

Veröffentlichung



MeteoSchweiz

MeteoSuisse
MeteoSvizzera
MeteoSvizra
MeteoSwiss

Autoren

Stephan Bader
Heinz Bantle

68 Das Schweizer Klima im Trend
Temperatur- und Niederschlagsentwicklung 1864-2001

Veröffentlichung



MeteoSchweiz

Nummer: 68

ISSN: 1422-1381

Autoren

Stephan Bader
Heinz Bantle

**Das Schweizer Klima im Trend
Temperatur- und Niederschlagsentwicklung 1864-2001**

© und Herausgeber: MeteoSchweiz, 2004

Bestelladresse:

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz)
Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse)
Ufficio federale di meteorologia e climatologia (MeteoSvizzera)
Uffizi federal per meteorologia e climatologia (MeteoSvizra)
Federal Office of Meteorology and Climatology (MeteoSwiss)

MeteoSchweiz
Krähbühlstrasse 58
Postfach 514
CH-8044 Zürich

Telefon +41 1 256 91 11
Telefax +41 1 256 92 78
info@meteoschweiz.ch
www.meteoschweiz.ch

INHALT

Zusammenfassung	4
Summary	5
Einführung	7
Der lange Weg zur Klimakurve.	8
Messen allein genügt nicht.	8
Die Frage der Saisonalität	9
Das Klima sichtbar machen	11
Lange Klimareihen	12
Homogen bis weit ins 19. Jahrhundert zurück	13
Der Temperaturverlauf von 1864 bis 2001.	14
Der Temperatursprung in den 1980er Jahren	18
Temperaturtrends	18
Der massive Temperatursprung in der zweiten Jahreshälfte	22
Die Niederschlagsverlauf von 1864 bis 2001.	24
Das Änderungsmuster am Ende der 1970er Jahre	25
Regionale Niederschlagszunahme im Sommerhalbjahr	28
Niederschlagstrends.	29
Die Häufigkeit von Starkniederschlägen seit 1864.	32
Die Erfassung von Starkniederschlägen	32
Die langfristigen Tendenzen.	36
Verändertes Klima	38
Literatur	43

ZUSAMMENFASSUNG

Angesichts der globalen Klimaproblematik haben lange Klimamessreihen eine besondere Bedeutung erlangt. Vorausgesetzt, dass sie auf einwandfreiem Datenmaterial basieren, liefern lange Klimamessreihen die zuverlässigsten Informationen zum langfristigen Klimaverhalten an einem Ort. Für eine grössere Anzahl der langjährigen Temperatur- und Niederschlags-Messreihen der Schweiz ist seit kurzer Zeit bereinigtes Datenmaterial verfügbar. Deren Analyse zeigt auf, dass die klimatische Entwicklung von Winter- und Sommerhalbjahr sehr unterschiedlich verlief. Langfristig die grössten Änderungen bezüglich des Temperaturmittels und der Niederschlagssummen sind im Winterhalbjahr zu beobachten. Die Änderungen konzentrieren sich allerdings zu einem grossen Teil auf die letzten rund 20 Jahre des 20. Jahrhunderts. In der Zeit davor zeigt sowohl das Temperatur- als auch das Niederschlagsregime im Winterhalbjahr ein recht stabiles Verhalten. Die Temperatur des Sommerhalbjahres war hingegen im Laufe der gesamten Messperiode immer wieder starken Schwankungen unterworfen. Neben der starken Erwärmung während der letzten zwei Jahrzehnte fallen vor allem auch die sehr warmen Sommerhalbjahre in den 1940er Jahren auf. Die Niederschlagssumme des Sommerhalbjahres zeigt keine wesentliche langfristige Änderung. Weit aktiver als das Winterhalbjahr ist hingegen das Sommerhalbjahr bezüglich Starkniederschlägen. In den Niederungen der Alpennordseite sind seit Aufnahme der Messungen offensichtlich episodische Häufungen von Starkniederschlägen das typische klimatische Muster. Eine eindeutige langfristige Änderung in der Häufigkeit von Starkniederschlägen ist nicht auszumachen. Auf der Alpensüdseite ist weder eine spezielle langfristige Variabilität noch eine langfristige Tendenz in der Häufigkeit von Starkniederschlägen feststellbar.

Einen entscheidenden Beitrag zur gesamten klimatischen Entwicklung in der Schweiz brachte der massive Klima-Umschwung ab Ende der 1970er Jahre. Die Winter- und Sommerhalbjahre erfuhren eine schnelle, zum Teil auch sprunghafte Erwärmung. Das Niederschlagsregime reagierte mit vorübergehend plötzlich erhöhten Niederschlagsmengen im Winterhalbjahr und einer deutlich erhöhten Häufigkeit von Starkniederschlägen im Sommerhalbjahr. Ohne Zweifel durchlief die Schweiz damals einen bedeutenden klimatischen Wandel, welcher in dieser Art in der gesamten bisherigen Messperiode nie aufgetreten ist.

SUMMARY

In order to understand global climate change better, long-term climatological time series have proved extremely valuable. If they are based on homogeneous data, climatological time series supply the most reliable information on the long-term climatic behavior at a given place. For a large number of the Swiss long-term temperature and precipitation series homogenization has just been completed. The climatological analysis indicates a marked difference in the long-term climatic development of the winter and the summer half-year. The main long-term changes concerning temperature means and precipitation amounts took place within the winter half-year. The largest changes however occurred during the the last 20 years of the 20th century. Before the 1970s both temperature and precipitation patterns during the winter half-year present quite a stable behavior. The mean temperature of the summer half-year however was often subjected to strong fluctuations. Not only the strong warming during the last two decades, but also the very warm period within the 1940s is noticeable. The precipitation amounts of the summer half-year do not show any substantial long-term change. In contrast to this, heavy precipitation events are more frequent during the summer half-year than during the winter half-year. In the lowlands of the northern part of Switzerland the typical climatic pattern is a periodic increase of heavy precipitation events. A clear long-term change in the frequency of heavy precipitation events cannot be observed. In the lowlands of the southern part of Switzerland neither a pronounced long-term variability nor a long-term change in the frequency of heavy precipitation events can be noted.

The strong climatic shift starting at the end of the 1970s made a substantial contribution to the entire climatic change in Switzerland. The summer and winter half-years experienced a sudden warming, the precipitation amounts temporarily increased during the winter half-year and a higher frequency of heavy precipitation events during the summer half-year was recorded.

There is no doubt that during the last 20 years of the 20th century Switzerland went through the most substantial climatic change since the national climate measurement and observation network was established in 1864.

EINFÜHRUNG

Die Berichte der Reihe „Veröffentlichung der MeteoSchweiz“ wenden sich üblicherweise an eine wissenschaftliche Leserschaft. Diese Nummer weicht insofern davon ab, als sie eine Thematik bearbeitet, welche in der Öffentlichkeit immer wieder aufgegriffen wird. Die tägliche Erfahrung der MeteoSchweiz im Informationswesen macht deutlich, dass eine umfassende und allgemein verständliche Darstellung der klimatischen Entwicklung in der Schweiz von sehr breitem Interesse ist. In diesem Sinne spricht der vorliegende Bericht vor allem die Allgemeinheit an. Inhaltlich bleibt der Bericht bewusst auf die Darlegung der Klimaentwicklung beschränkt. Die Frage nach dem Warum der festgestellten klimatischen Änderungen führt nämlich in ein weites Feld von zusätzlich nötigem Hintergrundwissen, das zu vermitteln dem oben definierten Ziel der allgemeinen Verständlichkeit nicht mehr gerecht würde.

Die Diskussion um die langfristige Klimaentwicklung wird in der Öffentlichkeit immer wieder dann aktuell, wenn sich Dramatisches abspielt. Kurzfristige extreme Bedingungen wie Überflutungen durch anhaltende Starkniederschläge, Hitzewellen oder auch Lawinenwinter sind für jedermann wahrnehmbar. Allerdings wird in solchen Situationen die Klimaentwicklung allzu oft nur auf Extremereignisse und insbesondere auf die Änderungen in deren Häufigkeit und Intensität reduziert. Doch gerade hierzu sind meist keine verlässlichen Aussagen möglich, da die seltenen Extremereignisse statistisch schlecht erfassbar sind (Frei and Schär, 2001; OcCC, 2003). In der sozusagen alltäglichen Klimaentwicklung von Jahr zu Jahr oder von Jahrzehnt zu Jahrzehnt kommen Änderungen hingegen viel eindeutiger zum Ausdruck (Schmidli et al., 2002; Widmann and Schär, 1997; Beniston et al., 1994). Das Klima, wie wir es erleben, ist nämlich nichts konstantes, sondern eine Abfolge von deutlich wechselnden Bedingungen. Je nach Jahreszeit haben sich in der langfristigen Klimaentwicklung dabei nicht nur Wechsel, sondern eigentliche Klimasprünge ereignet, welche durchaus auch mit einer gewissen Dramatik verbunden sind.

Verursacher klimatischer Änderungen und Sprünge sind seit jeher eine Reihe natürlicher Klimafaktoren, wie zum Beispiel die Schwankungen der Sonnenaktivität, Vulkanausbrüche oder auch Änderungen von Ozeanströmungen. Diese Klimafaktoren überlagern sich in vielfältiger Weise und führen schliesslich zu der zwar bekannten, aber bisher immer noch recht unverstandenen Klimavariabilität (Wanner et al., 2000; Wanner et al., 1997). Seit Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert sind wir Menschen zusätzlich als wesentlicher Klimafaktor hinzu gekommen. Mit unseren Emissionen aus Industrie, Verkehr und Haushalt, den bekannten Treibhausgasen und anderen klimawirksamen Stoffen, sowie gravierender Ober-

flächenveränderungen wie Verstädterung oder Abholzungen, greifen wir in den Wärmehaushalt und damit in die zentrale Steuerung des Klimasystems ein. Auch wenn der Einfluss der natürlichen Klimafaktoren noch keinesfalls ausreichend verstanden ist, muss nach den neuesten Befunden damit gerechnet werden, dass ein wesentlicher Anteil der globalen Erwärmung der vergangenen 100 bis 150 Jahre, und speziell jene der letzten zwei bis drei Jahrzehnte des 20. Jahrhunderts, mit hoher Wahrscheinlichkeit auf diese menschlichen Aktivitäten zurückgeht (IPCC, 2001).

DER LANGE WEG ZUR KLIMAKURVE

Das erste landesweit koordinierte Messnetz der Schweiz wurde zu Beginn des 19. Jahrhunderts eingerichtet. 1823 nahmen 12 Messstationen verteilt über die ganze Schweiz unter der Führung der neu gegründeten Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft den Betrieb auf. Leider war dem Unternehmen kein Erfolg beschieden. Nach wenigen Einsatzjahren musste das Messnetz bereits 1837 wieder aufgelöst werden, unter anderem aus Mangel an Beobachtern. Erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entstand schliesslich ein dauerhaftes schweizerisches Messnetz. Ab dem 1. Dezember 1863 wurden an 88 Messstationen täglich nach einheitlichen Vorgaben Messwerte aufgezeichnet (Schweizerische Meteorologische Anstalt, 1981). An vielen der damals gewählten Stationsstandorte werden heute noch regelmässig Messwerte erhoben. Generationen von Beobachtern und Messinstrumenten haben in der Zwischenzeit mitgeholfen, von diesen Orten lange lückenlose Messreihen zusammenzutragen. Angesichts der heutigen Klimaproblematik können diese jahrzehntelangen Bemühungen um verlässliche Messdaten nicht hoch genug gewertet werden.

Messen allein genügt nicht

Temperatur und Niederschlag sind die typischen Messgrössen, welche die klimatische Entwicklung einer Region anschaulich aufzeigen. Wie die meisten übrigen Messdaten können sie aber in den wenigsten Fällen direkt ab dem Messinstrument der wissenschaftlichen Auswer-

tung zugeführt werden. Sie reagieren nämlich sehr empfindlich auf die verschiedenen Änderungen, die sich im Laufe einer derart langen Messdauer ergeben können. Viele Messstationen mussten aus irgend einem Grunde einmal oder mehrmals etwas verschoben werden. Auch Wechsel zu moderneren Messinstrumenten waren nicht zu umgehen. Diese und noch einige weitere bekannte Ursachen können teilweise massive künstliche Unregelmässigkeiten im Verlauf der Messreihe nach sich ziehen. Werden solche Unregelmässigkeiten nicht erkannt und entsprechend korrigiert, führen sie zu falschen klimatologischen Schlüssen. Die von den Messgeräten über Jahrzehnte hinweg aufgezeichneten Daten müssen deshalb vor der Interpretation bezüglich langfristiger Änderungen mit grossem Aufwand auf solche Unstimmigkeiten hin untersucht werden, um allenfalls vorhandene künstliche Unregelmässigkeiten zu eliminieren. Erst nach dieser so genannten Homogenisierung zeigt eine Messreihe das tatsächliche klimatische Geschehen. Auf die umfangreiche Thematik der Homogenisierung soll hier nicht weiter eingetreten werden, da sie jüngst im Rahmen eines Projektes von MeteoSchweiz detailliert bearbeitet und publiziert wurde (Begert et al., 2003; Begert et al., 2004).

Die Homogenisierung erfolgt üblicherweise auf der Ebene der Monatsmittel (Temperatur) oder der Monatssummen (Niederschlag). An den Tageswerten werden keine individuellen Korrekturen angebracht. Die Monatsmittel oder Monatssummen bilden somit die Basis für alle weiteren Mittel- oder Summen-Berechnungen (Jahreswerte, Halbjahreswerte etc.). Analysen, welche auf Tageswerte zurückgreifen müssen, wie die Starkniederschlags-Analyse am Schluss dieses Berichts, basieren gezwungenermassen auf nicht homogenen Daten.

Die Frage der Saisonalität

Eine weit verbreitete Art, die langjährige Klimaentwicklung in einer Region darzustellen, ist die Berechnung der Jahresmittel der Temperatur oder der Jahressummen des Niederschlags unter Verwendung des Kalenderjahres. Gemittelt oder aufsummiert werden dabei die Monatswerte von Januar bis Dezember. Vor allem im Falle der Temperatur können dabei trügerische Effekte entstehen. Solange ausschliesslich das langjährige Temperaturverhalten, also der langfristige Trend, analysiert wird, führt dies zu keinen weiteren Problemen. Werden jedoch Einzeljahre betrachtet, zum Beispiel besonders extreme, so handelt man sich mit der Mittelung über das Kalenderjahr einen ganz gewichtigen Nachteil ein: Ausgerechnet der Winter, also die eine extreme Jahreszeit, erfährt dadurch eine künstliche Aufspaltung. So fliessen die Monate Januar und Februar des einen Winters mit dem Monat Dezember des folgenden Winters als Wintersaison in das betreffende Jahresmittel ein. Sind nun diese drei Monate überdurchschnittlich warm, und zeigen die anderen Monate der beiden Winter diese Tendenz nicht, so wird durch Mittelung über das Kalenderjahr ein synthetischer Warmwinter erzeugt, der in Wirk-

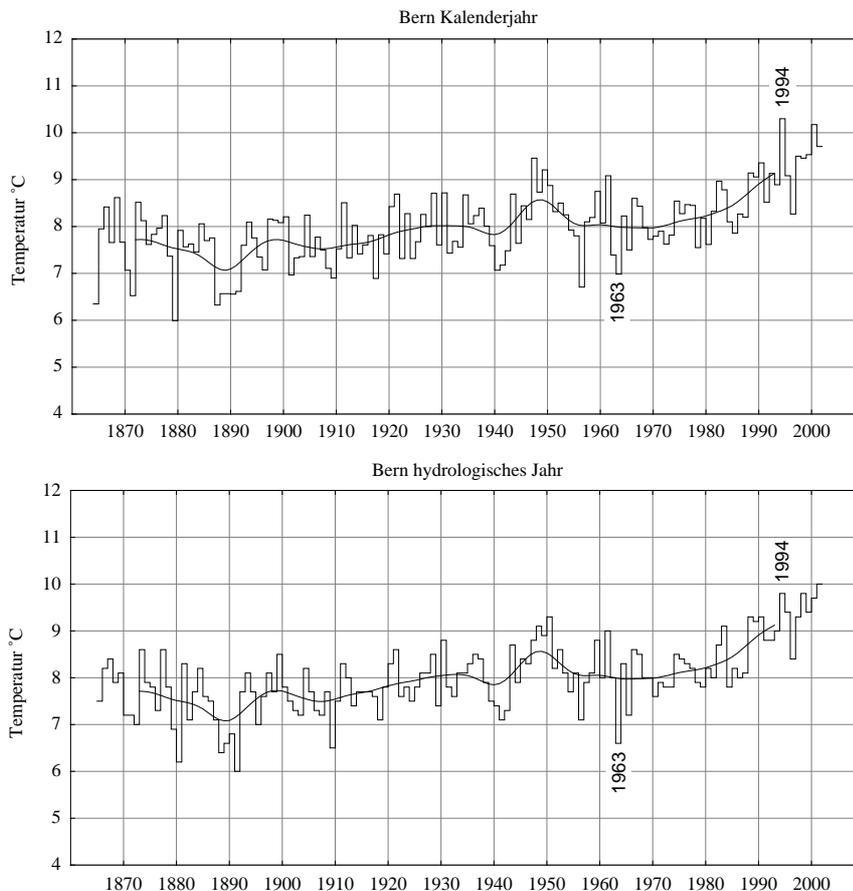


Abbildung 1: Am Beispiel des Temperaturmittels der Station Bern wird das Mittel Januar bis Dezember (Kalenderjahr, obere Grafik) dem Mittel von Oktober bis September (hydrologisches Jahr, untere Grafik) gegenübergestellt. Die schwarze Kurve zeigt den über 20 Jahre gemittelten Temperaturverlauf (Gauss Tiefpassfilterung).

lichkeit nie existiert hat. Das Kalenderjahr wird damit allenfalls zu einem extrem warmen Jahr. In keinem anderen Jahr wirkt sich dieser Effekt derart markant aus wie im Jahr 1994. Die in der Hydrologie übliche Jahresmittelung von Oktober bis September¹, welche nun die tatsächlich sich folgenden Wintermonate in die Mittelbildung einbezieht, führt zu einem auffallend anderen Bild (Abbildung 1). Nach wie vor zeigen die 1990er Jahre die höchsten Temperaturen seit Messbeginn. Das Jahr 1994 fügt sich nun jedoch in eine Reihe von Jahren mit ähnlich ho-

1. Ab Oktober ist gewöhnlich mit dem Beginn des Einschneiens im Gebirge zu rechnen. Der im Herbst und in der ersten Winterhälfte als Schnee gebundene Niederschlag wird erst im nächst folgenden Kalenderjahr zur Zeit der Schneeschmelze den Flüssen wieder zugeführt. Der hydrologische Jahreszyklus beginnt in der Schweiz somit in der Regel im Oktober.

hen Temperaturen ein. Vergleichbares geschieht auch in umgekehrter Richtung. Der bekanntermassen sehr kalte Winter 1962/63, ein ausgeprägter Seegfröni-Winter, bringt bei der Kalenderjahr-Mittelung keine sonderlich markante Abweichung. Das Jahr von Oktober 1962 bis September 1963 war hingegen an der Station Bern (Abbildung 1) das zweitkälteste im 20. Jahrhundert.

Eine allgemein gültige Lösung zur optimalen Jahresaufteilung gibt es vermutlich nicht, da immer die eine oder andere Jahreszeit auseinander gerissen wird. Dieses Problem kann zumindest teilweise umgangen werden, indem die Winterhalbjahre (Monate Oktober bis März) und Sommerhalbjahre (Monate April bis September) mit ihren klimatologisch typischen Eigenheiten einzeln analysiert werden. Es ist unumgänglich, dass dadurch die Übergangsjahreszeiten Frühjahr und Herbst auf die beiden Halbjahre verteilt werden. Auf eine saisonale Bearbeitung (Frühjahr, Sommer, Herbst, Winter) wird hier jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit bewusst verzichtet.

Das Klima sichtbar machen

Um die langjährige Charakteristik einer klimatologischen Messreihe sichtbar zu machen, wird ihr Verlauf üblicherweise geglättet (Abbildung 1). Mit dem Glättungsverfahren werden die starken Sprünge der Messwerte von Jahr zu Jahr gedämpft, indem Mittelwerte über mehrere Jahre oder Jahrzehnte gebildet werden. Erst dadurch tritt das langfristige Verhalten, und damit das Klima im eigentlichen Sinne, in den Vordergrund.

Ein häufig verwendetes Glättungsverfahren, welches auch hier standardmässig zur Anwendung gelangt, ist die sogenannte Tiefpassfilterung. Tiefpass bedeutet, dass langanhaltende (tieffrequente) Änderungen passieren, vom Filter also durchgelassen werden. Kurzfristige (hochfrequente) Änderungen, wie eben die Jahresschwankungen, werden hingegen herausgefiltert (Schönwiese, 1985). Die Tiefpassfilterung führt dazu, dass die geglättete Klimakurve jeweils später einsetzt und früher endet als die Originalreihe mit den Jahreswerten. Beim Verfahren nach Gauss, welches hier verwendet wird, und einer 20-jährigen Mittelung, umfasst dies an den beiden Enden der Messreihe acht Jahre. In gewichteter Form sind diese Jahre jedoch ebenfalls in der geglätteten Klimakurve enthalten.

Die geglättete Klimakurve zeigt die periodischen Änderungen auf. Die Gesamtänderung vom Beginn bis zum Ende der Messreihe wird mit Hilfe des so genannten Trends sichtbar gemacht. Die Berechnung des Trends erfolgt anhand statistischer Analysemethoden. Statistik hat mit Wahrscheinlichkeiten zu tun. Deshalb spricht man von einem signifikanten oder eben von einem nicht signifikanten Trend. Signifikant bedeutet dabei, dass die Aussage, die Messreihe zeige einen Trend, nur mit einer geringen Wahrscheinlichkeit falsch ist. Üblicherweise ak-

zeptiert man eine Irrtumswahrscheinlichkeit von bis zu 5 %. Falls die Wahrscheinlichkeit für einen Irrtum 5 % übersteigt, ist der berechnete Trend nicht signifikant, und damit ist eine Gesamtänderung in der Messperiode statistisch nicht nachgewiesen. Die Prüfung auf Signifikanz erfolgt hier anhand des Rang-Korrelationskoeffizienten von Spearman (Sachs, 1997).

Wie gut der tatsächliche Verlauf der Messwerte schliesslich durch den berechneten linearen Trend angenähert wird, geht aus dem so genannten Bestimmtheitsmass r^2 hervor (hier berechnet aus dem Produktmoment-Korrelationskoeffizienten r). r^2 kann zwischen 0 und 1 liegen. Je näher r^2 bei 1 liegt, um so um so besser beschreibt die Trendgerade die tatsächlich beobachtete Klimaentwicklung. Mit anderen Worten: Ein Trend mit tiefem r^2 ist trotz Signifikanz ein schwaches Signal in der Messreihe. In einem solchen Fall ist die langfristige Änderung nicht das dominante Merkmal im Verlauf der Messreihe.

LANGE KLIMAREIHEN

Homogenisierte Temperatur- und Niederschlagsaufzeichnungen, welche lückenlos bis zu den Anfängen der klimatologischen Messung in der Schweiz zurückreichen, stehen nur in beschränkter Anzahl zur Verfügung. Deshalb müssen wenige Messreihen für die Charakterisierung der langjährigen Klimaentwicklung in der Schweiz genügen. Vor allem beim Niederschlag muss man sich dieser eingeschränkten Datensituation immer wieder bewusst werden. Von Tal zu Tal, ja selbst innerhalb eines Tales können die Niederschlagsmengen stark variieren. Seit langer Zeit ist bekannt, dass insbesondere die inneralpine Täler ein ganz spezifisches Niederschlagsregime zeigen, da sie durch die Gebirgszüge im Norden und im Süden oft von den heranströmenden feuchten Luftmassen abgeschirmt sind (Maurer et al., 1909). Die Folge sind speziell trockene Bedingungen. Ganz typische Vertreter sind hier das Wallis und das Engadin, aber auch die zentralen Gebiete von Nordbünden (vgl. dazu auch Schwarb et al., 2001; Frei and Schär, 1998). Es ist nicht auszuschliessen, dass diese Vielfalt der Niederschlagsklimatologie auch in der langjährigen Niederschlagsentwicklung zum Ausdruck kommt. Mit den wenigen bis ins 19. Jahrhundert zurückreichenden Niederschlagsreihen können hierzu selbstverständlich keine schlüssigen Angaben gewonnen werden. Gerade im diesbezüglich interessanten inneralpinen Raum stehen sehr wenige homogene Niederschlagsreihen zur Verfügung.

Homogen bis weit ins 19. Jahrhundert zurück

Gut repräsentiert mit homogenen Klimareihen sind die Niederungen nördlich der Alpen mit den Stationen Genève und Basel im westlichen und nordwestlichen Teil der Schweiz sowie den Stationen Bern und Zürich im zentralen Mittelland (Abbildung 2). Am Alpennordhang sind die beiden Stationen Engelberg und Säntis verfügbar, wobei die Station Säntis als Gipfelstation eine etwas spezielle Lage einnimmt. Sie ist kaum repräsentativ für eine eigentliche Region, zeigt aber als einzige Station dank der ausgeprägten Gipfellaage annähernd die Entwicklung in der freien Atmosphäre. Im Innern der Alpen stehen von West nach Ost die drei Stationen Sion, Davos und Sils-Maria zur Verfügung. Nicht berücksichtigt wird die ebenfalls homogene Station Château d'Oex in den Waadtländer Alpen, welche erst ab 1901 ohne Lücke verfügbar ist. Im Juragebirge und in der mediterran beeinflussten Südschweiz schliesslich kann mit den Stationen Chaumont und Lugano nur auf je eine Station zurückgegriffen werden.

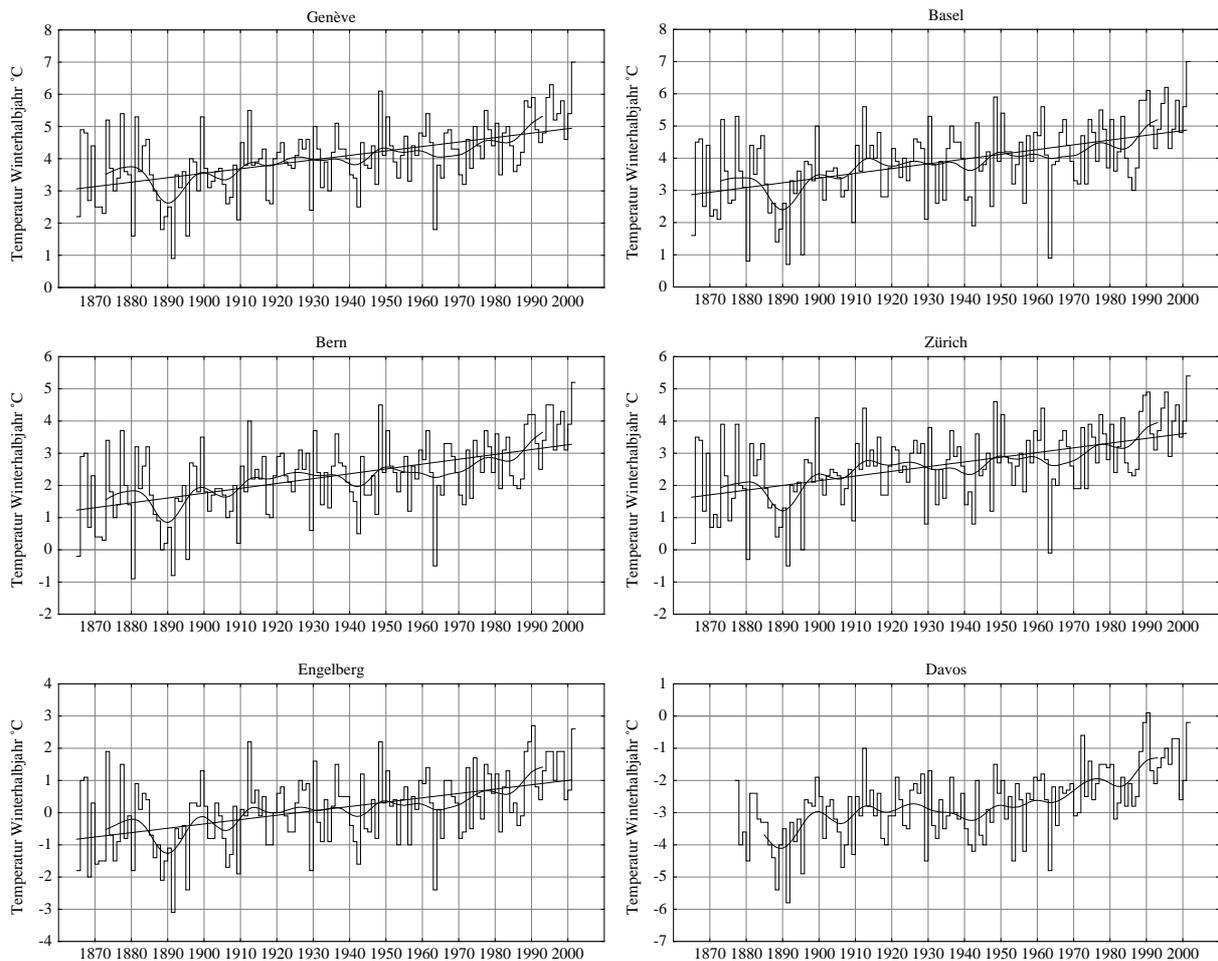


Abbildung 2: Die für die Charakterisierung der langjährigen Klimaentwicklung in der Schweiz verwendeten Messreihen, welche ohne Unterbruch bis ins 19. Jahrhundert zurückreichen. Höhenlagen über 1000 m ü.M. sind grau hinterlegt. Zu jeder Station ist die Höhe in m ü.M. angegeben.

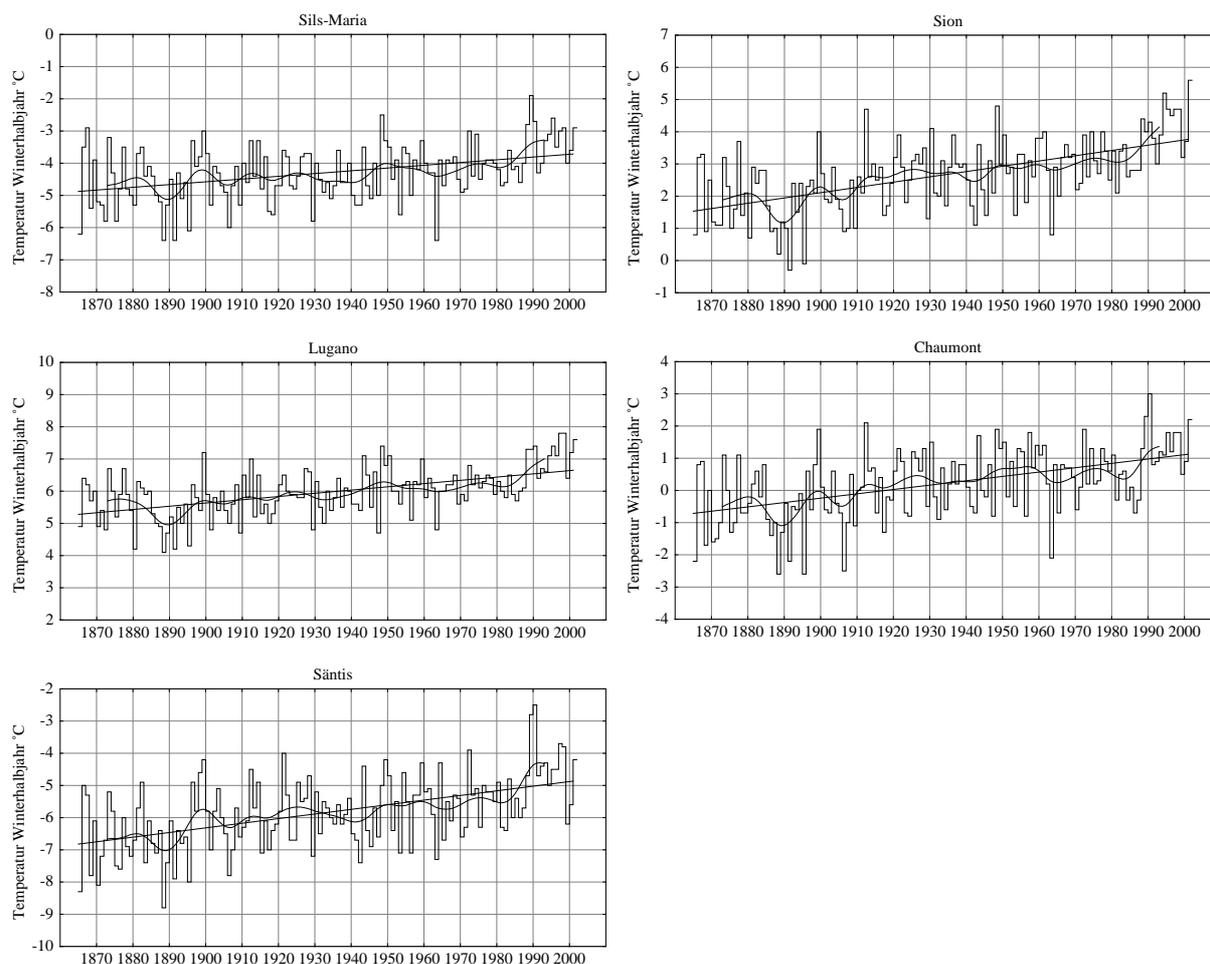
DER TEMPERATURVERLAUF VON 1864 BIS 2001

Die Winter- und Sommerhalbjahre zeigen ein auffallend unterschiedliches Verhalten in ihrem langfristigen Temperaturverlauf. Die über lange Perioden hinweg sehr ausgeglichene Temperatur des Winterhalbjahres (Abbildung 3) verkörpert sozusagen das klimatologische Gegenteil zu den stark schwankenden Temperaturen des Sommerhalbjahres (Abbildung 4). Insbesondere ab 1910 verharrte das langjährige Temperaturmittel des Winterhalbjahres zum Teil während mehrerer Jahrzehnte auf praktisch demselben Niveau. Bemerkenswert ist, dass

Abbildung 3 (diese und nächste Seite): Langjährige Temperaturentwicklung des Winterhalbjahres. Für jede Station sind die Werte von Jahr zu Jahr, das Mittel über 20 Jahre sowie der lineare Trend (sofern signifikant) angegeben. Die Skalierung umfasst immer 8 Grad Celsius.

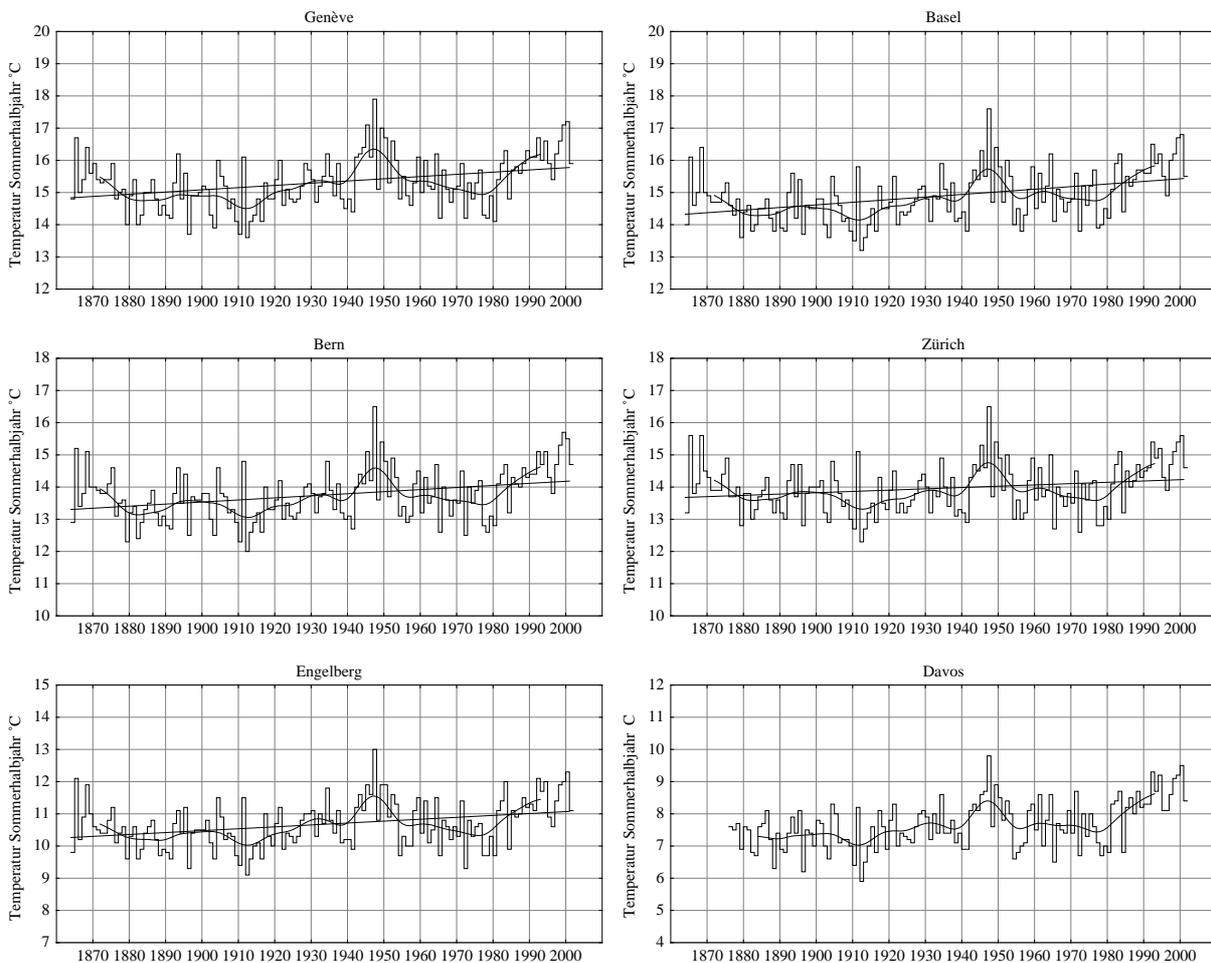


dieser stabile Temperaturverlauf an den Stationen Sils-Maria, Lugano, Chaumont und Säntis, und etwas weniger ausgeprägt auch an der Station Sion, bis in die 1980er Jahre hinein andauerte. An den übrigen Stationen wird hingegen bereits während der 1970er Jahre eine Änderung im Temperaturverlauf der Winterhalbjahre sichtbar. In diesen sehr ausgeglichenen Temperaturverlauf der Winterhalbjahre sind zwei bedeutenden Änderungen eingebettet. Die erste ereignete sich in der zweiten Hälfte der 1880er Jahre, als die Temperaturen der Winterhalbjahre innert weniger Jahre für kurze Zeit auf ein bedeutend tieferes Niveau sanken. Die tiefsten Werte wurden an der Wende von den 1880er zu den 1900er Jahren erreicht. Diese winterliche Kaltphase kommt auch im Jahresverlauf der Temperatur deutlich zum Ausdruck (Abbildung 5). Erst 100 Jahre später, gegen Ende der 1980er Jahre, vollzog sich dann die zweite Änderung, diesmal sprunghaft in Richtung deutlich erhöhter Temperaturen im Winterhalbjahr.



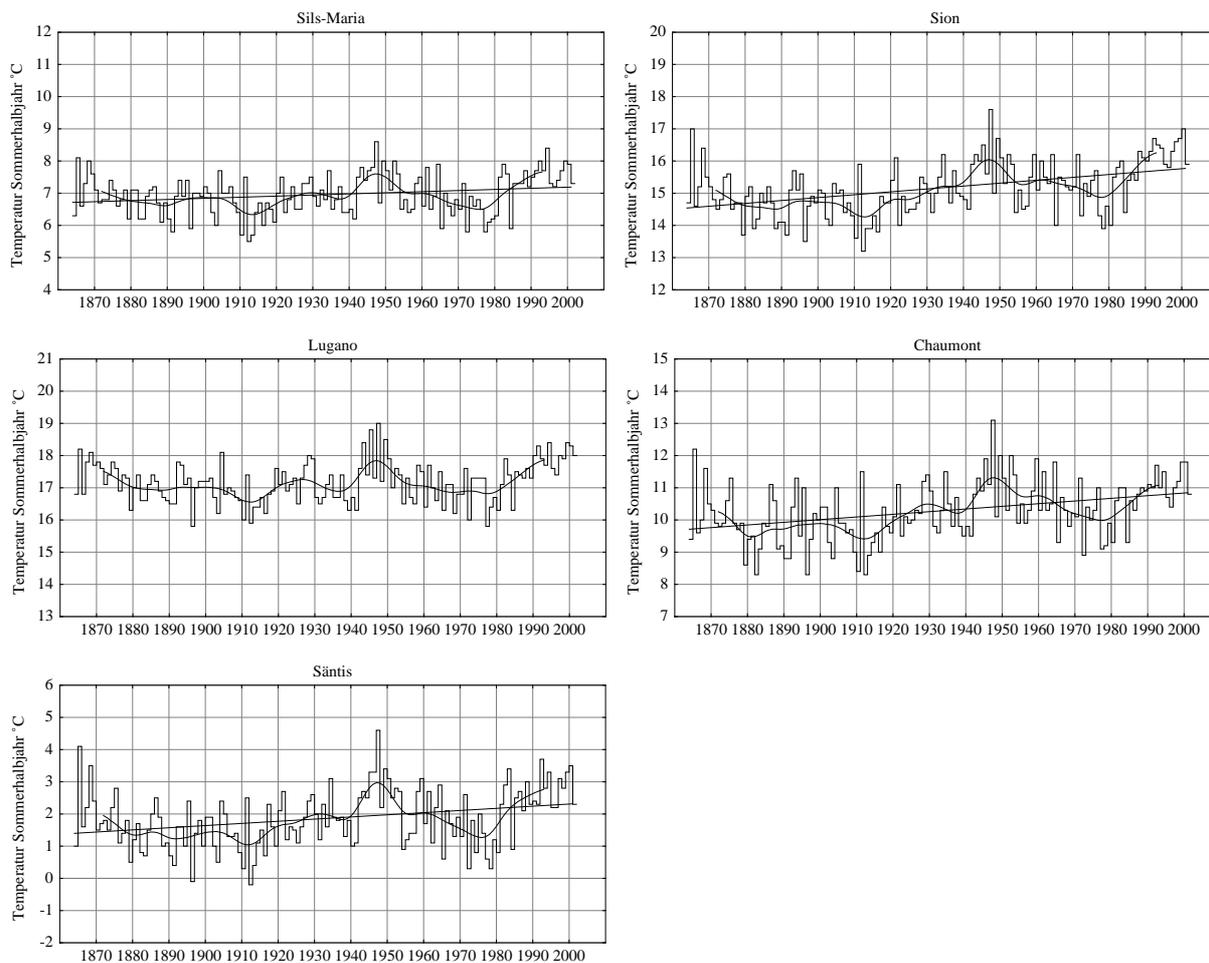
Aber nicht nur das Winterhalbjahr, auch das Sommerhalbjahr zeigte in den 1980er Jahren einen schnellen Wechsel zu deutlich höheren Temperaturen. Im Gegensatz zum Winterhalbjahr war jedoch der langjährige Temperaturverlauf des Sommerhalbjahres bereits vor diesem Wechsel mehrmals starken Schwankungen unterworfen (Abbildung 4). Auf den ersten Blick fällt vor allem die markante Warmphase zur Mitte des 20. Jahrhunderts auf, welche auch im Jahresverlauf der Temperatur als dominantes Muster hervortritt (Abbildung 5). Sie gipfelte in der extremen Wärme des Sommerhalbjahres von 1947. Die ungewöhnlich hohen Temperaturen dauerten auch im anschliessenden Winterhalbjahr an. Das Winterhalbjahr 1947/48 war in vielen Regionen der Schweiz eines der wärmsten der gesamten Messperiode (Abbildung 3).

Abbildung 4 (diese und nächste Seite): Langjährige Temperaturentwicklung des Sommerhalbjahres. Für jede Station sind die Werte von Jahr zu Jahr, das Mittel über 20 Jahre sowie der lineare Trend (sofern signifikant) angegeben. Die Skalierung umfasst immer 8 Grad Celsius.



Am khlsten waren die Sommerhalbjahre in den Jahren 1910 bis 1914. Das Sommerhalbjahr 1912 brachte in vielen Regionen den tiefsten Wert in der gesamten Messperiode. Eine seltsame Ausnahme in dieser ausgesprochen kühlen Phase machte dabei das Sommerhalbjahr 1911. Mit einer massiven positiven Temperaturabweichung gehört es an vielen Stationen zu den wärmeren in der gesamten Messperiode. Auch in diesem Jahr nahm die Wärme im anschliessenden Winterhalbjahr ihre Fortsetzung. Das Winterhalbjahr 1911/12 gehört verbreitet zu den wärmsten in der gesamten Messperiode (Abbildung 3).

Auf ähnlich tiefe Werte wie während der Jahre 1910 bis 1914 sank das langjährige Mittel der Sommerhalbjahre nochmals in der Periode von 1977 bis 1980. Doch anschliessend, ab Beginn der 1980er Jahre, setzte eine massive Erwärmung der Sommerhalbjahre ein, welche gegen Ende der 1980er Jahre auch die Winterhalbjahre erfasste.



Der Temperatursprung in den 1980er Jahren

Die Sommerhalbjahre von 1981 bis 1983 brachten einen ersten markanten Wärmeschub. Besonders ausgeprägt tritt er in der Messreihe des Säntis in Erscheinung. Zwei weitere intensive sommerliche Wärmeschübe folgten anschliessend in der ersten Hälfte sowie gegen Ende der 1990er Jahre. Die massive Erwärmung ab Beginn der 1980er Jahre wird damit zum dominanten Muster in der langjährigen Temperaturentwicklung des Sommerhalbjahres.

Wenige Jahre nach dem Einsetzen der sommerlichen Erwärmung erfolgte mit dem Winterhalbjahr 1987/88 auch ein sprungartiger Wechsel zu einer ausgeprägten Warmwinterphase. Ab diesem Zeitpunkt sind wiederholt auftretende hohe Temperaturen im Winterhalbjahr das typische Merkmal bis zum Übergang ins 21. Jahrhundert. Auch das Fehlen sehr kalter Winterhalbjahre gegen Ende des 20. Jahrhunderts macht deutlich, dass sich eine grundlegende Änderung im winterlichen Temperaturregime eingestellt hat. Bis in die 1960er Jahre traten sehr kalte Winterhalbjahre hin und wieder auf. Anschliessend verschwand dieses Muster jedoch vollständig aus der Klimatologie des Winterhalbjahres (Abbildung 3).

Die Auswertung der Messreihen endet mit dem sehr warmen Winterhalbjahr 2000/2001. Speziell in den Niederungen nördlich der Alpen lagen die Temperaturen an einigen Stationen weit über den bisherigen Erfahrungswerten. In höher gelegenen Regionen hingegen liegt das bisher wärmste Winterhalbjahr meist in unmittelbarer Nähe des markanten Temperatursprungs von 1987/88.

Temperaturtrends

An allen Stationen zeichnet sich über die gesamte Messperiode betrachtet ein signifikanter Trend zu zunehmend höheren Temperaturen im Winterhalbjahr ab (Tabelle 1 und Abbildung 3). Mit Ausnahme der Stationen Sils-Maria und Lugano liegen die Trends zwischen $+1.4\text{ °C}$ und $+1.6\text{ °C}$ pro 100 Jahre. Es sind keine Unterschiede zwischen den hochgelegenen Stationen und jenen aus den Niederungen auszumachen. Die Stationen Sils-Maria und Lugano zeigen mit $+0.9\text{ °C}$ bzw. $+1.0\text{ °C}$ pro 100 Jahre deutlich tiefere Werte. Beiden Stationen ist gemeinsam, dass sie witterungsmässig hauptsächlich von Süden her beeinflusst werden. Auch hier scheinen keine wesentliche Unterschiede zwischen der hochalpinen Situation und dem Tiefland zu bestehen.

In allen Messreihen lassen sich die Trends nur als schwache Signale identifizieren (vgl. die tiefen Bestimmtheitsmasse in Tabelle 1). Das war zu erwarten, stellten sich im Winterhalbjahr die Temperaturänderungen doch hauptsächlich in Form von markanten Sprüngen zu Beginn sowie am Ende der Messreihen ein (Abbildung 3). Für die dazwischen liegende ruhige Phase

DER TEMPERATURVERLAUF VON 1864 BIS 2001

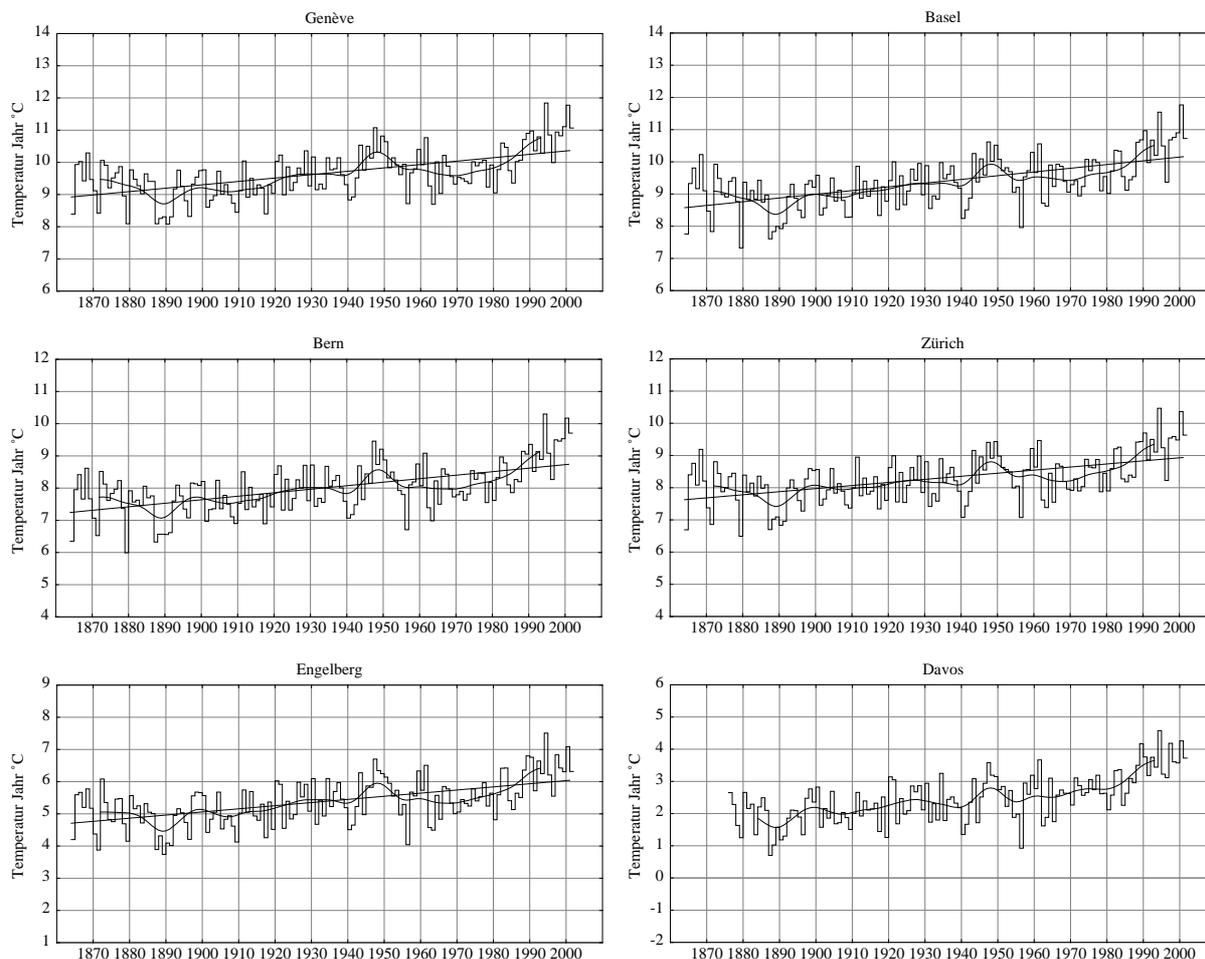
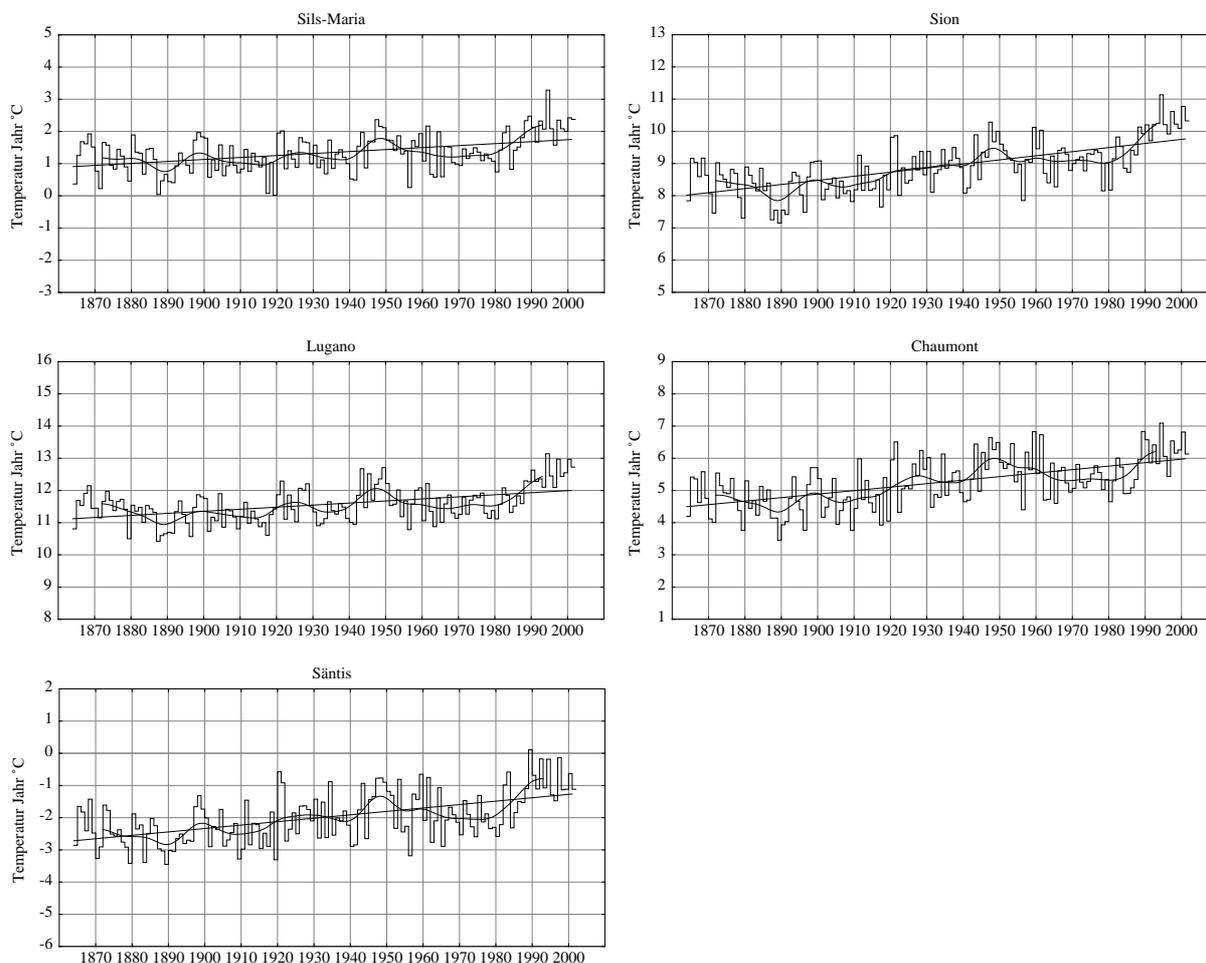


Abbildung 5 (diese und nächste Seite): Langjähriger Verlauf der Jahresmitteltemperatur (Mittel Januar-Dezember). Für jede Station sind die Werte von Jahr zu Jahr, das Mittel über 20 Jahre sowie der lineare Trend angegeben. Die Skalierung umfasst immer 8 Grad Celsius.

von 1910 bis 1970 erbringt die statistische Analyse keinen Hinweis auf signifikante Temperaturentrends. Selbst bei Erstreckung der Periode bis 1985 ergeben sich mit Ausnahme der Messreihe Davos keine signifikanten Trends. Dieser sehr klare Befund unterstreicht die klimatologische Bedeutung des Temperatursprungs am Ende der 1980er Jahre. Im 20. Jahrhundert erfolgte die Temperaturzunahme im Winterhalbjahr, nach einer langen Phase mit ausgesprochen konstantem mittlerem Temperaturregime, zum grössten Teil während des Sprungs von 1987/88.

Der Erwärmungstrend der Sommerhalbjahre liegt verbreitet zwischen $+0.6\text{ °C}$ und $+0.9\text{ °C}$ pro 100 Jahre, vereinzelt auch tiefer (Tabelle 1, Abbildung 4). Die Gesamterwärmung ist damit nur etwa halb so gross wie im Winterhalbjahr. Die Messreihen aus den Alpen und aus den Niederungen zeigen wiederum ähnliche Trends. Als bemerkenswerte Ausnahme ist für die Mess-

DER TEMPERATURVERLAUF VON 1864 BIS 2001



reihe Lugano auf der Alpensüdseite im Sommerhalbjahr kein Erwärmungstrend nachweisbar. Doch auch in den übrigen Messreihen sind die Erwärmungstrends nur sehr schwach (vgl. die sehr tiefen Bestimmtheitsmasse in Tabelle 1). Ausschlaggebend für die Signifikanz der Trends der Sommerhalbjahre ist der schnelle Temperaturanstieg ab Beginn der 1980er Jahre. Während der davor liegenden, über 100 Jahre dauernden Messperiode von 1864 bis 1980, ist an den meisten Stationen im Sommerhalbjahr kein signifikanter Temperaturanstieg nachweisbar. Einzige Ausnahmen sind die Messreihen Sion und Chaumont mit Trends von $+0.5\text{ °C}$ respektive $+0.6\text{ °C}$ pro 100 Jahre.

Der Erwärmungstrend der Jahresmitteltemperatur 1864 bis 2001 liegt mit Ausnahme der Stationen Lugano und Sils-Maria zwischen $+1.0\text{ °C}$ und $+1.3\text{ °C}$ pro 100 Jahre (Tabelle 1). Die Stationen Lugano und Sils-Maria zeigen nur etwa halb so grosse Trends. Zwischen alpinen Lagen und dem Tiefland sind, wie bereits bei den Winter- und Sommerhalbjahren, keine wesentlichen Unterschiede festzustellen. Wiederum trägt die Erwärmung seit Beginn der 1980er

Temperaturtrends in °C pro 100 Jahre in der Periode 1864-2001							
Region	m ü.M.	Winter- halbjahr	r²	Sommer- halbjahr	r²	Jahr	r²
Niederungen Alpennordseite							
Genève	420	+1.4 °C	0.27	+0.7 °C	0.11	+1.1 °C	0.32
Basel	316	+1.5 °C	0.24	+0.8 °C	0.16	+1.2 °C	0.34
Bern	565	+1.5 °C	0.27	+0.6 °C	0.11	+1.1 °C	0.32
Zürich	556	+1.5 °C	0.25	+0.4 °C	0.05	+1.0 °C	0.27
Alpennordhang							
Engelberg	1035	+1.4 °C	0.22	+0.6 °C	0.10	+1.0 °C	0.29
Säntis	2490	+1.4 °C	0.26	+0.7 °C	0.09	+1.1 °C	0.29
Innere Alpen							
Sion	482	+1.6 °C	0.34	+0.9 °C	0.18	+1.3 °C	0.42
Davos	1590	▲		▲		▲	
Sils-Maria	1802	+0.9 °C	0.15	+0.4 °C	0.05	+0.6 °C	0.18
Niederungen Alpensüdseite							
Lugano	273	+1.0 °C	0.28	/		+0.6 °C	0.21
Jura							
Chaumont	1073	+1.4 °C	0.24	+0.8 °C	0.13	+1.1 °C	0.31

Tabelle 1: Temperaturtrends der Periode 1864 bis 2001 für das Winterhalbjahr (Oktober-März), das Sommerhalbjahr (April-September) und das Kalenderjahr (Januar-Dezember). Alle angegebenen Trends sind auf dem 1%-Niveau signifikant. Nicht signifikante Trends sind mit / markiert. Man beachte die zum Teil sehr tiefen Bestimmtheitsmasse. Bei der kürzeren Messreihe von Davos wird der Trend aus Gründen der fehlenden Vergleichbarkeit nicht aufgeführt (▲).

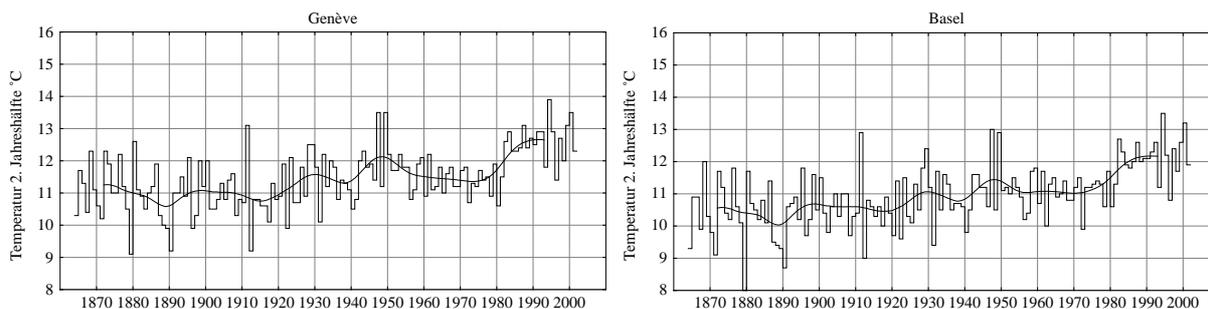
Jahre einen namhaften Anteil zum Gesamttrend bei. So liegen die Trends für die Periode von 1864 bis 1980 deutlich tiefer. An den Stationen Zürich und Engelberg beispielweise zeigen sie mit +0.6 °C pro 100 Jahre nur etwas mehr als der Hälfte des Gesamttrends von 1864 bis 2001. Lugano und Sils-Maria weisen von 1864 bis 1980 keinen signifikanten Trend auf. Hier ist die Zunahme der Jahresmitteltemperatur von 1864 bis 2001 zur Hauptsache auf die Erwärmung nach 1980 zurückzuführen.

DER MASSIVE TEMPERATURSPRUNG IN DER ZWEITEN JAHRESHÄLFTE

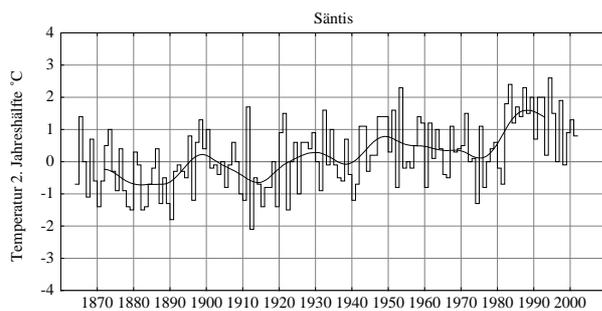
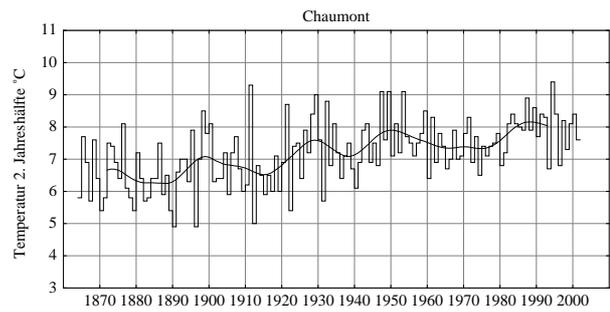
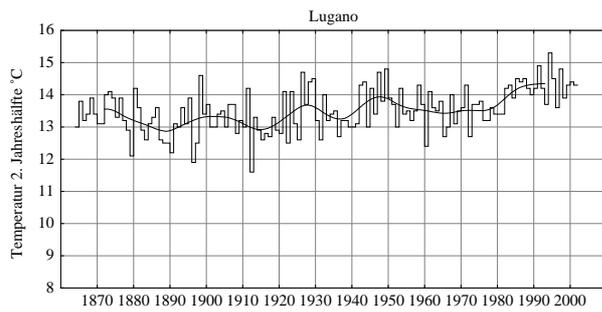
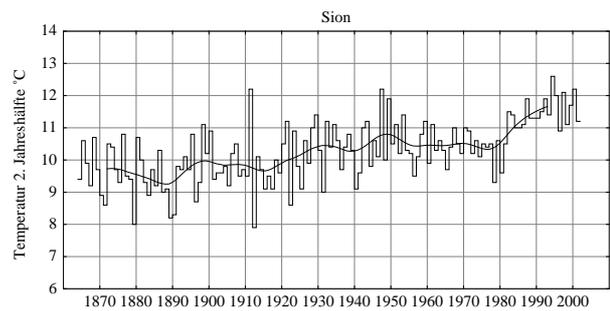
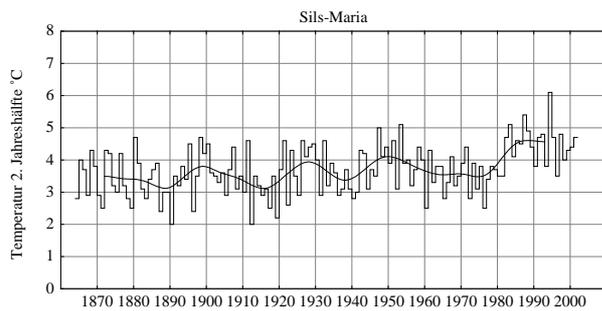
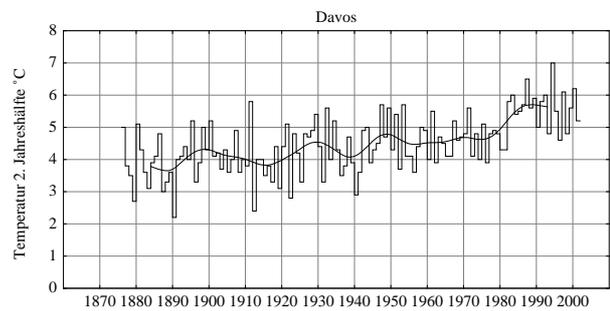
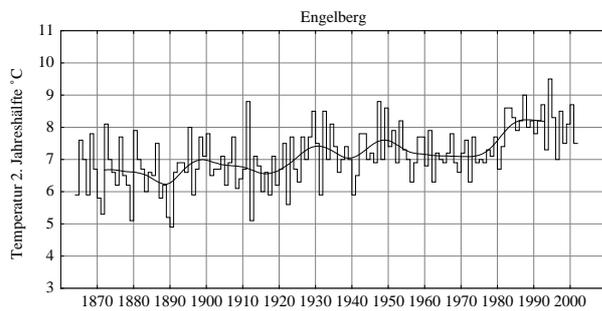
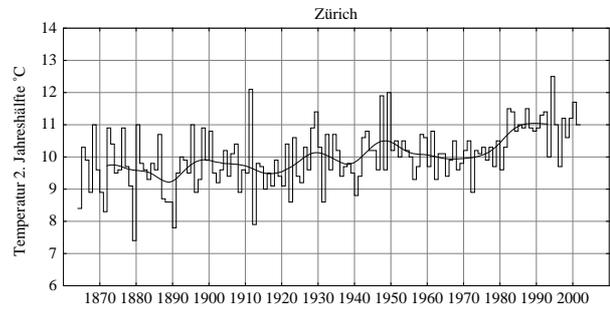
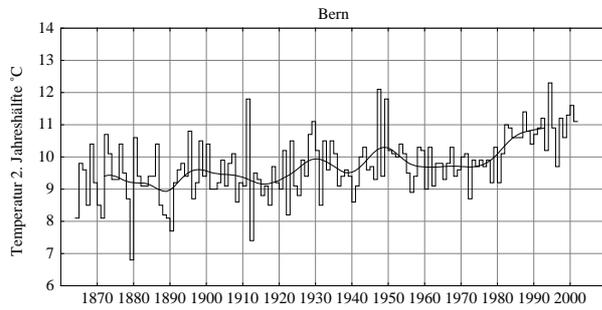
Eine ganz besondere Entwicklung brachten die beiden vergangenen Jahrzehnte für die Temperatur in der zweiten Jahreshälfte. Die schnelle Erwärmung der Sommerhalbjahre nach 1980 wächst sich bei der Betrachtung der Mitteltemperaturen der Monate Juli bis Dezember zu einem massiven Temperatursprung aus (Abbildung 6). Im Jahr 1982 wurde das Temperaturniveau des 20-jährigen Mittels abrupt um etwa +1 Grad Celsius angehoben. Ganz offensichtlich hat sich damals eine klimatische Änderung ereignet, welche speziell die Temperatur am Übergang vom Sommer- zum Winterhalbjahr nachhaltig beeinflusste. Der langjährige Temperaturverlauf des anschliessenden Winterhalbjahres zeigt ja bekanntlich um 1980 keine besondere Reaktion (Abbildung 3). Auch die Mitteltemperatur der ersten Jahreshälfte (Januar bis Juni) verhält sich zu diesem Zeitpunkt ruhig. In gleicher Weise wie beim Winterhalbjahr erscheint hier der markante Temperatursprung im Jahr 1988.

Ohne Zweifel durchlief die Schweiz 1982 einen bedeutenden klimatischen Wandel. Als Ergänzung zu den bereits festgestellten Änderungen im Winter- und im Sommerhalbjahr sowie im Kalenderjahr wird immer klarer, dass die 1980er Jahre für die Schweiz eine Schlüsselstellung in der klimatischen Entwicklung im 20. Jahrhundert einnehmen. Im Rahmen des Nationalen Forschungsschwerpunktes Klima (NCCR Climate) werden die Ursachen solcher regionaler Klimaeffekte, wie beispielsweise die grossräumige Änderung der atmosphärischen Zirkulation, näher untersucht (vgl. z.B. Scherrer and Appenzeller, 2003; Scherrer et al., 2004).

Abbildung 6 (diese und nächste Seite): Langjährige Temperaturentwicklung der zweiten Jahreshälfte (Temperaturmittel Juli bis Dezember). Für jede Station sind die Werte von Jahr zu Jahr sowie das Mittel über 20 Jahre angegeben. Die Skalierung umfasst immer 8 Grad Celsius.



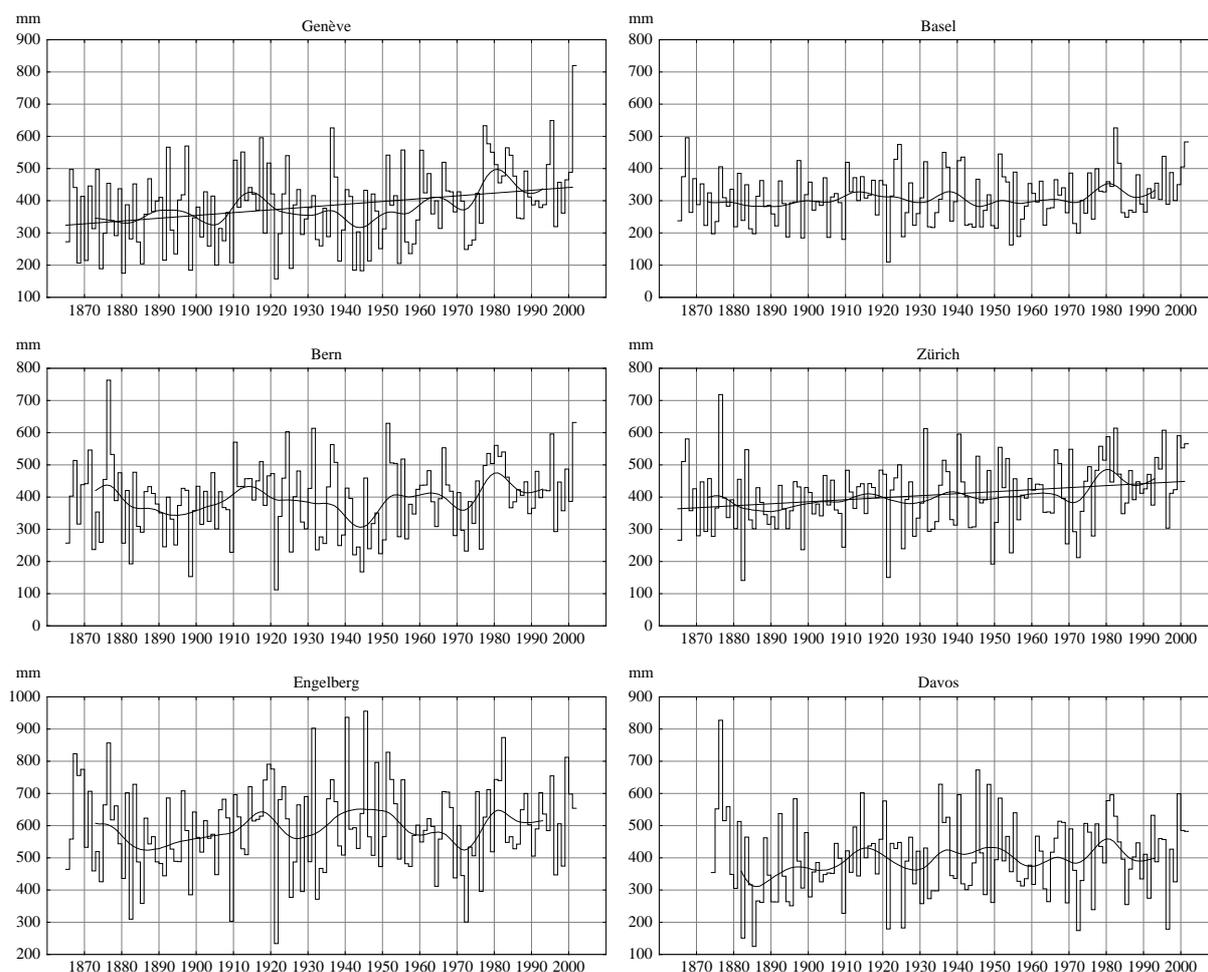
DER MASSIVE TEMPERATURSPRUNG IN DER ZWEITEN JAHRESHÄLFTE



DER NIEDERSCHLAGSVERLAUF VON 1864 BIS 2001

Erwartungsgemäss treten in den Niederschlags-Messreihen recht verschiedene regionale Muster auf. Beispiele sind etwa Engelberg, Sils-Maria oder auch Lugano (Abbildung 7, Abbildung 8). Typisch sind periodische Schwankungen der Niederschlagssummen, welche jedoch insgesamt zu keiner langfristigen Änderung führen. Vor allem die Messreihen des Sommerhalbjahres zeigen diesen Effekt sehr deutlich (Abbildung 8). Aber auch im Winterhalbjahr sind beispielsweise im nördlichen Teil der Schweiz in der Periode von 1865 bis 1970 keine Ände-

Abbildung 7 (diese und nächste Seite): Langjährige Niederschlagsentwicklung des Winterhalbjahres. Für jede Station sind die Werte von Jahr zu Jahr, das Mittel über 20 Jahre sowie der lineare Trend (sofern signifikant) angegeben. Die Skalierung umfasst soweit als möglich 800 mm.

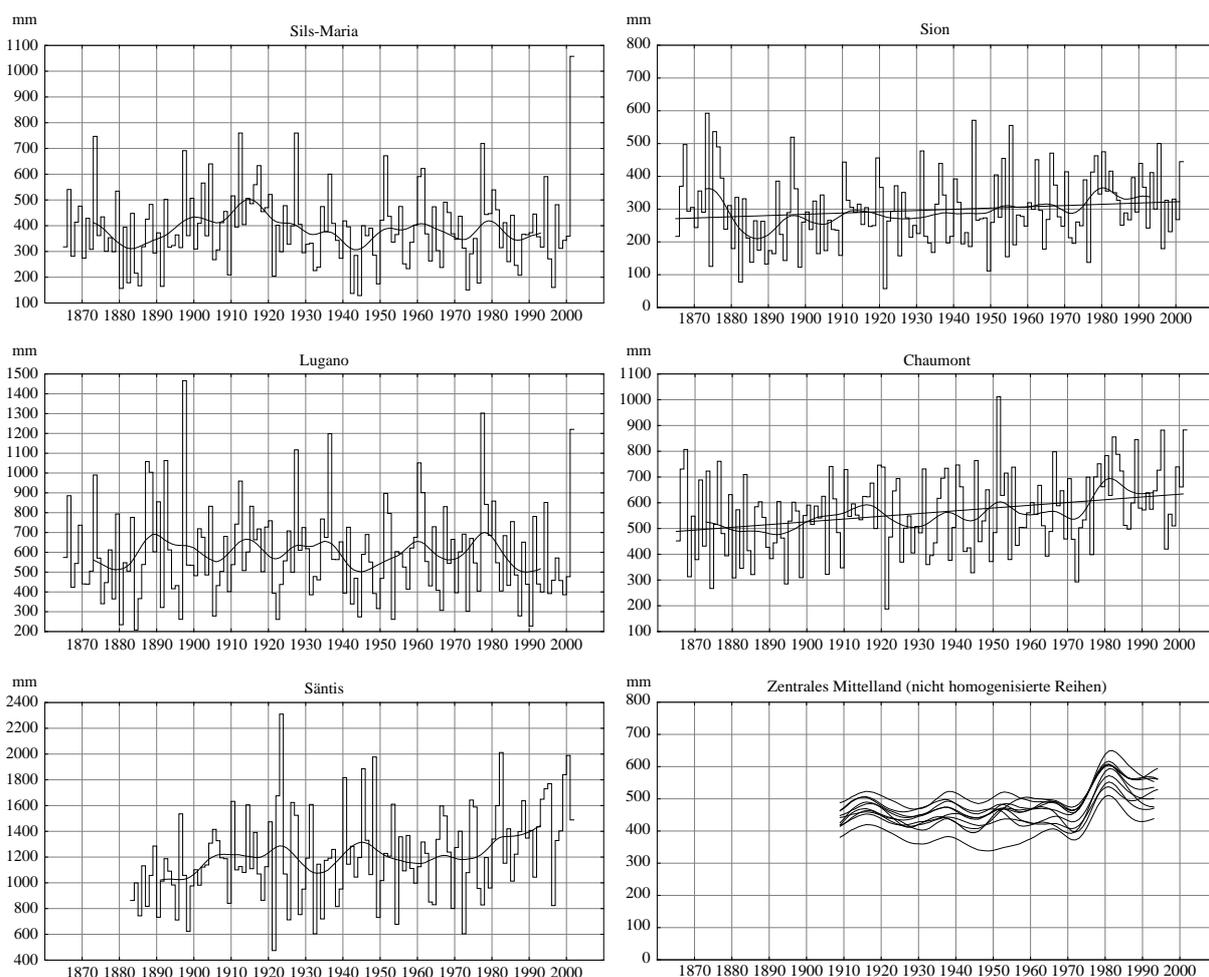


rungen in den Niederschlagssummen feststellbar. Ausgesprochen stabile langfristige Niederschlagsverhältnisse zeigen die Messreihen von Basel und Zürich (Abbildung 7).

Das Änderungsmuster am Ende der 1970er Jahre

Eine auffallende Änderung im Niederschlagsregime ist die Serie überdurchschnittlich niederschlagsreicher Winterhalbjahre am Übergang von den 1970er zu den 1980er Jahren. Im nördlichen und westlichen Teil der Schweiz ist zu dieser Zeit ein eigentlicher Sprung zu höheren Niederschlagsmengen feststellbar. Eindrücklich zeigt sich diese Änderung auch in vielen

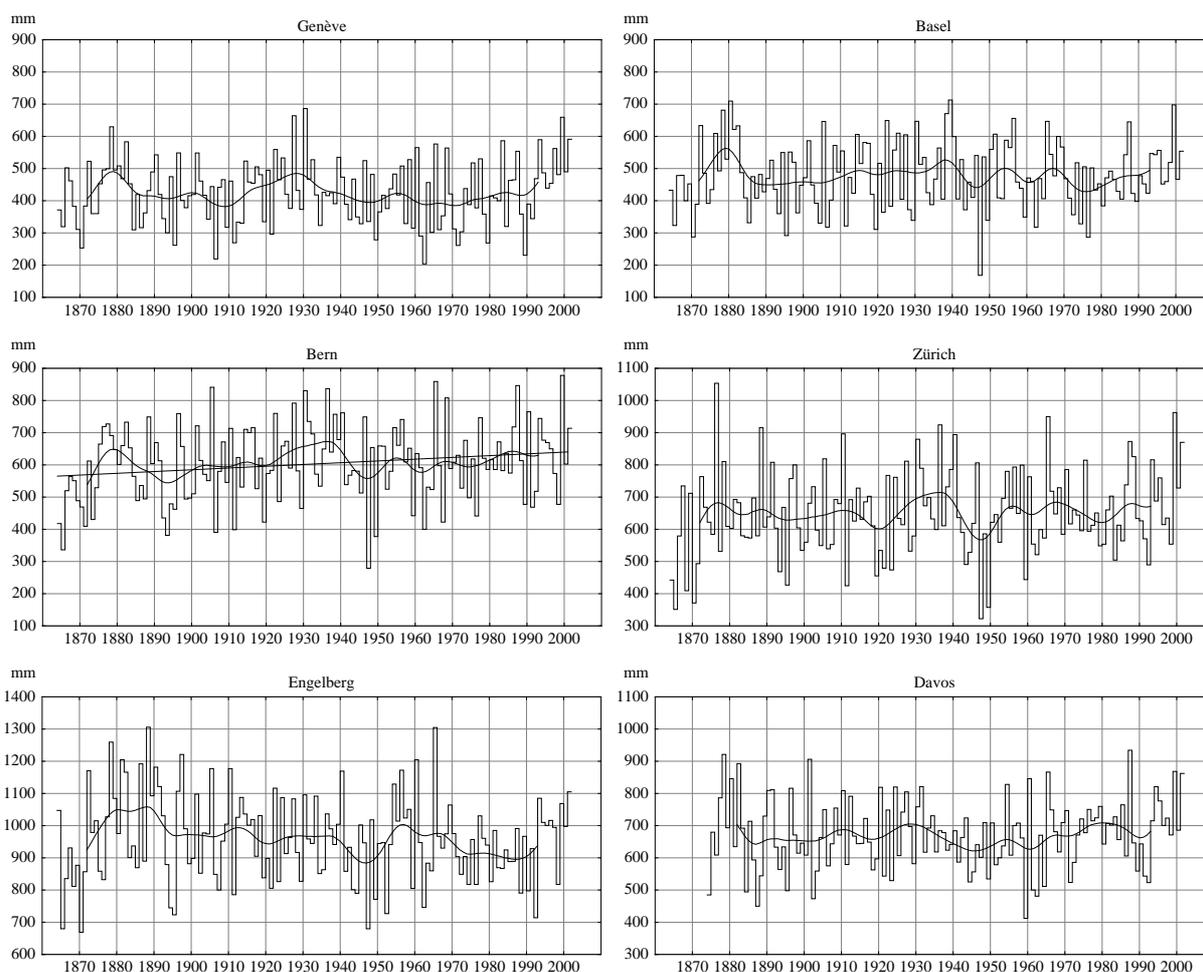
Unten rechts: Langjährige Niederschlagsentwicklung (Mittel über 20 Jahre) im Winterhalbjahr an ausgewählten Stationen des zentralen Mittellands (nicht homogenisierte Messreihen): Aarberg, Langnau i.E., Affoltern i.E., St. Urban, Beromünster, Unterkulm, Bülach, Küsnacht (ZH), Grüningen, Eschlikon.



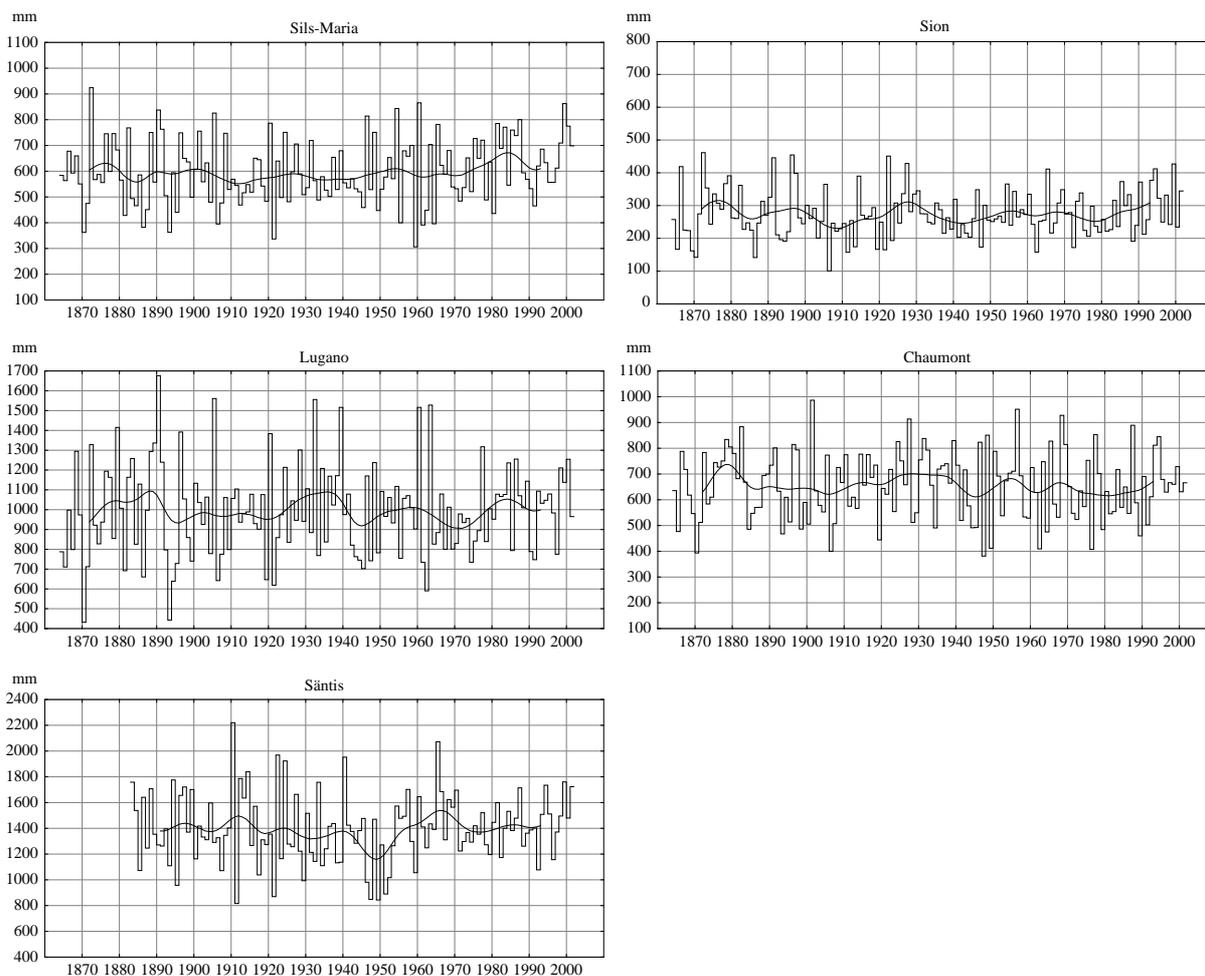
nicht homogenisierten Niederschlags-Messreihen. Markant findet sie sich in der Region des zentralen Mittellands (Abbildung 7, unten rechts), aber auch in den nicht homogenisierten Messreihen des westlichen Mittellands, entlang des Alpennordhanges, in Nordbünden sowie im Wallis. In abgeschwächter Form ist das Muster schliesslich auch in den Messreihen der Alpensüdseite (Beispiel Lugano) und des Engadins (Beispiel Sils-Maria) auszumachen.

Die Episode mit erhöhten Niederschlagsmengen im Winterhalbjahr endete nach wenigen Jahren ebenso abrupt wie sie begann. An einigen Stationen verblieb der langjährige Durchschnitt der Niederschläge anschliessend bis zur Jahrhundertwende auf einem erhöhten Niveau. Lugano auf der Alpensüdseite hingegen weist in dieser Zeit einen nachhaltigen Niederschlagsrückgang auf (Abbildung 7).

Abbildung 8 (diese und nächste Seite): Langjährige Niederschlagsentwicklung des Sommerhalbjahres. Für jede Station sind die Werte von Jahr zu Jahr, das Mittel über 20 Jahre sowie der lineare Trend (sofern signifikant) angegeben. Die Skalierung umfasst soweit als möglich 800 mm.



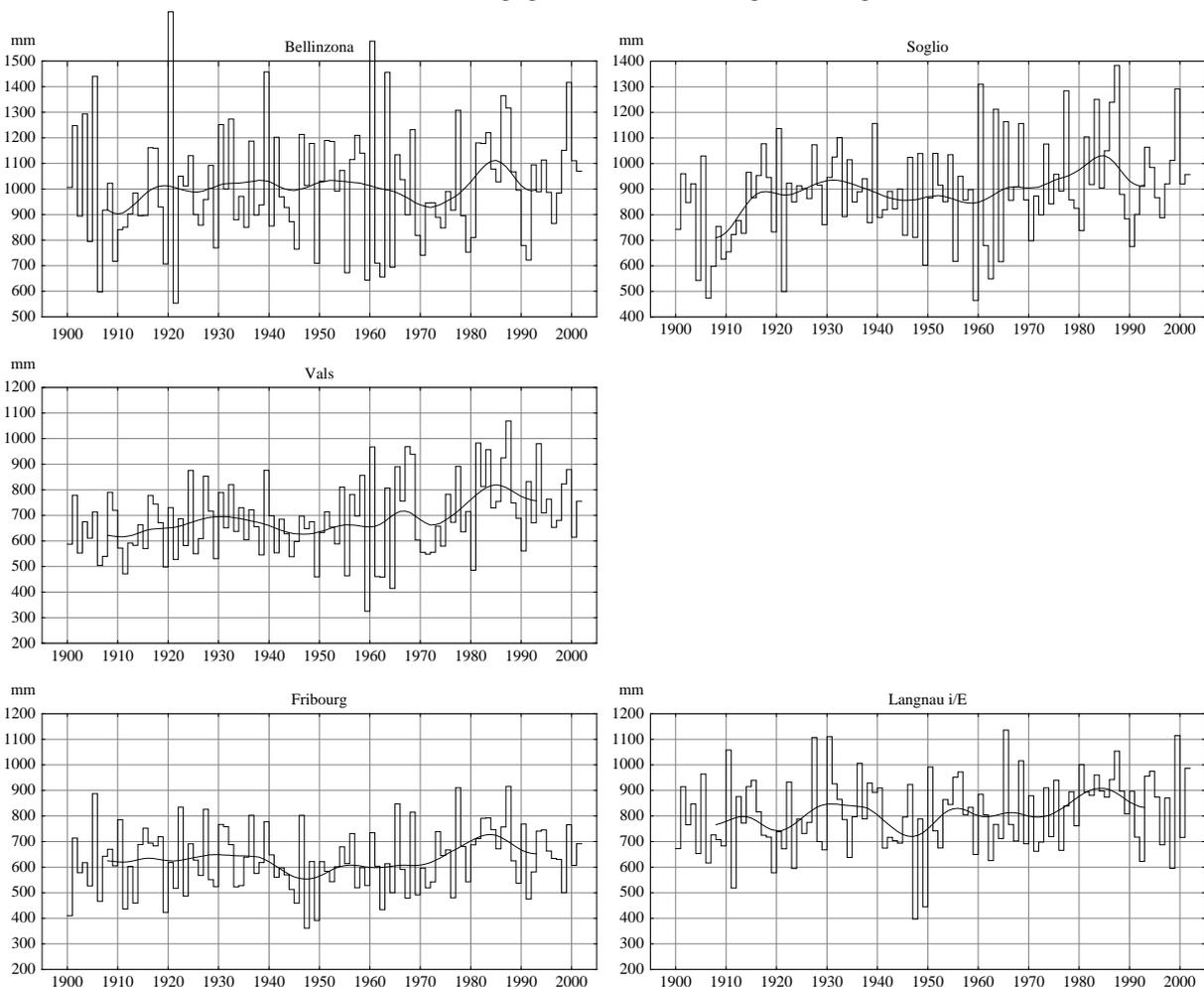
Die hier diskutierten Messreihen enden mit den zum Teil extremen Niederschlagssummen im Winterhalbjahr 2000/2001 (Abbildung 7). An den Stationen Sils-Maria und Genève liegen die Werte weit über der bisherigen Erfahrung. Lugano zeigt den dritthöchsten Wert seit Messbeginn. Das kommt nicht von ungefähr, fielen doch während des Winterhalbjahres 2000/2001 auf der Alpensüdseite und im Engadin in fünf, im Genferseegebiet in vier der sechs Monate deutlich überdurchschnittliche Niederschlagsmengen (MeteoSchweiz, 2001; MeteoSchweiz, 2002). Eingeleitet wurde diese nasse Phase mit extremen Niederschlägen, welche Mitte Oktober 2000 vor allem über dem Wallis und dem Tessin mit verheerenden Unwetterfolgen niedergingen. Durchtränkte, wegrutschende Hangschuttmassen rissen dabei das Walliser Grenzdorf Gondo entzwei, und eine Mure schotterte Baltschieder im Rhonetal bis zum ersten Stockwerk ein. Im Tessin stieg der Lago Maggiore auf den höchsten Stand seit dem Jahre 1868.



Regionale Niederschlagszunahme im Sommerhalbjahr

Auf Grund der wenigen homogenen Niederschlagsreihen ist das hier aufgezeigte Bild der Niederschlagsentwicklung im Sommerhalbjahr vermutlich recht unvollständig (Abbildung 8). In einigen Gebieten erscheint nämlich während der 1980er Jahre eine Phase mit deutlich erhöhten Niederschlagssummen (Abbildung 9). Weit verbreitet ist dieses Muster in Messreihen auf der Alpensüdseite. Es zieht sich vom nördlichen Tessin über das Bergell bis zum Engadin. In Nordbünden lässt sich das selbe an Stationen nahe des Alpenkamms (z.B. Vals, Vrin, Thusis und Andeer) beobachten. Hierin scheint sich die bekannte Affinität dieser Region zum südalpinen Niederschlagsregime zu zeigen. Schliesslich tritt das Muster an einzelnen Stationen am südlichen Rand des Mittellandes auf (z.B. Fribourg, Langnau im Emmental, Grüningen).

Abbildung 9: Niederschlagsentwicklung des Sommerhalbjahres 1900-2001 an ausgewählten Stationen mit besonderer Ausprägung während der 1980er Jahre (nicht homogenisierte Messreihen). Für jede Station sind die Werte von Jahr zu Jahr sowie das Mittel über 20 Jahre angegeben. Die Skalierung umfasst generell 1000 mm.



Die Episode mit höherem Niederschlag im Sommerhalbjahr endete, wie jene im Winterhalbjahr, nach wenigen Jahren. Beide Episoden zeigen damit einen sehr ähnlichen Charakter, sind jedoch etwa ein halbes Jahrzehnt gegeneinander verschoben. Auch wenn diese Analyse zum Teil auf nicht homogenen Daten beruht, wird doch deutlich, dass neben der Temperatur auch der Niederschlag im Bereich der 1980er Jahre eine spezielle Entwicklung durchlief.

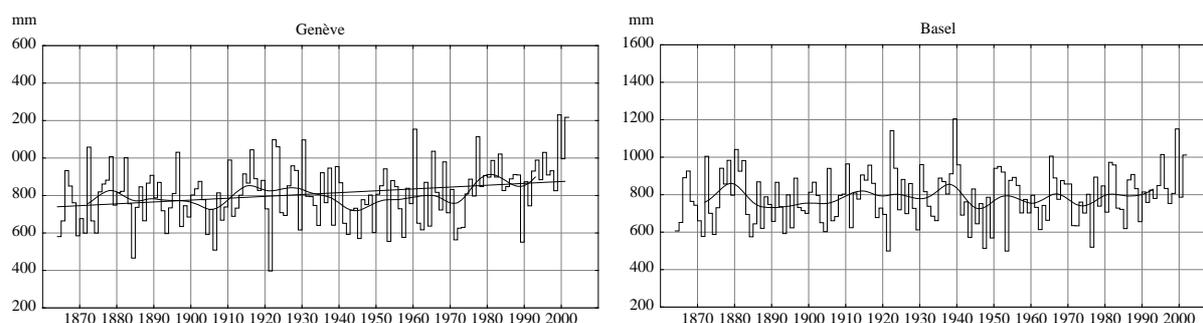
Niederschlagstrends

Für die Analyse der Niederschlagstrends zwischen 1865 und 2001 stehen nicht wie bei der Temperatur zehn, sondern lediglich neun Messreihen mit vollständigen Aufzeichnungen zur Verfügung. Neben der bereits bekannten Messreihe Davos reicht beim Niederschlag auch die Messreihe Säntis nicht bis zu den Anfängen des Messnetzes zurück. Zusammen mit Davos ist sie damit für Vergleichszwecke nicht geeignet.

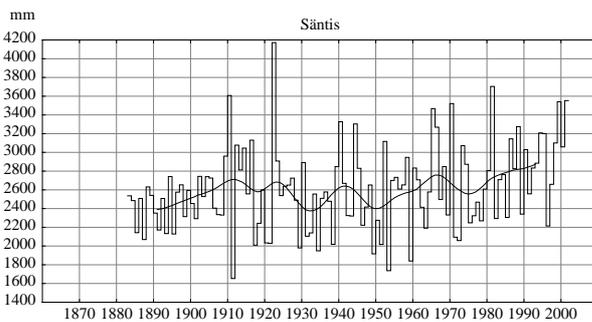
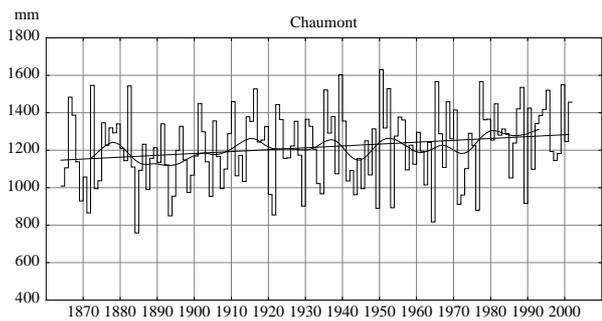
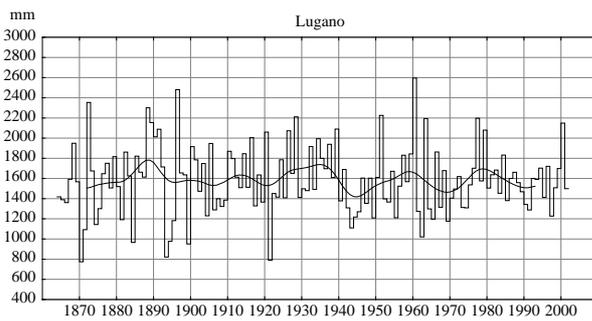
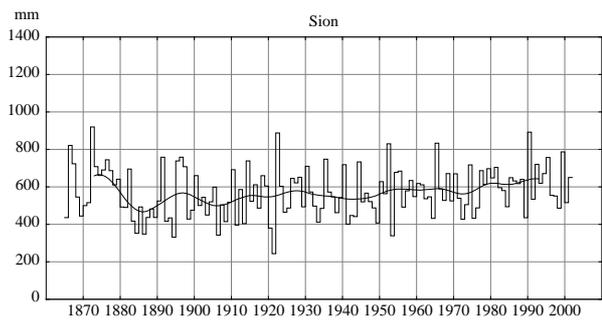
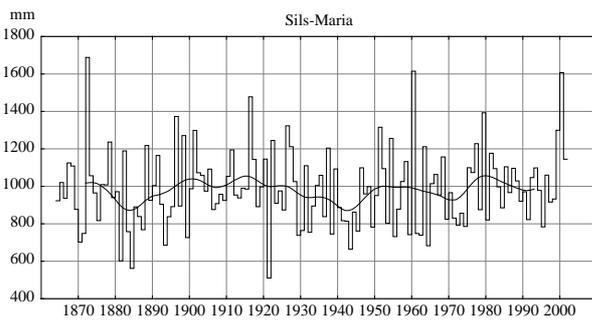
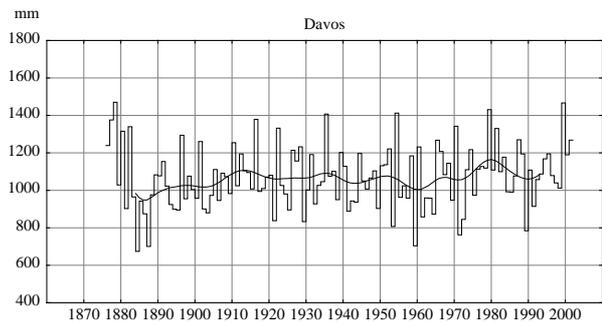
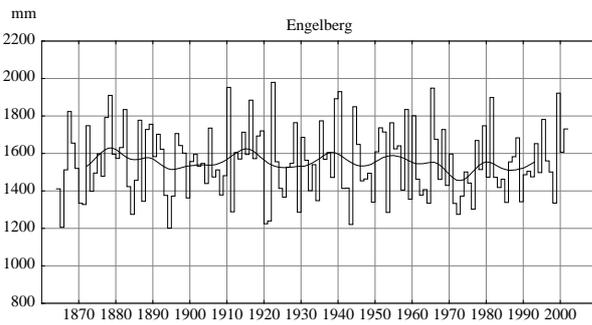
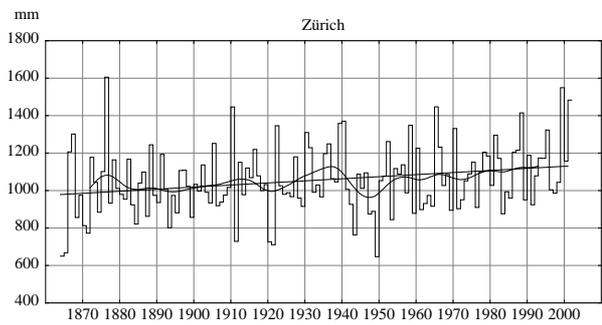
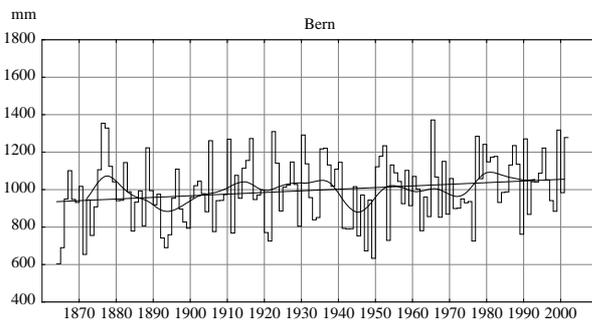
Im Winterhalbjahr zeigen vier der neun verfügbaren Messreihen eine signifikante Zunahme der Niederschläge (Tabelle 2). Der Trend der Messreihe Sion erreicht allerdings nur äusserst knapp Signifikanz. In der Messreihe der Jahressummen verschwindet diese ganz (Abbildung 10, Tabelle 2). Bei allen festgestellten Trends im Winterhalbjahr spielt die sprunghafte Niederschlagszunahme am Ende der 1970er Jahre die wesentliche Rolle, denn für die über 100 jährige Periode von 1865 bis 1970 sind in den entsprechenden Messreihen keine signifikanten Änderungen nachweisbar.

Im Sommerhalbjahr ist einzig in der Messreihe von Bern ein signifikanter Trend zu höheren Niederschlagssummen festzustellen (Tabelle 2). Allerdings muss hier gleich einschränkend angefügt werden, dass die wesentliche Änderung in den ersten Messjahren stattgefunden hat. In der Periode von 1880 bis 2001 ist keine Signifikanz mehr vorhanden.

Abbildung 10 (diese und nächste Seite): Langjähriger Verlauf der Jahresniederschläge (Summe Januar-Dezember). Für jede Station sind die Werte von Jahr zu Jahr, das Mittel über 20 Jahre sowie der lineare Trend (sofern signifikant) angegeben. Die Skalierung umfasst soweit als möglich 1400 mm.



DER NIEDERSCHLAGSVERLAUF VON 1864 BIS 2001



Niederschlagstrends in mm pro 100 Jahre in der Periode 1864-2001							
Region	m ü.M.	Winter- halbjahr	r²	Sommer- halbjahr	r²	Jahr	r²
Niederungen Alpennordseite							
Genève	420	+ 87 mm	0.08	/		+ 99 mm	0.07
Basel	316	/		/		/	
Bern	565	/		+55 mm	0.04	+ 87 mm	0.04
Zürich	556	+ 63 mm	0.06	/		+111 mm	0.06
Alpennordhang							
Engelberg	1035	/		/		/	
Säntis	2490	▲		▲		▲	
Innere Alpen							
Sion	482	+ 38 mm	0.02	/		/	
Davos	1590	▲		▲		▲	
Sils-Maria	1802	/		/		/	
Niederungen Alpensüdseite							
Lugano	273	/		/		/	
Jura							
Chaumont	1073	+ 107 mm	0.08	/		+100 mm	0.04

Tabelle 2: Niederschlagstrends in der Periode 1864-2001 für das Winterhalbjahr (Oktober-März), das Sommerhalbjahr (April-September) sowie das Kalenderjahr (Januar-Dezember). Nicht signifikante Trends sind mit / markiert. Man beachte die extrem tiefen Bestimmtheitsmasse. Bei der kürzeren Messreihen von Davos und vom Säntis wird der Trend aus Gründen der fehlenden Vergleichbarkeit nicht aufgeführt (▲).

Die Trends der Jahresniederschläge schliesslich, soweit sie überhaupt vorhanden sind, können hauptsächlich mit den Änderungen im Winterhalbjahr um 1980 begründet werden. In der über 100 Jahre dauernden Periode von 1864 bis 1970 ist bei keiner der betroffenen Messreihe ein signifikanter Trend nachweisbar (Abbildung 10, Tabelle 2).

DIE HÄUFIGKEIT VON STARK-NIEDERSCHLÄGEN SEIT 1864

In vielen Weltregionen ist Wassermangel das Hauptproblem. In anderen hingegen, und darunter fällt auch die Schweiz, birgt zuviel Wasser das grösste regelmässig wiederkehrende Naturgefahrenpotential. Auslöser dieser Gefahrensituationen sind Starkniederschläge, das heisst grosse, innerhalb kurzer Zeit niedergehende Niederschlagsmengen, sei es in Form von Regen oder auch in Form von Schnee. Die Häufigkeit von Starkniederschlägen ist deshalb ein ganz wesentliches Element in der Klimaentwicklung der Schweiz.

Die Erfassung von Starkniederschlägen

Untersuchungen zur langfristigen Häufigkeit von Starkniederschlägen sind immer mit der prinzipiellen methodischen Frage konfrontiert, wie ein Starkniederschlag überhaupt zu definieren ist. Wird der Schwellenwert der Niederschlagsmenge zu hoch angelegt, zum Beispiel im schadensverursachenden Bereich, werden die Ereignisse derart selten, dass Häufigkeitsänderungen kaum mehr sichtbar sind. Liegt der Schwellenwert zu tief, bewegt sich die Untersuchung im Bereich der allgemeinen Niederschlagstätigkeit, welche aber bereits aus den jahreszeitlichen Abklärungen hervorgeht. Ein bewährter Schwellenwert ist eine Niederschlagsmenge von 70 mm und mehr innerhalb eines Tages (Courvoisier, 1998). Bei der Wahl des engen Zeitraums von nur einem Tag (24 Stunden) entsteht nun aber das Problem, dass ein Starkniederschlag nicht erfasst wird, wenn er über den Messtermin (morgens um 07:00 Uhr) hinweg andauert, aber weder vor noch nach dem Messtermin 70 mm liefert. Auf diese Weise können auch Ereignisse mit Niederschlagsmengen von deutlich über 100 mm innerhalb von 24 Stunden, was einem sehr starken Ereignis entspricht, von der Untersuchung ausgeschlossen bleiben. Um dieses Problem zu umgehen, beruhen die anschliessenden Auswertungen auf Niederschlagsereignissen mit Mengen von mindestens 70 mm innerhalb von 48 Stunden. Als negativer methodischer Effekt führt die Erstreckung des Erfassungszeitraums auf zwei Tage dazu, dass mitunter auch zwei kleinere Ereignisse im Abstand eines Tages mit insgesamt 70 mm als Starkniederschlag in die Untersuchung eingehen.

Niederschlagsmessreihen mit Beginn im Jahr 1900 sind in grosser Anzahl zur Auswertung verfügbar. Dieser umfangreiche Datensatz war auch jüngst Gegenstand von Starkniederschlagsanalysen (z.B. Courvoisier, 1998; Frei and Schär, 2001). Niederschlagsmessreihen ab

1864 sind in weit geringerer Anzahl für die Auswertung zugänglich. Sie schliessen aber die bekannten, an Unwettern reichen Jahre in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts ein und bergen deshalb wichtige klimatologische Information.

Da an einer einzelnen Station starke Niederschlagsereignisse in der Regel zu selten sind, um daraus Tendenzen bezüglich der Änderung in der Häufigkeit ablesen zu können, müssen meist mehrere Stationen für die Auswertung zusammengefasst werden. Dabei muss sichergestellt sein, dass während der gesamten Auswerteperiode alle Stationen verfügbar sind. Andernfalls ergeben sich Häufigkeitsänderungen auf Grund der Änderung der Zahl der Stationen. Weiter sind Ereignisse, welche gleichzeitig an mehreren Stationen registriert wurden, nur einmal zu zählen.

Eine für diesen Zweck genügend grosse Anzahl von Messreihen ab 1864 ist nur in den Niederungen der Alpennordseite verfügbar (Abbildung 11). Zu Beginn der Auswerteperiode sind

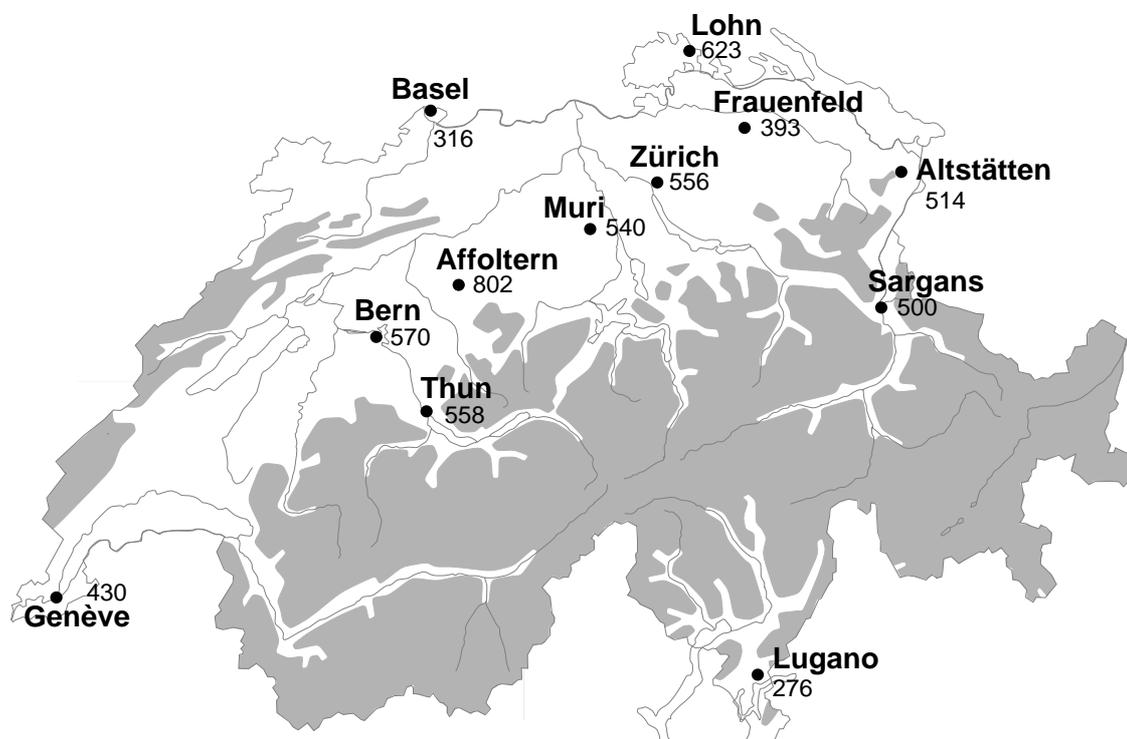
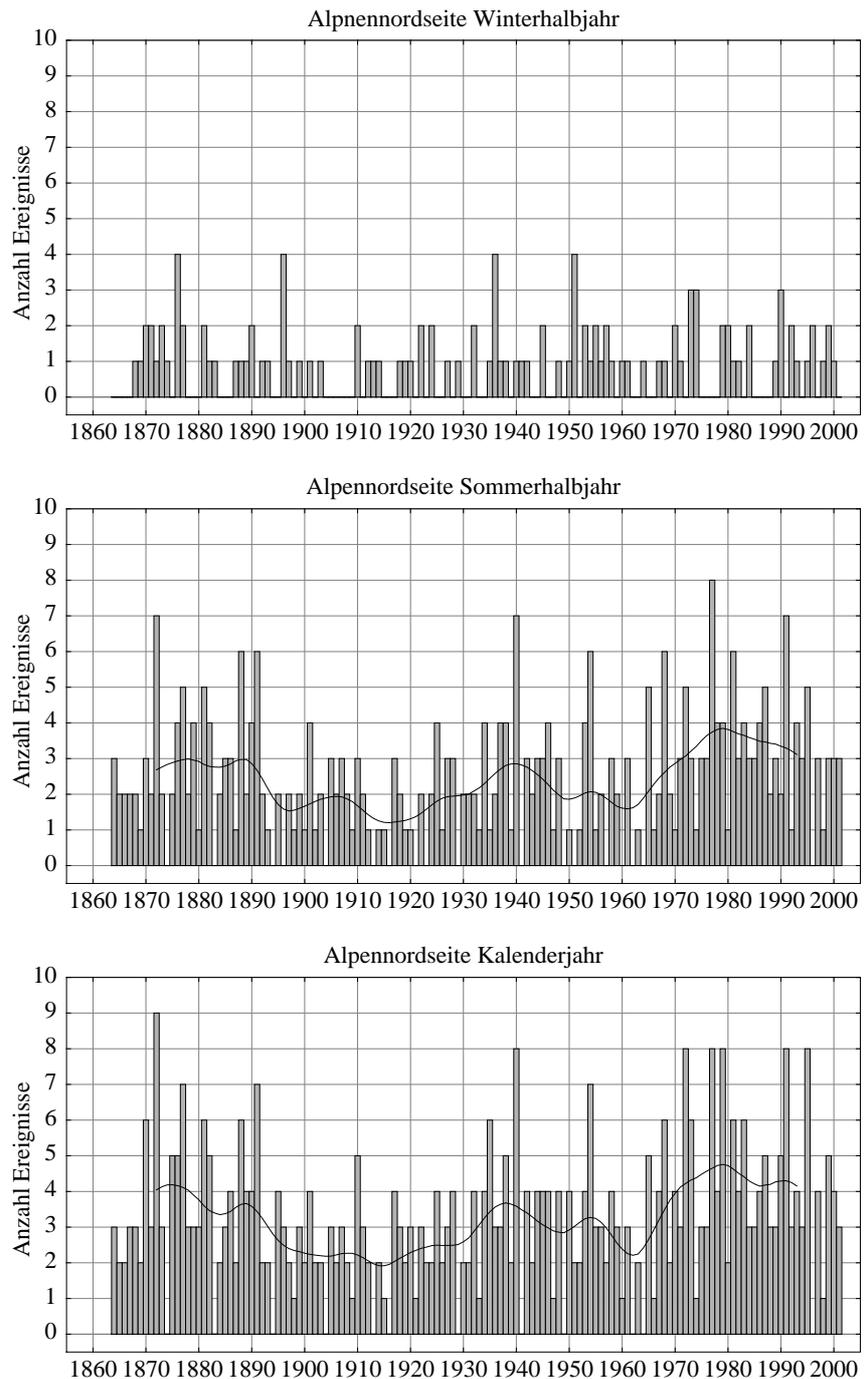


Abbildung 11: Verfügbare Niederschlags-Messreihen in den Niederungen der Alpennord- und der Alpensüdseite mit Tageswerten ab 1864 (Thun ab 1875). Höhenlagen über 1000 m ü.M. sind grau hinterlegt. Zu jeder Station ist die Höhe in m ü.M. angegeben.

allerdings in einzelnen dieser Messreihen kürzere Unterbrüche vorhanden. Die wegen ihrem lückenlosen Verlauf wichtige Messreihe von Thun beginnt zudem erst im Jahr 1875.

Auf der Alpensüdseite mit generell höheren Niederschlagsmengen stellt sich die Situation einfacher dar. Bereits aus den Aufzeichnungen der einzigen ab 1864 verfügbaren Station Lu-

Abbildung 12 : Anzahl von Starkniederschlägen (ab 70 mm/2 Tage) 1864 bis 2001 im Winterhalbjahr (oben), im Sommerhalbjahr (Mitte) und im Kalenderjahr (unten) in den Niederungen der Alpennordseite. Angegeben sind jeweils die Werte von Jahr zu Jahr sowie - sofern sinnvoll - das Mittel über 20 Jahre.



gano werden langfristige Häufigkeitsänderungen gut sichtbar. Selbstverständlich ist zu berücksichtigen, dass die so ermittelten absoluten Häufigkeiten nicht direkt mit den Häufigkeiten einer grösseren Region vergleichbar sind.

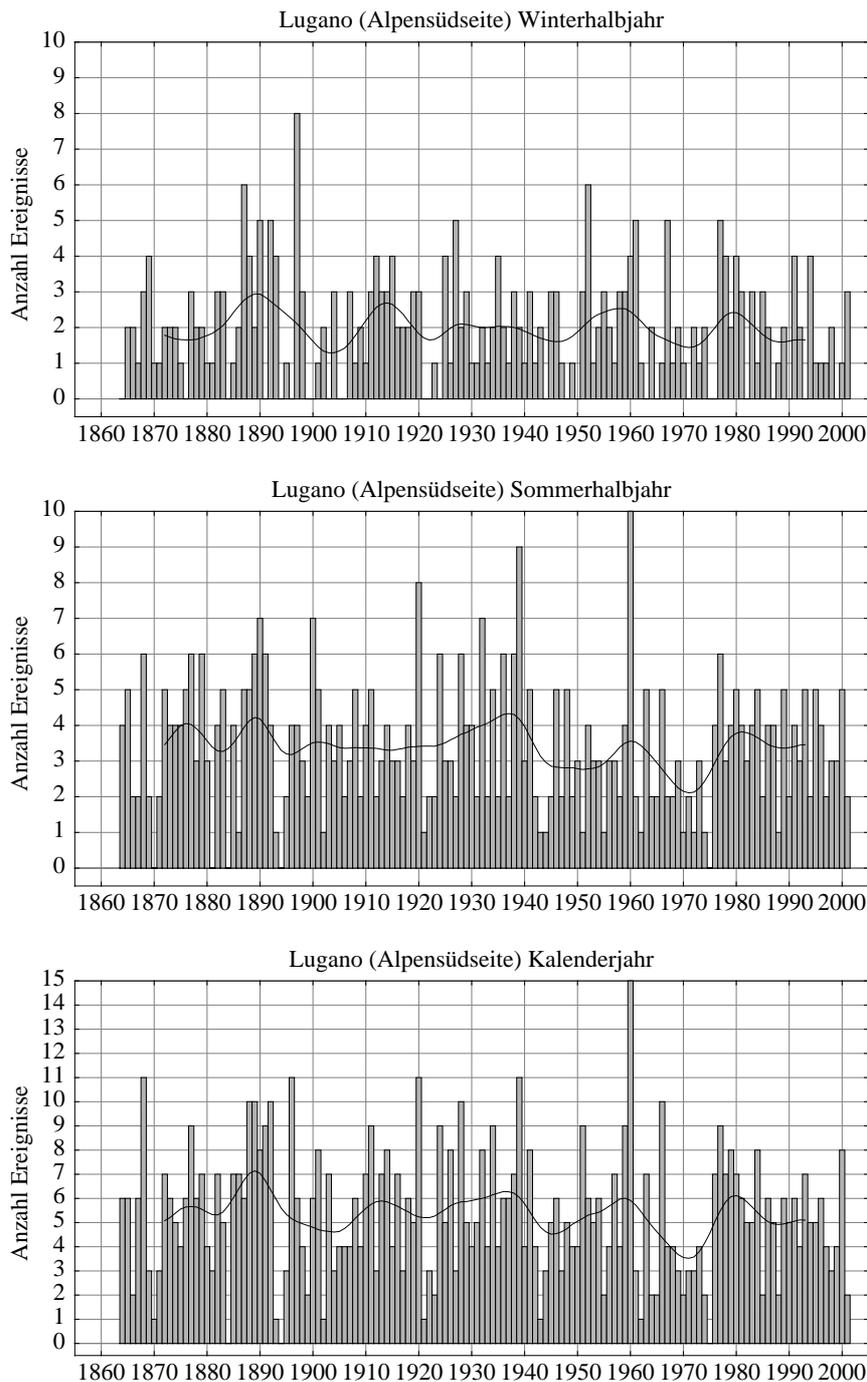


Abbildung 13: Anzahl von Starkniederschlägen (ab 70 mm/2 Tage) 1864 bis 2001 im Winterhalbjahr (oben), im Sommerhalbjahr (Mitte) und im Kalenderjahr (unten) an der Station Lugano auf der Alpensüdseite.

Man beachte die unterschiedliche Skalierung der unteren Grafik (Kalenderjahr).

Angegeben sind jeweils die Werte von Jahr zu Jahr sowie das Mittel über 20 Jahre.

Die langfristigen Tendenzen

Die Auswertung, getrennt nach Halbjahren, macht zunächst einmal deutlich, dass Starkniederschläge in den Niederungen beidseits der Alpen bevorzugt im Sommerhalbjahr fallen (Abbildungen 12 bis 14). Auf Grund der sommerlichen Gewitterlagen, welche oft hohe Niederschlagsmengen in sehr kurzer Zeit liefern, ist dies nicht sonderlich überraschend. In den Niederungen der Alpennordseite spielt das Winterhalbjahr sogar eine ausgesprochen untergeordnete Rolle. Die Jahresübersicht zeichnet dementsprechend weitgehend die Entwicklung des Sommerhalbjahres nach (Abbildung 12). Dieser Befund darf aber keinesfalls darüber hinwegtäuschen, dass im Alpenraum der Schweiz gerade im Winterhalbjahr sowohl in historischer Zeit als auch in der jüngsten Vergangenheit immer wieder extreme Niederschläge mit grossen Schadensfolgen gefallen sind.

In den Niederungen der Alpennordseite sind seit 1864 offensichtlich episodische Häufungen von Starkniederschlägen das typische klimatische Muster. Eine langfristige Tendenz im Sinne eines Trends geht aus der Analyse nicht hervor.

Die Häufung von Starkniederschlägen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, welche unter Berücksichtigung der hier zum Teil fehlenden Daten vermutlich noch etwas expliziter ausfallen dürfte, deckt sich mit historischen Unwetter-Analysen, welche zu jener Zeit eine erhöhte Anzahl von Schaden-Unwettern nachweisen (Pfister, 1999; Röthlisberger, 1991). Dieselben historischen Analysen zeigen im 20. Jahrhundert bis 1975 eine relative Seltenheit von starken Unwettern mit Hochwasserfolgen auf, was ebenfalls mit der hier gezeigten Entwicklung der Starkniederschläge in Einklang steht.

Ziemlich genau 100 Jahre nach dem gehäuften Auftreten von Starkniederschlägen im 19. Jahrhundert setzte Ende der 1970er Jahre auf der Alpennordseite eine weitere ausgeprägte Häufung ein. Sie erscheint wiederum in derselben Zeitperiode, welche mittlerweile schon mehrfach als klimatische Wende aufgefallen war. Die intensiviertere Starkniederschlagstätigkeit ab Ende der 1970er Jahre geht auch aus der Untersuchung von Courvoisier (1998) hervor. Ab demselben Zeitpunkt ist auch in der Hochwasserstatistik eine Häufung zu beobachten (Röthlisberger, 1998). Hydrologische Analysen weisen zudem ab 1977 an einigen Flüssen in der Schweiz und in Europa häufiger grosse Tagesabflüsse nach, während von 1972 bis 1976 solche weitgehend fehlten (Overnay et al., 1997). In der Messreihe Lugano auf der Alpensüdseite steigt zu dieser Zeit die Zahl der Starkniederschläge nach einer längeren Ruhephase abrupt auf das vorherige Niveau (Abbildung 13). Diese Änderung ist vor allem im Sommerhalbjahr markant, kommt aber auch im Winterhalbjahr etwas zum Ausdruck. Im Übrigen zeigt sich die langjährige Entwicklung der Starkniederschläge in der Messreihe Lugano sowohl im Winter als auch im Sommerhalbjahr von einer sehr monotonen Seite. Auch hier ist keine langfristige Tendenz in der Häufigkeit der Starkniederschläge erkennbar.

Die beiden Starkniederschlags-Häufungen in den Niederungen der Alpennordseite zeigen auffallend unterschiedliche monatliche Verteilungen (Abbildung 14, oben). In der Periode 1871 bis 1900 mit insgesamt 104 Ereignissen erstreckte sich die Saison mit erhöhtem Starkniederschlags-Risiko vor allem über die fünf Monate Juni bis Oktober. Charakteristisch ist das zwei-

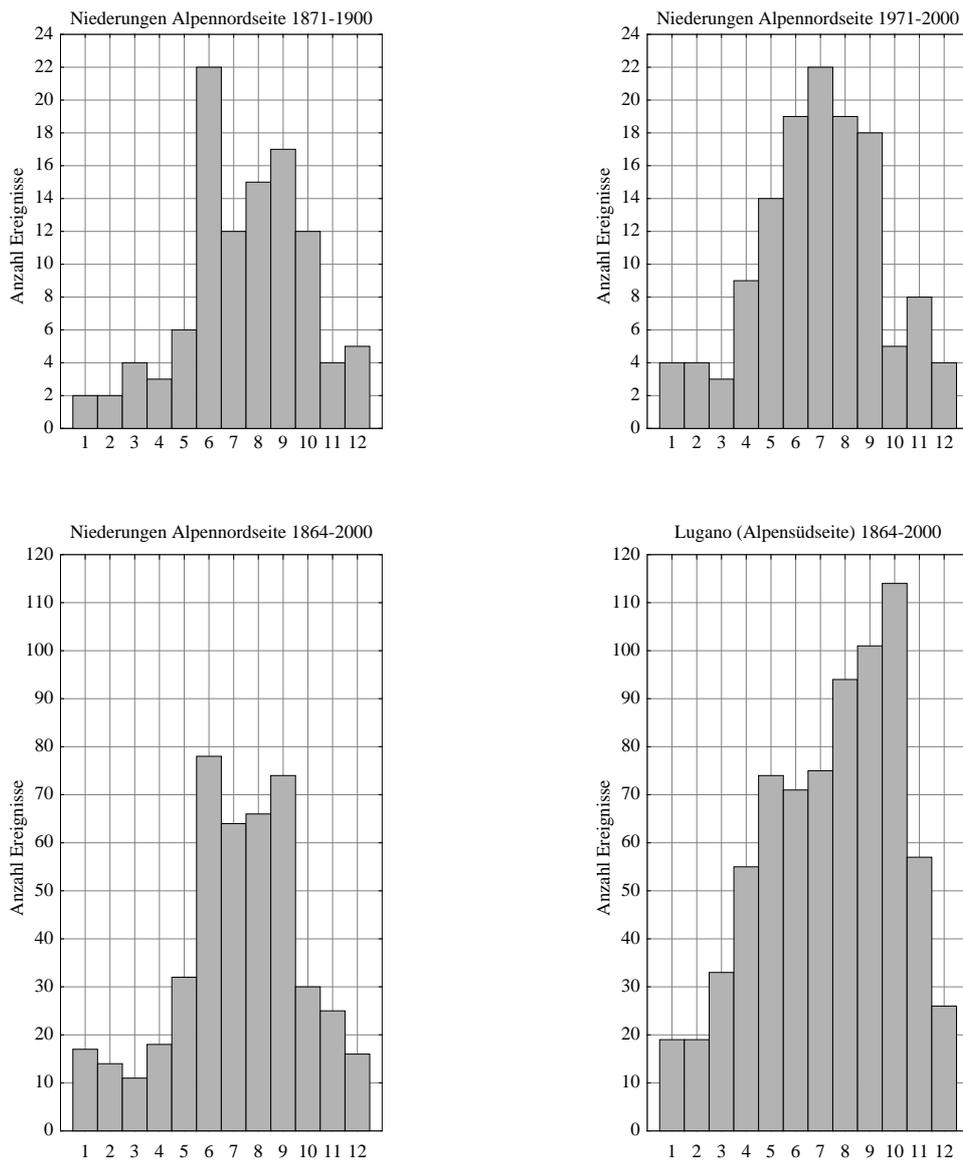


Abbildung 14: Oben: Monatliche Anzahl von Starkniederschlägen (ab 70 mm/2 Tage) in den Niederungen der Alpennordseite in den 30 Jahren von 1871 bis 1900 (links) sowie von 1971 bis 2000 (rechts). Unten: Monatliche Anzahl von Starkniederschlägen (ab 70 mm/2 Tage) von 1864 bis 2000 in den Niederungen der Alpennordseite (links) sowie an der Station Lugano auf der Alpensüdseite (rechts).

gipflige Aktivitätsmaximum von Juni und September, welches auch über die gesamte Messperiode von 1864 bis 2000 erhalten bleibt (Abbildung 14 unten links).

In der Periode von 1971 bis 2000 mit insgesamt 129 Ereignissen setzte die Saison mit erhöhtem Starkniederschlags-Risiko ein bis zwei Monate früher ein, endete aber auch einen Monat früher. Neu zeigten sich im November vermehrt Starkniederschläge. In den Niederungen der Alpennordseite hat sich damit einerseits im Jahresablauf die Zeit mit erhöhtem Starkniederschlags-Risiko um einen bis zwei Monate verlängert, und andererseits sind gegenüber der Vergleichs-Periode von 1871 bis 1900 deutlich mehr Starkniederschläge gefallen. Dieser zweite Aspekt ist allenfalls etwas zu relativieren, da die Datenreihen von 1864 bis 1878 nicht ganz vollständig sind.

Ganz unterschiedlich zu den Niederungen der Alpennordseite präsentiert sich die monatliche Verteilung der Starkniederschläge an der Station Lugano auf der Alpensüdseite. Verhältnismässig geringe Häufigkeiten zeigen nur die vier Monate Dezember bis März. Im überwiegenden restlichen Teil des Jahres, von April bis November, herrscht hier ein erhöhtes Starkniederschlags-Risiko. Mit der maximalen Häufung im Oktober zeigt sich schliesslich als eindeutiges klimatologisches Muster die bekannte Sensibilität der Alpensüdseite bezüglich herbstlicher Starkniederschläge.

VERÄNDERTES KLIMA

Das globale Klima hat sich verändert. Im 20. Jahrhundert ist die globale Temperatur um $+0.6^{\circ}\text{C}$ (mit einem Unsicherheitsbereich von $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$) angestiegen. Die 1990er Jahre waren global das wärmste Jahrzehnt seit Beginn der systematischen Messungen um die Mitte des 19. Jahrhunderts. Die global bisher höchste Jahresmittel-Temperatur wurde im Jahr 1998 gemessen (IPCC, 2001). Dabei haben sich der Langfristtrend der globalen Erwärmung sowie das sehr starke El Niño-Ereignis von 1997/98 überlagert (WMO, 1999).

In der Schweiz ist im 20. Jahrhundert landesweit gemittelt eine Erwärmung von $+1.4^{\circ}\text{C}$ festzustellen (entspricht gleichzeitig dem Trend pro 100 Jahre). Der grösste Anteil daran hatte das Winterhalbjahr mit einer Erwärmung von $+1.5^{\circ}\text{C}$, während das Sommerhalbjahr um $+1.1^{\circ}\text{C}$ wärmer wurde. Diese Trends sind grösser als in den gesamten verfügbaren 138 Jahren von

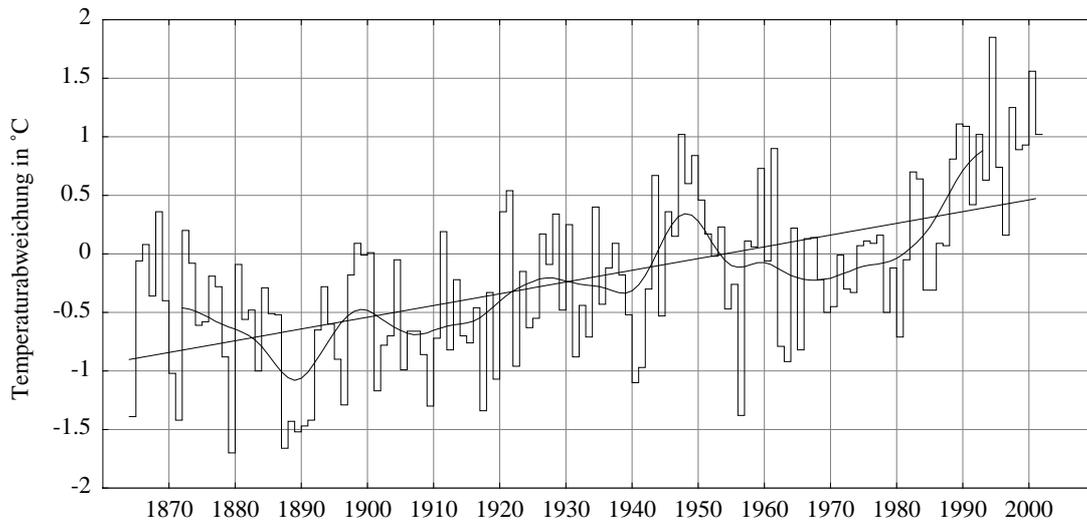


Abbildung 15: Jährliche Abweichung der Temperatur in der Schweiz von der Jahresnorm 1961-1990. Angegeben sind die Abweichungen von Jahr zu Jahr, das Mittel der Abweichung über 20 Jahre sowie der lineare Trend von 1864 bis 2001 (+1.0 °C pro 100 Jahre). Die Gesamterwärmung 1864 bis 2001 beträgt +1.4 °C. Die Abweichungen von Jahr zu Jahr sind das Mittel aller zwölf homogenen Temperaturreihen in der Schweiz. Man beachte, dass bei dieser über die ganze Schweiz gemittelten Darstellung der beachtliche Unterschied zwischen der nordalpinen und südalpinen Temperaturänderung verwischt wird (vgl. dazu Tabelle 1).

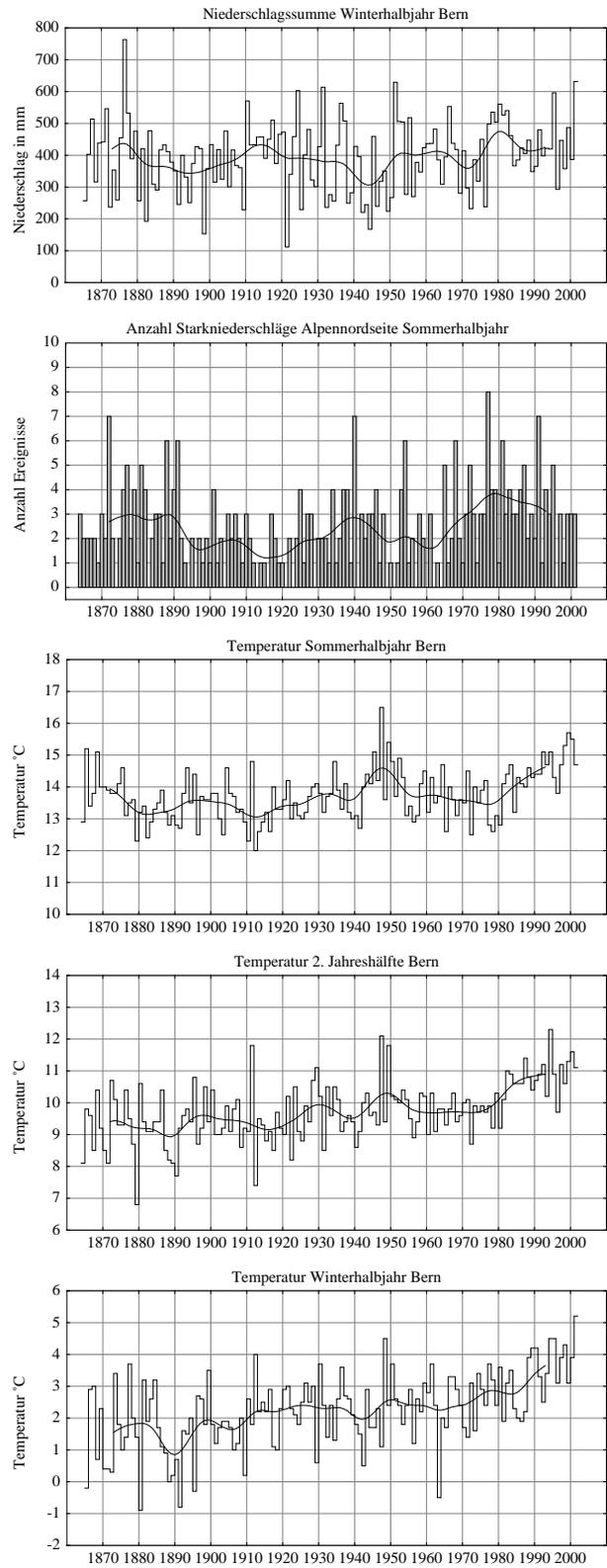
1864 bis 2001. Das liegt daran, dass in der Schweiz ab 1864, wie in den vorangegangenen Kapiteln eingehend beschrieben, zunächst eine recht markante Abkühlungsphase¹ herrschte (Abbildung 15). Die Berechnungen für das 20. Jahrhundert setzen deshalb auf einem tieferen Temperaturniveau ein als jene ab 1864 und führen so zu entsprechend grösseren Trends. Während der gesamten 138jährigen Messperiode von 1864 bis 2001 ergibt sich, gemittelt über die ganze Schweiz, ein Trend von +1.0 °C pro 100 Jahre, und damit ein Temperaturanstieg von insgesamt +1.4 °C.

Einen entscheidenden Beitrag, nicht nur in der Temperatur-, sondern in der gesamten klimatischen Entwicklung in der Schweiz, brachte der massive Klima-Umschwung ab Ende der 1970er Jahre. In Abbildung 16 sind die verschiedenen Effekte synchron miteinander dargestellt.

1. Die ausgeprägte Kaltphase am Ende des 19. Jahrhunderts geht einher mit dem Ende der sogenannten „Kleinen Eiszeit“, welche zwischen dem 15. Jahrhundert und dem Ende des 19. Jahrhunderts zumindest nordhemisphärisch, allenfalls auch global, deutlich kühlere Temperaturen brachte (IPCC, 2001).

VERÄNDERTES KLIMA

Abbildung 16: Der massive Klima-Umschwung ab Ende der 1970er Jahre. Es handelt sich um einen bedeutenden klimatischen Wandel, welcher in dieser umfassenden Art in der gesamten bisherigen Messperiode nie aufgetreten ist. Diskussion siehe Text.



Zunächst reagierte das Niederschlagsregime mit plötzlich erhöhten Niederschlagsmengen im Winterhalbjahr und einer deutlich erhöhten Häufigkeit der Starkniederschläge im Sommerhalbjahr. Ab Beginn der 1980er Jahre setzte nach einer länger dauernden Abkühlungsphase ein schneller Wechsel zu einer nachhaltigen Erwärmung der Sommerhalbjahre ein, und die Temperatur der zweiten Jahreshälfte wurde in einem Sprung auf ein deutlich höheres Niveau angehoben. Mitte der 1980er Jahre nahmen regional vorübergehend die Niederschlagsmengen der Sommerhalbjahre zu (in Abbildung 16 nicht enthalten), während die Episode mit erhöhten Niederschlagsmengen im Winterhalbjahr wieder zu Ende ging. Ende der 1980er Jahre vollzog sich schliesslich die sprunghafte und nachhaltige Erwärmung der Winterhalbjahre.

Die Schweiz durchlief ab Ende der 1970er Jahre einen bedeutenden klimatischen Wandel, welcher in dieser umfassenden Art in der gesamten bisherigen Messperiode nie aufgetreten ist. Die Klimaänderung ist für die Schweiz nicht ein Zukunfts-Szenario, sondern bereits eingetretene Realität. Die Untersuchung der Ursachen, welche zu den festgestellten Änderungen und insbesondere zu den aufgezeigten Klima-Sprüngen in den Schweizer Messreihen führten, sind Gegenstand von laufenden Forschungsarbeiten (vgl. z.B. Scherrer and Appenzeller, 2003; Scherrer et al., 2004; Studer et al., 2003).

Die langjährige klimatische Entwicklung in der Schweiz nimmt im Vergleich zum übrigen Alpenraum keine Sonderstellung ein. Eine jüngst durchgeführte Analyse von 97 langen homogenen Temperaturmessreihen aus dem gesamten europäischen Alpengebiet und dessen näherer Umgebung ergab für die Periode zwischen 1890 und 1998 einen Trend von 1.1 °C pro 100 Jahre. Wird die gesamte verfügbare Messperiode ab 1760 betrachtet, tragen ebenfalls die Jahre ab etwa 1970 wesentlich zum insgesamt positiven Temperaturtrend bei. Zwischen 1790 und 1890 hingegen ist im Alpenraum eine ausgeprägte Abkühlung feststellbar (Böhm et al., 2001). Die anschliessende alpine Wiedererwärmung zeigt einen weitgehend übereinstimmenden Verlauf mit den hier gezeigten Schweizer Temperaturreihen, und auch der Temperatursprung in den 1980er Jahren ist ein gesamtalpines Phänomen.

Auch auf der gesamteuropäischen Ebene fügen sich die hier diskutierten Klimamessreihen der Schweiz gut in bisherige Analysen der umliegenden Regionen ein, wie ein eben fertiggestellter Vergleich ergab (Begert et al., 2004). Insbesondere macht der Vergleich deutlich, dass die spezifische Temperaturentwicklung auf der Alpensüdseite (Messreihen Lugano und Sils-Maria) in guter Übereinstimmung mit jener von Norditalien steht. Demgegenüber zeigen die langjährigen Niederschlagstrends der beiden Regionen wenig Ähnlichkeit.

Lange Klimamessreihen liefern die grundlegenden Informationen zum langfristigen Klimaverhalten an einem Ort oder in einer Region. Dies allerdings nur dann, wenn sich die Analyse nicht auf den Trend allein beschränkt. Trends sind vorsichtig zu interpretieren. Ohne die gleichzeitige Betrachtung der Änderungen des langjährigen Mittels sind sie nicht geeignet, um die Klimaentwicklung richtig zu erfassen. Im Gegenteil: Wesentliche Elemente im Klimaverlauf

werden durch den Trend sozusagen verwischt. Deshalb muss ein Trend immer sorgfältig auf seine zeitliche Repräsentanz hin geprüft werden. Erst bei Verwendung unterschiedlicher Untersuchungsperioden wird ersichtlich, wie stabil sich ein Trend und vor allem dessen Signifikanz insgesamt verhält.

LITERATUR

- Begert, M., G. Seiz, Th. Schlegel, M. Musa, G. Baudraz, M. Moesch, 2003: Homogenisierung von Klimamessreihen der Schweiz und Bestimmung der Normwerte 1961-1990. Schlussbericht des Projekts NORM90. MeteoSchweiz, Zürich.
- Begert, M., T. Schlegel, W. Kirchhofer, 2004: Homogeneous temperature und precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. *Int. Journal of Climatology*, submitted.
- Beniston M., M. Rebetez, F. Giorgi, and M.R. Marinucci, 1994: An analysis of regional climate change in Switzerland. *Theoretical and Applied Climatology* 49: 135-159.
- Böhm, R., I. Auer, M. Brunetti, M. Maugeri, T. Nanni and W. Schöner, 2001: Regional temperature variability in the European Alps: 1760-1998 from homogenized instrumental time series. *International Journal of Climatology* 21: 1779-1801.
- Courvoisier, H.W., 1998: Statistik der 24-stündigen Starkniederschläge in der Schweiz 1901 - 1996. *Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, MeteoSchweiz*, Nr. 194.
- Frei C. and C. Schär, 1998: A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations. *International Journal of Climatology* 18: 873-900.
- Frei C. and C. Schär, 2001: Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitation in the Alpine region. *Journal of Climate* 14: 1568-1584.
- IPCC 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Maurer J., R. Billwiller und C. Hess, 1909: *Das Klima der Schweiz. Auf der Grundlage der 37jährigen Beobachtungsperiode 1864-1900*. Kommissionsverlag Huber & Co., Frauenfeld.
- MeteoSchweiz, 2001: *Annalen 2000*. 137. Jahrgang.
- MeteoSchweiz, 2002: *Annalen 2001*. 138. Jahrgang.
- OcCC 2003: *Extremereignisse und Klimaänderung*. Herausgeber: Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung (OcCC), Bern.

- Overnay O., D. Consuegra, A. Musy, P. Lazaro, J.-L. Boillat, R.O. Sinniger, 1997: Influence des changements climatiques sur les régimes hydrologique et hydraulique des cours d'eau. Rapport final PNR 31. vdf Hochschulverlag AG, ETH Zürich.
- Pfister C., 1999: Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen. Paul Haupt Verlag, Bern.
- Röthlisberger G., 1991: Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz. Berichte der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Nr. 330.
- Röthlisberger G., 1998: Unwetterschäden in der Schweiz. Berichte der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Nr. 346.
- Sachs L., 1997: Angewandte Statistik. Achte, völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer Verlag, Berlin.
- Scherrer, S.C., and C. Appenzeller, 2003: Swiss alpine snow variability and its links to large scale flow patterns. Extended Abstract proceedings, ICAM/MAP Meeting 2003: 567-570.
- Scherrer, S.C., C. Appenzeller, and M.C. Laternser, 2004: Trends in Swiss Alpine snow days. The role of local climate and large scale dynamics. Geophys. Res. Lett. (in press).
- Schmidli J., C. Schmutz, C. Frei, H. Wanner and C. Schär, 2002: Mesoscale precipitation variability in the region of the European Alps during the 20th century. International Journal of Climatology 22: 1049-1074.
- Schönwiese Ch.-D., 1985: Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. Verlag Gebrüder Bornstraeger, Berlin, Stuttgart.
- Schwarb M., C. Daly, C. Frei, C. Schär, 2001: Mittlere jährliche Niederschlagshöhen im europäischen Alpenraum 1971-1990. Sonderdruck aus: Hydrologischer Atlas der Schweiz, Landeshydrologie, Bern.
- Schweizerische Meteorologische Anstalt, 1981: 100 Jahre Schweizerische Meteorologische Anstalt. Mai 1981.
- Studer, S., C. Appenzeller, and C. Defila, 2003: Inter-annual variability and decadal trends in Alpine spring phenology; A multivariate approach. Climatic Change (in review).
- Wanner H., D. Gyalistras, J. Luterbacher, R. Rickli, E. Salvisberg, C. Schmutz, 2000: Klimawandel im Schweizer Alpenraum. vdf Hochschulverlag AG, ETH Zürich.

Wanner H., R. Rickli, E. Salvisberg, C. Schmutz, and M. Schüepp, 1997: Global climate change and variability and its influence on Alpine climate - concepts and observations. *Theoretical and Applied Climatology* 58: 221-243.

Widmann M. and C. Schär, 1997: A principal component and long-term trend analysis of daily precipitation in Switzerland. *International Journal of Climatology* 17: 1333-1356.

WMO, 1999: *World Climate News*. No. 15, June 1999. Issued by the World Meteorological Organization (WMO).



Veröffentlichungen der MeteoSchweiz

Kürzlich erschienen:

- 67** Begert M, Seiz G, Schlegel T, Musa M, Baudraz G und Moesch M: 2003, Homogenisierung von Klimamessreihen der Schweiz und Bestimmung der Normwerte 1961-1990, Schlussbericht des Projektes NORM90, 170pp, 40 Fr.
- 66** Schär C, Binder P, Richner H, Eds.: 2003, International Conference on Alpine Meteorology and MAP Meeting 2003, Extended Abstracts volumes A and B, 580pp., 100 Fr.
- 65** Stübi R: 2002, SONDEX / OZEX campaigns of dual ozone sondes flights: Report on the data analysis, 78pp., 27 Fr.
- 64** Bolliger M: 2002, On the characteristics of heavy precipitation systems observed by Meteosat-6 during the MAP-SOP, 116pp., 36 Fr.
- 63** Favaro G, Jeannet P, Stübi R : 2002, Re-evaluation and trend analysis of the Payerne ozone sounding, 99pp, 33 Fr.
- 62** Bettems JM: 2001, EUCOS impact study using the limited-area non-hydrostatic NWP model in operational use at MeteoSwiss, 17pp, 12 Fr.
- 61** Richner H, et al.: 1999, Grundlagen aerologischer Messungen speziell mittels der Schweizer Sonde SRS 400, 140pp, 42 Fr.
- 60** Gisler O: 1999, Zur Methodik einer Beschreibung der Entwicklung des linearen Trends der Lufttemperatur über der Schweiz im Zeitabschnitt von 1864 bis 1990, 125pp, 36 Fr.
- 59** Bettems JM: 1999, The impact of hypothetical wind profiler networks on numerical weather prediction in the Alpine region, 65pp, 25 Fr.
- 58** Baudenbacher M: 1997, Homogenisierung langer Klimareihen, dargelegt am Beispiel der Lufttemperatur, 181pp, 50 Fr.
- 57** Bosshard W: 1996, Homogenisierung klimatologischer Zeitreihen, dargelegt am Beispiel der relativen Sonnenscheindauer, 136pp, 38 Fr.
- 56** Schraff C: 1996, Data Assimilation and Mesoscale Weather Prediction: A Study with a Forecast Model for the Alpine Region, 138pp, 38 Fr.
- 55** Wolfensberger, H: 1994, Chronik der Totalisatoren, Handbuch zu den Niederschlags-Totalisatoren, 390pp, 78 Fr.
- 54** Fankhauser G A: 1993, Einfluss der Witterung auf den Ertrag und die Qualität von Zuckerrübenkulturen, 116pp, 36 Fr.
- 53** de Montmollin A: 1993, Comparaisons de différentes méthodes de calcul de la température journalière dans leurs influences sur les longues séries d'observations, 144pp, 41 Fr.
- 52** Brändli J: 1993, Niederschlag, Verdunstung und Wasserbilanz der Station Zürich SMA von 1901-1990, 109pp, 34 Fr.
- 51** Binder P: 1992, Aspects of precipitation simulation in numerical weather prediction - Towards an operational mesoscale NWP model, 148pp, 42 Fr.
- 50** Defila C: 1991, Pflanzenphänologie der Schweiz, 238pp, 62 Fr.



Arbeitsberichte der MeteoSchweiz

Kürzlich erschienen:

- 206** Schmutz C, Schmuki D, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information St.Gallen LSZR, 78pp, 25 Fr.
- 205** Schmutz C, Schmuki D, Ambrosetti P, Gaia M, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Lugano LSZA, 81pp, 26 Fr.
- 204** Schmuki D, Schmutz C, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Bern LSZB, 80pp, 25 Fr.
- 203** Duding O, Schmuki D, Schmutz C, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Geneva LSGG, 104pp, 31 Fr.
- 202** Bader S: 2004, Tropische Wirbelstürme - Hurricanes -Typhoons - Cyclones, 40pp, 16 Fr.
- 201** Schmutz C, Schmuki D, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Zurich LSZH, 110pp, 34 Fr.
- 200** Bader S: 2004, Die extreme Sommerhitze im aussergewöhnlichen Witterungsjahr 2003, 25pp, 14 Fr.
- 199** Frei T, Dössegger R, Galli G, Ruffieux D: 2002, Konzept Messsysteme 2010 von MeteoSchweiz, 100pp, 32 Fr.
- 198** Kaufmann P: 2002, Swiss Model Simulations for Extreme Rainfall Events on the South Side of the Alps, 40pp, 20 Fr.
- 197** WRC Davos (Ed): 2001, IPC - IX, 25.9. -13.10.2000, Davos, Switzerland, 100pp, 32 Fr.
- 196** Hächler P et al.: 1999, Der Föhnfall vom April 1993, 139pp , 40 Fr.
- 195** Urfer Ch, Vogt R; 1999, Die Niederschlagsverhältnisse in Basel 1964-1998, 43pp, 40 Fr.
- 194** Courvoisier HW: 1998, Statistik der 24-stündigen Starkniederschläge in der Schweiz 1901 - 1996, 20pp, 11 Fr.
- 193** Defila C, Vonderach G: 1998, Todesfälle und Wetterlagen in Schaffhausen, 72pp, 25 Fr.
- 192** Maurer H: 1997, Frostprognose in der Schweiz: neue Methode mit automatischen Stationen, 38pp, 16 Fr.
- 191** Schönbächler M: 1996, Objektive Kontrolle der Textprognose SMA OPKO, 31pp, 14 Fr.
- 190** Brändli J: 1996, Statistische Auswertungen von täglichen und monatlichen Verdunstungswerten an 22 Standorten der Schweiz, 52pp, 19 Fr.
- 189** Schneiter D: 1994, SMI contribution to ETEX project in 1994, 24 Fr.
- 188** Fröhlich C: 1996, Internationaler Pyrheliometervergleich Comparison IPC VIII 25 September - 13 October 1995 Results and Symposium, 35 Fr.
- 187** Calame F: 1996, Evolution de la température de l'air et de la phénologie d'espèces végétales entre 1952 et 1992 dans la région genevoise et sur le Plateau Suisse, 19pp, 11 Fr.
- 186** Spinedi F, et al.: 1995, Le alluvioni del 1993 sul versante subalpino, 42pp, 20 Fr.
- 185** Held E: 1995, Radarmessung im Niederschlag und der Einfluss der Orographie, 98pp, 33 Fr.
- 184** Schüepp M: 1995, Uebersicht über die Beiträge zur Klimatologie des Alpengebietes von Dr. E. Ambühl; mit Kommentaren zum aktuellen Forschungsstand im Gebiet der Temperaturverhältnisse in den letzten zwei Jahrhunderten, 24pp, 15 Fr.
- 183** Heimo A., et al.: 1995, RASTA, Radiometer for Automatic Stations , 24pp, 15 Fr.