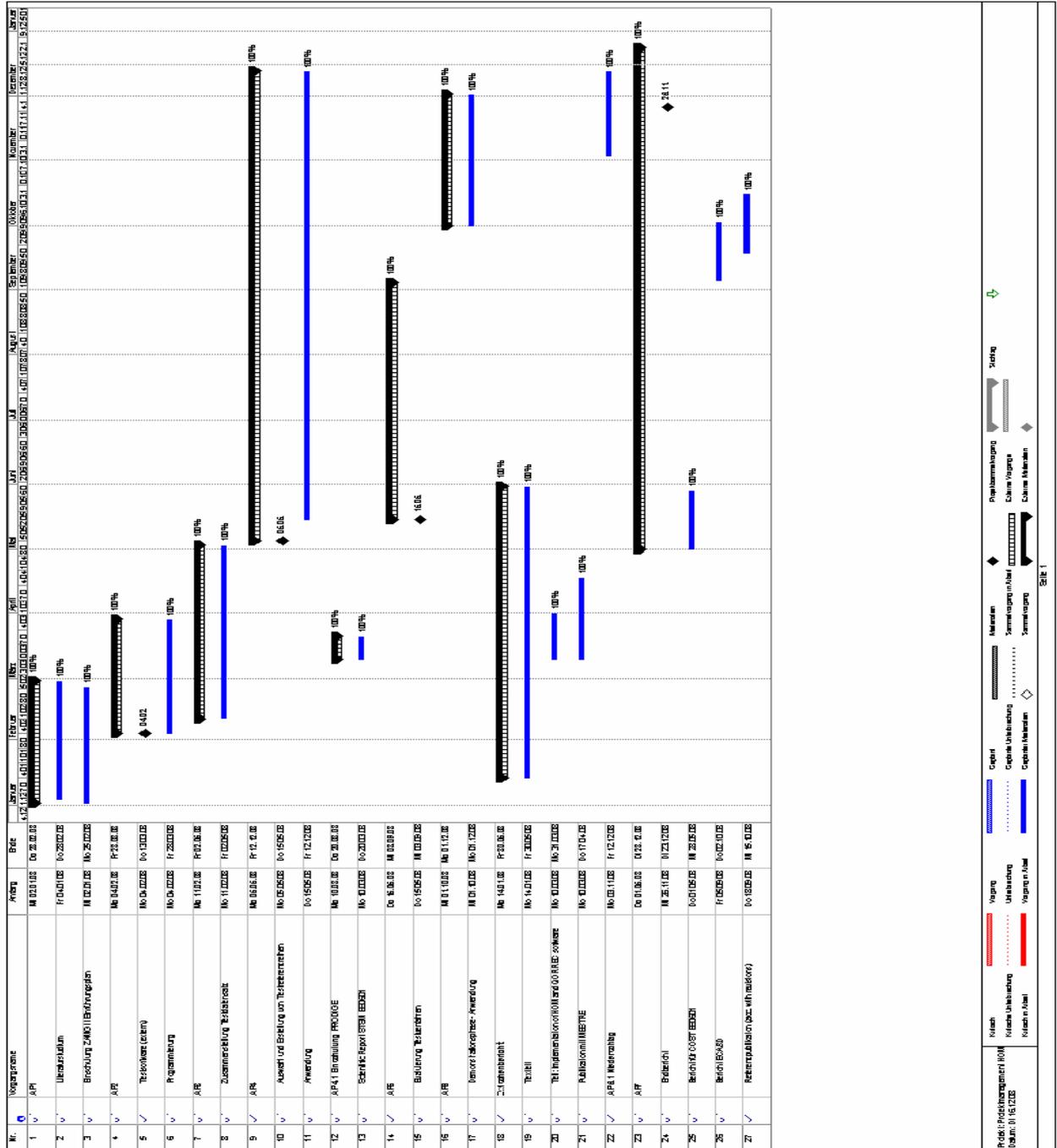


Abbildung A1: Seitenansicht Projektverlauf HOMDAY mit MS Project