

REINHARD BÖHM

Geändertes Umfeld durch Klimawandel?

Modified environment due to climate change?

Zusammenfassung:

Trotz der geforderten Kürze versucht der Artikel einen in sich konsistenten Überblick über das weite Feld der Klimavariabilität und ihrer in der Vergangenheit gegebenen und für die Zukunft zu erwartenden Trends, Pendelungen und der dahinter liegenden natürlichen und anthropogenen Ursachen zu geben. Trotz der in der öffentlichen Debatte meist betonten massiven Ausformung „des Klimawandels“ (worunter meist der von uns verursachte gemeint ist) erfordern die räumlich und zeitlich sehr variablen Wetter- und Klimaphänomene zunächst eine sehr ernsthafte Auseinandersetzung mit höchsten Qualitätsanforderungen an die Messdaten. Diesem Thema ist der erste Teil gewidmet, der Fragen der Homogenität von Klimazeitreihen diskutiert und Überlegungen über die nötige Stichprobenmächtigkeit anstellt, um zu statistisch signifikanten Aussagen zu kommen, da das „Klimasignal“ meist gut verborgen hinter „nichtklimatologischem Lärm“ ist. Erst dann wird im zweiten Kapitel „der Klimawandel“ skizziert, wobei der Fokus auf den beiden letzten Jahrhunderten, auf dem Großraum Alpen und auf dem Klimatelement Temperatur liegt. Gezeigt wird, wie stark es wann und wo, auf welche Art und Weise und warum in unserer Region wärmer geworden ist, und ob und wie stark wir daran Anteil haben. Im dritten Kapitel wird dann die Reaktion des Niederschlages auf die Erwärmung quantitativ diskutiert und auf die kleinräumig lang- und kurzfristig und auch saisonal durchaus unterschiedlichen säkularen und dekadischen Trends und Pendelungen eingegangen. Das letzte Kapitel schließlich unternimmt den Versuch, den überaus heterogenen Zukunftsaussichten näher zu kommen. Der Unterschied zwischen „Szenarien“ und „Prognosen“ wird diskutiert, die „Härte“ oder „Weiche“ der sogenannten „Fakten des Klimawandels“ werden unter die Lupe genommen und schließlich wird, trotz aller Unsicherheiten und dem diskutierten Forschungsbedarf eine abschließende Auflistung der besser und der weniger gut abschätzbaren regionalen bis lokalen Zukunftsaussichten gegeben.

Summary:

The article attempts to provide a consistent overview of the wide field of climate variability, its past trends and the respective expectations for the future – along with the natural and anthropogenic causes. Although the public debate usually talks about a massive and clearly seen and felt “climate change”, the temporally and spatially strongly variable weather and climate phenomena require serious and painstaking data handling before they can be used for analysis. The first chapter focuses on problems such as the homogeneity of long-term climate time series, questions of necessary sample width to obtain statistically significant results and other preliminaries which allow for extracting the “climate signal”, which usually is well masked behind clouds of “non-climatic noise”. The second chapter then sketches “the” climatic change. The focus is on the last two centuries, on the greater Alpine region and on the climate parameter temperature. We show how strong the warming of our region has been, whether there were subregionally different evolutions and why our regional warming was stronger than the global average. The third chapter quantitatively describes and discusses the reaction of the climate element precipitation on the warming. Different trends in space and time are shown and set into relation to large scale and regional influences. The last chapter then provides a description and critical discussion of the heterogeneous expectations about the oncoming climate in the remaining part of the 21st century. It discusses the meaning of “projections” and “predictions”, it tries to distinguish between “hard” and “soft” facts of climate change and at the end, in spite of the discussed difficulties, formulates a short list of future expectations about regional climate – again classified into hard and soft “facts”.

1. Zahlen oder Daten? Qualitätsanforderungen für Trend- und Variabilitätsanalysen des Klimas

Im Hinblick auf die Analyse von Klimatrends und ganz besonders auf die von Extremwerten bestehen ganz besondere Herausforderungen an die Datenqualität. 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. Die in vielen Fällen erforderliche Länge der Zeitreihen über mehrere Jahrhunderte (wie sonst sollte ein Trend von seltenen „Jahrhundertereignissen“ festgestellt werden?) würde genau genommen die Verwendung von indirekten Klimadaten erfordern,

die aus Eisbohrkernen, Tropfsteinen, See- und Meeresablagerungen, Baumringen und etlichen anderen „Klimakalendern“ gewonnen werden können. Mehr zu diesem faszinierendem Thema kann z. B. in MACKAY et al., 2003 oder in BATTERBEE and BINNEY 2008 nachgelesen werden. Gerade bei Fragen der Extremwertanalyse bringen allerdings indirekte Klimadaten prinzipielle Probleme mit sich, die sich aus der Tatsache der „paläoklimatologischen Unschärferelation“ ergeben. Damit bezeichne ich das Faktum, dass Paläodaten prinzipiell an Varianz und an zeitlicher Auflösung verlieren, je weiter sie zurückreichen. Damit eignen sie sich eher weniger für Analysen der Veränderungen der Klimavariabilität oder von Extremwerten: Ich wundere mich oft, auf welchen Daten die oft gehörten Argumente beruhen, die

eine „Noch-nie-Dagewesenheit“ oder eine „noch nie gesehene Geschwindigkeit der Änderung“ postulieren. Entweder es handelt sich dabei um direkte Messdaten in gleich bleibender zeitlicher Auflösung – dann ist das „noch nie“ herzlich kurz. Oder es stehen indirekte Klimadaten zur Verfügung, dann wird das „noch nie“ in hohem Maße durch die verminderte zeitliche Auflösung verursacht, die länger zurückliegende Extremereignisse dämpft. Wir wollen deshalb hier indirekte Klimareihen als Grundlage ausschließen.

Aber auch direkt gemessene lange Zeitreihen aus der „instrumentellen Periode“ erfordern als *conditio sine qua non* ihre sorgfältige Homogenisierung. Wie unsere Gruppe, die Abteilung für Klimaforschung der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), zeigen konnte (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 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. 1 zeigt das exemplarisch für die Tages- bis Jahreswerte von Temperatur und Niederschlag in Europa, wobei hier noch die zusätzliche besondere „Empfindlichkeit“ des Klimaelements Niederschlag hervortritt.

Da zur Homogenisierung der Zeitreihen (= Anpassung früherer Abschnitte an den aktuellen „Zustand“ einer Messreihe) hochkorrelierte Referenzreihen benötigt werden, zeigt die Abbildung den Hauptgrund für die derzeit noch gegebene Tatsache, dass es homogenisierte Klimazeitreihen auf Tagesbasis kaum noch gibt. Es ist die

den Anforderungen noch nicht genügende Messnetzdicke an homogenisierten langen Zeitreihen in zumindest täglicher Auflösung. Das gilt sowohl international als auch für den Alpenraum oder Österreich. Für einige Subregionen Österreichs arbeiten wir gerade an der Erstellung räumlich dichter Tagesreihen für das 20. Jahrhundert und sowohl auf internationaler wie auf nationaler Basis wird dem Problem der Homogenisierung von Tagesreihen zu Leibe gerückt (z. B.: COST-ES-Projekt 0601 HOME, ZAMG-BMWF-Projekt HOMDAY, 4426/07-23, beide beschrieben auf <http://www.zamg.ac.at/forschung/klimatologie>). Generell und großräumig ist die Dichte von Tagesdatenreihen jedoch noch zu gering – da gibt es noch viel Digitalisierungsarbeit und Datenquellenstudium zu leisten.

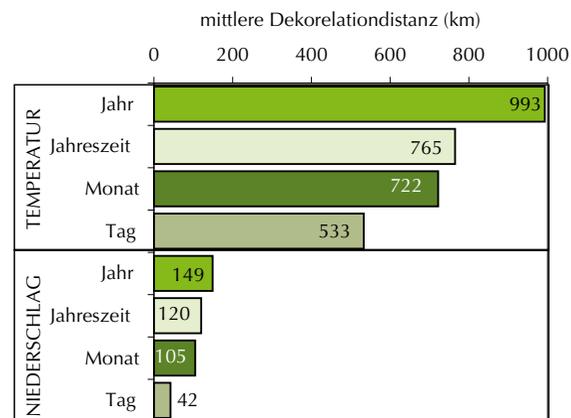


Abb. 1: Räumliche Dekorrelation auf 50% gemeinsame Varianz im europäischen Messnetz von Jahres-, Jahreszeiten-, Monats- und Tageswerten von Temperatur und Niederschlag
Quelle: SCHEIFINGER H, in: BÖHM R (coord), 2006

Fig. 1: Spatial decorrelation to 50% common variance in the European network of annual, seasonal, monthly and daily temperature and precipitation series.

Wir stehen also vor dem Dilemma, dass gerade dem Gegenstand des größten Interesses, nämlich der Analyse der Trends von seltenen und kurzfristigen Extremereignissen, noch die adäquate Datenbasis fehlt. Sehr wohl gibt es jedoch eine solide Datenbasis auf Monatsbasis, die ganz speziell im mitteleuropäischen Raum durch besonde-

re Dichte und Länge der Zeitreihen besticht, die hier zurück bis ins 18. Jahrhundert reichen. Für Messreihen mit dem kleinsten Zeitschritt eines Monats ist die notwendige Messnetzdicke zur Datenprüfung und Homogenisierung erfüllbar. Das erlaubt die Entfernung des nichtklimatologischen „Lärms“ aus den Messreihen, der durch Stationsverlegungen, technologische Entwicklungen bei den Instrumenten und aus zahlreichen anderen Gründen in der Regel leider das tatsächliche „Klimasignal“ ebenso stark durch Rauschen aber auch durch systematische Verschiebungen überdeckt. Wie wir später sehen werden, gibt es trotzdem gewisse Möglichkeiten, einige Aussagen auch über Veränderungen der Extremereignisse zu treffen. Es ist jedoch Vorsicht geboten bei der Auswahl zuverlässiger Datenquellen. Diese wachsen eben leider nicht von selbst im Internet, sondern erfordern eine sorgfältige und zeitaufwendige Vorbehandlung und kritische Hinterfragung, bevor sie analysiert werden. Zum einen werden wir uns

hier hauptsächlich auf diejenigen eher großräumigen Extremereignisse konzentrieren, die sehr wohl auch in den Zeitreihen auf Monatsbasis deutlich erkennbar sind (vergleiche die spätere Abb. 8), andererseits haben wir erste Hinweise (AUER et al., 2008, BÖHM, 2008a), dass es eine überraschende Ähnlichkeit zwischen den Trends der Monats-, Jahreszeiten-, ja sogar der Jahresmittel bzw. -summen mit denen der Tageswerte

gibt. Dies gibt Hoffnung, dass die hier gezeigten Entwicklungen auf Basis der homogenisierten Monatsreihen auch eine gewisse Aussagekraft für die kleinräumigeren und kurzfristigeren Extremereignisse besitzen.

Stellvertretend für die 500 homogenisierten Klima-Langzeitreihen aus dem Großraum Alpen (4-19°E, 43-49°N), die in der HISTALP-Klimadatenbank der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik betreut werden (<http://www.zamg.ac.at/HISTALP>), zeigt Abb. 2 diejenige der Jahresmittel der Lufttemperatur in Klagenfurt. Der für die Region typische Temperaturanstieg um beinahe 2 °C seit dem 19. Jahrhundert tritt erst nach der Homogenisierung (in der grünen geglätteten Kurve) zutage. In den Originaldaten (in rot) gab es etwa von 1920 bis 1990 einen Temperaturrückgang um 1°C, der jedoch lediglich durch die Stationsverlegung vom wärmeren Stadtzentrum (Landesmuseum) auf den Flugplatz, der außerhalb der urbanen Wärmeinsel liegt, verursacht wurde.

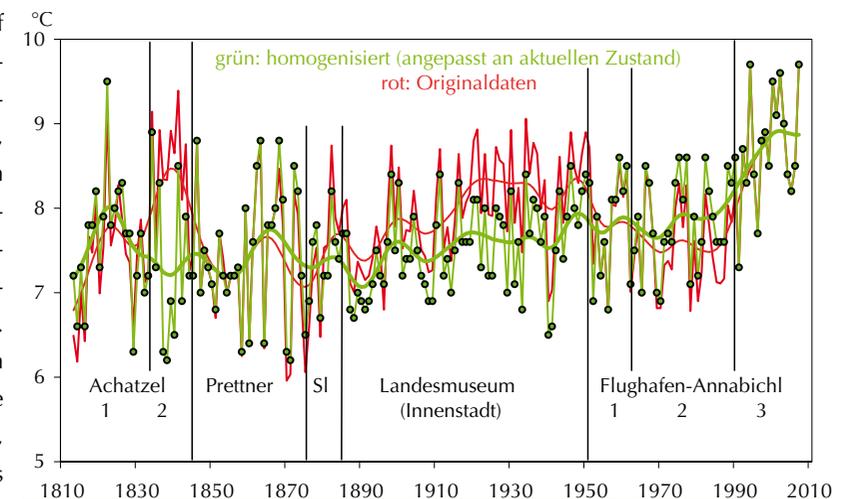


Abb. 2: Die Temperaturreihe von Klagenfurt 1813-2007, die aus verschiedenen Einzelreihen zusammengesetzt wurde. Gezeigt sind die Jahresmittel und der 30-jährig geglättete Verlauf (Gauß'scher Tiefpassfilter) der Originaldaten (rot) und die homogenisierte Reihe, die an den aktuellen Zustand (seit 1991) einer automatischen Messstation auf dem Flughafen angepasst ist.
Quelle: Version 2008 der HISTALP-Datenbank der ZAMG; AUER et al., 2007, BÖHM, 2009a

Fig. 2: The temperature series of Klagenfurt 1813-2007. The series is a blend of different subseries. The single annual means and the 30-year smoothed courses (Gaussian lowpass filtered) of the original (red) and the homogenised (green) series are displayed – the latter adjusted to the recent site (since 1991) of an automatic weather station at the Klagenfurt airport.

Die HISTALP-Datenbank wird in der Folge die Grundlage für unsere Überlegungen über Veränderungen des Klimas und auch der Klimavariabilität bilden. Letztere manifestiert sich in der Abbildung in den (dünnen) stark pendelnden Einzeljahreswerten; die langfristigen Trends (dicke geglättete Kurven) stehen für den „Klimawandel“.

Abb. 3 zeigt das HISTALP-Messnetz und die Unterteilung des Großraums Alpen in vier horizontale und eine vertikale Hauptklimazone. Da sich Klima nicht an nationale Grenzen hält, ist es wenig sinnvoll, das kleine Österreich getrennt von seinen Nachbarstaaten als Datengrundlage zu verwenden. Der Großraum Alpen (GAR = „Greater Alpine Region“) hingegen ist bereits eine sinnvolle und auch interessante Region, die Anteil an drei Hauptklimaregionen Europas hat (atlan-

tisch im Nordwesten, kontinental im Osten, mediterran im Süden) und zusätzlich durch den markanten Gebirgszug der Alpen durch die großen Seehöhenunterschiede modifiziert ist. Die in der Abbildung gezeigte Regionalisierung in „Coarse Resolution Subregions“ (CRSs) wurde durch ein objektives Verfahren durchgeführt (PCA-Analyse), was in AUER et al 2007 näher erläutert ist.

Wie man erkennt, hat Österreich Anteil an allen fünf Hauptklimaregionen, wenn auch der größte Teil des Bundesgebietes auf die Region Nordost fällt, gefolgt von der CRS Nordwest, zu der Tirol und Vorarlberg gehören. Leicht mediterran beeinflusst sind Osttirol und Teile Kärntens, und Höhenlagen von etwa 1500 m aufwärts sind der hochalpinen Klimaregion zuzuordnen (die in der Karte durch dreieckige Stationssymbole ge-

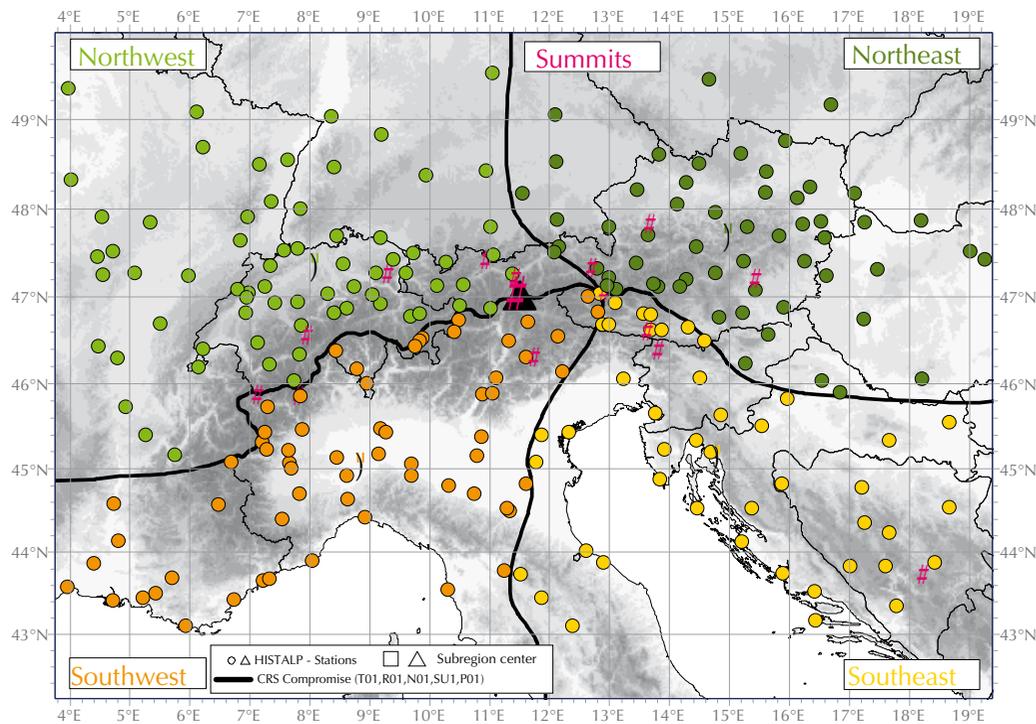


Abb. 3: Der Großraum Alpen (GAR) im südlichen Mitteleuropa mit seinen fünf horizontalen und vertikalen Hauptklimaregionen (CRSs) und mit dem HISTALP-Messnetz langer Klimazeitreihen. Kreise: tiefliegende Stationen, Dreiecke: hochalpine Stationen

Fig. 3: The greater Alpine region (GAR) in south-central Europe with its five principal horizontal and vertical "coarse resolution subregions" (CRSs) and with the network of HISTALP-stations of long climate time series. Dots: low elevation series, triangles: high elevation series

kennzeichnet ist). In der Folge werden wir diese fünf Regionen kurz mit NW, NE, SW, SE und H bezeichnen. Man kann die Unterteilung natürlich noch weiterführen. Speziell wenn Absolutwerte der Klimaparameter von Interesse sind, müsste eine wesentlich feinere Unterteilung in Höhenstufen vorgenommen werden. In unserer Analyse, die sich auf Änderungen, Trends, Variabilität konzentrieren wird, sind Absolutwerte nicht von Interesse, weshalb wir mit den fünf Hauptregionen das Auslangen finden. Bevor wir an die Analyse gehen, wollen wir nochmals darauf hinweisen, dass unsere Grundlage sorgfältig geprüfte und homogenisierte „Daten“ sind, nicht irgendwelche „Zahlen“, in denen nicht nur Klimainformation steckt, sondern zusätzlicher „nichtklimatischer statistischer Lärm“, der das wahre Klimasignal in der Regel zumindest unkenntlich macht, wenn nicht sogar systematisch verfälscht oder sogar in sein Gegenteil verkehrt, wie wir am Beispiel der Klagenfurter Reihe in Abb. 2 gesehen haben.

2. Die Grundlage der Sorge: Die Erwärmung vom 19. zum 20. Jahrhundert und warum sie im Alpenraum besonders stark ausgefallen ist

Wenn man vom „Klimawandel“ spricht, versteht man darunter in den meisten Fällen die langfristige Temperaturzunahme, die im globalen Maßstab in den letzten 100 Jahren schwach 1 °C betrug. Wir haben Grund zur Annahme, dass ein Teil dieser Erwärmung nicht nur auf natürliche Ursachen zurückgeht wie Variationen der solaren Einstrahlung, Vulkanaktivität, u. a., sondern auch durch menschliche Aktivitäten bedingt ist. Das sind in erster Linie die explosiv gestiegenen Emissionen von Treibhausgasen wie CO₂, CH₄, N₂O durch die Verbrennung von fossilen Kohlenstoffquellen, durch den Nassfeldanbau von Reis, die intensive Rinderzucht, das Düngen. Wir müssen hier nicht näher auf die Ursachen für Klimawandel einge-

hen, in groben Zügen ist das heute Allgemeingut, wenngleich auch die zu stark vereinfachten Darstellungen oft an der Sache vorbeigehen. In aller Ausführlichkeit ist der Gegenstand im IPCC-Report von 2007 abgehandelt, der frei in voller Länge (900 Seiten) über <http://www.ipcc.ch> erhältlich ist. Dem Autor dieser Zeilen sei es gestattet, auf seine eigene, für das nicht spezialisierte Publikum gedachte, mittelkurze kritische Zusammenfassung des Themas hinzuweisen (BÖHM, 2008a, 260 Seiten) oder auf zwei kürzere Beiträge (BÖHM, 2008b, BÖHM, 2009b), aus denen Teile auch in den vorliegenden Aufsatz hinein verarbeitet worden sind.

Regional gibt es natürlich Abweichungen vom globalen Trend von +1 °C und wie man in Abb. 4 und 5 erkennt, gehört der Großraum Alpen zu den Regionen, in denen die Erwärmung deutlich stärker ausgefallen ist – etwa doppelt so stark. Die beiden Abbildungen zeigen die regionalen Mittel über alle mehr als 100 Temperaturreihen des GAR, also von Marseille bis Budapest, von Sarajewo bis Straßburg, von Perugia und Florenz bis hinauf zu den Gipfelobservatorien in 2500 bis 3500 m Höhe auf dem Säntis, dem Jungfrauoch, der Zugspitze, dem Sonnblick, Dobratsch und Bjelašnica. Die Mittelung über alle Reihen ist sinnvoll, da die Langzeitvariationen und Trends überall in der Region hochgradig ähnlich verlaufen (AUER et al, 2007). Auf dem Sonnblick in 3100 m Seehöhe zum Beispiel hat sich die Atmosphäre seit dem Ende des 19. Jahrhunderts exakt um dieselben 2 °C erwärmt, wie in Mailand, München oder Wien – es gab keine Trendunterschiede, weder in der Horizontalen noch in der Vertikalen.

Die Erwärmung erfolgte jedoch nicht stetig, sondern sie war von kürzer dauernden (10 bis 30-jährigen) Zwischenmaxima und -minima überlagert, und diese waren jahreszeitlich durchaus unterschiedlich, wie wir in Abb. 4 sehen. So gab es etwa in den 1890er Jahren besonders

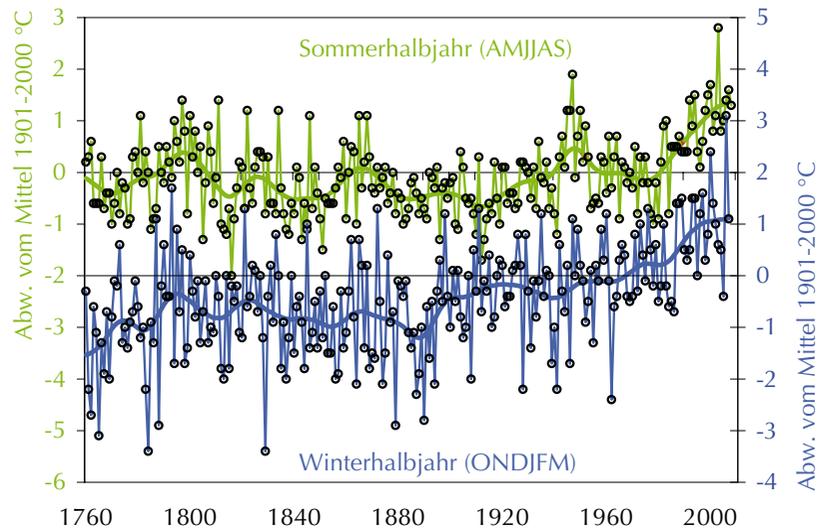


Abb. 4: Mittel 1760–2007 bzw. 1760/61–2007/08 aller mehr als 100 Temperaturreihen des Großraums Alpen. Grün: Sommerhalbjahr (April–September), blau: Winterhalbjahr (Oktober–März). Alle Reihen sind Abweichungen vom Mittel des 20. Jahrhunderts, gezeigt sind Einzeljahre und ein geglätteter Verlauf (30-jähriger Gauß'scher Tiefpassfilter)

Fig. 4. GAR mean temperature-series of the summer and winter half-years 1760-2007 (1760/61-2007/08). All series are deviations from the mean of the 20th century, smoothing through a Gaussian 30-years low pass filter.

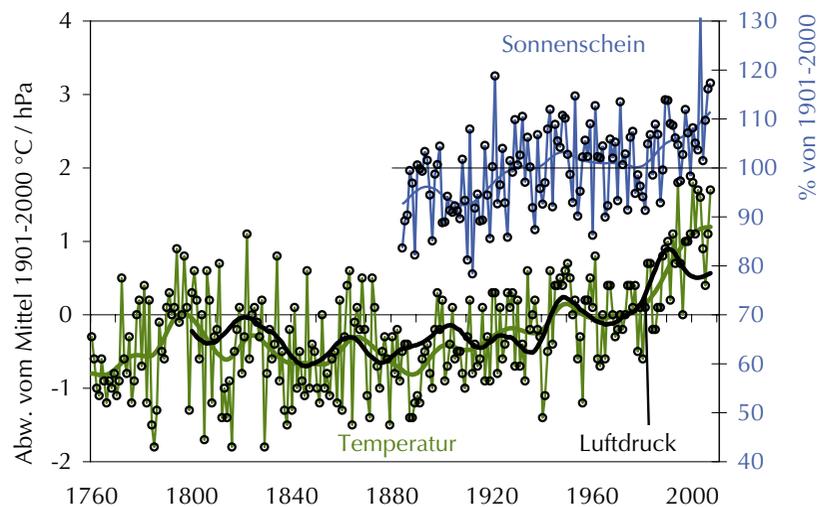


Abb. 5: Jahresmittelreihen von drei eng gekoppelten Klimaelementen im Großraum Alpen. Grün: Lufttemperatur (Mittel aller Tieflandstationen, Einzeljahre und 30-jährig geglättet), schwarz: Luftdruck (Mittel aller Tieflandstationen, nur die geglättete Kurve gezeigt), blau: hochalpines Mittel der Sonnenscheindauer (Einzeljahre und 30-jährig geglättet)

Fig. 5. Annual series of three closely linked climate parameters in the greater alpine region. Green: air temperature (mean of all low elevation series, single years and smoothed). Black: air pressure (mean of all low elevation series, smoothed). Blue: sunshine totals (mean of all high elevation sites, single years and smoothed). All series are deviations from the mean of the 20th century, smoothing through a Gaussian 30-years low pass filter.

strenge Winter, in den 1910er Jahren besonders milde, die aber durch kühle Sommer konterkariert waren (was sich in markanten Gletschervorstößen äußerte, die z. B. in BÖHM et al., 2007 ausführlich beschrieben sind). Um 1950 waren die Sommer besonders heiß, die Winter wenig auffällig und ganz selten verliefen die beiden Jahreszeiten synchron, wie gerade in den letzten beiden Jahrzehnten, was nun zu einer besonders starken Erwärmung auch des Gesamtjahres beiträgt (die grüne Kurve in Abb. 5). Diese Abbildung liefert auch die einfache Erklärung für die im Alpenraum stärkere Erwärmung im Vergleich zum globalen Mittel (hier nicht gezeigt, vergleiche z. B. JONES et al., 1999 oder IPCC-2007). Im Wesentlichen liegt der Grund in einer durch das gesamte 20. Jahrhundert hindurch anhaltenden Nordwärtsverlagerung des subtropischen Hochdruckgürtels, die wir

in der schwarzen, geglätteten Luftdruckkurve der Abb. 5 verfolgen können. Dieser Luftdruckanstieg wiederum hat für mehr Schönwetter im Alpenraum gesorgt, was sehr gut in der roten Sonnenscheinkurve der hochalpinen Observatorien zu sehen ist. Die beinahe parallel verlaufenden drei Kurven unterstreichen diesen einfachen Mechanismus, der auch der genaueren Analyse mit Hilfe von komplizierteren Überlegungen und Methoden standhält (AUER et al., 2007, EFTHYMIADIS et al., 2007).

Damit sind die wesentlichen Grundtatsachen des Klimawandels in unserer Region abgesteckt. Es ist auch und besonders im Alpenraum tatsächlich wärmer geworden, allerdings mit jahreszeitlichen Unterschieden und eingelagerten relativen Zwischenmaxima und -minima. Die Erwärmung betrug im Alpenraum seit dem 19. Jahrhundert rund $+2\text{ °C}$ und wir kennen den Grund, warum sich gerade unsere Region gegenüber dem „globalen Hintergrundsignal“ von rund $+1\text{ °C}$ besonders stark erwärmt hat. Uns wird in der Folge speziell interessieren, wie der Klimaparameter Niederschlag auf diese Erwärmung reagiert hat. Auch das kann mit den HISTALP-Zeitreihen untersucht werden, deren im Fall des Niederschlages 192 Einzelreihen zum Teil bis zum Jahr 1800 zurückreichen.

3. Die Reaktion des regionalen Niederschlages auf die Erwärmung

Einer der am besten gesicherten Fakten bezüglich dessen, wie der Niederschlag auf eine Erwärmung reagieren muss, ist der, dass wärmere Luft mehr Wasserdampf in sich aufnehmen kann als kältere – und zwar bedeutend mehr. Sind es bei 0 °C in Meeresebene nur schwach 5 Gramm Wasserdampf, die ein Kubikmeter Luft aufnehmen und halten kann, sind es bei $+10\text{ °C}$ bereits doppelt so viel und bei $+30\text{ °C}$ sogar rund 30g/m^3 . Da auf

den Ozeanflächen immer genug Wasser zum Verdunsten vorhanden ist, steht im globalen Mittel zu erwarten, dass mehr Wasser in die wärmere Luft hinein verdunstet und dadurch insgesamt auch mehr Niederschlag fällt – der Wasserkreislauf wird im globalen Maßstab angekurbelt. Wohin jedoch diese zusätzlichen Wassermassen transportiert und schließlich als Niederschlag wieder abgesetzt werden, ist weniger klar. Die klimatologische Erfahrung lehrt uns, dass das regional hochgradig unterschiedlich erfolgt und auch in Zukunft erfolgen wird.

Man kann das bereits in unserem, im globalen Maßstab sehr kleinen, Großraum Alpen erkennen. Im Gegensatz zu den in der gesamten Region identischen dekaden- und säkularen Trends und Variationen der Temperatur gibt es im Alpenraum unterschiedliche, in mancher Hinsicht sogar langfristig gegenläufige Niederschlagsentwicklungen. Abb. 6 zeigt das besonders deutlich im Fall der beiden gegensätzlichen Regionen Nordwest und Südost. 120 Jahre hindurch (von 1860 bis 1980) nahm der Niederschlag im Nordwesten des Alpenraums zu, während er im Südosten die gesamten beiden Jahrhunderte der instrumentellen Periode hindurch abnahm. Offenbar wirkt der in der Westwindzone des globalen Zirkulationssystems gelegene Alpenbogen beim Klimatelement Niederschlag als markante Trennungslinie sogar für Langfristtrends. Im Fall der beiden anderen Subregionen Nordost und Südwest ist das weniger auffällig. Zwar herrscht auch im Südwesten langfristig ein abnehmender Trend, im kontinentalen Nordosten jedoch ist keine Niederschlagszunahme zu erkennen. Es gibt allerdings auch Gemeinsamkeiten in der gesamten Region, wie etwa die feuchte erste Hälfte des 19. Jahrhunderts, die mit zu den starken Gletschervorstößen dieser Zeitspanne beitrug (VINCENT et al., 2005, SCHÖNER und BÖHM, 2007). Gefolgt wurde dieser Zeitraum von einer der tro-

ckensten Phasen der beiden letzten Jahrhunderte, den 1860ern. Diese waren besonders im Norden des Alpenraums extrem und wurden hier seither nicht mehr unterboten. Als herausragende Auswirkung dieser Trockenphase war damals etwa der Neusiedlersee einige Jahre hindurch völlig ausgetrocknet. Eine Analyse der Bodenfeuchte auf der Basis von HISTALP-Daten (van der SCHRIER et al, 2007) weist allerdings darauf hin, dass auch im Nordosten des Alpenraums mittlerweile wieder ähnliche Bodenfeuchteverhältnisse herrschen wie in den 1860ern, nur diesmal nicht wegen zuwenig Niederschlag, sondern infolge des nun höheren Temperaturniveaus mit entsprechend stärkeren Verdunstungsverlusten.

sogar zwischen weniger als 60% und mehr als 140%. Diese markanten Unterschiede zwischen Kurzfristvariabilität und Langfristrends sollte man immer im Gedächtnis haben, um nicht in den in den Medien so beliebten Fehler zu verfallen, von einem extremen Jahr gleich auf langfristige Veränderungen zu schließen. Das was uns im Hinblick auf den Klimawandel interessiert, sind die Langfristrends, also die dicken geglätteten Kurven in den dargestellten Zeitreihen. Die Bandbreite der extremen Ausschläge nach unten und oben hat sich in den 200 bis 250 Jahren der instrumentellen Periode offenbar kaum geändert, wie ein Blick auf sämtliche Abbildungen dieses Beitrages zeigt, und wie auch diesbezügliche, gerade in Arbeit

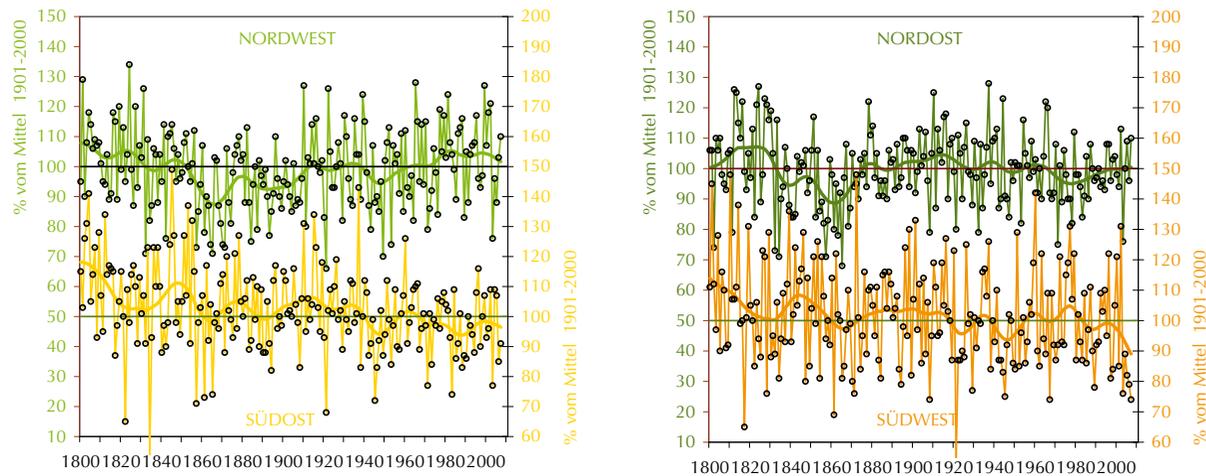


Abb. 6: Regionale Jahressummenreihen 1800–2007 des Niederschlages im Großraum Alpen. Links: CRS-Nordwest (grün) und CRS-Südost (gelb), rechts: CRS-Nordost (grün) und CRS-Südwest (orange). Einzeljahre und 30-jährig geglätteter Verlauf (Gauß'scher Tiefpassfilter), Relativwerte (in Prozent des Mittels des 20. Jahrhunderts)

Fig. 6. Regional annual precipitation series 1800–2007 in the greater alpine region. Left chart: CRS-Northwest (green) and CRS-Southeast (yellow), right chart: CRS-Northeast (green) and CRS-Southwest (orange). Single years and 30-years smoothed (Gaussian low pass), anomalies in percent of 20th century means.

Generell sollte man gerade bei den Niederschlagszeitreihen auch die quantitative Komponente der Langfristrends bedenken. Die Schwankungen der geglätteten Kurven bewegen sich durchwegs in einer relativ schmalen Bandbreite von plus/minus 10%, während extreme Einzeljahre nördlich der Alpen zwischen 70% und 130% des langjährigen Mittels pendeln, im mediterranen Bereich

befindliche genauere Analysen unserer Arbeitsgruppe nachweisen. Das Klima ist, zumindest im Großraum Alpen, nicht variabler geworden oder „verrückter“, wie es uns immer wieder in den Medien vorgegaukelt wird. Insgesamt war das 19. Jahrhundert sogar variabler, als das 20. Für den seriösen statistischen Nachweis dieser vielleicht überraschenden Tatsache fehlt hier der Platz, in

Kapitel 4.2 von BÖHM, 2008a ist eine längere Diskussion zum Thema enthalten, an einer wissenschaftlichen Fachpublikation darüber wird wie gesagt gerade gearbeitet.

Tab. 1 bringt ein bereits abgesichertes Teilresultat, die oben angesprochenen Veränderungen der saisonalen und interannuellen Klimavariabilität vom 19. zu 20. Jahrhundert. Die beiden CRSs Südwest und Südost wurden dabei zu einer Region S zusammengefasst, die etwa gleichviel Langzeitreihen wie die beiden Subregionen nördlich des Alpenhauptkamms enthält. Der Befund bei der Temperatur ist eindeutig. In allen Jahreszeiten und allen Subregionen war das Klima des 20. Jahrhunderts ruhiger als das des 19. Die Variabilität hat um typische Beträge zwischen 10 und 20% abgenommen, mit Spitzenwerten bis zu schwach 30%. Wie zu erwarten, ist das Bild beim Niederschlag weniger einheitlich, aber auch hier überwiegt die Abnahme der Variabilität. Nur in der Region Nordwest (NW), also einer Region mit genereller Niederschlagszunahme, gab es auch Zunahmen bei der Jahresvariabilität sowie im Sommer, Herbst und Winter. Im Nordosten, also im größten Teil Österreichs, hat sich die Niederschlagsvariabilität nicht signifikant verändert, wenn überhaupt, überwiegt auch hier eine schwache Abnahme. Ähnlich ist das Bild im mediterranen Teil des Großraums Alpen: Schwach abnehmende Variabilität des Niederschlages, die aber nur im Frühling signifikant ist.

Da das Missverhältnis zwischen Kurzfristvariabilität und Langzeitentwicklungen bei den Jahreszeiten noch stärker ist als bei den Jahressummen des Niederschlages, sind bei den saisonalen Zeitreihen der Abb. 7 nur die geglätteten Kurven dargestellt. Wie schon bei der Temperatur verlaufen die Trends und Schwankungen des Niederschlages für das Winter- und das Sommerhalbjahr durchaus nicht immer parallel. Einer der physikalischen Gründe dafür ist die Tatsache, dass in unserer Region das Sommerklima eher „hausgemacht“ ist, also vor Ort entsteht, während das Winterklima viel mehr durch das in der kalten Jahreszeit bei uns viel stärkere Westwindband „importiert“ wird (EFTHYMIADIS et al., 2007). Wie schon bei den Jahressummen, ist auch bei den Halbjahrestrends die Region Nordost seit 150 Jahren (seit dem Ende der trockenen 1860er) diejenige mit den geringsten Pendelungen und Trends und das im Sommer wie im Winter. Das ist nicht zuletzt deshalb interessant, da der größte Teil Österreichs in der Klimaregion GAR-Nordost liegt. Der fallende Langfristtrend der Region Südost hingegen zeigt stärkere jahreszeitliche Unterschiede mit kaum fallenden Sommer-, aber stärker zurückgehenden Winterniederschlägen. Spiegelbildlich dazu verläuft die saisonale Langzeitentwicklung in der Region Nordwest (in Österreich Tirol und Vorarlberg). Wieder sind es die Niederschläge der kalten Jahreszeit, die den größeren Teil des Jahrestrends verursachen, nur eben in dieser Region

	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	%

Tab. 1. Prozentuelle Änderungen (Grundwert 19. Jahrhundert) der Klimavariabilität (90%-Interquantilbereich der trendbereinigten Einzelwerte) vom 19. zum 20. Jahrhundert auf Jahreszeiten- und Jahresbasis in drei Subregionen des Großraums Alpen für die Klimaelemente Temperatur und Niederschlag
Quelle: Long Series Subset (LSS) von 32 HISTALP Langzeitreihen, die zwischen 1760 und 1840 beginnen

Tab. 1. Relative changes (in respect to the 19th century mean) of annual and seasonal climate variability (90% interquantile range of the detrended values) from 19th to 20th century in three subregions of the GAR in respect to the two climate elements temperature and precipitation.
Source: Long Series Subset (LSS) of 32 HISTALP longterm series, starting between 1760 and 1840

in Form einer Zunahme von rund 20% unternormalem Winterniederschlag Mitte des 19. Jahrhunderts auf gut +10% übernormalem in den 1980ern und 1990ern. Die Sommer haben sich auch hier langfristig kaum geändert, der leichte Anstieg ist nicht signifikant, wenn man ihn in statistische Relation zu den (hier nicht gezeigten) Kurzfristschwankungen setzt, die in unseren Zeitreihendiagrammen den Rahmen sowohl nach unten als auch nach oben bei weitem sprengen würden.

Wie wir noch sehen werden, entsprechen die gezeigten Langfristtrends der Vergangenheit, auch in ihren jahreszeitlichen Ausformungen, in etwa dem, was regionale Klimamodelle unserer Region für die kommenden 100 Jahre prognostizieren.

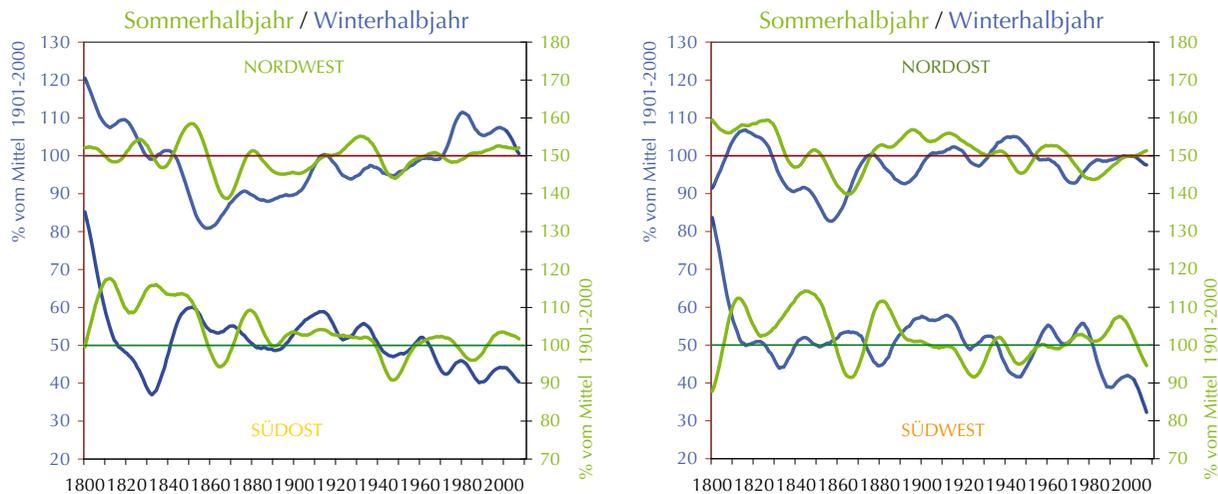


Abb. 7: Geglättete regionale saisonale Reihen 1800–2007 (1800/01–2007/08) des Niederschlages in den Subregionen Nordwest und Südost (links) bzw. Nordost und Südwest (rechts). Grün: Sommerhalbjahr (Apr.—Sept.), blau: Winterhalbjahr (Okt.-März). 30-jährig geglätteter Verlauf (Gauß'scher Tiefpassfilter), Relativwerte (in Prozent des Mittels des 20. Jahrhunderts)

Fig. 7. Smoothed seasonal precipitation series 1800–2007 (1800/01–2007/08) in the subregions Northwest and Southeast (left chart) and Northeast and Southwest (right chart). 30-years smoothed (Gaussian low pass), anomalies in percent of 20th century means.

Wie schon erwähnt, kann die sehr komplizierte Frage nach den Extremwerten in einem kurzen Überblicksartikel wie diesem seriös und erschöpfend nicht abgehandelt werden und darüber hinaus ist auch noch kein abschließender wissenschaftlicher Befund darüber vorhanden. Eine Tatsache schält sich in den laufenden Untersu-

chungen unserer Gruppe jedoch immer deutlicher heraus: Es scheint, zumindest in Österreich, ein überraschend enger Zusammenhang zu bestehen zwischen den Langfristentwicklungen von Monats-, Jahreszeiten- oder Jahressummen des Niederschlages und den kurzfristigen Extremwerten (Starkregen bzw. Trockenperioden). Somit kommt bis auf weiteres als „state of the art“ der simplen Faustregel begründete Bedeutung zu, dass in Gebieten (etwa im Westen Österreichs) mit steigendem Niederschlagstrend auch mit häufigeren Starkregen und weniger Trockenperioden zu rechnen ist, in Gegenden (wie etwa dem Südosten) mit fallendem Niederschlagstrend mit weniger Starkregen und häufigeren Trockenperioden. Dies erscheint auf den ersten Blick trivial, widerspricht

aber dem, was sich in der öffentlichen Rezeption des Klimawandels als anscheinend unverrückbares Dogma des Klimawandels eingebrannt hat, nämlich dass die Extremwerte nach beiden Seiten stärker werden, unabhängig vom generellen Trend. Dafür zumindest gibt es für unsere Region keine wissenschaftlichen Belege.

Die „Extremes of Extremes“ allerdings, also ganz starke Ausreißer, die etwa zu schweren und großräumigen Überschwemmungen führen, sind per Definition eben so selten, dass sie sich einer seriösen statistischen Analyse mit unseren dazu viel zu kurzen Zeitreihen widersetzen. Wer sich je mit den in den extremen Randbereichen schon sehr flachen Gumbel- oder anderen Extremwertverteilungen quantitativ auseinandergesetzt hat, weiß, wie nahe beisammen hier 50-jährige mit 500-jährigen Ereignissen liegen, und das vor allem im Vergleich zum Unsicherheitsbereich, wenn eben bei weitem keine 500-jährigen Messreihen vorliegen. Mehr Zurückhaltung mit marktschreierischen diesbezüglichen Veröffentlichungen wäre am Platz. Derartige Ereignisse treten eben manchmal auf, und zwar in diesem Fall ohne ersichtlichen Zusammenhang mit „langfristigen“ Entwicklungen unserer dazu doch zu „kurzen“ Zeitreihen. Einige abschließenden August-Zeitreihen des Niederschlages im Bereich des schweren Hochwassers des Jahres 2002 mögen das unterstreichen. Wie Abb. 8 zeigt, war das Ereignis

sogar in den Monatssummen eines, das in Freistadt doppelt so hoch wie alles bisher Vergleichbare lag, auch in Linz noch ein herausragendes Maximum darstellte, in Kremsmünster noch ein Maximum „im Rahmen“ war und bis zur längsten verfügbaren HISTALP-Reihe in Regensburg schon zu einem Wert innerhalb der langfristigen Bandbreite abgeklungen war.

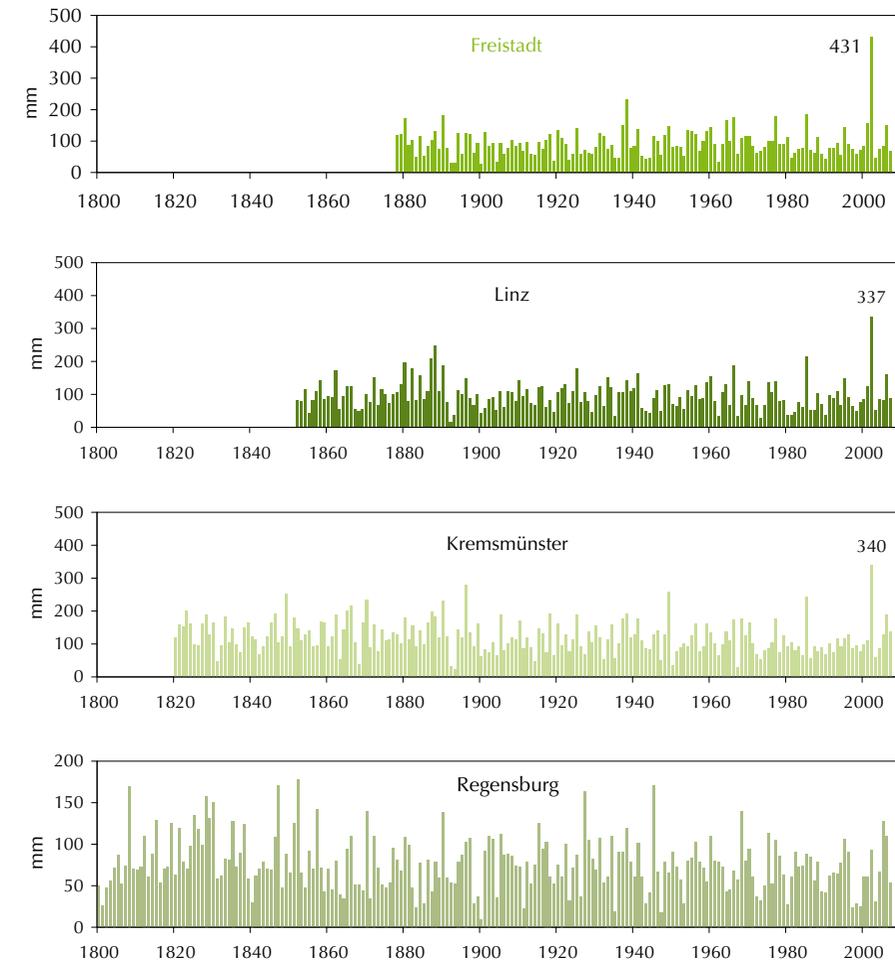


Abb. 8: Das Hochwasserereignis des August 2002 im Spiegel langjähriger Zeitreihen der August-Monatssummen des Niederschlages aus der HISTALP-Datenbank der ZAMG

Fig. 8. The severe flooding event of August 2002 reflected by longterm HISTALP-series of monthly August-totals of precipitation.

4. Ein kurzer Blick in die Zukunft

Die bisherigen Abschnitte haben den Rahmen dessen abgesteckt, was das größtenteils natürliche Klima der letzten beiden Jahrhunderte an Variationen und Trends im Großraum Alpen geboten hat. Es wurde darauf hingewiesen, dass der Niederschlag zu den räumlich und zeitlich variabelsten Klimaelementen gehört, und dass das in noch stärkerem Maß für die extremen Ausformungen dieses Klimaelements gilt, die in diesem Band wohl im Zentrum des Interesses stehen. Wieder um einen Gutteil „weicher“ werden die Fakten, die uns für die Erwartungen über das künftige Niederschlagsklima des 21. Jahrhunderts und speziell für die Entwicklungen, die für die extremen Starkniederschläge zur Verfügung stehen.

Wieder würde es den Rahmen sprengen, rational nachvollziehbar und sauber argumentiert zu beschreiben, wie man überhaupt einen Blick in die Zukunft werfen kann. Dazu muss auf die Literatur verwiesen werden, wie den IPCC-Report und die bereits erwähnten erklärenden Zusammenfassungen. Hier nur soviel:

Die naturwissenschaftliche Basis für Klima-„Prognosen“ bilden Rechensimulationen auf Großrechenanlagen, die eine Reihe von physikalischen Zusammenhängen, die für die Vorgänge in der Atmosphäre von Bedeutung sind, an einem regelmäßigen Gitternetz integrieren (auflösen). Typische horizontale Gitterdistanzen globaler Simulationen sind rund 100 km, in der Vertikalen sind 30–40 Schichten aufgelöst, und gerechnet wird in auf das räumliche Gitter abgestimmten Zeitschritten von Bruchteilen einer Stunde. Parallel zu diesem virtuellen Wetter in der Atmosphäre läuft ein Ozeanmodell, was in der Wettervorhersage für wenige Tage nicht notwendig ist. Im Unterschied zur Wettervorhersage, die von einem bekannten Ausgangspunkt zu rechnen beginnt (der durch ein weltumspannendes Wettermess-

netz geliefert wird), muss die Rechnung im „Klimamode“ zunächst einmal Jahre bis Jahrzehnte an virtuellem Wetter produzieren, das dann im Idealfall (wenn das Klimamodell brauchbar ist) der Statistik des tatsächlichen Klimas entspricht. Erst dann beginnt die Simulation des künftigen Klimas, und zwar damit, dass etwa die Klimaantriebe durch zusätzliche Treibhausgase langsam gesteigert werden. Man nennt das dann „Treibhausgasexperiment A1B“, A2 oder bezeichnet es mit anderen Kürzeln, die sich auf sogenannte „Emissionsszenarien“ beziehen, die das *Intergovernmental Panel of Climatic Change* (IPCC) für den Zeitraum des 21. Jahrhunderts erarbeiten hat lassen (NAKICENOVIC and SWART, 2000). Die mehr als 30 Emissionsszenarien wiederum beruhen auf Annahmen über verschiedene „Zukunftswelten“, die unterschiedlichen Entwicklungen der Zahl der Erdbevölkerung, deren Technologien, deren politische Ansichten, deren Wirtschaftsweise, Ernährungsgewohnheiten, Mobilität und was sonst noch alles auf die Kernfrage Einfluss hat, nämlich wie viel und vor allem in welcher Geschwindigkeit wir künftig die in Jahrillionen der fernen Vergangenheit aus Sonnenlicht gebildeten und in unterirdischen Lagern gespeicherten fossilen Kohlenstofflager ans Tageslicht fördern und zu CO₂ verbrennen werden, welche Mengen des Treibhausgases Methan wir etwa beim Reisanbau in die Atmosphäre emittieren, wie viel Lachgas (N₂O) bei der Düngung der Felder entsteht und einiges anderes mehr.

Man kann sich gut vorstellen, wie breit das Spektrum dessen ist, was die Zukunft klimamäßig für uns bereithält. Es kann somit keineswegs von „Klimaprognosen“ gesprochen werden, sondern eben von verschiedenen Szenarien, deren Unsicherheit zu einem Gutteil von nicht-physikalisch-mathematischen Modellen stammt, obwohl auch an diesen, den eigentlichen „Klimamodellen“, noch viel gearbeitet werden muss. Sie sind

generell schon brauchbar für kontinentale bis globale Effekte vor allem des thermischen Bereichs, also etwa für den erwarteten langfristigen Verlauf der globalen Mitteltemperatur. Weniger erfolgreich sind sie in der Simulation kleinräumiger und kurzfristiger Effekte vor allem des Wasserkreislaufs. Kaum bis gar keine Resultate liefern sie typischerweise für Extremereignisse konvektiver Niederschläge (also die kurzfristigen Starkregen, Gewitter, Tornados, ja selbst Hurricanes sind noch kaum in der Modellphysik enthalten).

Man kann aber immerhin vergleichend nachprüfen, wie sich unterschiedliche politisch-wirtschaftliche Zukunftspfade unserer globalen Zivilisation auf den Verlauf einiger Klimaparameter auswirken können. Man „füttert“ dazu ein AOGCM (Atmosphäre Ocean General Circulation Model) zunächst mit den Klimaantrieben eines der verschiedenen Treibhausgas-Emissionsszenarien, lässt es nach der erwähnten „Auswärmphase“ typischerweise 100 Jahre virtuelles Wetter rechnen und wiederholt dann den Vorgang ohne die „anthropogenen Zusatzantriebe“. Die Differenz beschreibt den menschlichen Einfluss auf das Klima der Zukunft.

Da AOGCMs enorm viel Rechenzeit verbrauchen, sind einer Verfeinerung des räumlichen Netzes und einer Verkürzung der Zeitschritte noch Grenzen gesteckt. Gerade in einem Gebiet wie Österreich mit seiner komplizierten Orographie sind die Ergebnisse von globalen Modellläufen wenig interessant. Es gibt aber im Wesentlichen zwei Methoden, wie man doch aus den globalen Modellergebnissen feinere regionale oder auch lokale Aussagen gewinnen kann. Die eine, das „statistische Downscaling“, verwendet statistisch ähnliche Fälle aus der Vergangenheit mit solchen im virtuellen großräumigen Klima der Simulation, um daraus ein feinmaschigeres Zukunftsklima für ein kleines Gebiet abzuleiten. Die andere, das „dynamische Downscaling“, setzt ein (oder meh-

rere ineinander verschachtelte) feinmaschiges regionales bis lokales Klimamodell in den Rahmen der Ergebnisse eines AOGCMs und berechnet für das kleine Gebiet die regionalen bis lokalen Modifikationen innerhalb z. B. einer Gitterzelle des AOGCM. Beide Methoden haben Vor- und Nachteile. Das statistische Downscaling kann besser auf die tatsächliche Geländesituation eingehen, im Alpenraum ein großer Vorteil, den das dynamische Downscaling (noch) nicht bieten kann. Dafür ist die Physik im dynamischen Modell stimmig, das heißt die einzelnen Klimaparameter haben zueinander die von den Naturgesetzen her geforderte Relation.

Für Österreich (den Alpenraum) liegen zurzeit einige wenige Downscalings vor, und zwar für jeweils meist nur ein AOGCM-Experiment, meist mit dem von IPCC als „Leitszenario“ verwendeten A1B-Emissionsszenario. Es kam dabei zu recht unterschiedlichen Ergebnissen, die eines deutlich machen, nämlich den weiteren Forschungsbedarf, speziell wenn es ins Lokale und Kurzfristige geht. Aus diesem Grund muss den zum Abschluss hier angeführten Erwartungen an das Zukunftsklima ein vorläufiger Status zugemessen werden, mit den oben beschriebenen Unsicherheiten. Die Erwartungen wurden daher in „härtere“ und „weichere“ unterteilt. Sie beruhen auf einer Auswahl aus IPCC-2007, die für den Begleitband der österreichischen Wasserwirtschaftstagung 2008 getroffen wurde (BÖHM, 2008b), und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, vor allem weil kritisch sehr unsichere oder widersprüchliche Ergebnisse ausgeklammert wurden.

4.1 Kurzzusammenfassung der Zukunftserwartungen für Mitteleuropa

Im regionalen Maßstab Mitteleuropas macht sich bereits bei allen Klimaelementen die bekannte Dominanz der hochfrequenten Klimavariabili-

tät über den langfristigen Klimatrend bemerkbar. Das bewirkt, dass die folgenden langfristigen Aussichten noch längere Zeit durch das kurzfristige „Rauschen“ der Schwankungen von Jahr zu Jahr „maskiert“ sein werden.

Besser belegte Aussichten bis 2100:

- Anhaltender Temperaturanstieg um 3 °C (A1B-Szenario), stärker im Sommer im mediterranen Bereich, im Winter im nordöstlichen Bereich der Region. Das ist mehr als der in den letzten 150 Jahren beobachtete Temperaturanstieg in der Region um rund 2 °C. Szenarienvariabilität etwa +1 °C (B1 +2°, A1 +4° und mehr).
- Zunahme aller Arten von positiven Temperaturextremwerten (heiße Tage, absolute Maxima, etc.) bei etwa analoger Abnahme der negativen Temperaturextremwerte (Frost, absolute Minima etc.)
- Kaum Änderungen der Wind- und Sturmtätigkeit (das gilt nur für Mitteleuropa, in anderen Teilen Europas herrscht Uneinigkeit unter den Modellen). Die Erwartung der Nichtzunahme der Sturmtätigkeit in der Zukunft deckt sich mit dem Datenbefund der vergangenen 130 Jahre (MATULLA et al., 2007)
- Anhaltender Rückgang des Anteils der festen Komponente des Niederschlages
- Bodenfeuchte zunehmend beeinflusst von der Temperatur (Verdunstung) und weniger vom Niederschlagsangebot
- Weiterer Gletscherrückgang der aktiven Alpengletscherfläche auf 40 bis 50% (von 1980) bis 2050, auf 15 bis 20% bis 2100

Schlechter belegte Aussichten bis 2100:

- Tendenziell eher Niederschlagszunahme nördlich der Alpen, Abnahme südlich der Alpen, die Grenze zwischen Zu- und Abnahme weiter im Süden im Winter, weiter im Norden im Sommer. Die Größenordnung der Änderungen

liegt in Mitteleuropa im Bereich -5 bis +10% im Winter, bei -5 bis -20% im Sommer. Das ist etwas mehr als das, was wir aus den gemessenen regionalen Langfristtrends der letzten 200 Jahre kennen, die 10%/100 Jahre nicht übertroffen haben.

- Zunahme der sommerlichen stabilen Schönwetterlagen durch weitere Nordostwärts-Verlagerung des Subtropenhochs (laut MPI-Modellen, Hadley-Modelle zeigen das nicht)

Kaum belegte Aussichten:

- Änderung der konvektiven Niederschläge, Gewitter, Hagel, Tornados, also der meisten kleinräumigen Extremausformungen des Klimas, die schlecht bis zum Teil gar nicht in der Modellphysik der großräumigen Modelle enthalten sind, und beim Downscaling Schwierigkeiten machen. Mehr dazu in IPCC-2007, Chapt.8
- Vorsicht gerade bei den Extremwerten vor interessensgesteuerten Meinungen (exemplarisch dargestellt in PIELKE jr. et al., 2008)

4.2 Kurzzusammenfassung der Zukunftserwartungen für Österreich:

Besser belegte Aussichten bis 2100:

- Anhaltender Temperaturanstieg um 3-3,5 °C (A1B-Szenario), regional im Winter im Westen 3°, im Osten 3,5°, im Sommer im Norden 3,3°, im Süden 3,8° Szenarienvariabilität etwa +1 °C (B1 +2°, A1 +4° und mehr).
- Gletscher: stärkerer Rückgang als im Alpen-durchschnitt: bis 2100 nur noch rund 10% der aktiven Gletscherflächen von 1980
- Alles andere wie für Mitteleuropa beschrieben

Schlechter belegte Aussichten:

- Tendenziell dieselbe subregionale Differenzierung beim Niederschlag wie oben für Mitteleuropa angegeben, nur mit engeren Bereichen

der Zahlenwerte: +5 bis +10% im Winter, -7 bis -12% im Sommer. Diese saisonale Aufgliederung lässt eine Dämpfung des in Österreich üblichen Jahresganges des Niederschlages um 10 bis 20% erwarten (geringeres Sommermaximum, höheres Winterminimum). Die Messbefunde der Vergangenheit lassen einen relativ scharfen Übergang von der Nord- zur Südcharakteristik am Alpenhauptkamm erwarten. Im Wesentlichen wird eine Fortsetzung der aus den letzten 150 Jahren gegebenen Niederschlagstrendmuster erwartet (siehe vorigen Abschnitt)

Kaum belegte Aussichten:

- Gleiche Aussage wie für Mitteleuropa.
- Im Einzelfall können, sozusagen in „Handarbeit“, vertrauenswürdige lokale Abschätzungen unternommen werden, wie zum Beispiel eine (flächendeckend noch nicht vorhandene) indirekte Quantifizierung der künftigen Entwicklung des Prozentanteils des Schnees am Gesamtniederschlag für die Hohe Tauern: (interne Unterlage des ZAMG-Projekts „A tale of two valleys):
- Abnahme vom Mittel des 20. Jahrhunderts bis zum Ende des 21. Jahrhunderts (A1B):
- In 1000 m Seehöhe: im Winter von 80% auf 58%, im Frühling von 38% auf 16%, im Sommer gleich bleibend bei 0%, im Herbst von 29% auf 6%
- In 2000 m Seehöhe: im Winter von 90% auf 70%, im Frühling von 86% auf 66%, im Sommer von 17% auf 5%, im Herbst von 59% auf 18%
- In 3000 m Seehöhe: im Winter von 99% auf 97%, im Frühling von 99% auf 97%, im Sommer von 64% auf 34%, im Herbst von 99% auf 94%

Nachsatz

Es wird vielleicht so mancher enttäuscht sein ob der relativen Dürftigkeit des Resumees der Zukunftsaussichten, vor allem im Hinblick auf die für die Gemeinde der Wildbach- und Lawinenverbauer interessanten Dinge. Hier sind ja präzise und quantitative Abschätzungen der Statistik von extremen Ereignissen gefordert. Und gerade die wurden nicht geboten, ja es wurde sogar vor evtl. bereits gehörten diesbezüglichen „Vorhersagen“ gewarnt, da ihnen die seriöse Basis (zurzeit noch) fehle. Vielleicht kann ein Quäntchen Zuversicht aus dem „zurzeit noch“ geschöpft werden, denn ein gewisser Anteil an präziseren Abschätzungen der kleinräumigen Klimazukunft ist schon möglich. Es gehört jedoch zu den rational nicht leicht verständlichen bedauernswerten Tatsachen unserer so stark in der öffentlichen Aufmerksamkeit stehenden Wissenschaft vom Klimawandel, dass unter den gegebenen Mechanismen und Prämissen der Forschungspolitik die peppigeren und leichter an die Öffentlichkeit transportierbaren Vorhaben eher gefördert werden als die weniger spektakuläre Basisarbeit, die dann „lediglich“ in ingenieurmäßiger Kleinarbeit etwa Einzugsgebiet für Einzugsgebiet vielleicht für drei verschiedene politisch-ökonomische Szenarien die für die Zukunft zu erwartenden neuen Statistiken über Eintrittswahrscheinlichkeiten von Starkregen, Abflüssen und ähnliche für die Öffentlichkeit und für die politischen Entscheidungsträger wenig „Sexappeal“ habende trockene Zahlenansammlungen brächten. Das könnte, bei entsprechender Konzentration auf das Wesentliche, jetzt schon getan werden, müsste lediglich von Zeit zu Zeit dem „State of the Art“ der Klima-Modellierkunst angepasst werden, der sich ja nach wie vor in rasanter Entwicklung befindet. Alles, was von denen gebraucht wird, die die Anpassung („adaptation“) unserer Gesellschaft an das immer schon von Zeit

zu Zeit „wild“ gewesene Klima auf ihre Fahnen geschrieben haben, um auch den künftigen Entwicklungen gerecht zu werden, können wir noch längere Zeit nicht bieten; einiges wäre jedoch jetzt schon möglich, unter den Prämissen, die dieser Beitrag zu vermitteln versucht hat. Das geht jedoch keinesfalls „mit links aus dem Ärmel geschüttelt“, sondern erfordert ernsthafte und langwierige Detailarbeit – Nachhaltigkeit eben, um das oft missbrauchte Schlagwort am Ende doch noch zu verwenden.

Lassen Sie es uns angehen!

Anschrift des Verfassers / Author's address:

Dr. Reinhard Böhm
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
Abteilung für Klimaforschung
Hohe Warte 38
A.-1190 Wien
reinhard.boehm@zamg.ac.at
<http://www.zamg.ac.at/forschung/klimatologie/>

Literatur / References:

- 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, 2008.
High quality climate data for the assessment of Alpine climate, its variability and change on regional scale – Collection and analysis of historical climatological data and metadata. Technical Report of WP5, Interreg-IIIb-Alpine Space Project Foralps, I/III/3.1/21, 67 pages plus 7 annexes
- 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. *International Journal of Climatology* 27: 17-46
- BATTERBEE R and BINNEY H (eds.), 2008.
Natural Climate Variability and Global Warming. Wiley-Blackwell, Chichester, Sussex, UK, 276 pages

BÖHM R, JONES PD, HIEBL J, FRANK D, BRUNETTI M, MAUGERI M, 2009a.
The early instrumental warm-bias: a solution for long central European temperature series 1760-2007. *Climatic Change*, accepted

BÖHM R, 2009b.
Klimawandel und Extremwerte – ein Zusammenhang? In: Hammerl und Kolnberger (Hg.), Naturkatastrophen. Rezeption – Bewältigung – Verarbeitung. Reihe Konzepte und Kontroversen, Studienverlag, Wien-Innsbruck, in Druck

BÖHM R, 2008a.
Heiße Luft, Reizwort Klimawandel – Fakten-Ängste-Geschäfte. VABENE, Wien-Klosterneuburg, 261 Seiten

BÖHM R, 2008b.
Harte und weiche Fakten zum Klimawandel – ein Überblick. In: Böhm R, Godina R, Nachtnel HP, Pirker O, (Red.), Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Wasserwirtschaft. Hrsg. vom BmLFUW und ÖWAV, Wien, 53-70

BÖHM R, SCHÖNER W, AUER I, HYNEK B, KROISLEITNER C, WEYSS G, 2007.
Gletscher im Klimawandel – Vom Eis der Polargebiete zum Goldbergkees in den Hohen Tauern. ZAMG-Morava, Wien, 111 Seiten

BÖHM R, (coord.) 2006:
Approved final report for EU-RTD-project ALP-IMP Multi-centennial climate variability in the Alps based on Instrumental data, Model simulations and Proxy data (EVK-CT-2002-00148). <http://www.zamg.ac.at/ALP-IMP>, access Nov 2006

EFTHYMIADIS D, JONES PD, BRIFFA K, BÖHM R, MAUGERI M, 2007.
Influence of large-scale atmospheric circulation on climate variability in the Greater Alpine Region of Europe. *Journal of Geophysical Research* 112: D12104, doi: 10.1029/2006JD008021

IPCC-2007:
Climate Change 2007 – The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 996 Seiten

JONES PD, NEW M, PARKER DE, MARTIN S and RIGOR IG, 1999:
Surface air temperature and its variations over the last 150 years. *Reviews of Geophysics* 37: 173-199

MACKAY A, BATTERBEE R, BIRKS J, OLDFIELD F (eds.), 2003.
Global Change in the Holocene. Arnold publishers, London, 528 pages

MATULLA C, SCHÖNER W, ALEXANDERSSON H, von STORCH H, WANG XL, 2007. European storminess: late nineteenth century to present. *Climate Dynamics* 29: 125-130

NAKICENOVIĆ and SWART (eds.), 2000.
Special report on emission scenarios. A special report of working group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, UK, 599 Seiten

PIELKE RA Jr, GRATZ J, LANDSEA CW, COLLINS D, SAUNDERS MA, MULLIN R, 2008.
Normalized Hurricane Damage in the United States: 1900-2005. *Natural Hazards Review* 9/1: 29-42. DOI: 10.1061/ASCE1527-6988(2008)9:1(29)

SCHÖNER W, BÖHM R. 2007.
A statistical mass balance model for reconstruction of LIA ice mass for glaciers in the European Alps. *Annals of Glaciology* 46: 161-169

van der SCHRIER G, EFTHYMIADIS D, BRIFFA KR, JONES PD, 2007. European Alpine moisture variability for 1800-2003. *International Journal of Climatology* 27: 415-427

VINCENT C, LE MEUR E, SIX D, FUNK M, 2005.
Solving the paradox of the end of the Little Ice Age in the Alps. *Geophysical Research Abstracts* 32/9



**VERTRAUEN
ALS BASIS**

IMMER MEHR KUNDEN VERTRAUEN auf die integrierten HR-Softwarelösungen und -Services von P&I und gestalten damit ihre Zukunft erfolgreicher. Davon sind mehr als 15.000 internationale Endkunden, zahlreiche Rechenzentren und führende HR-Serviceanbieter überzeugt. Der generierte Mehrwert fließt direkt in ihr Unternehmen. P&I - Basis für erfolgreiche Personalarbeit. WWW.PI-AG.COM