

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

Reinhard Böhm

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien

## *Abstract*

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

Two recent activities of the climate variability working group at the Austrian weather service (ZAMG) are chosen to demonstrate the extraordinary potential of the instrumental record existing in the greater Alpine region and to highlight the risks arising with the uncritical use of original instrumental climate information. First we deal with the correction of a systematic warm bias found in the early instrumental summer temperatures prior the 1860s. This exercise is a successful 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: the homogenization of daily or subdaily climate series. This matter is particularly urgent as the ongoing discussion on the change of extreme events in frequency and/or intensity needs proper data, which are presently not available. Here some regionally limited attempts are shown and discussed.

## *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 ganz 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 harrt, noch seiner 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 - 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 anderer Informationen (dem Rauschen) zu trennen, die etwa von Stationsverlegungen, Änderungen der Umgebung (z.B. die steigende Urbanisierung), technologischen Entwicklungen (Messtechnik) und veränderten statistischen 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 Klimatelemente), langen (längste Reihen zurück bis 1760), qualitätsgeprüften (tausende Inhomogenitäten und Ausreißer entfernt, Datenlücken geschlossen und dadurch eine ursprüngliche Ausfallsrate von 5% beseitigt) Klimadaten-satz erstellen. Der kleinste Zeitschritt 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 qualitätsorientiertes 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.

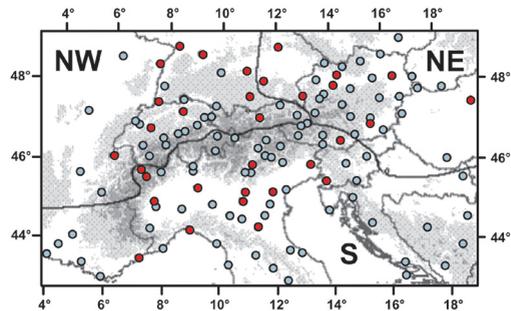
Eine HISTALP Gesamt- und Referenzpublikation (Auer et al., 2007) bringt die genauen Details zur Erstellung des Datensatzes und erste Analysen. Mit Jänner 2008 ist ein internes ZAMG-Projekt gestartet, das die HISTALP Daten bis Ende 2007 aktualisiert, reanalysiert, das Messnetz verdichtet und die Daten 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 unge-

nügende 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 HISTALP Temperaturmessnetz. Das Sample der Langzeitstationen wird künftig als „LSS“ (long series subset) bezeichnet. Dieser Langzeitdatensatz steht in seiner räumlichen Dichte und 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. Blaue Punkte: 102 Temperaturreihen, die nach 1850 beginnen. Rote Punkte: 32 LSS-Reihen, die zwischen 1760 und 1850 beginnen.*

Fig. 1: The HISTALP network of temperature recording stations. Blue points: 102 temperature series starting after 1850; red points: 32 LSS-series starting between 1760 and 1850.



## Das Problem

Vor der Gründung nationaler oder regionaler Wetterdienste, die mit dem Österreichischen Wetterdienst 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 vor allem astronomischer Observatorien Klimazeitreihen geschaffen, die ins 18. Jahrhundert zurückreichen. Zwar schufen diese meist von qualifizierten Wissenschaftlern betriebenen Aktivitäten wertvollste Klimainformationen, jedoch nach der damaligen Messphilosophie und mit der damals bestehenden Messtechnik. Letztere verursachte wenig 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 (d.h. Angaben über die Aufstellung der Messgeräte etc.) sind aus der frühen Periode durchaus mit den heutigen vergleichbar – der Betrieb einer Messstation war damals 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 Dauer der EIP für 30 der 32 Stationen des LSS im Großraum Alpen relativ eindeutig eruiert werden. Die frühen instrumentellen Messperioden (EIP) 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, außerdem waren die Gebäude ja nur selten exakt nach Norden

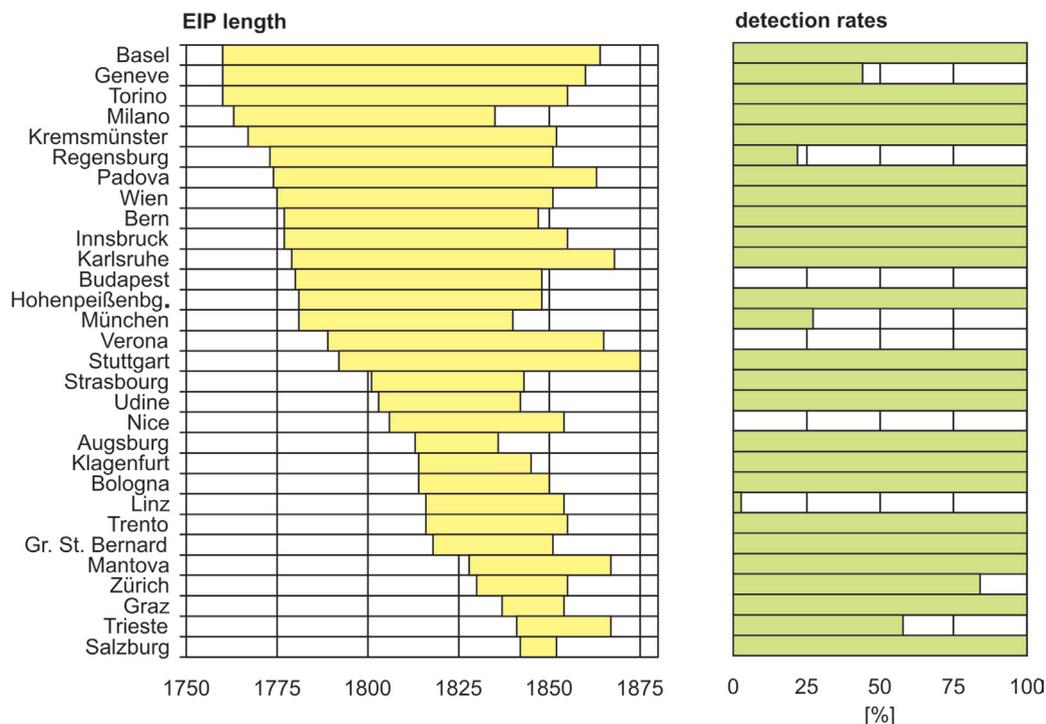


Abb. 2: Links: Die Zeitspannen, für die das EIP Problem einer ungenügenden Abschirmung der Thermometer aus den Stationsgeschichten von 30 der 32 Standorte ermittelt werden konnte. Rechts: Die „Aufklärungsquote“ für die in der EIP verwendeten Berechnungsalgorithmen für das Temperaturmittel (Böhm et al,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

Fig. 2: Left: The time spans for which the EIP problem of an insufficient temperature shield was detected for 30 out of 32 sites; right: the “detection rate” for the algorithms used for the EIP temperature means (Böhm et al, 2008).

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 Strahlungsfehlers getan war.

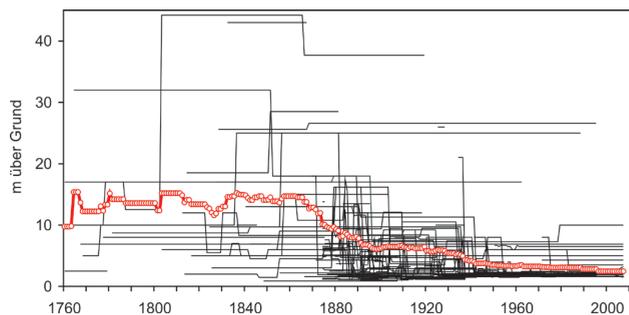
Gleichzeitig erfolgte auch eine gewisse (aber nicht vollständige) Normierung der Beobachtungszeiten. Für die EIP konnte diese im Hinblick auf den EIP-Bias eminent wichtige Information für 1331 von den insgesamt vorhandenen 1735 EIP-Jahren aus den vorhandenen historischen Beschreibungen extrahiert werden. 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).

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).

Nachdem also, wie beschrieben, die Metadaten-situation 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

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

Fig. 3: The level above ground for 98 HISTALP stations, where this parameter could be obtained for the past years.



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 wurden 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 vorzulegen, 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 Wetterdienste 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 automatischen 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 (Frank et al., 2007, Hiebl et al., 2006, Büntgen et al., 2005) und von (wenigen) entsprechenden Arbeiten aus dem instrumentellen Bereich in anderen

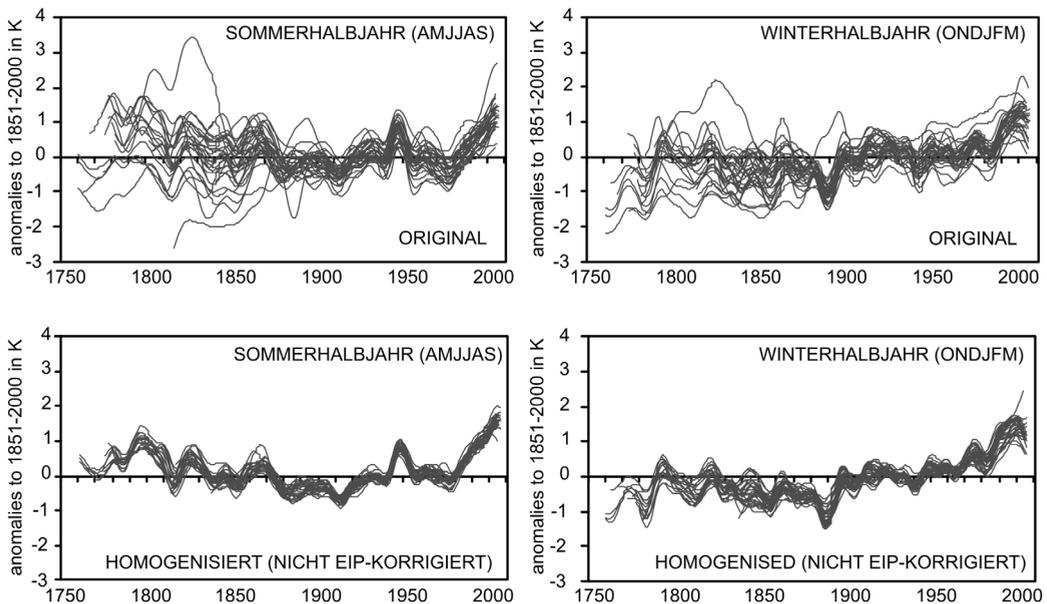


Abb. 4: Die Temperaturzeitreihen der 32 LSS-Stationen im Großraum Alpen von 1760 bis 2007 (2007/08). Oben im Originalzustand (nicht homogenisiert, nur Outlier-bereinigt), unten nach der Homogenisierung in der Version 2007 (Auer et al., 2007). Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Reihen geglättet (21-jähriger Gauss'scher Tiefpassfilter) und alle als Anomalien zur gemeinsamen Bezugsperiode 1851-2000 dargestellt.

Fig. 4: Temperature time series of the 32 LSS-stations in greater area of the Alps 1760-2007 (2007/08). Upper panels show original data (not homogenized, outliers removed); the lower graphs show homogenized data (Auer et al., 2007). The left panels refer to the summer months (AMJJAS), the right panels to winter (ONDJFM). To improve comparability the series have been smoothed by a 21-year Gaussian low-pass filter. All series are plotted as anomalies compared to the reference period 1851-2000.

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. Dem stehen die kühleren Proxy-EIP-Sommer gegenüber, wie auch die Klimaantriebe (Bard et al, 2000, Lean, 2000, Robertson et al., 2001) und die vorhandenen historischen Modellläufe (Zorita et al., 2004), welche alle auf ein niedrigeres Sommertemperaturniveau hindeuten. Zur Problemlösung konnten diese jedoch aus den erwähnten Gründen nicht verwendet werden – dazu wollten wir streng innerhalb der instrumentellen Domäne bleiben.

### *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, dass es die dazu notwendigen direkten Messdaten aus Parallelregistrierungen an erhaltenen historischen Messplätzen und 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 (Oberösterreich), wo seit der Automatisierung in den 1980er Jahren zusätzlich zu den manuellen Messungen auch automatische Registrierungen vorliegen, 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 Mittelwertsformeln die EIP-Korrekturen berechnet werden.



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

Fig. 5: Historical (left) and modern (right) placement of temperature recorders at Kremsmünster (Photos: Böhm)

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, die Baumaterialien und den Oberflächenanstrich, bestand die einzige Möglichkeit in der 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 zu berechnen. 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.

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 alle einzelnen Jahrgänge der EIP-Korrekturen und verdeutlicht zum einen die Notwendigkeit, jede Station und jedes Subintervall getrennt zu behandeln, da die Streuung doch recht groß ist. Zum anderen erkennt man trotzdem die erwartete Systematik mit den stärksten negativen Korrekturen von durchschnittlich 0.5°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 einige EIP-Subintervalle von wenigen Stationen unkorrigiert. Sie wurden in der Folgen an die korrigierte Mehrheit angepasst, wobei das in unserer Arbeitsgruppe standardmäßig eingesetzte Homogenisierungssystem HOCLIS zur Verwendung kam (Auer et al., 2007).

## Klimawandel in Österreich

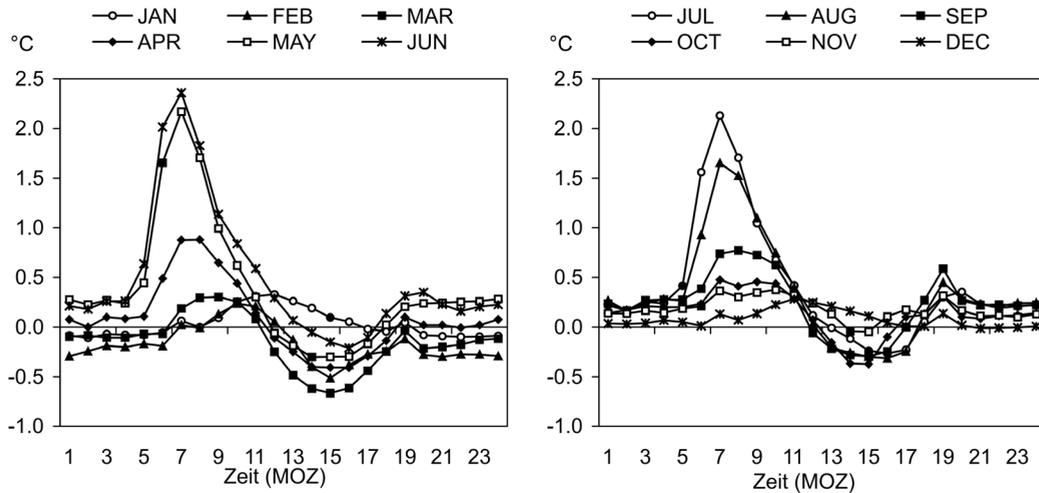


Abb. 6: Mittlere Differenzen historisch minus modern der beiden Temperatur-Messstandorte in Kremsmünster für Jan-Jun (links) und Jul-Dez (rechts). Basis: lückenlose Stundenwertdaten 1995-2002

Fig. 6: Mean temperature difference between historic and modern temperature recordings in Kremsmünster for January-June (left) and July-December (right). Based on complete hourly time series 1995-2002

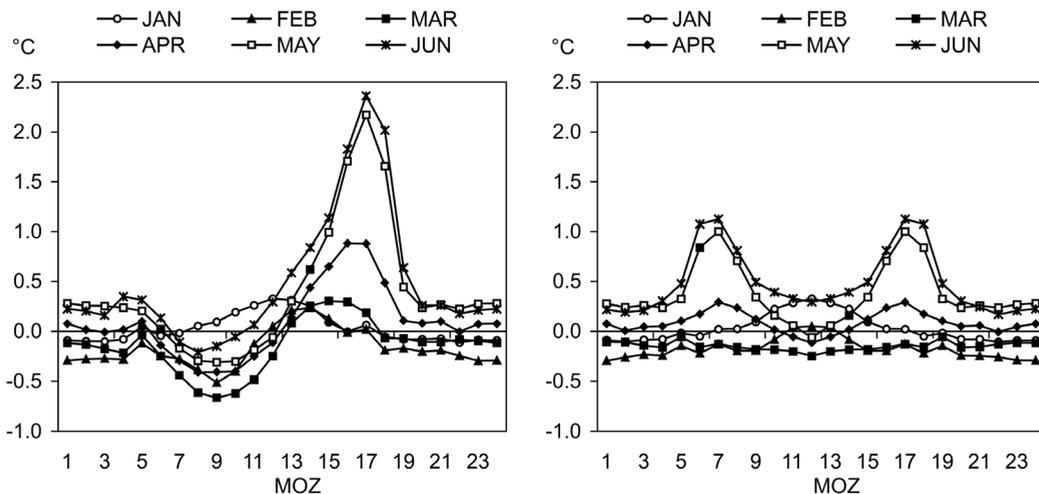
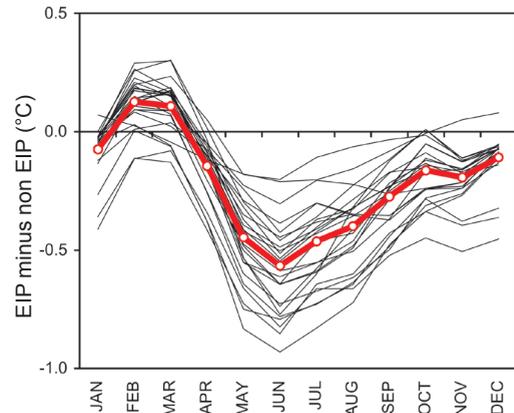


Abb. 7: Mittlere Differenzen historisch minus modern für NNW-orientierte (links) und N-orientierte (rechts) Temperaturmessstandorte simuliert aus den Messdaten Kremsmünster aus Abb.6. Gezeigt sind nur die ersten sechs Monate des Jahres.

Fig. 7: Mean temperature difference between historic minus modern temperature recordings for NNW-orientated (left) and N-orientated (right) temperature recordings. Simulation is based on the data from Kremsmünster from Fig. 6. Only the first six months of the year are shown.

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

Fig. 8: EIP-corrections used to remove the EIP-bias from early instrumental temperature series (see Fig. 2). Thin lines represent individual corrections; red: the mean of all corrections.



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 erfolgreiches Unterfangen angesehen werden, um der „Wahrheit“ des Temperaturklimas der frühen instrumentellen Phase im Alpenraum wieder einen Schritt näher zu kommen. 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

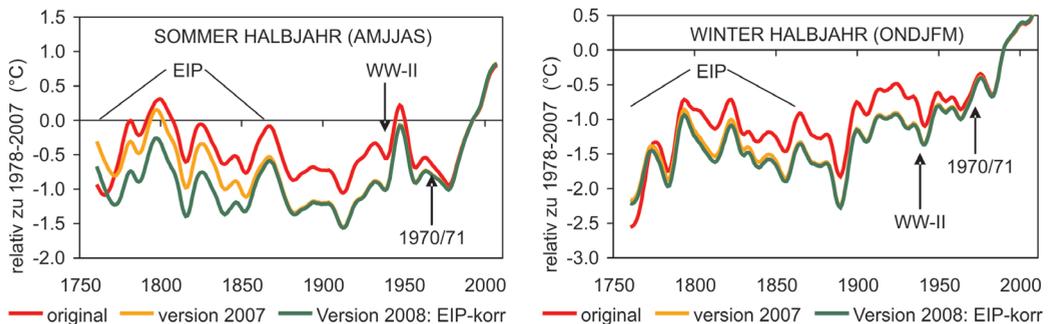


Abb. 9: Der Weg von den nicht homogenisierten (rot) über die homogenisierten Version-2007 (orange) jahreszeitlichen mittleren Temperaturreihen im Großraum Alpen zu der aktuellen, EIP-bias-korrigierten Fassung 2008 (grün). Alle Zeitreihen 1760-2007 (2007/08) sind 21-jährig Tiefpass-gefiltert und als Abweichungen vom aktuellen Mittel 1978-2007 dargestellt. Die Pfeile markieren zwei besprochene systematischen Inhomogenitäten. Datenbasis: die 32 LSS Monatsreihen der HISTALP Datenbank der ZAMG

Fig. 9: From non homogenized (red) to homogenized temperature series (version-2007, orange) in the greater Alpine area compared to the updated EIP-bias correction (version-2008, green). All time series, 1760-2007 (2007/08) are filtered with a 21-year low pass filter and deviations from the current mean (1978-2007) are shown. Arrows indicate two systematic inhomogenities mentioned in the text. Data based on 32 LSS monthly time series of the HISTALP data base at the ZAMG

der bisher vorhandenen Version 2007. Man erkennt in der Abbildung 9 zunächst nochmals die unbedingte Notwendigkeit des Homogenisierens. Das oft gehörte Argument, dass bei Verwendung genügend vieler Einzelreihen die Inhomogenitäten in der Mittelreihe als „random effect“ verschwinden würden, ist 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°C zu warm erscheinen lassen (rot gegenüber gelb). Der Vergleich der gelben Kurven (Version 2007) mit den grünen der EIP-korrigierten Version 2008 hingegen zeigt 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°C, im Winterhalbjahr lediglich eine um weniger als 0.1°C - als Ergebnis der gegenläufigen Korrekturen im Februar und März gegenüber denen von Oktober bis Jänner.

Die 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 angezweifelte (Hiebl, 2006, Fank et al, 2007) Version 2007 kommt nun auch der frühen instrumentellen Phase eine höhere Glaubwürdig-

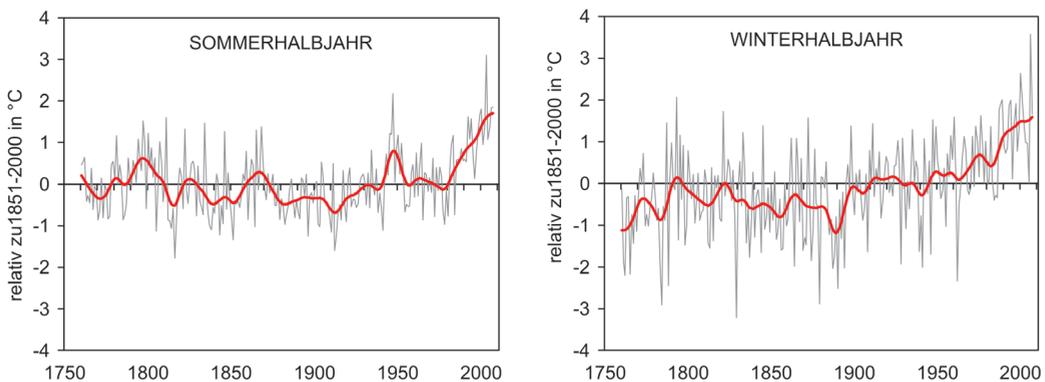


Abb. 10: Die jahreszeitlichen mittleren Temperaturkurven 1760-2007 (2007/08) des Großraums Alpen in der Version 2008. Links: Sommerhalbjahr, rechts Winterhalbjahr. Einzeljahre (grau) und 21-jährig geglättet (rot). Dargestellt sind Abweichungen zum Mittel 1851-2000. Datenbasis: die 32 LSS Monatsreihen der HISTALP Datenbank der ZAMG

Fig. 10: Annual mean temperatures in the greater Alpine area, 1760-2007 (2007/08, version-2008). Left: summer; right: winter half-year. Annual means (grey) and 21 year low-pass filtered data (red) are shown as deviation from the average 1851-2000. Data based on 32 LSS monthly series of the HISTALP database at the ZAMG

keit zu. Eine ausführlichere Beschreibung wird demnächst im Sonderband des EU-Millenniums Projekts der Zeitschrift *Climatic Change* erscheinen (Böhm et al., 2008).

### *Problem 2: Homogenisierung von Tages- und Subtagesdaten*

Ein zweites Problem auf dem Gebiet der Homogenisierung ist das 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 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 (durch Atmosphäre-Ozean-gekoppelte globale Zirkulationsmodelle, AOGCM), 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 dem Vorwurf der Manipulation zu entgehen, 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 review“ durchgeföhrt 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 auf die 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 starken Ausreißer das Ziel der Analyse sind. Und genau diese langen Zeitreihen erfordern als *conditio sine qua non* eine sorgfältige Homogenisierung. 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 notwendigen 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 Klimatelements Niederschlag hervortritt.

Da zur Homogenisierung der Zeitreihen (=Anpassung früherer Zustände 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 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 zum Gegenstand.

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 auch in der wissenschaftlichen Debatte, ein weites Feld entbehrlichen

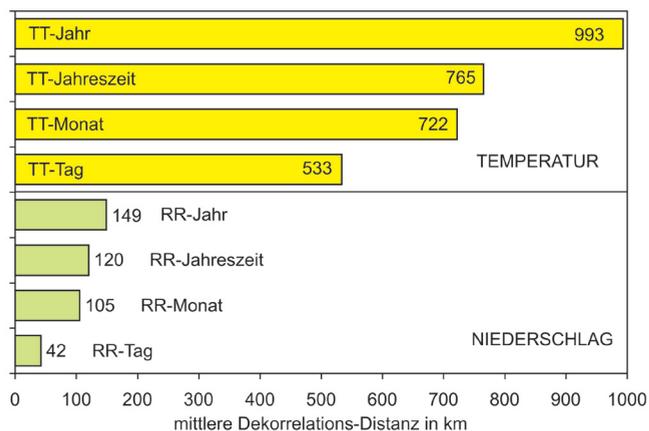


Abb.11: Räumliche Dekorrelation auf 50% gemeinsame Varianz im Europäischen Klimamessnetz von Jahres-, Jahreszeiten-, Monats- und Tageswerten von Temperatur (T) und Niederschlag (R). Quelle: Scheifinger et al., 2003 (interner Projektbericht für Projekt ALP-IMP).

Fig. 11: Spatial decorrelations down to 50% common variance in the European climate measurement network of yearly, monthly, and daily measurements of temperature (T) and precipitation (R). Scheifinger et al., 2003; ALP-IMP internal project report.

Streits, widersprüchlicher Ergebnisse und das 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 einige vorläufige Ergebnisse vorgestellt, wobei das bisher Gesagte die notwendige Einschränkung im Hinblick auf 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 der monatlichen Mittelwerte bis hin zu Jahresmitteln. Abbildung 12 bringt ein Beispiel für extremen Tagesabfluss und Niederschlag im großen Donau Einzugsgebiet des Pegels Nussdorf (Wien), Abbildung 13 einen Vergleich von Niederschlagsjahressummen und Tageswertsindizes einer Klimareihe in den Hohen Tauern. Es scheint somit, zumindest für den Großraum Alpen, nicht so zu sein, dass Trends der Extremwerte in ganz andere Richtungen gehen könnten 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: 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.

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 wurden 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 Reihen getrennt angewendet, um die statistisch zu erwartende Erhöhung der Varianz mit abnehmender Reihenanzahl zu vermeiden. Bei der Jahres-

## Klimawandel in Österreich

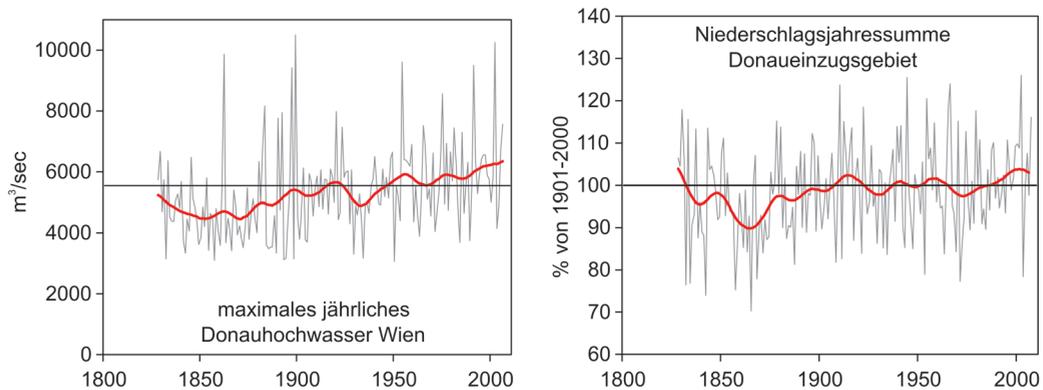


Abb.12: Links: Zeitreihe der jährlich größten Durchflussmengen der Donau bei Wien, 1828-2006, Quelle: Godina R, Hydrographisches Zentralbüro, Wien, 2008, persönliche Mitteilung; Rechts: Flächenmittel der Jahressummen des Niederschlages im Einzugsgebiet der Donau oberhalb Wiens (Auer et al., 2007). Alle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

Fig 12: Left: Time series of the Danube maximum water discharge at Vienna, 1828-2006. From: Godina R 2008., Hydrographic Center, Vienna, pers. communication; right: area means of the annual precipitation in the catchment of the Danube before Vienna (Auer et al., 2007). Data for individual years (grey) and 30yr filtered (red, Gaussian low pass filter) are shown.

zeiten- und Jahresanalyse wurden zunächst die langfristigen Trends selbst durch Hochpassfilterung eliminiert (Filterweite 31 Jahre) und 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 (durch Normalisierung) Jahresgangbereinigte 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-Zeitreihen, beim Niederschlag reagierte der mediterrane, der atlantische und der kontinentale Bereich des Großraums Alpen regional und jahreszeitlich unterschiedlich. Generell wurde sowohl in den letzten 200 Jahren, als auch in den letzten 50 Jahren keine Steigerung der Klimavariabilität beobachtet, wie sie von den Medien oft als bewiesen vorausgesetzt wird. Speziell bei der Temperatur sind die Trends der Variabilität (= der „Verrücktheit des Klimas“) in allen Jahreszeiten und in allen Subregionen rückläufig. Abbildung 14 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

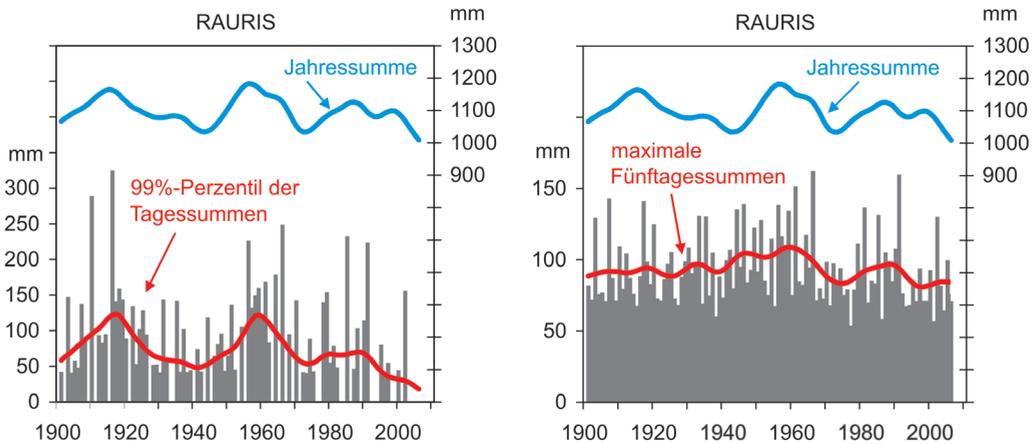


Abb. 13: Ähnlichkeit zwischen der gesamten Jahressumme des Niederschlages (blau, 21-jährig geglätteten Linien) und von zwei Niederschlags-Extremwertindizes für den inneralpinen Ort Rauris (Einzeljahre und 21-jährig geglättet, unten). Links: Summe der Tagesniederschläge, die in der Klimanormalperiode 1961-90 nur noch von 1% aller Fälle übertroffen werden (= 99%-Perzentil); rechts: maximale Fünftagesummen eines Jahres (Auer et al., 2008a, b).

Fig. 13: Similarity between the annual precipitation sum (blue, 21yr smoothing) and two indices for extreme precipitation events for the inner Alpine village Rauris. Individual years (grey bars) and 21yr smoothed (red). Left: sums of daily precipitation exceeded by only 1% of all cases (=99% percentile) during 1961-90; right: maximum sums for five days during one year (Auer et al., 2008a, b).

1 zeigt das exemplarisch für den 90%-Interquantilbereich und den Langfristtrend vom 19. zum 20. Jahrhundert.

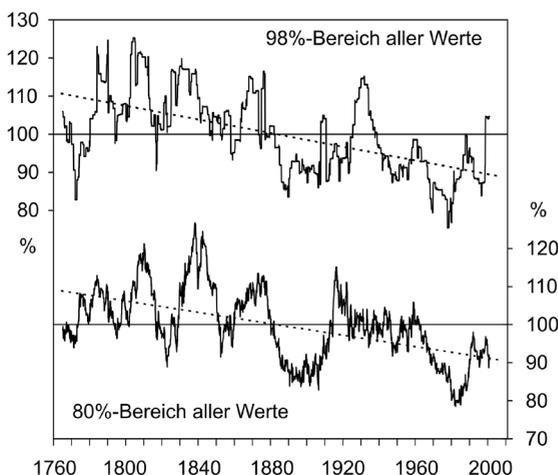
Will man die Charakteristika der Trends von Klimaextremwerten zusammenfassen, muss an erster Stelle auf die noch großen Forschungsdefizite hingewiesen werden, die vor allem auf der ungenügenden Dichte von Langzeit-Messreihen beruhen. Die vorläufigen Ergebnisse aus dem Großraum Alpen zeigen einen generellen 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 Langfristrends der Veränderungen der Variabilität bzw. der Extremwerte wesentlich geringer als die Kurzfristvariabilität selbst – ein Faktum, auf das auch bei den Trends der Klimatelemente selbst bereits hingewiesen worden ist.

### Schlussbemerkungen

Mit den gezeigten und diskutierten Beispielen soll einerseits das vorhandene reiche instrumentelle Datenpotential aus dem Großraum Alpen vorgestellt werden, das weltweit zu den

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 Monatschritten 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

Fig 14: Temperature variability time series in the Alpine greater area, 1760-2006. 80% and 98% quantiles over a 120 month range, using 30yr high-pass filtered sequential monthly temperature records from 24 automated series starting before 1840. The displayed data are the mean of all these long-term series. Source: Internal report, ZAMG-Vienna.



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 Klimatelemente 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	%

am besten aufgearbeiteten gehört und im Hinblick auf die Dichte der frühen instrumentellen Information sogar an der Spitze steht. Zusammen mit dem gerade in dieser Region hohen Potential an Proxy-Klimainformationen, ergibt das sehr gute Möglichkeiten zur indirekten Klimarekonstruktion. Diese gilt es, durch interdisziplinäre Zusammenarbeit in Hinkunft noch besser zu nutzen.

Andererseits wurde aufgezeigt, dass 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 wurden angeführt, die in jeder gemessenen Zeitreihe zu Inhomogenitäten führen können, die die wahre Klimainformation verdecken. Die beiden Beispiele zeigten eine bereits erfolgreich abgeschlossene 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, JENNEDY 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