

## **Klimarekonstruktion in der instrumentellen Periode – Probleme und Lösungen für den Großraum Alpen**

Reinhard Böhm

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien

### **Summary**

#### **Climate reconstruction in the instrumental period – problems and solutions for the greater Alpine region**

Two recent activities of the climate variability working group of the Austrian weather service (ZAMG) are taken to exemplarily describe the existing extraordinary instrumental climate data potential of the greater Alpine region but also to highlight the dangers of uncritical use of original instrumental climate information. The first example is a recently performed correction of a systematic warm bias of early instrumental summer temperatures before the 1860s. This example deals with a successful activity which has set another step towards real climate information with a reduced share of yet undetected or not yet removable non-climatic information (random noise but also systematic biases). The second example describes a yet not successfully solved problem, that of the homogenization of climate series at daily or subdaily resolution. Here some examples of already performed partial solutions for subregions are shown and discussed to keep pace with the increasing demand on such daily climate information in the fields of recent scientific and public debate on extreme climate events and their impacts in the frame of the general discussion on climate change.

### **Einleitung**

Gerade im Zusammenhang mit dem in diesem Band im Vordergrund stehenden Thema der Klimarekonstruktion mit Hilfe von indirekten (Proxy-) Daten mag es vielleicht überraschen, dass hier der Begriff „Rekonstruktion“ auch für direkt gemessene Klimadaten Verwendung finden soll. Es herrscht ja im Allgemeinen die Ansicht, gemessene Klimadaten seien a priori „die Wahrheit“ an der die Klimamodelleure ihre Ergebnisse messen und mit denen die Klimarekonstrukteure ihre indirekten Informationen kalibrieren. Dass dem nicht so ist, soll dieser Beitrag mit zwei Beispielen vermitteln. Ein Detailproblem aus der frühen instrumentellen Periode wird zum Anlass genommen, den Weg von Originaldaten des Klimaelements Lufttemperatur aus der Zeit vor 1860 über eine homogenisierte Fassung eines Monatsdatensatzes für den Großraum Alpen aus 2007 zu der aktuellen korrigierten Fassung von 2008 zu zeigen. Dieses erste Problem kann als gelöst angesehen werden. Ein zweites, das der adäquaten Behandlung langer Klimazeitreihen in täglicher bis subtäglicher Auflösung harht noch einer Lösung, und wir können hier nur die Gründe dafür zeigen und Lösungsstrategien für die Zukunft besprechen.

### **Problem 1: Homogenisierung von Klimadaten in monatlicher Auflösung – der Spezialfall des „early instrumental bias“**

Gerade der Großraum Alpen zeichnet sich vor allen anderen Gebieten der Erde durch die größte Tradition an lange zurückreichenden Klimadaten aus. Bis zu 250 Jahre in die Vergangenheit reichen die längsten ununterbrochenen Klimareihen hier - nicht weniger als sechzehn beginnen bereits im 18. Jahrhundert, 32 vor 1850. Natürlich sind historische Messungen aus Zeiten Goethes, Maria Theresias oder Mozarts nicht a priori in vergleichbarer Art gemacht worden, wie es den modernen Standards entspricht. Die daher notwendige Anpassung der historischen Daten an den aktuellen Standard nennt man in der Klimatologie Homogenisierung. Es geht dabei darum, in einer langen Messreihe die echte Klimainformation (das Signal) von einer Reihe von anderen Informationen (das Rauschen) zu trennen, die etwa von Stationsverlegungen, Änderungen der Umgebung (wie etwa die steigende Urbanisierung), technologische Entwicklungen (Messtechnik), veränderte statistische Verarbeitungsstandards stammen.

In den letzten fünfzehn Jahren konnte die Arbeitsgruppe Klimavariabilität der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien einen räumlich dichten (mehrere hundert Einzelstationen), multiplen (mehrere Klimaelemente), langen (längste Reihen zurück bis 1760), qualitätsgeprüften (tausende Inhomogenitäten und Ausreißer entfernt, Datenlücken geschlossen und dadurch eine ursprüngliche Ausfallsrate von 5% beseitigt) Klimadatensatz erstellen. Die kleinste Zeiteinheit des

HISTALP-Datensatzes ist ein Monat. Die Daten wurden von zahlreichen (mehr als zwanzig) Providern aus zehn Ländern der Region gesammelt und vorläufig als geschlossener Datensatz in „station-modes“ und in drei verschiedenen „grid-modes“ aufbereitet. Zusatzfinanzierungen zu HISTALP kamen von verschiedenen nationalen und EU-Projekten (CLIVALP, ALOCLIM, ALPCLIM, ALP-IMP). Die ZAMG plant, HISTALP auch in Zukunft als qualitäts-orientiertes Klima-Monitoring weiter zu führen. Neben den erwähnten Kontakten mit den Daten Providern existiert diesbezüglich eine enge Zusammenarbeit mit der Climatic Research Unit der University of East Anglia in Norwich, dem ISAC-Institut des CNR-Bologna und dem Institut für allgemeine und angewandte Physik der Universität Mailand.

Eine HISTALP Gesamt- und Referenzpublikation ist Anfang 2007 im International Journal of Climatology erschienen (Auer et al., 2007), die die genauen Details zur Erstellung des Datensatzes und erste Analysen bringt. Mit Jänner 2008 ist ein internes ZAMG-Projekt gestartet, das die HISTALP Daten bis Ende 2007 aktualisiert, reanalysiert, das Messnetz verdichtet und das sie über die Website der ZAMG leicht und schnell zugänglich machen wird. Eines der in dem Projekt zu erledigenden Probleme war ein vermuteter systematischer Fehler der frühen Temperaturmessungen, der durch ungenügende Abschirmung der Thermometer gegen direkte und indirekte Sonneneinstrahlung entstanden sein könnte. Die Lösung dieses Problems sei hier exemplarisch beschrieben und das Ergebnis kurz vorgestellt.

Abbildung 1 zeigt die vom „EIP-Bias“ (EIP = early instrumental period) betroffenen Stationen zusammen mit dem dichten generellen HISTALP Temperaturmessnetz. Das Sample der Langzeitstationen wird künftig als „LSS“ (long series subset) bezeichnet. Dieser Langzeitdatensatz steht in seiner räumlichen Dichte und auch Qualität einzigartig da. Nirgendwo sonst gibt es derart viele frühe Klimareihen. Von Rudloff (1967) führt für ganz Europa 65 derartiger Langzeitreihen an, allein 32 davon befinden sich im Großraum Alpen und sind Teil des HISTALP Datensatzes

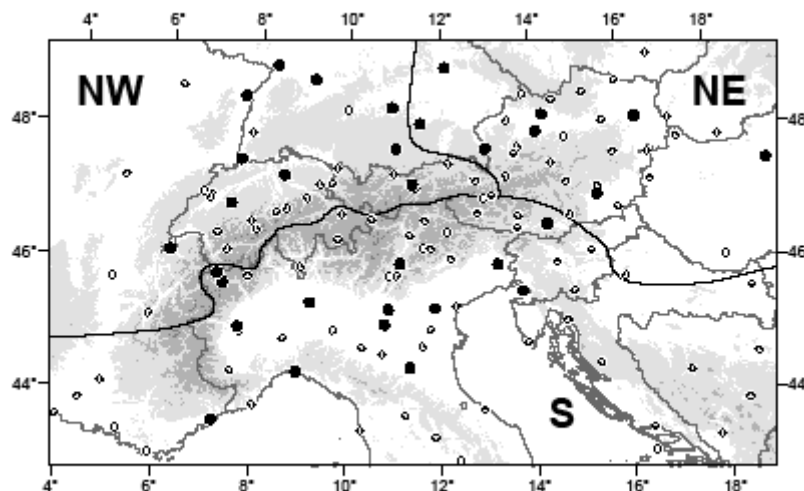


Abb. 1. Das HISTALP Temperaturmessnetz im Großraum Alpen. Weiße Punkte: 102 Temperaturreihen, die nach 1850 beginnen. Schwarze Punkte: 32 LSS-Reihen, die zwischen 1760 und 1850 beginnen.

### Das Problem

Vor der Gründung nationaler oder regionaler Wetterdienste, die mit dem Österreichischen im Jahr 1851 begann (Hammerl et al., 2001) und in den 1870er Jahren im Wesentlichen als abgeschlossen betrachtet werden kann, wurden ein Jahrhundert und länger bereits als Einzelaktivitäten meist astronomischer Observatorien Klimazeitreihen geschaffen, die ins 18. Jahrhundert zurückreichen. Zwar schufen diese meist von qualifizierten Wissenschaftlern betriebenen Aktivitäten wertvollste Klimainformationen, jedoch nach der damals gegebenen Messphilosophie und mit der damals gegebenen Messtechnik. Letztere schuf wenige Probleme, die Thermometer wurden i.a. gut gepflegt, häufig kalibriert (Eisbad bzw. Wasserdampf) und die Ergebnisse sorgfältig festgehalten und meist in Jahrbüchern publiziert. Auch die Metadaten sind aus der frühen Periode durchaus mit den heutigen vergleichbar – der Betrieb einer Messstation war damals noch etwas besonderes und wurde recht genau beschrieben. Die vorhin erwähnte „Messphilosophie“ allerdings war zwischen den LSS-

Stationen wenig bis gar nicht koordiniert, was zu recht unterschiedlichen Aufstellungsarten, Messzeitpunkten und Berechnungsalgorithmen der Mittelwerte führte, die allerdings üblicherweise gut dokumentiert wurden, was für unsere weitere Vorgangsweise von großer Bedeutung war. So konnten die Längen der EIP für 30 der 32 Stationen des LSS im Großraum Alpen relativ eindeutig eruiert werden. Sie sind im linken Diagramm der Abb. 2 dargestellt und unterscheiden sich von der folgenden eigentlichen instrumentellen Periode (der Wetterdienstperiode) vor allem durch die damals vorherrschende Ansicht, dass es genügt, ein Thermometer an einer nach Norden orientierten Mauer, Fensternische o.ä. zu montieren, um eine Verfälschung durch direkte Bestrahlung durch die Sonne zu vermeiden. In manchen Fällen wurden noch Bretter seitlich oder oberhalb des Thermometers angebracht, da ja im Sommer der Einfall der Sonnenstrahlung auch eine Nordwand trifft, bzw. waren die Gebäude ja nur selten exakt nach Norden ausgerichtet. Bei den LSS-Stationen kamen Abweichungen von der Nordrichtung von  $-40^\circ$  bis  $+30^\circ$  vor. Meistens zu dem Zeitpunkt, als ein Wetterdienst die LSS-Station in sein Messnetzmanagement aufnahm, wurden genormte, damals aus Blech bestehende so genannte Fensterhütten zur Abschirmung verwendet, wodurch ein wesentlicher Schritt zur Minimierung des Strahlungsfehler getan war.

Gleichzeitig erfolgte auch eine gewisse (aber nicht vollständige) Normierung der Beobachtungszeiten. Für die EIP konnte diese im Hinblick auf den EIP-Bias eminent wichtige Information für 1331 von den insgesamt vorhandenen 1735 EIP-Jahren aus den vorhandenen historischen Beschreibungen extrahiert werden. Das bedeutet eine „detection-rate“ von 77% - eine ganz ansehnliche Quote für so lange zurückliegende Zeiten, für manche Einzelreihen aber trotzdem ein knockout-Kriterium für eine direkte Bias-Korrektur. Für diese Reihen mit ungenügender Dokumentation der Stationsgeschichte (in Böhm et al., 2008 im Detail angeführt) wurde eine nachträgliche Korrektur angebracht, die wie eine entsprechende Homogenisierung von Breaks mit Hilfe von relativen Homogenitätstests durchgeführt wurde (Peterson et al., 1998, Aguilar et al., 2003, Auer et al., 2007).

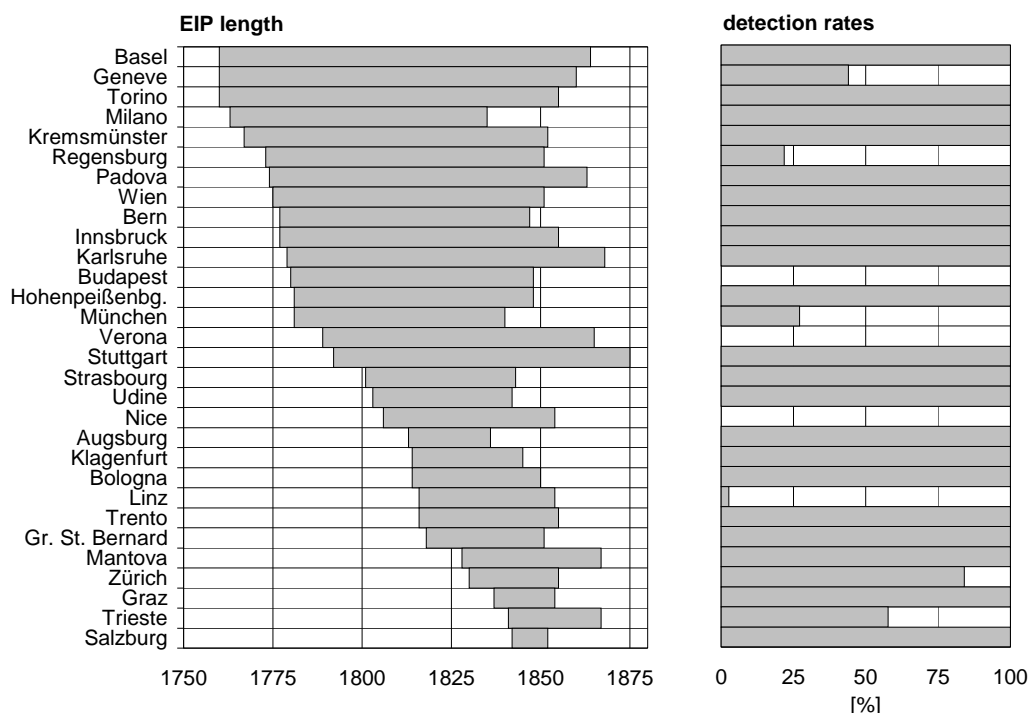


Abb. 2. Links: Die Zeitspannen, für die das EIP Problem einer ungenügenden Abschirmung der Thermometer aus den Stationsgeschichten von 30 der 32 Standorte ermittelt werden konnte. Rechts: Die „Aufklärungsquote“ für die in der EIP verwendeten Berechnungsalgorithmen für das Temperaturmittel (Böhm et al, 2008)

Zunächst gar nicht und auch später nur sehr schleppend wurde von den Fensterhütten zu der modernen Aufstellung in Gartenhütten (offizielle WMO-Bezeichnung „Stephenson screen“) gewechselt. Diese Entwicklung (Abb. 3) dauerte in manchen Fällen bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts und ist in einigen Fällen noch heute nicht abgeschlossen. Letzteres gilt besonders für Italien, dessen offizieller „Wetterdienst“ und WMO-Vertreter die „Aeronautica Militare“ ist, die kaum irgendwelche Intentionen in Richtung Qualitäts-Klimadienst zeigt. Glücklicherweise hat von den drei, die EIP

charakterisierenden Faktoren (Abschirmung, Messtermine, Höhe über Grund), letzterer die geringste Auswirkung, da sich die wesentlichen vertikalen Temperaturunterschiede bereits unterhalb der modernen Aufstellungshöhe (ca. 2m) abspielen (Geiger et al., 2005).

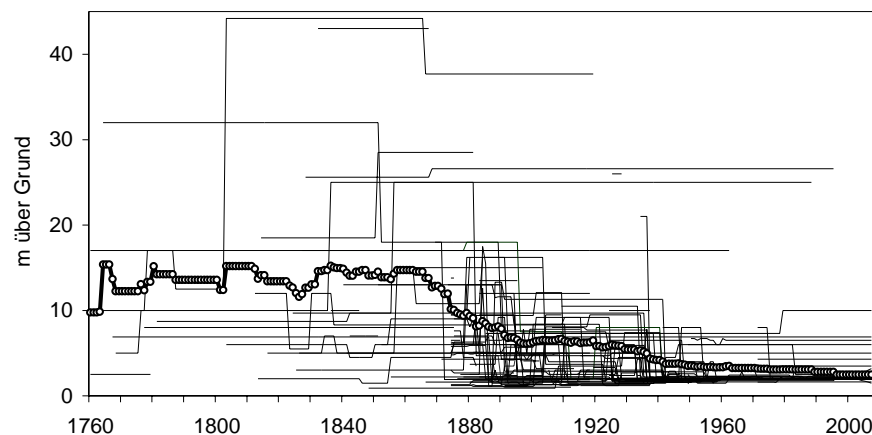


Abb. 3. Die zeitliche Entwicklung der Aufstellungshöhe der Thermometer an 98 HISTALP Stationen, für die diese Metadaten eruiert werden konnten

Nachdem also wie beschrieben die Metadatensituation der frühen instrumentellen Periode recht befriedigend abgeklärt werden konnte, waren die Voraussetzungen für eine EIP-Korrektur gegeben. Die Notwendigkeit einer derartigen Korrektur, nachdem ja der gesamte Datensatz in der bei Auer et al. (2007) beschriebenen „state of the art“ Prozedur bereits homogenisiert worden ist, erwächst aus einem typischen Problem, an dem alle entsprechenden mathematisch-statistischen Methoden leiden, die ja in ihrem Kern auf demselben Grundprinzip beruhen: Man berechnet Differenz- oder Quotientenreihen hoch korrelierter Nachbarreihen, testet sie auf abrupte Sprünge, die statistisch signifikant sind, und eliminiert diese unter der Annahme der angenommenen zeitlichen Stationarität der Differenzen (Quotienten). Da üblicherweise alle Reihen irgendwann nicht klimatologische Sprünge haben, gilt es noch das Problem der Zuordnung zu lösen, welche der Reihen die infizierten, und welche die Referenzreihen für ein betrachtetes Subintervall mit einer Sprungstelle sind. Das kann man mit statistischen Wahrscheinlichkeitsüberlegungen abklären, indem man in regionalen Subgruppen von typischerweise 10 Reihen alle Reihen mit allen anderen testet. Die sich ergebende Entscheidungsmatrix (typischerweise  $10 \times 10$ ) liefert dann recht eindeutige Ergebnisse, wenn die Sprünge nicht alle zur selben (ähnlichen) Zeit erfolgen.

Gerade das war jedoch in den 250 Jahren der instrumentellen Periode im Alpenraum bisher viermal der Fall. Das jüngste Beispiel ereignet sich gerade jetzt: Im gesamten Gebiet und darüber hinaus wurde in den 1980er und 1990er Jahren die Klimamessnetze automatisiert. Ob diese simultane Umstellung zu systematischen Inhomogenitäten führt bzw. geführt hat, lässt sich erst in naher Zukunft analysieren, wenn sich die Situation wieder „beruhigt“ hat. Man kann nur hoffen, dass die Wetterdienste sich an ihre eigenen Qualitätskriterien halten und genügend Vergleichsregistrierungen vorliegen werden, denn auf die mathematisch-statistische Art allein wird die sicher notwendige Homogenisierung nicht unproblematisch werden.

Am 1. Jänner 1971 ereignete sich eine gut dokumentierte Inhomogenität in der Schweiz und in Österreich durch den Beschluss, den Abendbeobachtungstermin im Klimadienst um 2 Stunden vorzuverlegen, samt einer Änderung der entsprechenden Mittelwertsformeln. Angeblich erfolgte diese unglückliche Änderung notgedrungen, da die Beobachtungsqualität durch das damals stark aufkommende Fernsehen immer mehr nachgelassen hatte. Im Nachhinein gesehen war dieser Beschluss der beiden nicht sehr sinnvoll, da ja nicht lange danach dieses Problem durch die in den 1980er Jahren einsetzende Automatisierung der Messnetze obsolet geworden wäre. Wenigstens ließ sich post festum diese Inhomogenität mit Hilfe eben dieser Stundenwertsdaten der automatisierten Messnetze genau definieren und beseitigen.

Die dritte Periode mit vielen Umstellungen und auch Lücken in einem kurzen Zeitraum waren die unseligen 1940er Jahre. Der zweite Weltkrieg verursachte neben einem allgemeinen Verfall des Messnetzes, Beobachtermangel, Stationseinstellungen auch eine durchaus interessante systematische „De-urbanisierung“ vor allem der langen historischen Klimareihen. Diese waren ja traditionell eher in den Stadtzentren angesiedelt gewesen und wurden nun in größerer Zahl auf die vielen neu angelegten zunächst militärischen, später zivilen Flugfelder und Flughäfen verlegt. Diese systematische Inhomogenität konnte für den Alpenraum jedoch korrigiert werden, da noch genug unbeeinflusste Zeitreihen vorlagen (siehe Diskussion dazu in Böhm et al., 2001). Die Korrektur führte

zu einer Absenkung des ursprünglichen Temperaturniveaus vor den 1940er Jahren in Relation zu dem danach um einige Zehntel Grad.

Die vierte Periode schließlich mit Verdacht auf eine systematische großflächige Inhomogenität ist der beschriebene Übergang von der EI-Messphilosophie auf die darauf folgende der regulären Wetterdienste mit dem Schwerpunkt in den 1860er Jahren. Neben den bereits diskutierten physikalischen Gründen gab es auch entsprechende Hinweise von indirekten Klimadaten aus der Region (Büntgen et al., 2005, Frank et al., 2007, Hiebl et al., 2006) und von (wenigen) entsprechenden Arbeiten aus dem instrumentellen Bereich in anderen Regionen (Moberg et al., 1997 und 2003). Als Ausgangspunkt lag für den Großraum Alpen die Version 2007 des HISTALP Datensatzes vor. Wie der Vergleich der oberen beiden Zeitreihen der Abb.4 (die Originaldaten der 32 LSS-Temperaturreihen für das Sommer- und das Winterhalbjahr) mit den unteren beiden (die homogenisierten der Version 2007) zeigt, ist die Homogenisierung, die zur Version HISTALP-2007 geführt hat, ganz gut gelungen. Zwar ist die visuell ins Auge springende „Beruhigung“ des doch recht „lebhaften Patchworks“ der Originalreihen nicht das einzige Kriterium, aber ein wichtiges, speziell wenn die etwa in Auer et al. (2007) diskutierte hohe räumliche Kovarianz von jahreszeitlich gemittelten Temperaturreihen in Rechnung gestellt wird, die die starke Streuung der Originalreihen als Artefakt von Inhomogenitäten und nicht als echtes Klimasignal einstufen lassen. Die Graphik links unten in Abb.4 weist auch auf das potentielle EI-Problem hin. Es ist der generell recht ausgeprägte negative Trend von der verdächtig warmen Periode um 1800 zur kalten Phase zu Ende des 19.- und am Beginn des 20. Jahrhunderts, die eher kühleren Proxy-EIP-Sommern gegenüber stehen, und auch die Klimaerwärmung (Bard et al., 2000, Lean, 2000, Robertson et al., 2001) sowie die vorhandenen historischen Modellläufe (Zorita et al., 2004) deuten auf ein niedrigeres Sommertemperaturniveau hin. Zur Problemlösung konnten diese jedoch aus den erwähnten Gründen nicht verwendet werden – dazu wollten wir streng innerhalb der instrumentellen Domäne bleiben.

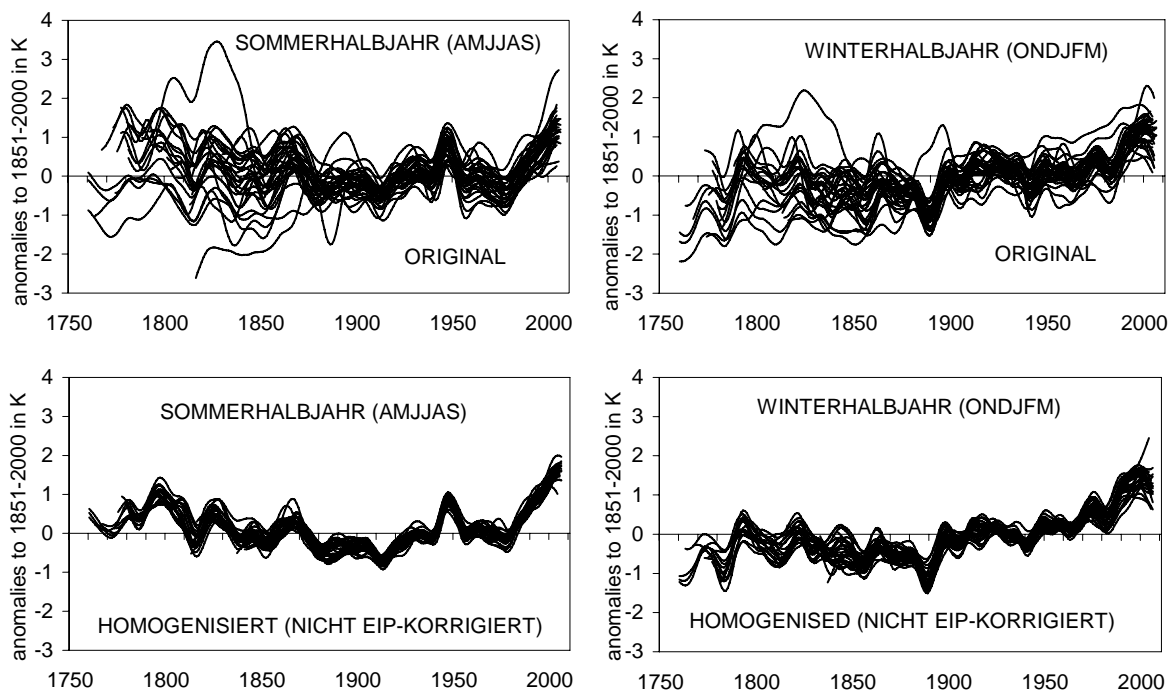


Abb. 4. Die Temperaturzeitreihen der 32 LSS-Stationen im Großraum Alpen von 1760 bis 2007 (2007/08). Oben im Originalzustand (nicht homogenisiert, nur Outlier-bereinigt), unten nach der Homogenisierung in der Version 2007 (Auer et al., 2007). Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Reihen geglättet (20-jähriger Gauss'scher Tiefpassfilter) und alle als Anomalien zur gemeinsamen Bezugsperiode 1851-2000 dargestellt

### Die Lösung mit Hilfe der Parallelregistrierung in Kremsmünster

Es galt also, quantitative Information über den EIP-Bias zu erlangen, daraus monatliche Korrekturgrößen abzuleiten und in den in Abb.2 gezeigten Zeitspannen anzubringen. Eine Literatur-Recherche und auch persönliche Anfragen ergaben das ziemlich eindeutige Ergebnis, dass es die

dazu notwendigen direkten Messdaten aus Parallelregistrierungen an erhaltenen historischen Messplätzen und in situ modernen Aufstellungen in der Region und auch anderswo einzig an einem Ort gibt, aber dafür dort bereits in der Form eines mehrjährigen Datensatzes in hoher zeitlicher Auflösung. Es handelt sich um die Klima-Langzeitstation des Stifts Kremsmünster, wo seit der Automatisierung in den 1980er Jahren zusätzlich zu den manuellen Messungen auch automatische Registrierungen sowohl an der komplett erhaltenen historischen Installation, als auch an der modernen Gartenaufstellung (Abb. 5). Für die Jahre 1995-2002 sind 8 lückenlose und geprüfte Stundenwertsdatensätze für beide Standorte vorhanden, die die Basis für die weitere Vorgangsweise bildeten. Abb. 6 zeigt die mittleren Temperaturdifferenzen historisch minus modern für die 12 Monate des Jahres. Aus diesen können somit für alle ähnlich orientierten (nach NNE) frühen Stationen für beliebige Mittelertsformeln die EIP-Korrekturen berechnet werden.



Abb. 5. Die historische (links) und die moderne (rechts) Aufstellung der Temperaturmessgeräte an der Klimastation Kremsmünster (Fotos: Böhm)

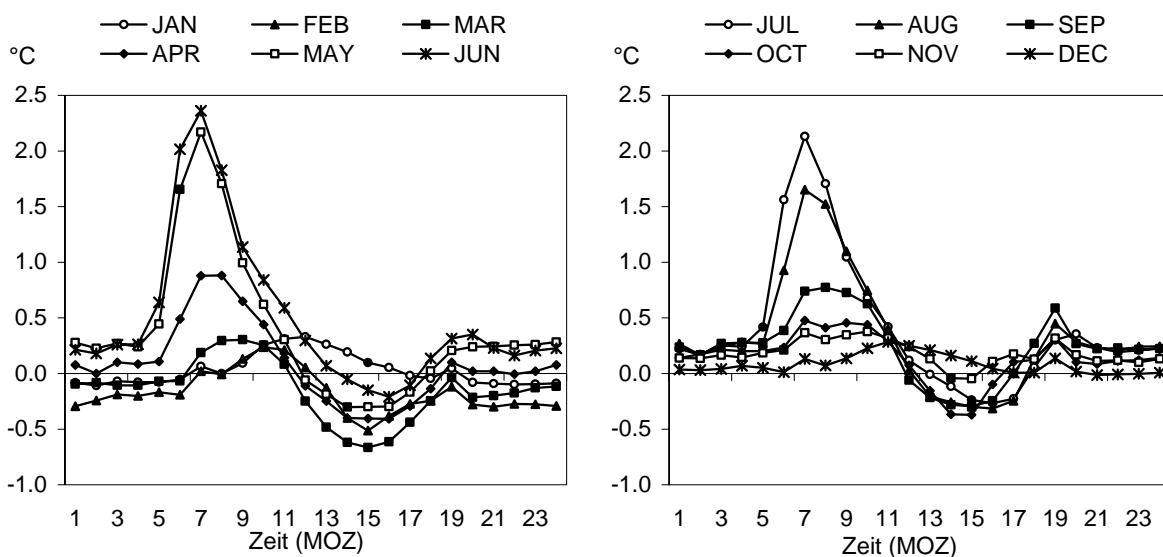


Abb. 6. Die mittleren Differenzen historisch minus modern der beiden Temperatur-Messstandorte in Kremsmünster für Jan-Jun (links) und Jul-Dez (rechts). Basis: lückenlose Stundenwertsdaten 1995-2002

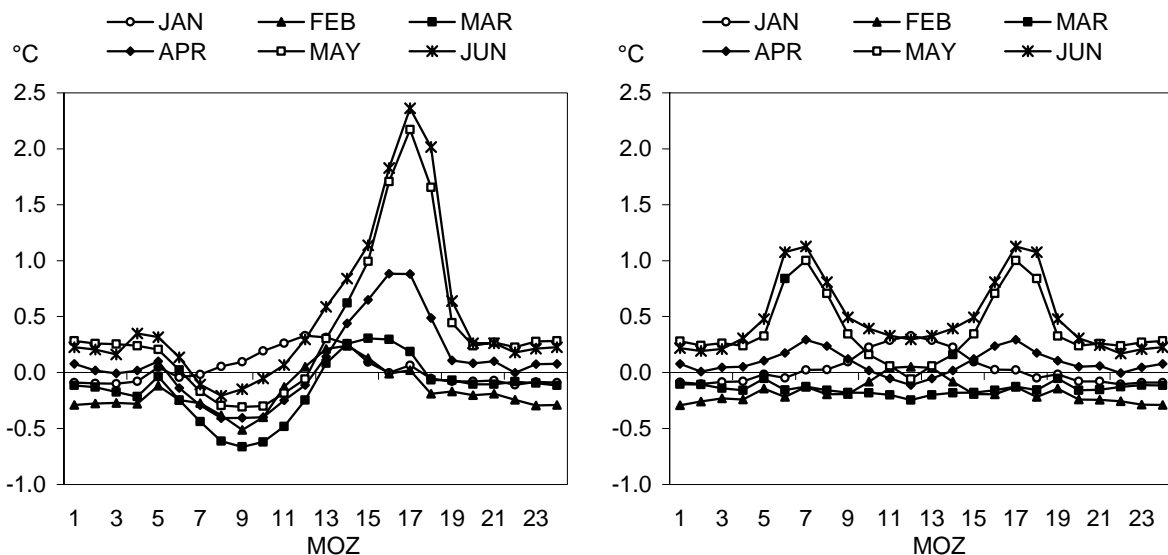


Abb. 7. Die mittleren Differenzen historisch minus modern für NNW-orientierte (links) und N-orientierte (rechts) Temperaturmessstandorte simuliert aus den Messdaten Kremsmünster aus Abb.6. Gezeigt sind nur die ersten sechs Monate des Jahres.

Natürlich waren nicht alle dieser historischen Stationen N-30°-E orientiert wie Kremsmünster, weshalb die folgende einfache Methode notwendig war, um andere Orientierungen - und damit andere Tagesgänge der Temperaturdifferenzen – zu simulieren. In Ermangelung an Messdaten außer denen von Kremsmünster und in Ermangelung an echten Informationen über die Wandstärken der Gebäude, den Baumaterialien, dem Oberflächenanstrich war die einzige Möglichkeit dazu die Spiegelung der Tagesgänge von Abb.6 an der 12-Uhr Linie. Dieser bei der gegebenen Daten- und Metadatenlage bestmögliche Ansatz erlaubt es, analoge Tagesgänge der Differenzen historisch minus modern auch für NNW-orientierte Aufstellungen zu simulieren, und als Mittel aus NNE und NNW schließlich diejenigen für reine Nord-Orientierung. Eine detailliere Begründung samt Diskussion der Methode ist in Böhm (2008) enthalten. Abb. 7 zeigt die simulierten mittleren Temperaturdifferenzen (jeweils für die ersten 6 Monate des Jahres) für die NNW- und die N-Orientierung.

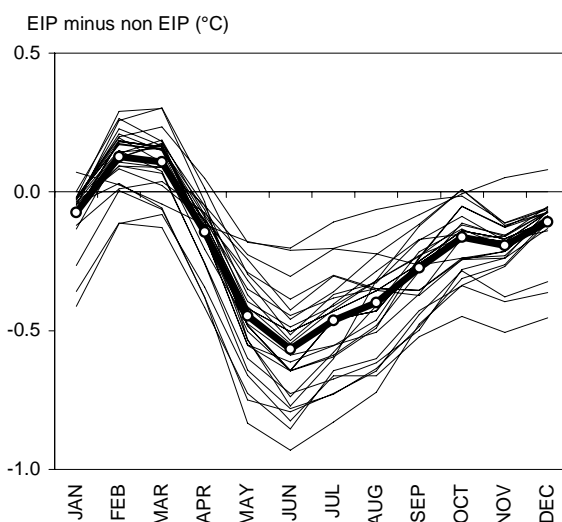


Abb. 8. Die EIP-Korrekturen, die zur Beseitigung des EIP-Bias an die frühen instrumentellen Temperaturreihen (siehe Abb.2) angebracht wurden. Dünn: die einzelnen Korrekturen, dick: das Mittel aller Korrekturen.

Nun konnten Standort für Standort und Subintervall für Subintervall für die jeweils bekannten Mittelungsformeln die monatlichen EIP-Korrekturen berechnet und angebracht werden. Abb. 8 zeigt aller einzelnen Jahrgänge der EIP-Korrekturen verdeutlicht zum einen die Notwendigkeit, jede Station und jedes Subintervall getrennt zu behandeln, da die Streuung doch recht groß ist. Zum anderen erkennt man doch die erwartete Systematik mit den stärksten negativen Korrekturen von im

Mittel  $0.5^{\circ}\text{C}$  im Juni und den leicht positiven im Februar und März. Da ja, wie das rechte Diagramm der Abb.2 gezeigt hat, nicht alle historischen Metadaten eruiert werden konnten, verblieben vorerst noch einigen EIP-Subintervalle von wenigen Stationen unkorrigiert. Sie wurden in der Folge an die korrigierte Mehrheit angepaßt, wobei das in unserer Arbeitsgruppe standardmäßig eingesetzte Homogenisierungssystem HOCLIS zur Verwendung kam (Auer et al., 2007).

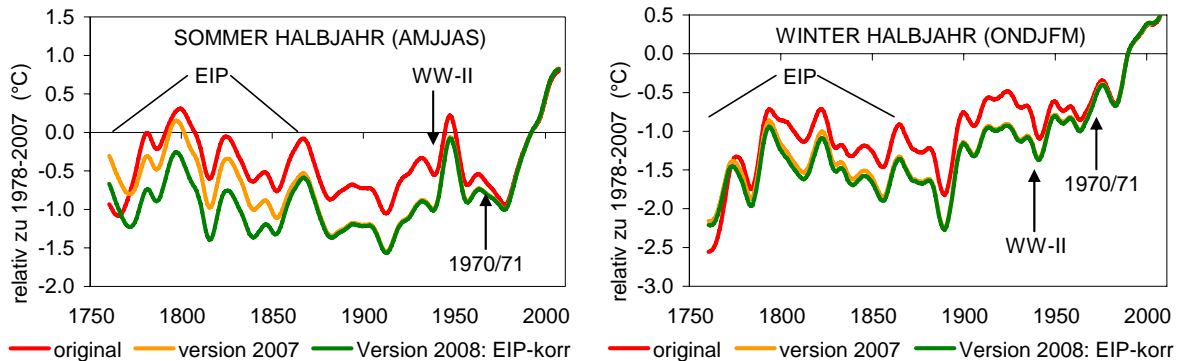


Abb. 9. Der Weg von den nicht homogenisierten (rot) zu den homogenisierten Version-2007 (orange) jahreszeitlichen mittleren Temperaturreihen im Großraum Alpen zu der aktuellen, EIP-bias-korrigierten Fassung 2008 (grün). Alle Zeitreihen 1760-2007 (2007/08) sind 20-jährig Tiefpassgefiltert und als Abweichungen vom aktuellen Mittel 1978-2007 dargestellt. Die Pfeile markieren zwei besprochene systematische Inhomogenitäten

Datenbasis: die 32 LSS Monatsreihen der HISTALP Datenbank der ZAMG

Alles in allem kann der hier skizzierte und in Abb. 9 dargestellte Weg von den Originaldaten der Version 2007 zu der EIP-bias korrigierten Fassung 2008 des HISTALP LSS-Temperaturdatensatzes als erfolgreicher Versuch angesehen werden, der tatsächlichen „Wahrheit“ des Temperaturklimas der frühen instrumentellen Phase im Alpenraum wieder eine Schritt näher gekommen zu sein. Es stehen nun 32 EIP-korrigierte Zeitreihen zur Verfügung, die zu den in globaler Abdeckung vorhandenen 150 Jahren instrumentellen Temperaturklimas (Jones and Moberg, 2003, Brohan et al., 2006) weitere 100 Jahre frühen instrumentellen Temperaturklimas hinzufügt, denen nun eine höhere Glaubwürdigkeit zugebilligt werden muss als der bisher vorhandenen Version 2007. Man erkennt in der Abbildung zunächst nochmals die unbedingte Notwendigkeit des Homogenisierens an sich. Das oft gehörte Argument, dass bei Verwendung genügend vieler Einzelreihen die Inhomogenitäten in der Mittelreihe als „random effect“ verschwinden würden, ist offenbar nicht zutreffend. Es gibt sehr wohl systematische Inhomogenitäten, die auch größere Gebiete betreffen. In Abb.9 sind zwei dieser bereits eingangs besprochenen Breaks mit Pfeilen markiert, die beide in Summe die Periode vor dem 2. Weltkrieg in den Originaldaten systematisch etwa um  $0.5^{\circ}\text{C}$  zu warm erscheinen lassen (rot gegenüber gelb). Der Vergleich der gelben (Version 2007) Kurven mit den grünen der EIP-korrigierten Version 2008 hingegen zeigen die erwartete und diskutierte quantitative Wirkung der bias Korrektur in der frühen instrumentellen Periode. Im Sommerhalbjahr ergab das in Summe noch einmal eine Abkühlung gegenüber den Originaldaten von etwa  $0.4^{\circ}\text{C}$ , im Winterhalbjahr lediglich eine um weniger als  $0.1^{\circ}\text{C}$  - als Ergebnis der gegenläufigen Korrekturen im Februar und März gegenüber denen von Oktober bis Jänner.

Die endgültigen neuen regional gemittelten langjährigen Temperaturverläufe der bis 1760 zurückreichenden und bis März 2008 aktualisierten bias-korrigierten HISTALP-2008 LSS Reihen sind in der Abb. 10 dargestellt. Sie werden nun wohl, abgesehen von künftigen Updates, für längere Zeit das Optimum an instrumenteller Information im Großraum Alpen darstellen. Anders als in der bereits seit einiger Zeit angezweifelten (Hiebl, 2006, Fank et al, 2007) Version 2007 kommt nun auch der frühen instrumentellen Phase eine höhere Glaubwürdigkeit zu. Eine ausführlichere Beschreibung wird demnächst im Sonderband des EU-Millenniums Projekts der Zeitschrift Climatic Change erscheinen (Böhm et al., 2008).



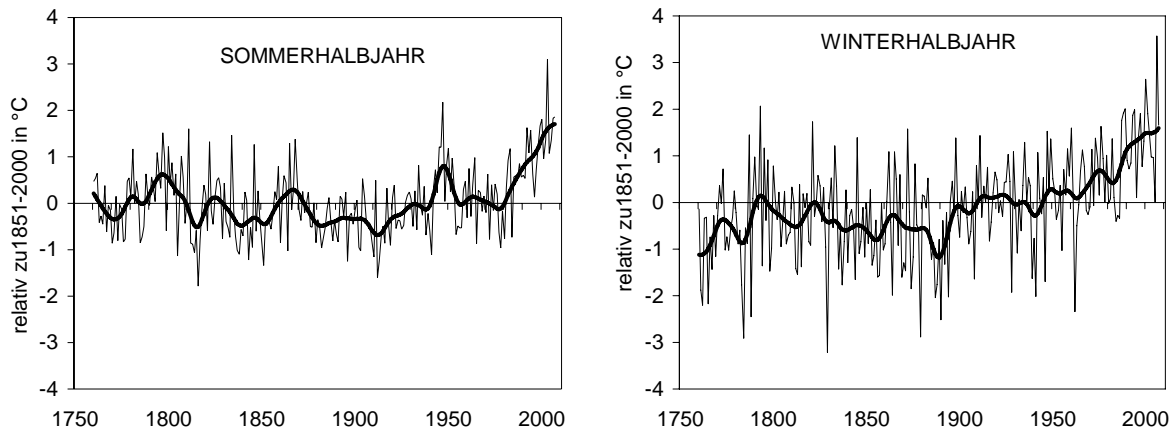


Abb. 10. Die jahreszeitlichen mittleren Temperaturkurven 1760-2007 (2007/08) des Großraums Alpen in der Version 2008. Links: Sommerhalbjahr, rechts Winterhalbjahr. Einzeljahre und 20-jährig geglättet. Dargestellt sind Abweichungen zum Mittel 1851-2000  
Datenbasis: die 32 LSS Monatsreihen der HISTALP Datenbank der ZAMG

## Problem 2: Homogenisierung von Tages- und Subtagesdaten

Ein zweites Problem auf dem Gebiet der Homogenisierung ist die von Tages- und Subtagesdaten. Gerade diese stehen ja zurzeit sehr im Vordergrund des Interesses, da ja „der Klimawandel“ zu einer Intensivierung der extremen Ausformungen des Klimas (Wetters) führen soll. Gerade diese, meist kleinräumigen und kurzzeitigen Phänomene entziehen sich jedoch noch weitgehend einer Homogenisierung, und die wissenschaftlich saubere Behandlung vieler Fragestellungen über Trends der Extremwerte ist dadurch stark eingeschränkt. Warum das so ist, und welche Strategien dieses Defizit reduzieren sollen, sei hier als Ausblick auf die entsprechenden Pläne der „instrumentellen Klimarekonstrukteure“ besprochen und die gegenwärtigen Arbeiten daran skizziert.

Wohl die größte Diskrepanz zwischen harten wissenschaftlichen Fakten und deren Wahrnehmung durch die Öffentlichkeit besteht auf dem Gebiet der extremen Ausformungen des Klimas. Unter dem allgemein akzeptierten Schlagwort „das Klima wird immer verrückter“ hat in sich ein Dogma festgesetzt, das gerade bei den weichsten Fakten ansetzt, die die klimatologische Wissenschaft derzeit (noch?) zu bieten hat. Weiche Faktenlage bei den Extremwerten herrscht sowohl bei der Klimarekonstruktion der Vergangenheit, als auch bei der Klimamodellierung – in beiden Fällen begründet durch eine Tatsache, die im Kapitel 8.5.4 des Working Group 1 Reports von IPCC-2007 (Model Simulation of Extremes) so beschrieben ist:

Because most AOGCMs have coarse resolution and large-scale systematic errors, and extreme events tend to be short lived and have smaller spatial scales, it is somewhat surprising how well the models simulate the statistics of extreme events in the current climate, including the trends during the 20<sup>th</sup> century. This is especially true for the temperature extremes, but intensity, frequency and distribution of extreme precipitation are less well simulated.

Ich habe es absichtlich beim englischen Originaltext belassen, erstens um nicht den Vorwurf der Manipulation zu ermöglichen, zweitens aber, weil ich ein Fan der Zwischentöne bin, die diese Sprache bietet. Dieses „somewhat surprising“ und das „less well“ sind schon kleine Meisterstücke. Im Original des Textes, bevor der mühsame Prozess des „peer reviewing“ durchgeführt werden musste, war noch etwas direkter von „serious deficiencies in the simulation of precipitation“ die Rede, und zwar „both in the intensity and the distribution of precipitation“.

Im Hinblick der Analyse eventueller Trends von Extremwerten in der Vergangenheit kommen noch zwei zusätzliche Herausforderungen dazu. Zum einen erfordern die Gesetze der Statistik lange und räumlich dichte Zeitreihen, um zu signifikanten Ergebnissen zu kommen, gerade wenn die sehr seltenen sehr starken Ausreißer das Ziel der Analyse sind. Und genau diese langen Zeitreihen erfordern als *conditio sine qua non* die sorgfältige Homogenisierung dieser Zeitreihen. Wie wir zeigen konnten (Auer et al., 2007) erfährt eine durchschnittliche Klimazeitreihe im Durchschnitt alle 20 bis 30 Jahre eine Diskontinuität (Verlegung, Instrumenten- oder Technologiewechsel, Änderung der

Umgebung und zahlreiche andere Gründe), deren Stärke das eigentliche Klimasignal erreichen oder auch übertreffen kann. Und gerade für die zur Analyse von „short lived“ Extremwerten besonders benötigten Klimazeitreihen von Tageswerten (oder noch kürzerer Zeitspannen) zeigen eine zweite Besonderheit der entsprechenden Feldverteilungen: Sie dekorrelieren räumlich viel stärker, als längerfristige Mittelwerte oder Summen. Abb.11 zeigt das exemplarisch für die Tages- bis Jahreswerte von Temperatur und Niederschlag, wobei hier noch die zusätzliche besondere „Empfindlichkeit“ des Klimaelements Niederschlag hervortritt.

Da zur Homogenisierung der Zeitreihen (=Anpassung früherer an den aktuellen „Zustand“ einer Messreihe) hoch-korrelierte Zeitreihen benachbarter Referenzreihen benötigt werden, zeigt die Abb.6 den Hauptgrund für die leider derzeit noch gegebene Tatsache, dass es homogenisierte Klimazeitreihen auf Tagesbasis kaum noch gibt. Das gilt sowohl international als auch für den Alpenraum oder Österreich. Für einige Subregionen Österreichs arbeitet unsere Gruppe gerade an der Erstellung räumlich dichter Tagesreihen für das 20.Jahrhundert, und eine internationale COST-Aktion („HOME“ siehe Anhang) hat u.a. das Problem der Homogenisierung von Tagesreihen zu Gegenstand.

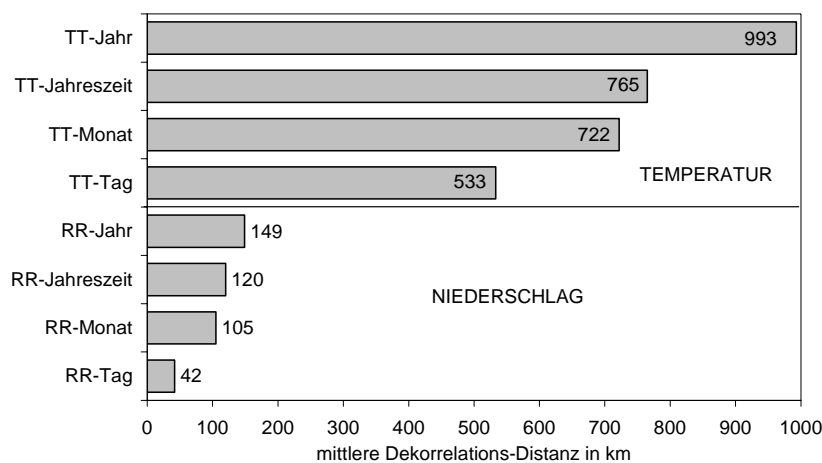


Abb.11. Räumliche Dekorrelation auf 50% gemeinsame Varianz im Europäischen Klimamessnetz von Jahres-, Jahreszeiten-, Monats- und Tageswerten von Temperatur und Niederschlag  
Quelle: Scheifinger et al., 2003 (interner Projektsbericht für Projekt ALP-IMP)

Spiegelbildlich dieselben Probleme zeigen sich bei der Trendanalyse der Extremwerte. Deren große räumliche und zeitliche Variabilität rückt lokale Ergebnisse in den Vordergrund und verdeckt den Überblick auf die Gesamtsituation. Naturgemäß eröffnet das in der öffentlichen, aber leider auch in der wissenschaftlichen Debatte ein weites Feld entbehrlichen Streits, widersprüchlicher Ergebnisse und das osmotische Eindringen weltanschaulicher Argumentation in ein wissenschaftlich noch nicht befriedigend aufgearbeitetes Thema. Immer kann in den zweifellos real vorhandenen, aber noch nicht flächen- und zeitabdeckend analysierten Mustern der Extremwert-Verteilungen gerade das Ereignis oder Ergebnis herausgesucht werden, das am besten die jeweilige Position untermauert – „picking“ heißt der dafür existierende Fachausdruck. Um nicht in genau diese Falle zu tappen, werden in der Folge nur kurz einige vorläufige Ergebnisse vorgestellt, wobei das bisher gesagte die notwendige Einschränkung im Hinblick Verallgemeinerung klargestellt haben sollte.

Ein interessantes vorläufiges Ergebnis, das unsere laufenden diesbezüglichen Projekte erbracht haben bzw. gerade erbringen (Foralps, A Tale of two valleys), ist vor allem beim Niederschlag der überraschend enge Zusammenhang zwischen Trends von Extremwertindizes auf Tagesbasis und den entsprechenden Trends von Mittelwerten, bis hinauf zu Jahresmitteln. Abbildung 12 bringt ein Beispiel für Extremen Tagesabfluss und Niederschlag im großen Donauinzugsgebiet des Pegels Nussdorf (Wien), Abbildung 13 einen Vergleich von Niederschlagsjahressummen und Tageswertsindizes Klimareihe in den Hohen Tauern. Es scheint somit, zumindest für den Großraum Alpen, nicht so zu sein, dass Trends der Extremwerte auch in ganz andere Richtungen gehen können, als die der Mittelwerte. Es ist also nicht unbedingt zu erwarten, dass zum Beispiel in Gegenden mit generell fallendem Niederschlagstrend (wie etwa im Südosten des Alpenbogens) ein Anstieg der Starkregen zu erwarten ist oder, im umgekehrten Fall in Regionen mit Niederschlagszunahme (wie etwa im Nordwesten des Alpenbogens) die Trockenperioden häufiger werden.

Dieser Befund gilt auch für die Temperatur: Also mit generellem Erwärmungstrend steigen die Extremwerte, die sich auf Hitze beziehen und im gleichem Maß ist ein Rückgang der Kälteindizes zu

beobachten. Beides nicht notwendigerweise in linearer Form, speziell wenn Schwellwertsüber- oder -unterschreitungen analysiert werden, sind nichtlineare Zusammenhänge die Regel.

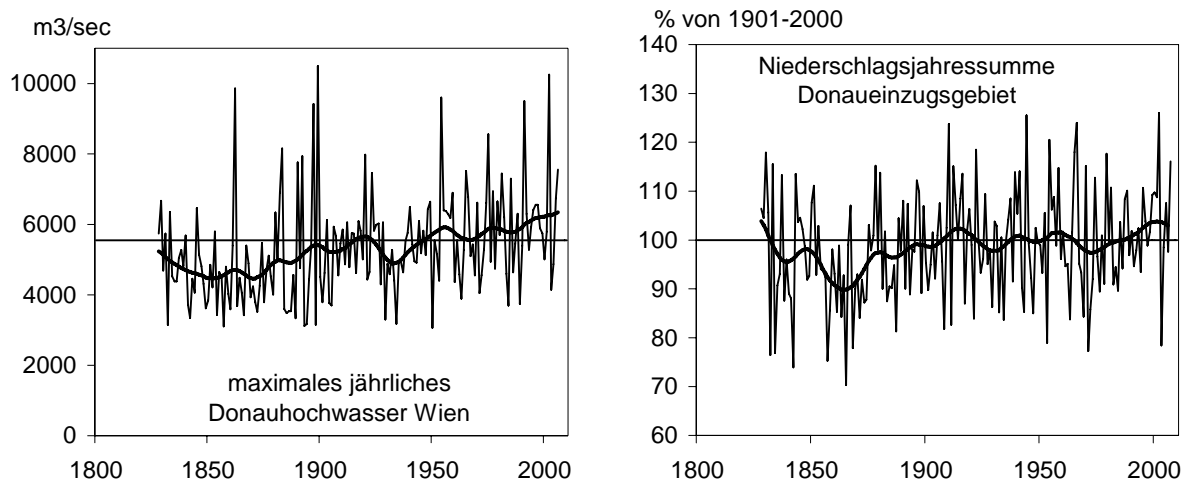


Abb.12. Links: Zeitreihe der jährlich größten Durchflussmengen der Donau bei Wien, 1828-2006, Quelle: Godina R, Hydrographisches Zentralbüro, Wien, 2008, persönliche Mitteilung Rechts: Flächenmittel der Jahressummen des Niederschlages im Einzugsgebiet der Donau oberhalb Wiens Quelle: 28 langjährige HISTALP Niederschlagsreihen, Auer et al., 2007 Alle Reihen für Einzeljahre (dünn) und 30-jährig geglättet (Gauß'scher Tiefpassfilter)

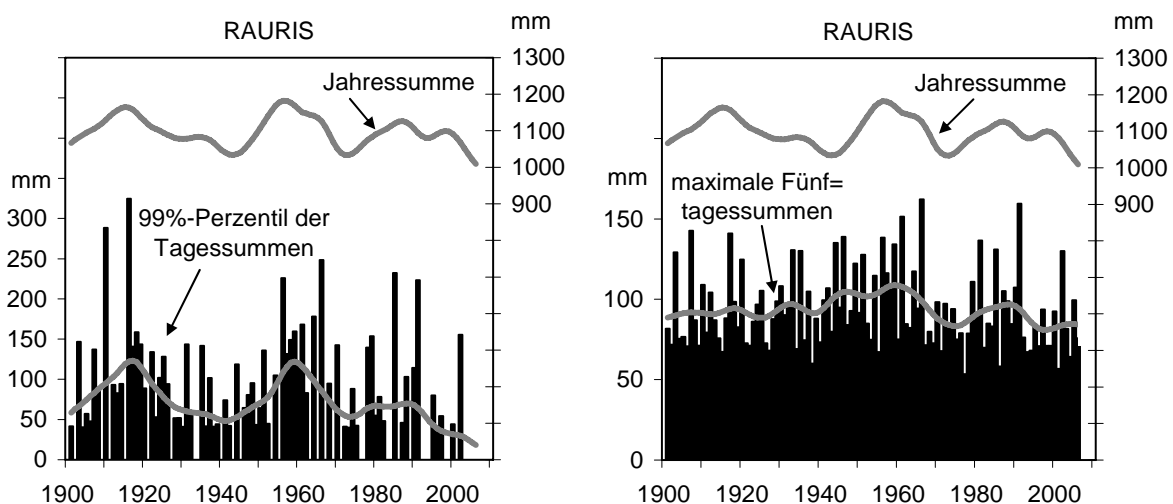


Abb.13 Ähnlichkeit zwischen der gesamten Jahressumme des Niederschlages (die 20-jährig geglätteten Linien oben in den Abbildungen) und von zwei Niederschlags-Extremwertindizes für den inneralpinen Ort Rauris (Einzeljahre und 20-jährig geglättet, unten).

Links: Summe der Tagesniederschläge, die in der Klimanormalperiode 1961-90 nur noch von 1% aller Fälle übertroffen werden (= 99%-Perzentil).

Rechts: maximale Fünftagesummen eines Jahres

Quelle: Auer et al., 2008a und b

Der vorläufige Befund der Ähnlichkeit der Trends von auf Tageswerten beruhenden Extremwerten und denen der Mittel- oder Summenwerte lässt auch einem weiteren vorläufigen Ergebnis erhöhte Bedeutung zukommen, das eine noch unveröffentlichte Untersuchung an den längsten HISTALP-Monats-, Jahreszeiten- und Jahresreihen von Luftdruck, Temperatur und Niederschlag erbracht hat. Es wurde die längsten Zeitreihen der Region (jeweils 20 bis 30 Reihen), die alle in die frühe instrumentelle Periode zurückreichen (vor 1840) nach einem hier nur kurz skizzierbaren Verfahren auf langfristige Veränderungen der Variabilität untersucht.

Das Verfahren wurde auf alle einzelnen Reihen getrennt angewendet, um die statistisch zu erwartende Erhöhung der Varianz mit abnehmender Reihenanzahl zu vermeiden. Bei der Jahreszeiten- und Jahresanalyse wurden zunächst die Trends selbst durch Hochpassfilterung

eliminiert (Filterweite 30 Jahre), dann in übergreifenden Zeitfenstern von 30 Jahren Quantile (von 1% bis 99%) berechnet. Dadurch konnten mit den Interquantilbereichen verteilungsfreie Zeitreihen der Klimavariabilität erzeugt werden. Analysiert wurden jeweils die 80-, 90- und 98% Interquantilbereiche. Für Jahresgang-bereinigte (durch Normalisierung) sequentielle Monatsreihen wurde das analoge Verfahren auf der Basis von 10-jährigen (=120 monatlichen) Zeitfenstern durchgeführt.

Bei Luftdruck und Temperatur ergaben sich regional sehr ähnliche Verläufe der Interquantil-Zeitserien, beim Niederschlag reagierte der mediterrane, der atlantische und der kontinentale Bereich des Großraums Alpen regional und jahreszeitlich unterschiedlich. Generell wurde überraschenderweise sowohl in den letzten 200 Jahren, als auch in den letzten 50 Jahren keine generelle Steigerung der Klimavariabilität beobachtet, wie sie in der Öffentlichkeit als Selbstverständlichkeit vorausgesetzt wird. Speziell bei der Temperatur sind die Trends der Variabilität (= der „Verrücktheit des Klimas“) in allen Jahreszeiten und in allen Subregionen rückläufig. Abbildung 9 illustriert das am Beispiel der sequentiellen Monatsreihen der Lufttemperatur, gemittelt über alle 24 Langzeitreihen. Beim Niederschlag liegen jahreszeitlich und regional unterschiedliche Trends der Variabilität vor, wobei die markantesten Zunahmen der Variabilität typischerweise dort beobachtbar sind, wo auch die Trends der Niederschlagsmengen zunehmen, zum Beispiel im Herbst und Winter der Subregion nordwestlich des Alpenbogens. Tabelle 1 zeigt das exemplarisch für den 90%-Interquantilbereich und den Langfristtrend vom 19. zum 20.Jahrhundert.

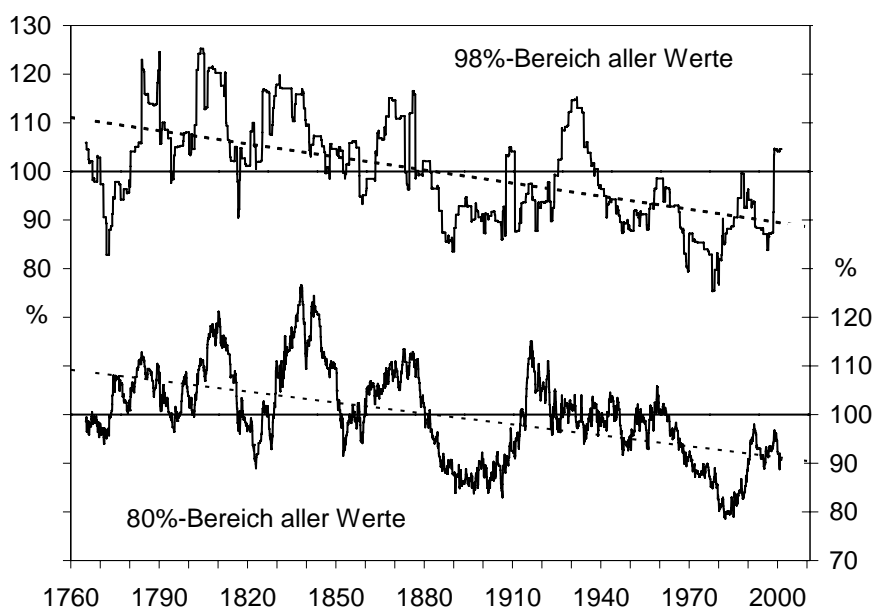


Abb.14. Zeitreihen der Variabilität des Temperaturklimas im Großraum Alpen von 1760 bis 2006: 80% und 98%-Quantilbereich in Zeitfenstern von 120 Monaten, die in Monatsschritten über standardisierte 30-jährig hochpassgefilterte sequentielle Monatsreihen der Temperaturen der 24 vor 1840 beginnenden instrumentellen Meßreihen der Region bewegt wurden. Dargestellt ist hier das Mittel über alle diese Langzeitreihen.

Quelle: Zwischenergebnis einer laufenden Untersuchung der Arbeitsgruppe Klimawandel der ZAMG-Wien

Tab.1. Prozentuelle Änderungen (Grundwert 19.Jahrhundert) der Klimavariabilität (Interquantilbereich 90%) vom 19. zum 20. Jahrhundert auf Jahreszeiten- und Jahresbasis in drei Subregionen des Großraums Alpen für die Klimaelemente Temperatur und Niederschlag

Quelle: wie für Abb.14

	NE	NW	S	NE	NW	S	NE	NW	S	NE	NW	S	NE	NW	S	
	FRL	FRL	FRL	SOM	SOM	SOM	HER	HER	HER	WIN	WIN	WIN	JAHR	JAHR	JAHR	
Temp.	-16.0	-14.9	-13.2	-20.0	-7.6	-2.3	-3.2	-9.7	+0.3	-7.4	-12.0	-6.2	-28.9	-23.8	-11.5	%
Nied.	-6.1	-3.0	-9.0	+1.7	+8.9	-2.4	-0.3	+14.1	-5.8	+8.8	+13.5	-2.6	-4.6	+5.3	-3.7	%

Will an die Charakteristika der Trends von Klimaextremwerten zusammenfassen, muss an erster Stelle auf die noch großen Forschungsdefizite hingewiesen werden, die vor allem auf der ungenügenden Dichte von Langzeit-Messreihen beruhen. Die vorläufigen Ergebnisse aus dem Großraum Alpen zeigen einen generellen Rückgang der Temperatur-Variabilität bei gleichzeitig

steigenden Temperaturen. Beim Niederschlag liegen regional und jahreszeitlich unterschiedliche Trends der Variabilität vor, es scheinen jedoch die Trends der Extremwerte analog zu denen der über längere Zeiträume akkumulierten Summen zu verlaufen. In jedem Fall sind die Langfristtrends der Veränderungen der Variabilität bzw. der Extremwerte wesentlich geringer als die Kurzfristvariabilität selbst – ein Faktum, auf das auch bei den Trends der Klimaelemente selbst bereits hingewiesen worden ist.

## Schlussbemerkungen

Mit den gezeigten und diskutierten beiden Beispielen sollte einerseits das vorhandene reiche instrumentelle Datenpotential aus dem Großraum Alpen vorgeführt werden, das weltweit mit zu den entwickeltsten Regionen gehört, im Hinblick auf die Dichte der frühen instrumentellen Information sogar an der absoluten Spitze steht. Zusammen mit dem ebenfalls gerade in dieser Region ebenfalls hohen Potential an Proxy-Klimainformationen ergibt das sehr gute Möglichkeiten zur indirekten Klimarekonstruktion. Diese gilt es, in Hinkunft durch interdisziplinäre Zusammenarbeit auf trotzdem hohem disziplinärem Niveau noch besser zu nutzen.

Andererseits sollte jedoch auch aufgezeigt werden, dass sehr wohl auch in der instrumentellen Domäne von „Rekonstruktion“ gesprochen werden muss, da die Originaldaten per se nicht der tatsächlichen Klimaentwicklung über zweieinhalb Jahrhunderte entsprechen. Zahlreiche Gründe von Standortverlegungen über messtechnische Entwicklung bis hin zu rein organisatorischen Gegebenheiten bewirken in jeder gemessenen Zeitreihe Inhomogenitäten, die die wahre Klimainformation verdecken. Die beiden Beispiele zeigten eine bereits erfolgreich abgeschlossene diesbezügliche Teilarbeit an der Dauerbaustelle der HISTALP Klimadatenbasis der ZAMG (die Korrektur des EIP-Bias) und eine, die erst teilweise bewältigt ist (die Homogenisierung von Tagesdaten), der aber im Hinblick auf die steigenden Ansprüche der Öffentlichkeit (Extremwertdebatte) und der Wissenschaft selbst (Proxy- und Impactmodellierung mit Tageswerten) zunehmend größere Bedeutung zukommt.

## Danksagung

Es konnte auf die Grundlagenarbeiten einer Reihe abgeschlossener und noch laufender Forschungsprojekte der Klimaabteilung der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) Wien zurückgegriffen werden: CLIVALP (FWF, P15076-N06), ALP-IMP (EU-FP5, EVK-CT-2002-00148), FORALPS (Interreg-Alpine-IIIb Alpine Space, I/III/3.1/21), A Tale of two Valleys (BMWF-Programm proVision, 133-111), HISTALP-2007 (ZAMG-BMWF 4426/07-9), COST ES Projekt 0601 HOME, HOMDAY (ZAMG-BMWF 4426/07-23).

Für die Förderung sei an dieser Stelle nochmals gedankt. Ganz besonders gilt aber der Dank den vielen bekannten und unbekanntenen Beobachtern, die in langjähriger oft schlecht entlohnter Teilarbeit den HISTALP-Datensatz geschaffen haben.

## Literatur

- Aguilar E, Auer I, Brunet M, Peterson TC, Wieringa J (2003) Guidelines on Climate Metadata and Homogenization. World Climate Programme Data and Monitoring WCDMP 53, WMO-TD 1186, WMO. Geneva
- Auer I, Jurkovic A, Orlik A, Böhm R, Korus E, Sulis A, Marchetti A, Dolinar M, Nadbath M, Vertacnik G, Vicar Z, Pavcic B, Geier G, Rossi G, Leichtfried A, Schellander H, Gabl K, Zardi D, 2008a. 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. *Technical Report of WP5*, Interreg-IIIb- Alpine Space Project Foralps, I/III/3.1/21, 67 pages plus 7 annexes
- Auer I et al., 2008b. Endbericht des BMWF- proVision Projekts "A Tale of two Valleys. In Arbeit
- 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 J-M, 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 1760-2003. *Int J Climatol* **27**: 17-46

- Auer I, Böhm R, Jurkovic A, Orlik A, Potzmann R, Schöner W, Ungersböck M, Brunetti M, Nanni T, Maugeri M, Briffa K, Jones P, Efthymiadis D, Mestre O, Moisselin JM, Begert M, Brazdil R, Bochnicek O, Cegnar T, Gajic-Capka M, Zaninovic K, Majstorovic Z, Szalai S, Szentimrey T (2005) A new instrumental precipitation dataset in the greater alpine region for the period 1800-2002. *Int J Climatol* 25: 139-166
- Bard E, Raisbeck G, Yiou F, Jouzel J, 2000. Solar irradiance during the last 1200 years based on cosmogenic nuclides. *TELLUS B* 52: 985-992
- Böhm R, Jones PD, Hiebl J, Frank D, Brunetti M and Maugeri M (2008) The early instrumental warm-bias: a solution for long central European temperature series 1760-2007. *Climatic Change*, in review
- Böhm R, Auer I, Brunetti M, Maugeri M, Nanni T and Schöner W (2001) Regional temperature variability in the European Alps 1760-1998 from homogenized instrumental time series. *Int J Climatol* 21: 1779-1801
- Brohan P, Jenedy J, Harris I, Tett SFB and Jones PD (2006) Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *Journal of Geophysical Research* 111 D12106, doi: 10.1029/2005JD006548
- Büntgen U, Frank DC, Nievergelt D, Esper J (2006) Summer temperature variations in the European Alps: AD 755-2004. *Journal of Climate* 19: 5606-5623
- Crowley TJ, 2000. Causes of Climate Change Over the Past 1000 Years. *Science* 289: 270-277
- Frank D, Büntgen U, Böhm R, Maugeri M, Esper J (2007) Warmer early instrumental measurements versus colder reconstructed temperatures: shooting at a moving target. *Quaternary Science Reviews* 26: 3298-3310
- Geiger, R, Aron RH and Todhunter P (2005) *The Climate near the Ground*. Vieweg, Braunschweig, 528 pages
- Hammerl C, Lenhart W, Steinacker R und Steinhauser P (Hg.) (2001) *Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 1851-2001 – 150 Jahre Meteorologie und Geophysik in Österreich*. Leykam, Graz, 818 Seiten plus eine Klima- und eine Geophysik-CD.
- Hiebl J (2006) *The early instrumental climate period (1760-1860) in Europe. Evidence from the Alpine region and Southern Scandinavia* Diploma thesis, Geogr Inst, University of Vienna, 103 pages
- Jones PD and Moberg A (2003) Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *J Climate* 16, 206-223
- Lean J, 2000. Evolution of the Sun's Spectral Irradiance since the Maunder Minimum. *Geophysical Research Letters* 27: 2425-2428
- Della-Marta P and Wanner H (2006) A method of homogenizing the extremes and mean of daily temperature measurements. *Journal of Climate* 19: 4179-4197
- Moberg A, Bergström H (1997) Homogenization of Swedish temperature data. Part III: the long temperature records from Stockholm and Uppsala. *Int J Climatol* 17: 667-699
- Moberg A, Alexandersson H, Bergström H and Jones PD (2003) Were southern Swedish temperatures before 1860 as warm as measured? *Int J Climatol* 23: 1495-1521
- Peterson TC, Easterling DR, Karl TR, Groisman P, Auer I, Böhm R, Plummer N, Nicholis N, Torok S, Vincent L, Tuomenvirta H, Salinger J, Förland EJ, Hanssen-Bauer I, Alexandersson H, Jones PD, Parker D (1998) Homogeneity Adjustments of In Situ Climate Data: A Review. *Int J Climatol* 18: 1493-1517
- Robertson A, Overpeck J, Rind D, Mosley-Thompson, Zielinski G, Lean J, Koh D, Penner J, Tegen I, Healy R, 2001. Hypothesized climate forcing time series for the last 500 years. *Journal of Geophysical Research – Atmosphere* 106: D14 p14783 (2000JD900469)
- v. Rudloff H (1967) *Die Schwankungen und Pendelungen des Klimas in Europa seit dem Beginn der regelmäßigen Instrumenten-Beobachtungen (1670)*. Vieweg, Braunschweig, 370 pages
- Zorita E, von Storch H, Gonzalez-Rouco FJ, Cubasch U, Luterbacher J, Legutke S, Fischer-Bruns I, Schlese U, 2004. Climate evolution in the last five centuries simulated by an atmosphere-ocean model: global temperatures, the North Atlantic Oscillation and the Late Maunder Minimum. *Meteorologische Zeitschrift* 13: 271 - 289

**Anschrift des Autors:**

Dr. Reinhard Böhm  
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik  
Hohe Warte 38, A-1190 Wien  
e-mail: [reinhard.boehm@zamg.ac.at](mailto:reinhard.boehm@zamg.ac.at)