



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Klimareport 2012



printed in
switzerland



Klimareport 2012

Herausgeber

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie
MeteoSchweiz
Abteilung Klima
Krähbühlstrasse 58
CH-8044 Zürich

klmainformation@meteoschweiz.ch
www.meteoschweiz.ch

Redaktion

Dr. Stephan Bader, Thomas Schlegel

Autoren

Dr. Stephan Bader, Michael Begert, Dr. Martine Collaud Coen, Dr. Christoph Frei, Dr. Sophie Fukutome, Dr. Regula Gehrig, Dr. Thomas Herren, Dr. Pierre Jeannet, Dr. Eliane Maillard Barras, Dr. Rolf Philipona, Dr. Simon Scherrer, Thomas Schlegel, Dr. Christoph Spirig, Dr. René Stübi, Dr. Laurent Vuilleumier

Titelbild: «Herbst trifft Winter». Blick vom Sasso Torrasco oberhalb Bellinzona über die Alpe Morisciolo zu den Walliser Alpen. Foto von Stefano Zanini, 16. November 2012

Bitte zitieren Sie diesen Bericht folgendermassen:
MeteoSchweiz 2013: Klimareport 2012. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich. 70 S.

Inhaltsverzeichnis

4

Inhaltsverzeichnis	4
Zusammenfassung	5
Summary	6
Neue Klimanormwerte 1981-2010	9
1 Verlauf der Jahreswitterung 2012	11
2 Diagramme zum Jahresverlauf	21
3 Besonderheiten 2012	31
3.1 Extreme Kältewelle im Februar	31
3.2 Prächtige Wasserhose auf dem Zürichsee	34
3.3 Viel Schnee zum Winterbeginn	35
4 Globaler Witterungsverlauf 2012 – ein kurzer Überblick	37
4.1 Erneut sehr warmes Jahr	37
4.2 Der Einfluss von La Niña	38
4.3 Besondere Ereignisse	39
4.4 Arktisches Meereis mit sommerlichem Minimum-Rekord	39
5 Klimamonitoring	41
5.1 Atmosphäre	43
5.1.1 Bodennahe Beobachtungen	43
Temperatur	43
Frosttage	46
Sommertage	47
Nullgradgrenze	48
Niederschlag	49
Tage mit starkem Niederschlag	52
Niederschlag der sehr nassen Tage	53
Trockenperioden	54
Trockenheitsindex	55
5.1.2 Freie Atmosphäre	56
Nullgradgrenze	56
Tropopausen Höhe	56
5.1.3 Zusammensetzung der Atmosphäre	57
Ozonmessreihe Arosa	57
Ozonmessungen Payerne	58
Sahara-Staub	59
Pollenintensität	60
5.2 Landoberfläche	62
Neuschneesummen und Tage mit Neuschnee	62
Frühlingsindex	64
Kirschblüte Liestal und Blattausbruch Rosskastanie Genf	65
5.3 Datengrundlagen & Methoden	66
Referenzen	68

Zusammenfassung

Die Schweizer Jahresmitteltemperatur 2012 lag 0.5 Grad über dem Normwert 1981-2010. Die Jahresniederschläge brachten einen Überschuss von etwa sechs Prozent im Vergleich zur Norm. Das Jahr startete sehr winterlich mit überdurchschnittlich viel Schnee in den Bergen und einer massiven Kältewelle im Februar. Extrem warm, sehr sonnig und recht trocken verlief der Frühling. Der Sommer kam dagegen nur langsam in Fahrt und den richtigen Hochsommer einschliesslich einer Hitzewelle lieferte erst der August. Nach Schnee bis in mittlere Lagen im Frühherbst bescherte der Oktober der Schweiz erst einen prächtigen Altweibersommer, um es gleich darauf bis ins Flachland schneien zu lassen. Das Thema Schnee blieb aktuell mit einem kräftigen Wintereinbruch Ende November am Alpensüdhang, im Wallis und im Jura und mit landesweit ausgiebigen Schneefällen bis in tiefe Lagen in der ersten Dezemberhälfte.

Bereits auf das Jahresende 2011 hin lag in den Schweizer Alpen verbreitet überdurchschnittlich viel Schnee. Eine kräftige Nordwestströmung in den ersten Tagen des Jahres 2012 brachte in höheren Lagen nochmals grosse Schneemengen. Im Flachland blieb es derweil mild und weitgehend schneefrei. Ab Februarbeginn erlebte die Schweiz die massivste Kältewelle seit 27 Jahren.

Landesweit war der März der zweitwärmste, auf der Alpensüdseite sogar der wärmste seit Messbeginn 1864. Danach blieb es bis gegen Ende April unbeständig und kühl. Am 28. April erreichten die Temperaturen mit Föhn an einigen Messstandorten die höchsten Aprilwerte seit Messbeginn.

Der Mai und die erste Junihälfte waren landesweit trüb und nass. Unbeständige und kühle Witterungsphasen dominierten auch im Juli. Sommerliche Verhältnisse brachte erst der August. Nach der Monatsmitte wurde die Schweiz gar von einer eigentlichen Hitzewelle erfasst.

Ein kräftiger Polarlufteinbruch am Übergang August-September mit Schnee bis auf die Alpenpässe beendete den Hochsommer. Nach der Oktobermitte gab es einen prächtigen Altweibersommer. Selbst in mittleren Höhenlagen stiegen die Temperaturen bei sonnigem Wetter zum Teil auf über 20 Grad, was für die Jahreszeit ausserordentlich mild ist. Ein massiver Polarluftvorstoss in den letzten Oktobertagen legte dann aber ein weisses Winterkleid über einen grossen Teil der Schweiz.

Nach kräftigen Schneefällen in den Bergen der Alpensüdseite und im Jura Ende November brachte die erste Dezemberhälfte auch der übrigen Schweiz bis in die Niederungen viel Schnee. Weihnachten wurde im Flachland aber überall grün und das Jahr endete in den Niederungen mild.

In der langfristigen Klimaentwicklung erbringt das wiederum warme Jahr 2012 einen weiteren Beitrag zur Temperaturzunahme in der Schweiz, sowohl was das Jahr als auch was die Jahreszeiten Frühling, Sommer und Herbst betrifft. In Übereinstimmung mit der allgemeinen Temperaturzunahme ist in der analysierten Periode seit 1959 die Anzahl der Sommertage deutlich angestiegen, die Anzahl der Frosttage hingegen deutlich zurückgegangen. Die Nullgradgrenze ist in derselben Periode um rund 350 m angestiegen, wobei dies vor allem die Jahreszeiten Winter, Frühling und Sommer betrifft. Die allgemeine Erwärmung drückt sich auch in einer früheren Vegetationsentwicklung aus.

Die langjährige Niederschlagsentwicklung zeigt auf der Alpennordseite für das Jahr und den Winter einen Trend zu höheren Niederschlagssummen. Die übrigen Jahreszeiten verzeichnen wie bisher keine langfristige Änderung in den Niederschlagssummen. Auf der Alpensüdseite ist wie bisher sowohl bei den Jahressummen als auch bei jahreszeitlichen Summen keine langfristige Niederschlagsänderung festzustellen. Die Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag hat sich in der analysierten Periode seit 1959 meist nicht geändert, auf der Alpensüdseite kann jedoch regional eine Abnahme der der Tage mit starkem Niederschlag beobachtet werden. Der Niederschlag der sehr nassen Tage hat sich regional erhöht, vielerorts ist jedoch keine Änderung erfolgt. Die Länge der intensivsten Trockenperioden hat sich nicht verändert. In den über 100-jährigen Schnee-Aufzeichnungen sind weder bezüglich der Neuschneesummen noch bezüglich der Tage mit Neuschnee Änderungen festzustellen.

Die Ozonsituation in der höheren Atmosphäre über der Schweiz ist in den letzten Jahren stabil geblieben. Dies nachdem zwischen 1970 und 1995 eine Abnahme des Gesamt-ozons um rund sechs Prozent stattgefunden hat.

Summary

6

In 2012 the annual mean temperature in Switzerland was about 0.5 deg Celsius above the norm value 1981-2010. Annual precipitation amounted to a surplus of 6 percent compared to the norm. The year started in a very wintery fashion with above-average snow in the mountains and an intensely cold spell in February. The spring was extremely warm, very sunny and rather dry. The summer however developed rather slowly and only August brought real high-summer weather including a heat wave. Some snowfall down to medium altitudes in early autumn produced a first hint of winter while October was characterized by a glorious Indian Summer followed by an abrupt change with snow down to the lowlands. The snow theme remained in the foreground with an episode of severe wintery weather at the end of November on the southern slopes of the Alps, in the Valais and Jura and with intensive snowfall all over Switzerland down to low altitudes in the first half of December.

As the year 2011 came to its close there was already an above-average amount of snow in many parts of the Swiss Alps. A strong north-westerly front in the first days of 2012 brought again large amounts of snow at high altitudes. In the Swiss lowlands, however, temperatures remained mild and there was scarcely any snow. Just with the beginning of February Switzerland was seized by the most powerful cold spell in 27 years.

In the second half of February temperatures turned out exceptionally mild, starting south of the Alps. The exceptional warmth finally extended to all Swiss regions and lasted up to the first days of April. Overall, it was the second warmest March in Switzerland, south of the Alps even the warmest since observations began in 1864.

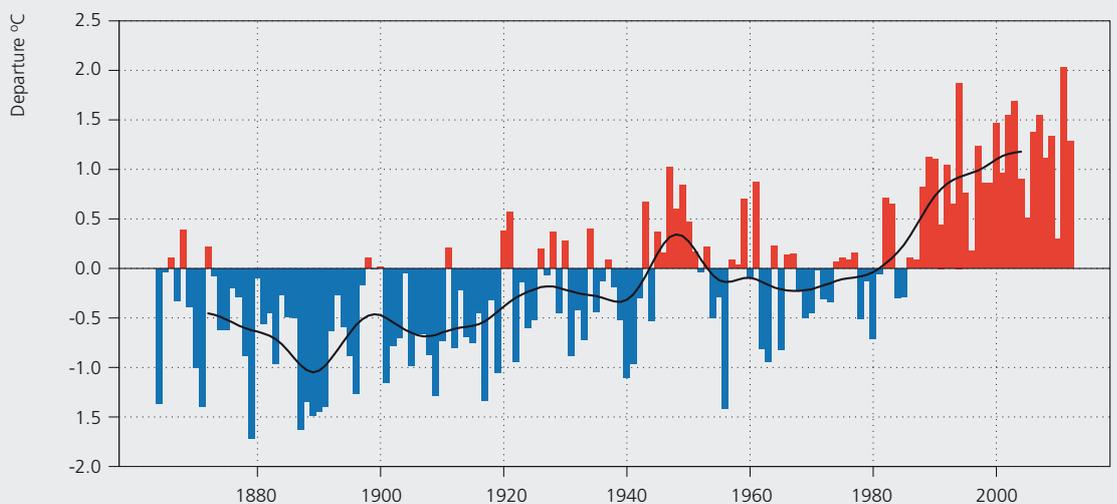
Later on the weather continued unsettled and cool until the end of April. On 28 April during a Foehn-event the highest April temperatures were recorded by some weather stations since observations began.

During May and the first part of June the weather was cloudy and wet. The first three weeks of July were also dominated by unsettled weather episodes and the repeated influx of cool air masses. Only August brought persistent warm summer conditions to all of Switzerland. After the middle of the month the entire country was seized by an intense heat wave. A powerful polar front on the threshold of August to September put paid to the summer heat of 2012. There was a lot of precipitation on the northern slopes of the Alps and some Alpine passes had to be closed due to snowfall. During the second half of October Switzerland enjoyed a splendid Indian Summer. Even in medium altitudes temperatures rose partly above 20°C in sunny weather conditions, which is exceptionally mild for this season. In the last days of October however a massive influx of polar air masses spread a wintery cover over most parts of Switzerland.

After a period with heavy snowfall to the end of November in the Southern Alps and in the Jura mountains, the first weeks of December brought a lot of snow to all of Switzerland. In low altitudes, however, before Christmas the snow cover disappeared due to rainfall and mild temperatures.

With a view to the long-term climate development the warm year 2012 has again contributed to the temperature increase in Switzerland, both in terms of the annual development and the spring, summer and autumn seasons. In accordance with generally higher temperatures the number of summer

Time series of the yearly temperature anomalies [°C] for 12 representative Swiss surface stations for the years 1864-2012. Color bars represent anomalies in respect to the long-term mean 1961-1990, red indicating positive and blue negative anomalies. The black contour line represents the 20-year running mean. According to recommendations of the WMO the standard climate period (climate normals) for climate evolution analyses is 1961-1990.



days has increased considerably while the number of frost days has decreased in the period under scrutiny since 1959. In the same period the zero degree level has risen by around 350 m, mainly in the winter, spring and summer seasons. The general rise in temperature has also led to an earlier development of vegetation.

North of the Alps the long-term precipitation development shows a trend to higher precipitation totals for the year and for the winter season. No long-term changes in the precipitation totals have been registered so far for the remaining seasons. South of the Alps no long-term change in the precipitation pattern has been registered so far, both as regards annual totals and seasonal totals. In the period under scrutiny since 1959 the number of days with heavy precipitation has remained largely unchanged; south of the Alps, however, a decrease of days with heavy precipitation can be observed regionally. Precipitation totals of very wet days have increased regionally; in many places however there has been no change. The length of the most intensive dry periods has not changed. The over 100-year-old snow records do not indicate any changes in the fresh snow totals nor in the number of days with fresh snow.

In the past years the ozone situation in the upper atmosphere over Switzerland has remained stable. This stability follows a decrease of the ozone total of around 6% which took place between 1970 und 1995.





Neue Klimanormwerte 1981-2010

Klimanormwerte dienen dazu, die beobachtete Wittersituation einer Region mit dem aktuellen Klima zu vergleichen. Dieser Vergleich zeigt, ob eine Periode zum Beispiel zu nass, zu warm oder zu sonnenreich war. In einem sich verändernden Klima ist es allerdings wichtig, dass die Klimanormwerte nicht zu weit in der Vergangenheit liegen. Die Normwerte sollen als Vergleichsbasis auch tatsächlich dem durchschnittlicher warteten, also dem aktuell erlebten Klima entsprechen. Gemäss einer seit 1935 bestehenden Definition der World Meteorological Organisation (WMO) werden zur Normwert-Bestimmung weltweit die gleichen 30-jährigen Perioden (sog. Standardperioden; 1901-1930, 1931-1960, 1961-1990) verwendet. Bis zum Jahr 2012 verwendete MeteoSchweiz die jüngste dieser Standardperioden 1961-1990.

Warum brauchen wir eine aktuellere Normperiode?

Seit mehr als 25 Jahren war in der Schweiz kein Jahr mehr kühler als das langjährige Mittel der Periode 1961-1990. Diese Aussage veranschaulicht zwar auf eindrückliche Art und Weise den auch in der Schweiz fortschreitenden Klimawandel. Allerdings wird offensichtlich, dass die Periode 1961-1990 zumindest in Bezug auf die Temperatur ihre Gültigkeit als Erwartungswert verloren hat, sie repräsentiert nicht mehr das aktuelle Klima. Mit der fortschreitenden globalen Klimaerwärmung haben sich auch die regionalen und lokalen klimatologischen Bedingungen verändert. So liegt in der Schweiz das Temperaturmittel der letzten 30 Jahre rund 0.5 Grad bis 1.0 Grad höher als in der bisher verwendeten Normperiode 1961-1990.

Die Normperiode 1981-2010 für das aktuelle und das in näherer Zukunft zu erwartende Klima

Die WMO schlägt nun vor, zusätzlich zur Standardperiode 1961-1990 auch Normwerte von 30-jährigen Perioden zur Verfügung zu stellen, die alle 10 Jahre wieder angepasst werden (z.B. 1971-2000, 1981-2010). Damit sollen Normwerte bereit stehen, die das aktuelle und das für die nähere Zukunft zu erwartende Klima angemessen beschreiben. In dieser Funktion finden sie beispielsweise im Tourismus oder in der Baubranche Verwendung. MeteoSchweiz verwendet gemäss der WMO-Empfehlung ab dem Jahr 2013, und damit auch in diesem Klimareport, für Vergleiche im Zusammenhang mit dem aktuellen Klima die Normperiode 1981-2010. Das betrifft die Kapitel 1 bis 3 in diesem Bericht.

Die Normperiode 1961-1990 als Anker für die Klimaentwicklung

Im Sinne eines Ankers dienen Normwerte auch als Basis zur Darstellung und Verfolgung der langjährigen Klimaentwicklung. Durch die Verwendung einer international einheitlichen, stabilen und langjährig gültigen Referenzperiode werden Messreihen überregional vergleichbar und Aussagen bleiben über lange Zeit konsistent. Gemäss Empfehlung der WMO ist bei Analysen zur Klimaentwicklung deshalb die Standard-Normperiode 1961-1990 zu verwenden [28]. Das betrifft das Kapitel 5 in diesem Bericht.

Mehr Informationen zum Thema neue Normperiode 1981-2010 bietet die Web-Seite von MeteoSchweiz: http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_schweiz/Normperiode_1981_2010.html



1 | Verlauf der Jahreswitterung 2012

Die Schweizer Jahresmitteltemperatur 2012 lag 0.5 Grad über dem Normwert 1981-2010. Die Jahresniederschläge brachten einen Überschuss von etwa 6 Prozent im Vergleich zur Norm 1981-2010. Das Jahr startete sehr winterlich mit überdurchschnittlich viel Schnee in den Bergen und einer massiven Kältewelle im Februar. Extrem warm, sehr sonnig und recht trocken verlief der Frühling. Der Sommer kam dagegen nur langsam in Fahrt und den richtigen Hochsommer einschliesslich einer Hitzewelle lieferte erst der August. Nach ersten Wintervorboten im Früherbst mit Schnee bis in mittlere Lagen bescherte der Oktober der Schweiz erst einen prächtigen Altweibersommer, um es gleich darauf bis ins Flachland schneien zu lassen. Das Thema Schnee blieb aktuell mit einem kräftigen Wintereinbruch Ende November am Alpensüdhang, im Wallis und im Jura und mit landesweit ausgiebigen Schneefällen bis in tiefe Lagen in der ersten Dezemberhälfte.

Viel Schnee in den Bergen zum Jahresbeginn

Bereits auf das Jahresende 2011 hin lag in den Schweizer Alpen verbreitet überdurchschnittlich viel Schnee. Eine kräftige Nordwestströmung in den ersten Tagen des Jahres 2012 brachte in höheren Lagen nochmals grosse Schneemengen verbunden mit grosser Lawinengefahr.

In Andermatt in den Zentralalpen lag mit etwas über 2 m die dritthöchste Januar-Schneedecke seit Messbeginn 1966. Im Flachland blieb es derweil mild und weitgehend schneefrei.

Eisige Kälte im Februar

Nach einer Phase mit sonnigem und mildem Winterwetter wurde die Schweiz ab Februarbeginn von der massivsten Kältewelle seit 27 Jahren erfasst. Sibirische Kaltluft liess in tiefen Lagen der Ostschweiz das Temperaturmittel vom 1. bis zum 14. Februar auf -9 bis -10 Grad sinken. In der Westschweiz lagen die Werte leicht, in der Südschweiz mit -2 bis -8 Grad deutlich höher.

Die Minima sanken im Flachland nördlich der Alpen lokal unter -20 Grad, im hochgelegenen Engadin unter -30 Grad. In der zweiten Februarwoche froren kleinere Mittellandseen zu. Der Pfäffikersee wurde begehbar und auch der Greifensee konnte für kurze Zeit freigegeben werden. Auch am oberen Zürichsee tummelten sich in der Bucht von Rapperswil massenhaft Schlittschuhläufer und entlang vieler Uferzonen bildeten sich ausgedehnte Eisflächen.

Während der Kältewelle fiel auf der Alpennordseite hin und wieder etwas Schnee, so dass in der ersten Februarhälfte auch in den Niederungen vielerorts permanent eine Schneedecke lag. Allerdings war diese meist von geringer Mächtigkeit.

Auf die extreme Kälte folgt extreme Wärme

In der zweiten Februarhälfte wurde es zunächst auf der Alpensüdseite ungewöhnlich mild. Am 25. Februar 2012 stieg die Temperatur in Locarno-Monti auf 23.3 Grad, was hier Februar-Rekord seit Messbeginn im Jahre 1935 bedeutet. Der bisherige Februarhöchstwert aus dem Jahr 1948 lag mehr als ein Grad tiefer.

Die ungewöhnliche Wärme erfasste schliesslich die ganze Schweiz und zog sich bis in die ersten Apriltage hin. Landesweit war der März der zweitwärmste, auf der Alpensüdseite sogar der wärmste seit Messbeginn 1864. Auf der Alpennordseite erreichte zudem die Sonnenscheindauer in vielen Regionen Rekordwerte, während in den Alpen die bisherigen Rekordwerte egalisiert wurden.

Sommerwärme im Frühling

Nach der Rekordwärme verlief die Witterung bis gegen Ende April unbeständig und kühl. Ein Föhnsturm in den letzten Apriltagen brachte dann aber sommerliche Verhältnisse. Am 28. April erreichten die Temperaturen an einigen Messstandorten die höchsten Aprilwerte seit Messbeginn, so etwa in Bern mit 28.2 Grad (Messbeginn 1864) oder in Luzern mit 29.1 Grad (seit 1886). Extrem mild war es aber auch in den Alpen. In Davos auf 1600 m ü.M. stieg die Temperatur 19.4 Grad. Zusammen mit dem 25. April 2007 ist dies Aprilrekord seit Messbeginn 1877. Wenig später wurde es hochsommerlich. Bei strahlender Sonne gab es am 11. Mai verbreitet 27 bis 29 Grad, an einzelnen Orten einen Hitzetag mit über 30 Grad, was im Flachland der Deutschschweiz so früh im Monat Mai sehr ungewöhnlich ist. Die Nullgradgrenze kletterte auf 4140 m ü.M., eine Höhe, welche in der ersten Maihälfte in den letzten 40 Jahren nie erreicht wurde.

Nass-trüber Sommerbeginn

Nur einen Tag nach der sommerlichen Hitze war die Schweiz wieder fest im Griff von polarer Kaltluft. Mit heftigem Regen stiegen die Temperaturen im Flachland nur wenig über 10 Grad. Auf Mitte Mai schneite es bis auf 600 m ü.M. hinunter. Weitere kräftige Niederschläge folgten im letzten Maidrittel.

Die erste Junihälfte war landesweit trüb und nass und die Sonnenscheindauer blieb weit unterdurchschnittlich. Unbeständige Witterungsphasen mit wiederholten Einbrüchen kühler Luftmassen dominierten auch die ersten drei Juliwochen.

Am Ende dieser wenig sommerlichen Periode konnte am 21. Juli bei wechselhaftem, kühlen Westwindwetter auf dem unteren Zürichsee eine prächtige Wasserhose beobachtet werden.

Hochsommer erst im August

Verbreitet hochsommerlich war es seit Sommerbeginn nur kurze Zeit im letzten Juni- und im letzten Julidrittel, während im Tessin bereits im gesamten Juli sommerliche Verhältnisse herrschten.

Über längere Zeit anhaltende sommerliche Verhältnisse für die ganze Schweiz brachte erst der August. Nach der Monatsmitte wurde die Schweiz gar von einer eigentlichen Hitzewelle erfasst. Werte über 30 Grad traten bis in Höhenlagen über 1500 m ü.M. auf, und an einzelnen höher gelegenen Messstandorten wurden Rekordwerte für den Monat August registriert.

Auf dem Jungfrauoch stieg die Temperatur sogar auf ein neues, absolutes Temperaturmaximum von 12.8 Grad. Die höchste Temperatur meldete die Messstation Sion mit 36.9 Grad. Das war die höchste von MeteoSchweiz gemessene Temperatur in unserem Land seit dem Hitzesommer 2003. Allerdings wurden damals bedeutend höhere Werte erreicht.

Erste Wintervorboten

Ein kräftiger Polarlufteinbruch am Übergang August-September beendete den Hochsommer 2012. Am Alpennordhang fielen grosse Niederschlagsmengen und einige Alpenpässe mussten wegen Neuschnee geschlossen werden. Nach einer Phase mit sommerlichem Hochdruckwetter brachte ein weiterer kräftiger Kaltlufteinbruch vom 11. auf den 12. September erneut Schnee bis in mittlere Lagen. Mit dem Einfließen der Kaltluft aus Norden konnten auf dem Bodensee am 13. September mehrere Wasserhosen beobachtet werden.

Wenige Tage später wiederholte sich das Wechselspiel von mildem Spätsommerwetter und Kaltlufteinbruch mit Schnee in den Bergen.

In den letzten Septembertagen stellte sich eine ausgeprägte Föhnlage ein mit regional massiven Stauniederschlägen auf der Alpensüdseite. Die grossen Niederschlagsmengen liessen die Maggia am 26. und 27. September gefährlich anschwellen. Nach dem anschliessenden schnellen Wechsel zwischen sonnig-milden und nass-trüben Tagen folgte zur Oktobermitte ein weiterer heftiger Kaltluftvorstoss mit kräftigen Niederschlägen. Entlang des östlichen Alpennordhangs bildete sich oberhalb von 800 m ü.M. eine geschlossene Schneedecke und im Bündnerland lagen oberhalb von 1000 m ü.M. 10 bis 20 cm Neuschnee. Im Mittelland blieben die Temperaturen tagsüber unter 10 Grad.

Schöner Altweibersommer

Nach dem winterlichen Intermezzo bescherte der Oktober der Schweiz vom 17. bis zum 25. einen prächtigen Altweibersommer. Selbst in mittleren Höhenlagen stiegen die Temperaturen bei sonnigem Wetter zum Teil auf über 20°C, was für die Jahreszeit ausserordentlich mild ist. Entsprechend wurden an einigen Messstandorten in Berglagen neue Temperatur-Höchstwerte für die zweite Oktoberhälfte registriert. Ab dem 23. verschwanden auf der Alpennordseite die Regionen unterhalb von 1000 bis 1400 m ü.M. unter einer geschlossenen Hochnebeldecke.



Oktober-Winter bis ins Flachland

Ein massiver Polarluftvorstoss in den letzten Oktobertagen legte ein weisses Winterkleid über einen grossen Teil der Schweiz. Am 28. lagen in der Deutschschweiz verbreitet 1 bis 10 cm Neuschnee, in leicht erhöhten Lagen 10 bis 20 cm, lokal auch deutlich mehr.

Der anhaltende Schneefall bis in tiefe Lagen bescherte St. Gallen mit 33 cm einen neuen Oktober-Schneehöhenrekord, welcher den bisherigen Rekord von 18 cm (30./31.10.1974) weit übertraf (Messreihe ab 1959). In Langnau im Emmental waren es 30 cm mit bisheriger Rekordhöhe von 27 cm (30.10.2008; Messreihe ab 1958). In tieferen Lagen gab es geringere Werte.

In Zürich lagen am Morgen des 29. Oktobers 19 cm Schnee. Der Oktoberrekordwert vom 30.10.2008 beträgt 20 cm (Messreihe ab 1931). Die beiden Ereignisse sind also vergleichbar. Weiter Richtung Alpen waren die Schneehöhen im Vergleich zu früheren Oktober-Ereignissen nicht spektakulär. Schneefrei blieben das Genferseegebiet sowie die Tieflagen des Walliser Haupttals, des Tessins und des Aare-, Reuss- und Rheintales.

Milder und sonniger Spätherbst Mitte November

Ab dem 12. November stellte sich eine länger andauernde, herbstliche Hochdrucklage ein mit mildem und sonnigem Bergwetter. Die Nullgradgrenze stieg tagsüber auf über 3000 m ü.M., so dass auf dem Jungfrauoch (3580 m ü.M.) das Temperaturmaximum mehr als +3 Grad erreichte.

In den Niederungen der Alpennordseite breitete sich der typische Novembernebel aus, während das Tessin viel Sonnenschein geniessen konnte.

Kräftiger Schneefall am Alpensüdhang

In den letzten Novembertagen setzten im Westen und vor allem auf der Alpensüdseite kräftige Niederschläge ein. Im Jura sowie im Nordtessin und Simplongebiet sank die Schneefallgrenze auf rund 800 m hinunter. Entlang des Alpensüdhangs von der Monte Rosa über den Simplon und das Tessin bis ins Valle Mesolcina fielen zwischen 80 und 120 cm Neuschnee. Am Alpenhauptkamm und im Oberwallis waren es 30 bis 50 cm und im Jura oberhalb 1500 m ü.M. 40 bis 60 cm. Der Schwerpunkt der Starkniederschläge lag im Gebiet Valle Maggia-Locarnese. Am 29. November brachte aus Norden einfließende Kaltluft auch dem Flachland der Alpennordseite etwas Neuschnee. Entlang des Voralpenrandes oberhalb von 700 bis 900 m ü.M. waren es bis 40 cm, während in Richtung Alpen geringere Neuschneemengen gemessen wurden.

Viel Schnee zum Winterbeginn

Die eingeflossene Kaltluft bescherte vielen Gebieten der Alpennordseite genau auf den meteorologischen Winterbeginn (1.12.) den ersten Eistag mit Temperaturen ganztags unter dem Gefrierpunkt. Und um die Ankunft des Winters noch weiter zu verdeutlichen, überquerte tags darauf eine aktive Schneefront die ganze Alpennordseite. Dichtes Schneegestöber hüllte an diesem ersten Dezembersonntag das Flachland in eine pulvrige Neuschneedecke von 2 bis 10, lokal auch bis 20 cm. Vom 3. auf den 4. Dezember wurde das Wallis eingeschneit. In Sion fielen 30 cm Neuschnee, Brig bekam einen halben Meter und in Ulrichen im Oberwallis wuchs die Schneedecke auf 80 cm an.

Das zweite Dezember-Wochenende gab sich ebenfalls sehr winterlich. Nach einem kräftigen nächtlichen Schneefall war die Schweiz am Samstagmorgen (8.12.2012) weitgehend weiss. Vom Genfersee bis zum Bodensee lag im Mittelland eine Schneedecke von 5 bis 35 cm, und am Alpennordrand waren es regional 50 bis 65 cm. Selbst in Locarno-Monti (367 m ü.M.) im Tessin wurde 1 cm Schnee gemessen. In den Niederungen auf der Alpennordseite hielt die Schneedecke rund eine Woche, bevor am dritten Dezember-Wochenende mit Regen und milden Temperaturen der Schnee zerfloss. Auf der Alpensüdseite hingegen schneite es auf dieses Wochenende hin kräftig, sodass am 15.12. in den Niederungen des Tessins vorübergehend zwischen 10 und knapp 20 cm Schnee lagen.



Jahresbilanz

Über die gesamte Schweiz gemittelt lag die Jahrestemperatur 0.5 Grad über der Norm 1981-2010. Im Wallis und auf der Alpensüdseite erreichte der Temperaturüberschuss regional bis knapp 1.0 Grad. Sonst bewegten sich die Überschüsse meist zwischen 0.2 und 0.6 Grad.

In der Nordschweiz und regional am östlichen Alpennordhang fielen mit 110 bis 125 Prozent überdurchschnittliche Niederschlagsmengen im Vergleich zur Norm 1981-2010. Auf der Alpensüdseite sowie in Nord- und Mittelbünden gab es zum Teil 110 bis 120 Prozent der Norm 1981-2010. Sonst fielen verbreitet 95 bis 110 Prozent der Norm 1981-2010.

Die Sonnenscheindauer erreichte im Mittelland vom Genfersee bis zum Bodensee 105 bis 115 Prozent der Norm 1981-2010. In den meisten übrigen Gebieten lagen die Werte im Bereich von 95 bis 110 Prozent der Norm 1981-2010.

Tabelle 1.1:
**Ausgewählte Jahreswerte
2012 im Vergleich zur
Norm 1981-2010.**

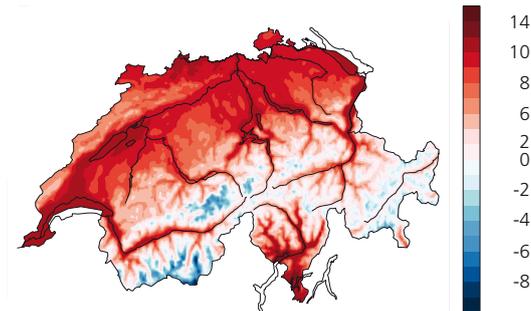
Station	Höhe m ü.M	Temperatur °C			Sonnenscheindauer h			Niederschlag mm		
		Mittel	Norm	Abw.	Summe	Norm	%	Summe	Norm	%
Bern	553	9.3	8.8	0.5	1915	1682	114	1128	1059	106
Zürich	556	9.8	9.3	0.5	1779	1544	115	1292	1134	114
Genf	420	11.0	10.5	0.5	1938	1828	106	970	1005	97
Basel	316	10.9	10.5	0.4	172	1637	105	1048	842	124
Engelberg	1036	6.7	6.4	0.3	1427	1350	106	1634	1559	105
Sion	482	11.0	10.1	0.9	2212	2093	106	615	603	102
Lugano	273	13.3	12.4	0.9	2180	2069	105	1412	1559	91
Samedan	1709	2.4	2.0	0.4	1863	1733	108	699	713	98

Norm Langjähriger Durchschnitt 1981-2010
 Abw. Abweichung der Temperatur zur Norm 1981-2010
 % Prozent im Verhältnis zu Norm 1981-2010 (Norm = 100%)

Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer im Jahr 2012

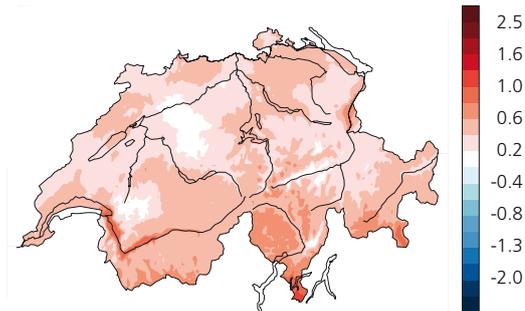
Messwerte 2012

Jahresmitteltemperaturen in °C

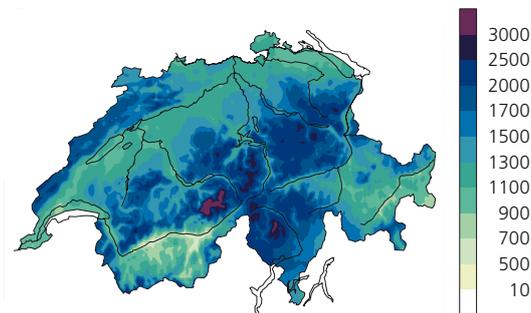


Abweichungen zur Norm 1981-2010

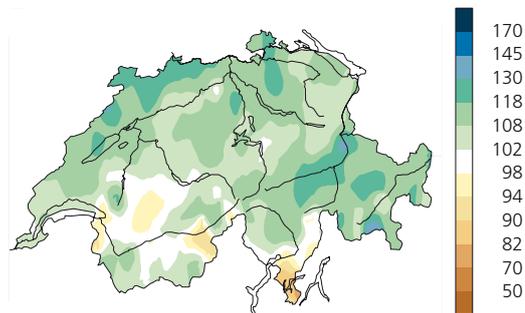
Abweichung der Jahresmitteltemperatur in °C



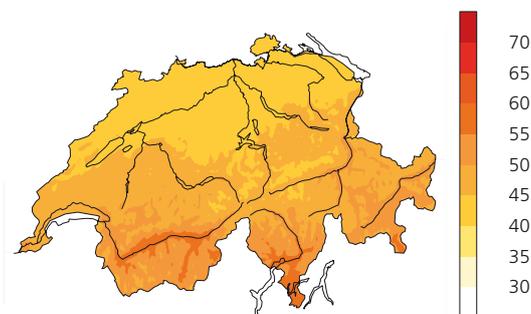
Jahres-Niederschlagssumme in mm



Jahres-Niederschlagssumme in %



% der maximal möglichen jährlichen Sonnenscheindauer



Jährliche Sonnenscheindauer in %

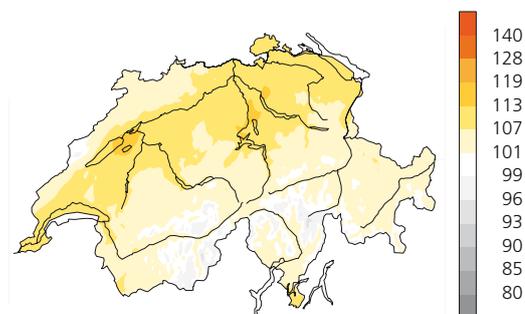
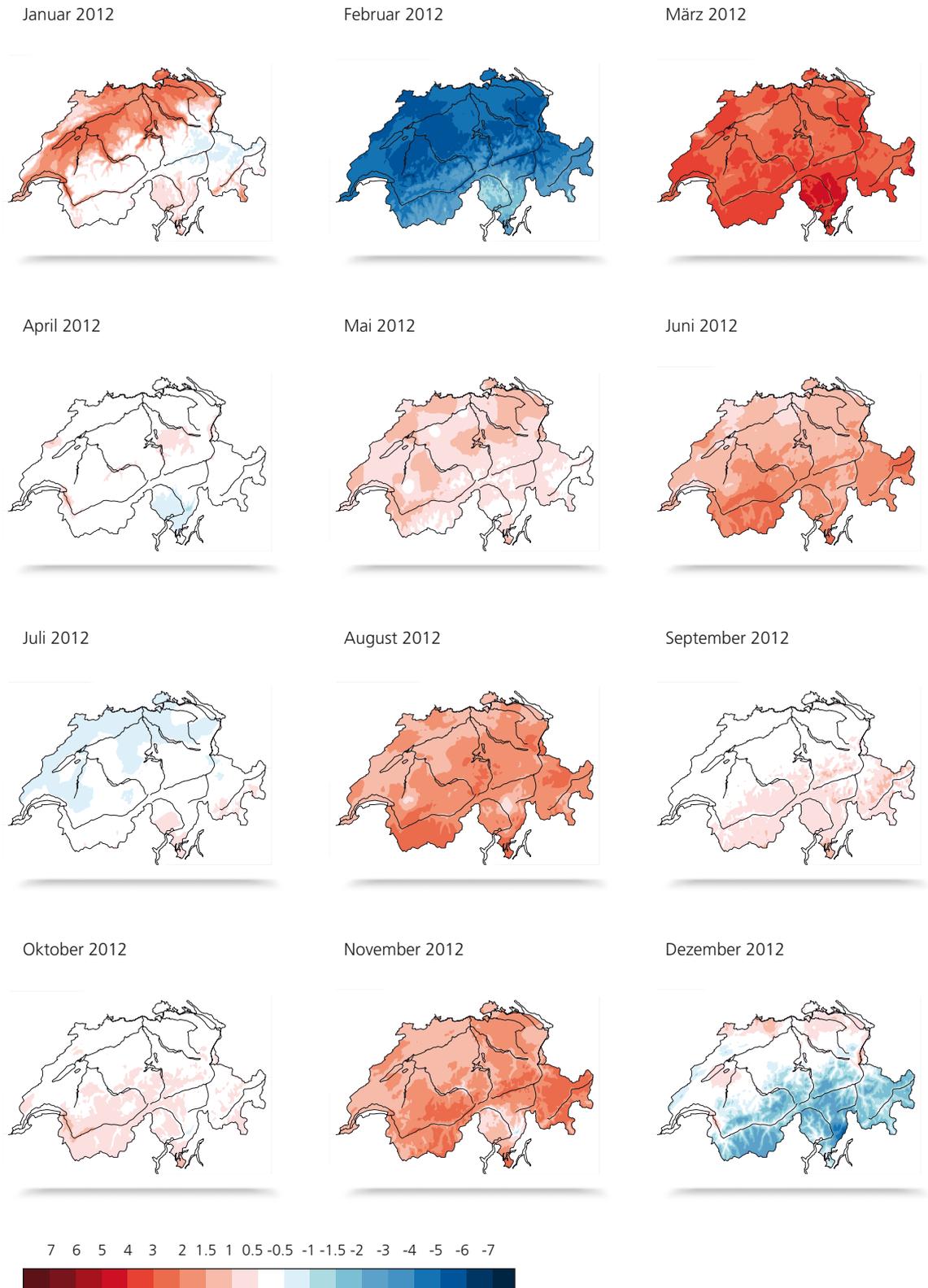


Abbildung 1.1:

Räumliche Verteilung von Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer im Jahr 2012. Dargestellt sind Messwerte (links) und die Abweichungen zur Norm 1981-2010 (rechts).

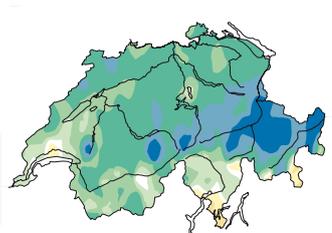
Monatstemperatur 2012: Abweichung zur Norm 1981-2010

Abbildung 1.2:
Räumliche Verteilung der
Monatstemperatur als
Abweichung zur Norm
1981-2010 in Grad C.

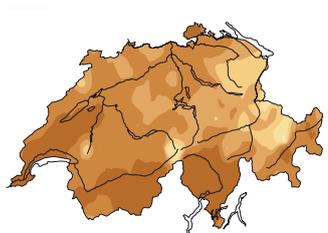


Monatsniederschlag 2012 in Prozent der Norm 1981-2010

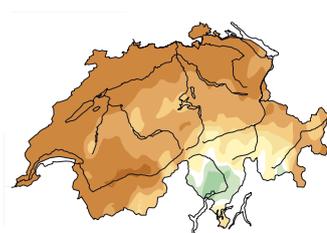
Januar 2012



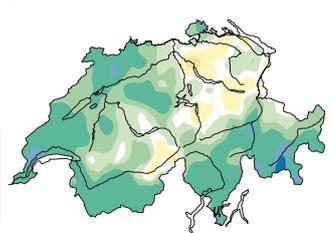
Februar 2012



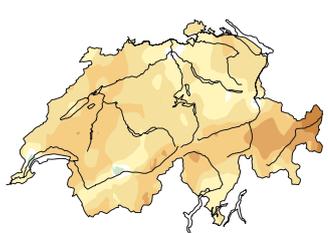
März 2012



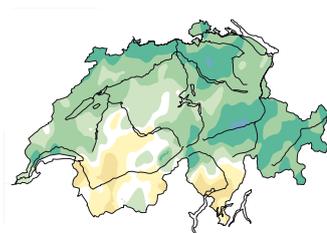
April 2012



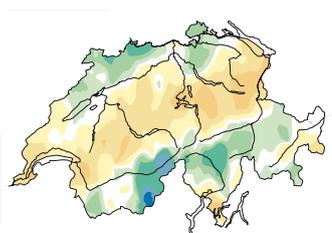
Mai 2012



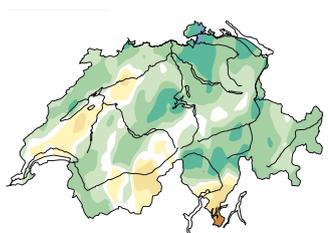
Juni 2012



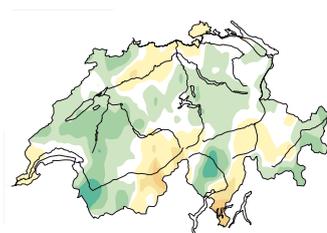
Juli 2012



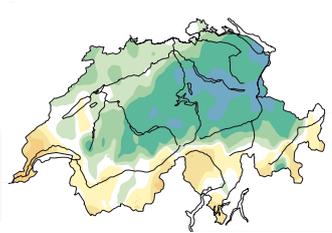
August 2012



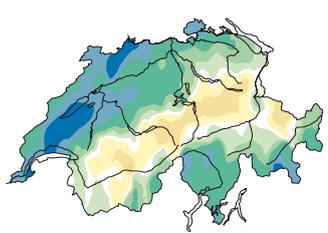
September 2012



Oktober 2012



November 2012



Dezember 2012

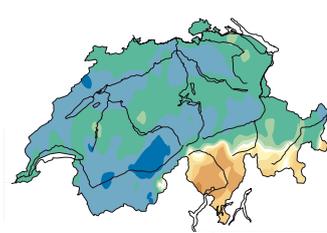


Abbildung 1.3:

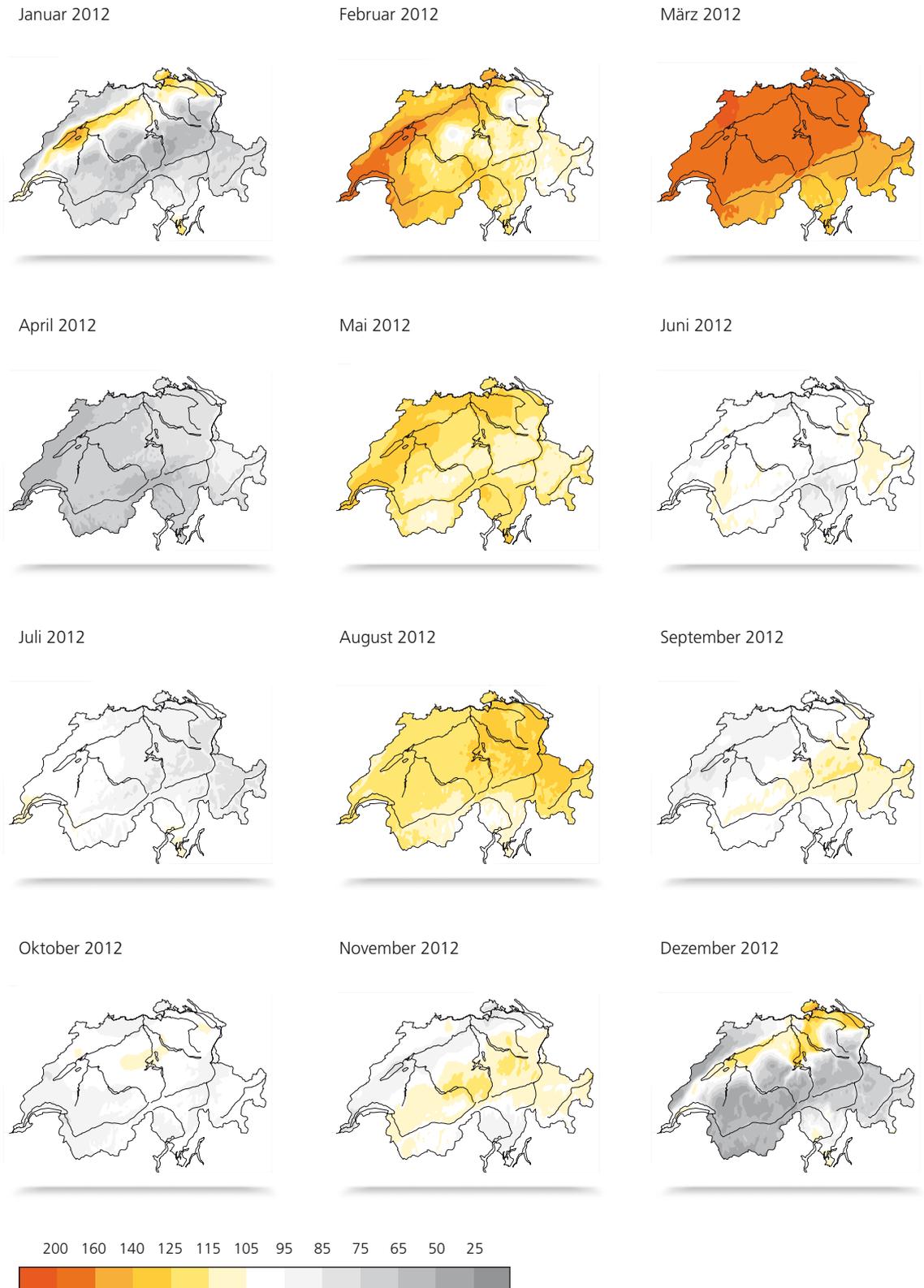
**Räumliche Verteilung der
Monatsniederschläge in
Prozent der Norm 1981-2010.**

300 220 180 140 120 105 95 80 65 50 35 15



Monatliche Sonnenscheindauer in Prozent der Norm 1981-2010

Abbildung 1.4:
**Räumliche Verteilung
der monatlichen Sonnenscheindauer
in Prozent der Norm
1981-2010.**





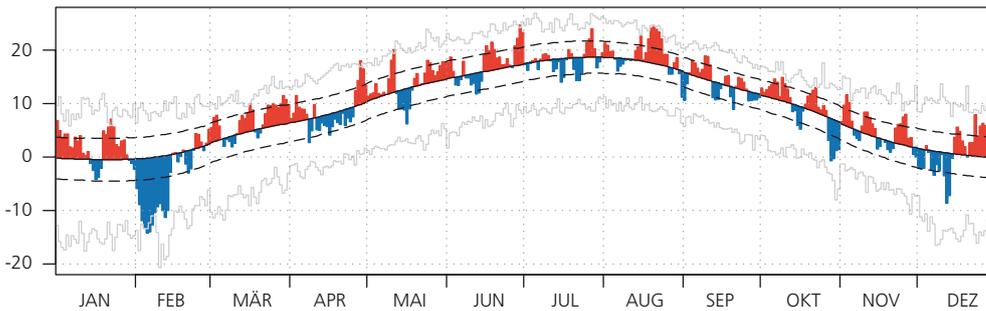


2 | Diagramme zum Jahresverlauf

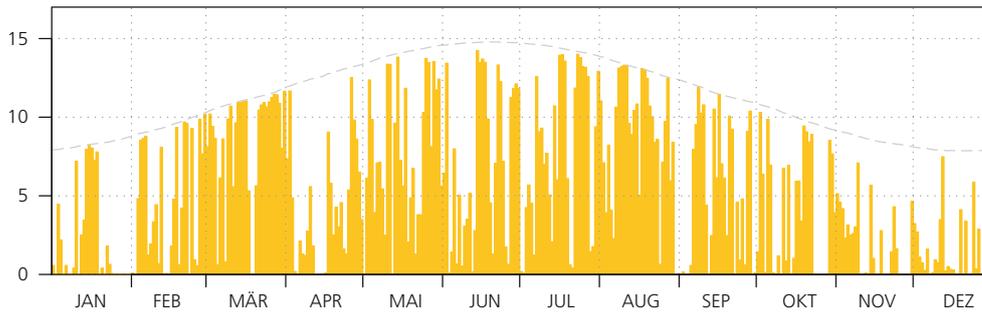
Temperatur, Sonnenscheindauer und Niederschlag

Bern-Zollikofen (553 m ü.M) 1.1. bis 31.12.2012

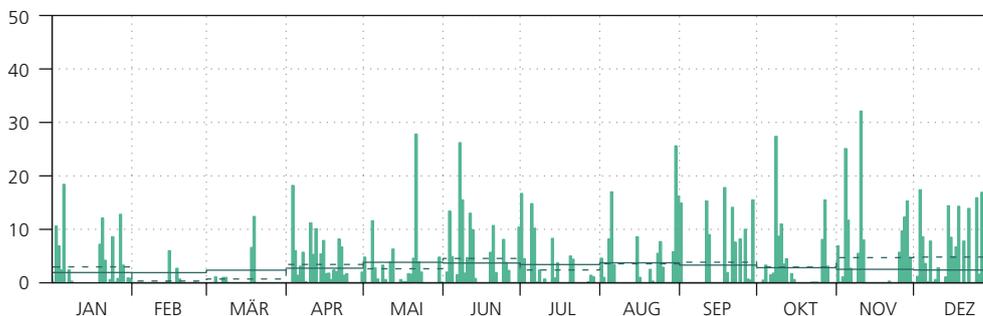
Mittlere tägliche Lufttemperaturen in °C
Mittel: 9,3, Norm: 8,8



Tägliche Sonnenscheindauer in h
Summe: 1914,5, Norm: 1682,1



Tägliche Niederschlagssummen in mm
Summe: 1127,7, Norm: 1058,6



- Höchste bzw. tiefste Tagesmittel der Lufttemperatur der homogenen Datenreihe von 1864-2011
- Durchschnittliche homogene Tagesmittel der Lufttemperatur von 1981-2010 (Normwertperiode)
- - Standardabweichung der durchschnittlich homogenen Tagesmittel der Lufttemperatur von 1981-2010
- - - Tägliche, maximal mögliche Sonnenscheindauer
- Mittlere, monatliche Niederschlagssumme von 1981-2010 gleichmässig auf die Tage des Monats verteilt
- - - Monatliche Niederschlagssumme gleichmässig auf die Tage des Monats verteilt

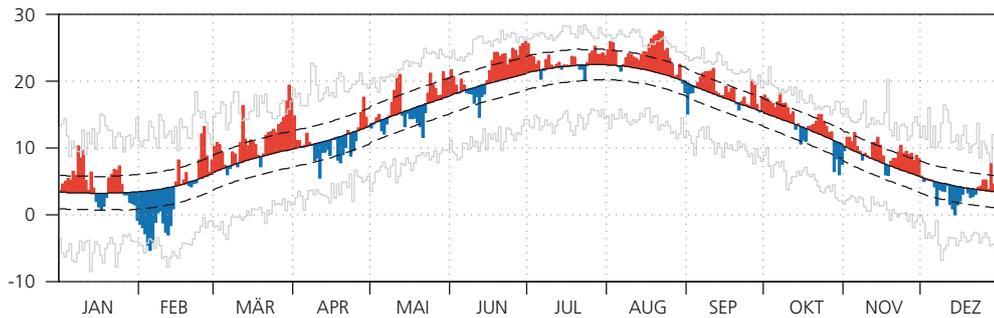
Abbildung 2.1:
Jahresverlauf der täglichen Temperatur, der täglichen Sonnenscheindauer und der täglichen Niederschlagssummen an der Messstation Bern-Zollikofen.

Temperatur, Sonnenscheindauer und Niederschlag

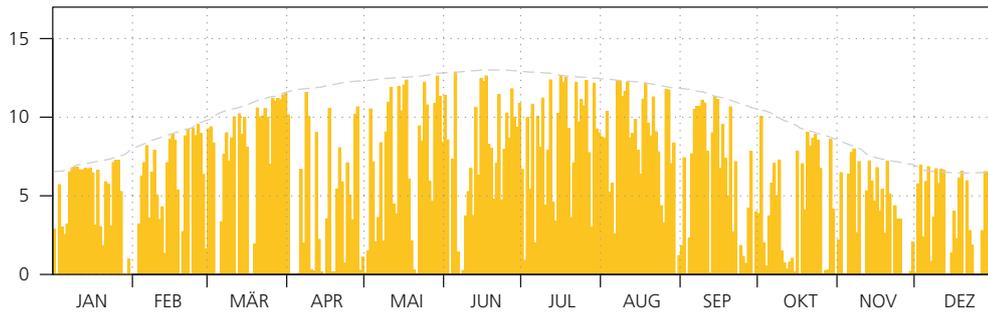
Abbildung 2.2:
**Jahresverlauf der
 täglichen Temperatur,
 der täglichen Sonnenscheindauer und der
 täglichen Niederschlagssummen an der
 Messtation Lugano.**

Lugano (273 m ü.M) 1.1. bis 31.12.2012

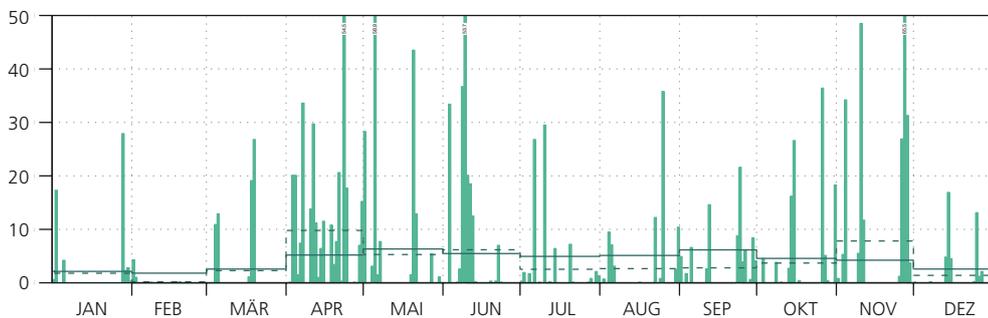
Mittlere tägliche Lufttemperaturen in °C
 Mittel: 13.3, Norm: 12.4



Tägliche Sonnenscheindauer in h
 Summe: 2179.8, Norm: 2068.9



Tägliche Niederschlagssummen in mm
 Summe: 1411.7, Norm: 1559.0



- Höchste bzw. tiefste Tagesmittel der Lufttemperatur der homogenen Datenreihe von 1864-2011
- Durchschnittliche homogene Tagesmittel der Lufttemperatur von 1981-2010 (Normwertperiode)
- - Standardabweichung der durchschnittlich homogenen Tagesmittel der Lufttemperatur von 1981-2010
- - - Tägliche, maximal mögliche Sonnenscheindauer
- Mittlere, monatliche Niederschlagssumme von 1981-2010 gleichmässig auf die Tage des Monats verteilt
- - - Monatliche Niederschlagssumme gleichmässig auf die Tage des Monats verteilt



Die Jahresverlaufs-Diagramme für alle Stationen des Schweizer Klimanetzwerkes [1] findet der Leser unter der nachfolgend angegebenen Internetadresse:

http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_heute/jahresverlaeufe_nbcn.html

Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre

Der Verlauf der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre, ermittelt aus den täglichen Ballonsondierungen, widerspiegelt die über weite Perioden anhaltende Wärme im Jahr 2012. Deutlich überwiegt die Zahl der Tage mit hoch liegender Nullgradgrenze und damit überdurchschnittlich warmer unterster Atmosphäre. Sehr schön zum Ausdruck kommt die extreme Kälte im Februar mit weit unterdurchschnittlicher (fiktiver) Nullgradgrenze sowie die anschließende überdurchschnittliche Wärme im März mit einer hohen Lage der Nullgradgrenze. Augenfällig ist auch der kühle Dezemberbeginn mit nochmals deutlich unterdurchschnittlicher Lage der Nullgradgrenze.

Die Höhe der Nullgradgrenze ist mit der Ballonsondierung nicht immer eindeutig bestimmbar. Bei Inversionslagen mit mehreren Nullgradgrenzen wird die höchste Lage verwendet. An Tagen mit durchwegs negativen Temperaturen wird eine fiktive Nullgradgrenze berechnet, indem die Bodentemperatur pro 100 Meter nach unten um 0.5 Grad C angehoben wird. Dies führt bei sehr kalten Verhältnissen im Winter auch mal zu einer Nullgradgrenze unterhalb des Meeresspiegels.

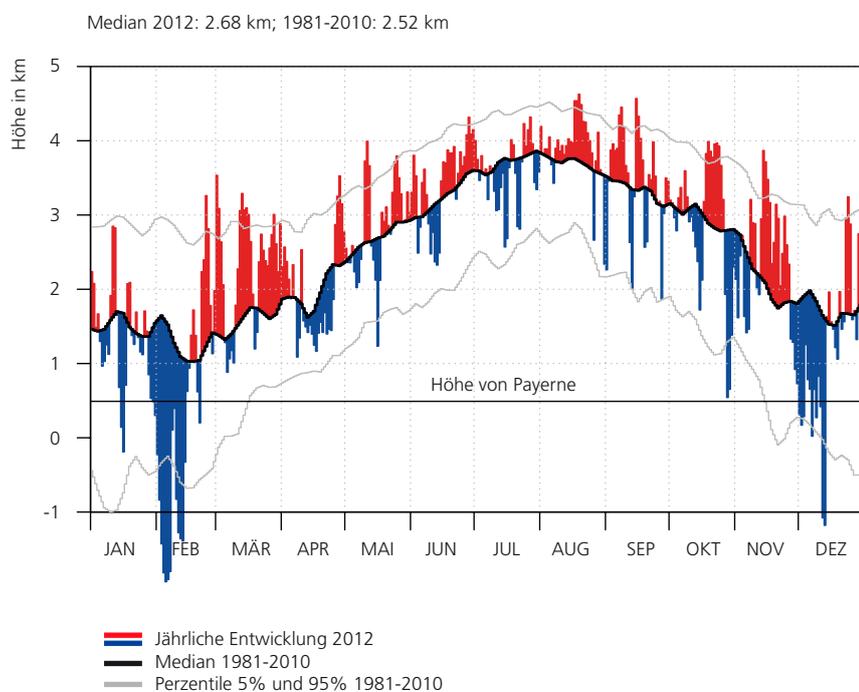


Abbildung 2.3:

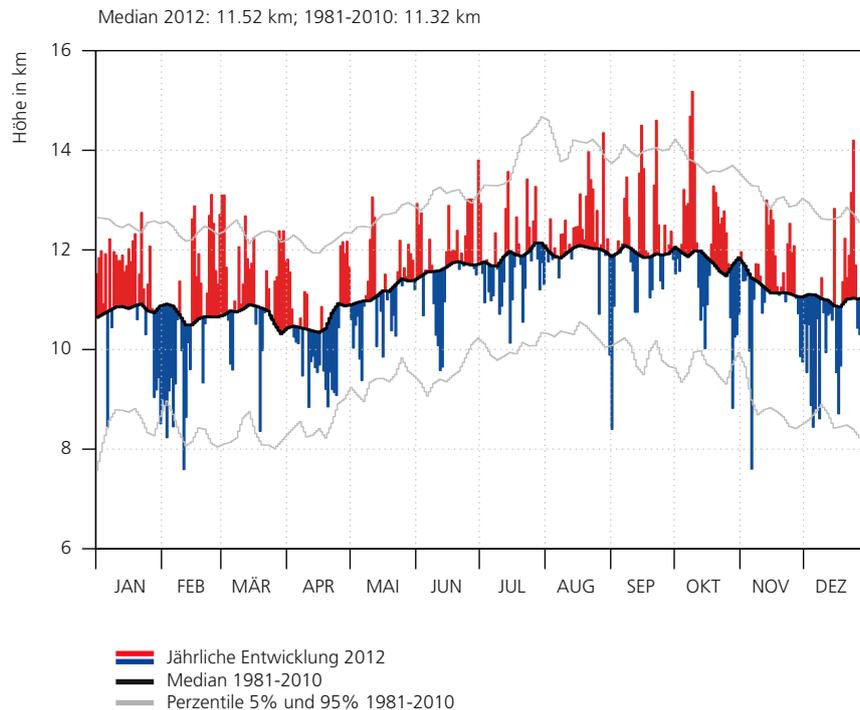
Tägliche Höhe der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre über Payerne im Jahr 2012. Aerologische Radiosondenmessung 00 UTC und 12 UTC. Der Medianwert (Referenzperiode 1981-2010) wurde mit homogenisierten Daten berechnet und mit einem numerischen Filter geglättet. Innerhalb der 5% und 95% Perzentil-Linien liegen 90% der Tagesmittelwerte.

Tropopausen Höhe

Die Tropopausen Höhe wird ebenfalls aus den Ballonsondierungen ermittelt, welche zweimal pro Tag in Payerne gestartet werden. Im Jahresverlauf 2012 überwiegt auch hier die Zahl der Tage, an denen die Tropopause höher liegt als im langjährigen Mittel 1981-2010. Die Tropopausen Höhe zeigt zudem klare Parallelen mit der Höhe der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre mit weit unterdurchschnittlicher Höhe während der kalten Tage Anfangs Februar und der anschließenden überdurchschnittlichen Höhe in der warmen zweiten Hälfte Februar und im März. Dieselbe Parallele ist auch in der kalten Periode Anfangs Dezember erkennbar.

Die Tropopausen Höhe wird mit einem automatischen Algorithmus entsprechend einer WMO Richtlinie ermittelt. Die Tropopause ist immer durch eine deutliche Änderung des Temperaturverlaufs charakterisiert und entspricht oft der tiefsten Temperatur zwischen der Troposphäre und der Stratosphäre. Die Tropopause trennt die vom Wetter geprägte Troposphäre von der eher stabil geschichteten sehr trockenen Stratosphäre.

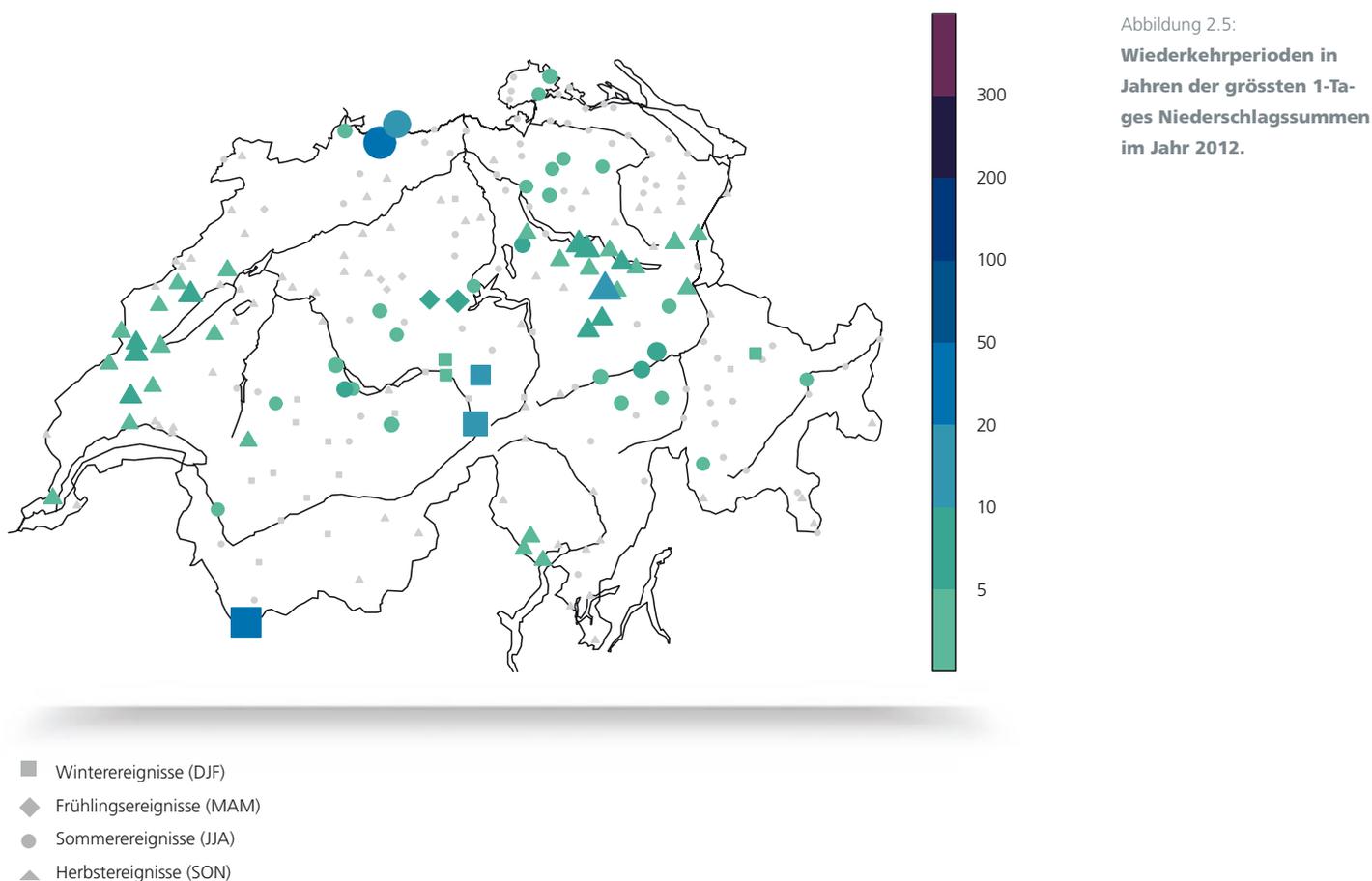
Abbildung 2.4:
Tägliche Höhe der Tropopause über Payerne im Jahr 2012. Aerologische Radiosondenmessung 00 UTC und 12 UTC. Der Medianwert (Referenzperiode 1981-2010) wurde mit homogenisierten Daten berechnet und mit einem numerischen Filter geglättet. Innerhalb der 5% und 95% Perzentil-Linien liegen 90% der Tagesmittelwerte.



Wiederkehrperioden der grössten 1-Tages Niederschlagssummen 2012

Um zu beurteilen, ob ein aussergewöhnliches Witterungsereignis aufgetreten ist, werden Häufigkeitsanalysen (oder Extremwert-Analysen) durchgeführt. Diese geben Auskunft darüber, wie häufig das betrachtete Ereignis im langjährigen Durchschnitt zu erwarten ist (Wiederkehrperiode).

Mit diesem Verfahren (generalized extreme value analysis GEV mit Basisperiode 1961-2011) wird für jeden Niederschlags-Messstandort die höchste im Berichtsjahr erfasste 1-Tages Niederschlagssumme beurteilt. Die Stationen mit der höchsten Wiederkehrperioden im Jahr 2012 (>20 Jahre) sind Arisdorf in der Region Basel und der Grosse St. Bernhard im Wallis.



Die Punktgrösse und die Farbe (Skala rechts) entspricht der Länge der Wiederkehrperiode in Jahren. Grau steht für Wiederkehrperioden von zwei Jahren oder weniger.

Jahresverlauf der UV-Strahlung

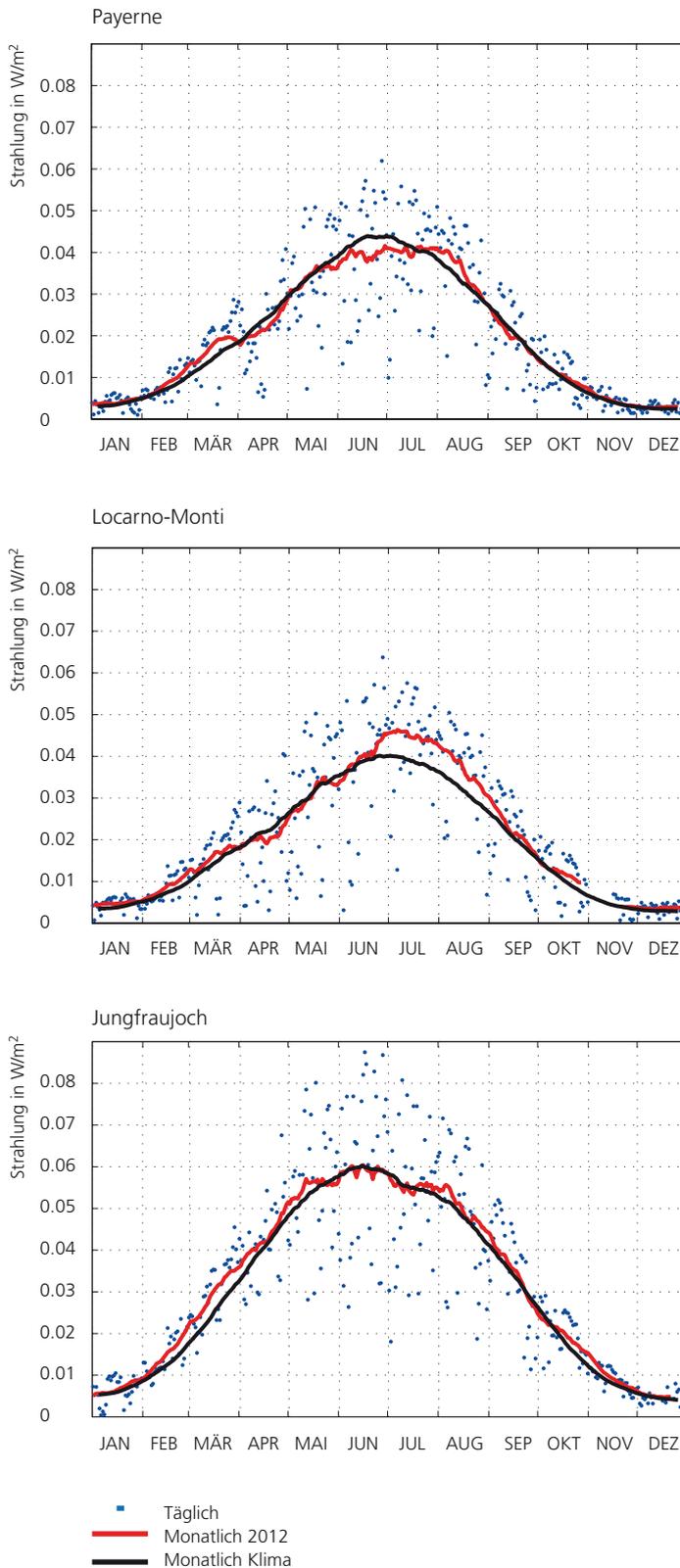


Abbildung 2.6:

Tägliche Mittelwerte der erythemalen ultravioletten Strahlung (blaue Punkte) an den Messstationen Payerne, Locarno-Monti und Jungfrauoch. Rote Linie: gleitendes Monatsmittel (31 Tage). Schwarze Kurve: mittlerer jährlicher Verlauf berechnet aus den Daten 1997-2012 (Jungfrauoch), 1998-2012 (Payerne) und 2001-2012 (Locarno-Monti).

Dem UV-B-Bereich des solaren Spektrums kommt besondere Bedeutung zu, da sich diese Strahlungskomponente signifikant auf Lebewesen auswirkt und in bestimmten Fällen ein Problem für die öffentliche Gesundheit darstellt (Hautkrebs, Hornhautschäden usw.). Die UV-Messungen werden mit erythemalen UV-Biometern durchgeführt. Diese Messgeräte messen die Intensität der ultravioletten Strahlung durch einen sogenannten Erythemfilter, dessen Verhalten die Empfindlichkeit der Haut, insbesondere für UV-B mit einem kleinen Anteil UV-A, nachbildet. Die betreffenden Messungen führt MétéoSuisse seit Mai 1995 in Davos, seit November 1996 auf dem Jungfrauoch, seit November 1997 in Payerne und seit Mai 2001 in Locarno-Monti durch. In Davos wird die UV-Strahlung auf dem Dach des Physikalisch-Meteorologischen Observatoriums Davos (PMOD) gemessen. 2011 mussten die Messungen aufgrund der erforderlichen Totalrenovierung des Gebäudes unterbrochen werden und konnten erst Ende 2012 wieder aufgenommen werden.

Der Vergleich der gleitenden monatlichen Mittelwerte mit den mittleren Jahreszyklen zeigt, dass die UV-Strahlung in Locarno-Monti im Juli und August des Jahres 2012 deutlich oberhalb der Norm lag. In geringerem Mass trifft dies im August auch auf Payerne zu. Die täglichen Mittelwerte (blaue Punkte) sind in diesen Zeiten insbesondere in Locarno erhöht und nur wenige Werte liegen unterhalb der Norm. Werte unterhalb der Norm treten bei erheblicher Bewölkung auf, da dann der Einfluss des Ozons verhältnismässig gering ist. Aus der Tatsache, dass nur wenige dieser niedrigen täglichen Mittelwerte vorliegen, ergibt sich eine starke Sonneneinstrahlung in diesen Zeiträumen, was auch die deutlich über der Norm liegende UV-Strahlung erklärt. Dies trifft für die Monate Februar und März auch auf das Jungfrauoch sowie für den März auf Payerne zu. Im Juni lag die UV-Strahlung in Payerne dagegen unterhalb der Norm.

Ozommessreihe Arosa

Die Entwicklung der Gesamtozonsäule über Arosa im Jahresverlauf (Abb. 2.7) weist die typische jahreszeitliche Fluktuation auf. Im Frühjahr wird ein Maximum erreicht, im Herbst ein Minimum. Die Entwicklung der Gesamtozonsäule im Jahresverlauf wird stark durch den Transport von Ozon aus Regionen um den Nordpol dominiert, wo das Ozonmaximum am Ende der Polarnacht, also zu Beginn des Frühlings auftritt.

Im Jahr 2012 lagen die Ozonwerte deutlich unter denen des Referenzzeitraums zwischen 1926 und 1969. In Arosa ist seit 1970, also ab der Zeit, seit der die Freisetzung ozonschädlicher Stoffe deutlich zugenommen hat, ein dauerhafter Abfall der Gesamt-Ozonwerte zu verzeichnen.

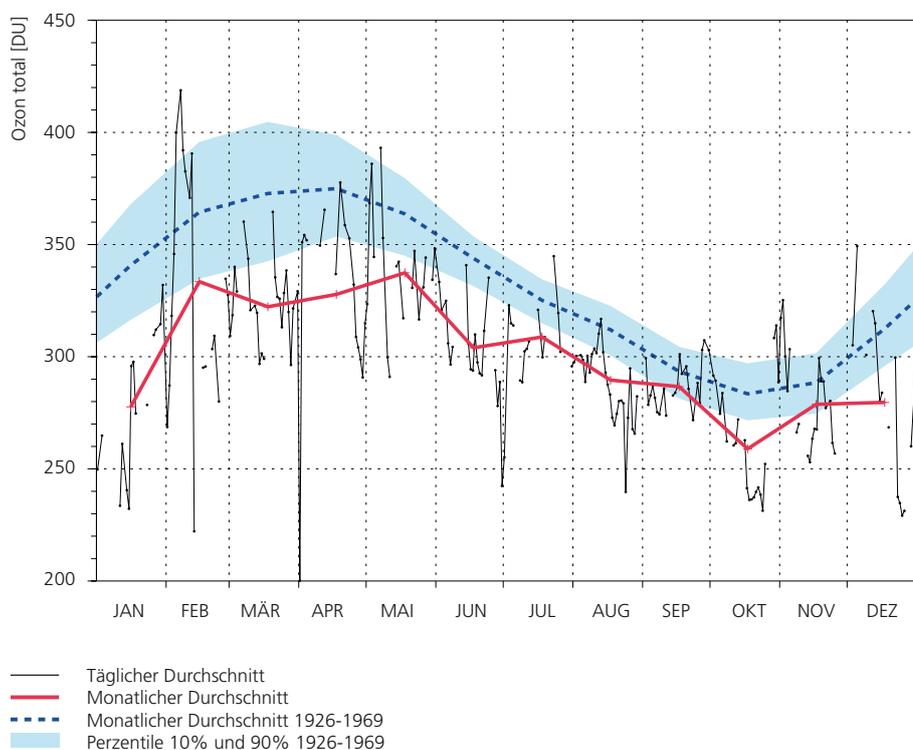


Abbildung 2.7:

Entwicklung der Gesamtozonsäule über Arosa im Jahresverlauf 2012. Schwarze Kurve: täglicher Durchschnitt. Rote Kurve: monatlicher Durchschnitt. Die blaue Kurve zeigt den durchschnittlichen Jahresverlauf im Zeitraum 1926 bis 1969, also vor Einsetzen des Problems der Ozonzerstörung. 80% der langfristigen Fluktuationen innerhalb des Zeitraums 1926 bis 1969 liegen innerhalb des blauen Bereichs.

Ozonmessungen Payerne

Das Mikrowellenradiometer SOMORA misst seit 2000 die vertikale Verteilung des Ozons mit einer zeitlichen Auflösung von 30 Minuten. Die folgende Grafik zeigt die Schwankungen des Ozongehalts im Jahresverlauf 2012 in ppm als Farbverteilung. Die Jahresschwankungen 2011 sind vergleichend als schwarze Linien dargestellt (für 4, 6 und 8 ppm).

Die Grafik ist also eine visuelle Darstellung der jeweiligen Ozonwerte in Abhängigkeit von Höhe und Jahresverlauf im Vergleich zum Vorjahr. Die jährliche Messreihe zeigt auch Maxima (z.B. Ende Januar 2012, jedoch nicht 2011) und Minima (erkennbar im Oktober 2012, jedoch nicht 2011) in den jeweiligen Jahresverläufen der Ozonwerte.

Die Messung der vertikalen Ozonverteilung in der Atmosphäre bis zu einer Höhe von etwa 30 km wird im Rahmen von Ballonsondierungen durchgeführt. Anhand der gemessenen Daten lässt sich der zeitliche Verlauf der Ozonmenge in den verschiedenen Schichten der Atmosphäre bestimmen. Abbildung 2.9 zeigt den detaillierten Verlauf im Jahr 2012.

In sehr geringen Höhen (925 hPa, Bodennähe) sind die Maximalwerte im Sommer auf starke Sonneneinstrahlung und Luftverschmutzung (die zu verstärkter Ozonbildung führt) zurückzuführen.

Im darüber liegenden Bereich der Atmosphäre (Troposphäre) in etwa 10 km Höhe (300 hPa), in dem die meisten meteorologischen Phänomene ablaufen, fällt das sommerliche Maximum angesichts der dort für die Ozonbildung nicht optimalen Voraussetzungen (Verfügbarkeit von Energie und Sauerstoff) deutlich flacher aus. Die deutlichen Spitzen entstehen durch den Eintrag von Ozon aus grösseren Höhen.

In etwa 18 km Höhe (40 hPa) wird die Entwicklung der Ozonwerte im Jahresverlauf durch den Transport von Ozon aus Regionen um den Nordpol dominiert, wo die stärkste Ozonkonzentration am Ende der Polarnacht, also zu Beginn des Frühlings auftritt. In den höchsten Schichten schliesslich (15 hPa in etwa 25 km Höhe) ist der Ozongehalt infolge der starken Sonneneinstrahlung im Sommer am höchsten.

Abbildung 2.8:
Durch Mikrowellenradiometer im Jahr 2012 in Payerne gemessene Ozonprofile. Die Grafik zeigt das Volumenmischungsverhältnis (VMR) des Ozons in Teilen pro Million (ppm). Rechte Skala zwischen 4 und 8 ppm.

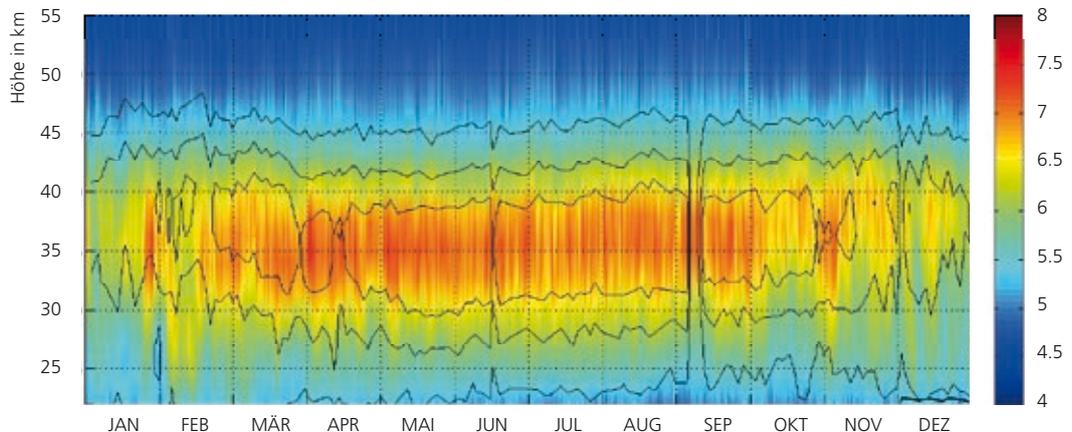
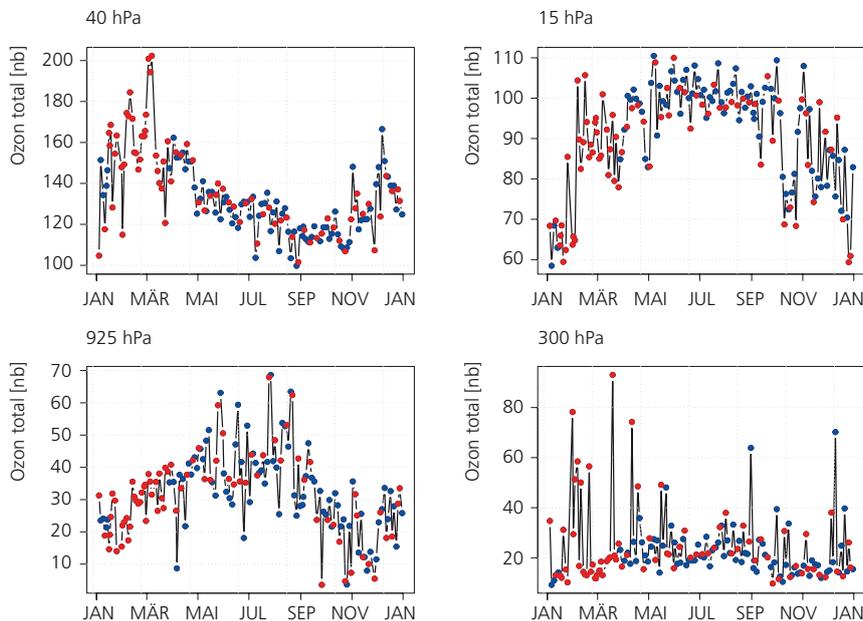


Abbildung 2.9:
Entwicklung der Ozonkonzentration (Partialdruck in Nanobar) im Jahr 2012 in verschiedenen Höhen in der Troposphäre (<10 km, bei 925 hPa und 300 hPa) und der Stratosphäre (>10 km, bei 40 hPa und 15 hPa). Die roten Punkte kennzeichnen Daten, die von neuen Messsonden geliefert wurden. Die mit blauen Punkten gekennzeichneten Werte stammen von wieder verwendeten Sonden.



Aerosolmessungen Jungfraujoch

Aerosole beeinflussen die Atmosphäre direkt (durch Absorption und Streuung des Sonnenlichts) und indirekt (durch Wolkenbildung). Wie stark sich diese Effekte auf die Erwärmung oder Abkühlung auswirken bleibt eine der grossen Unsicherheiten der Klimamodelle [15]. Die auf dem Jungfraujoch seit 1995 vorgenommenen Aerosolmessungen sind Teil der weltweit langfristigen Messreihen [16].

Im Jahresverlauf der Aerosolparameter auf dem Jungfraujoch zeigen sich im Sommer maximale und in Winter minimale Werte. Die durch natürliche und anthropogene Prozesse erzeugten Aerosole sammeln sich insbesondere in der planetarischen Grenzschicht, also der untersten Schicht der Atmosphäre, in einer je nach Jahreszeit typischen Höhe zwischen 0,5 und 2 km an.

Im Sommer erzeugt die Erwärmung des Bodens Konvektionsströmungen, die die Aerosole in grössere Höhen tragen. Das Jungfraujoch befindet sich dann verstärkt im Einflussbereich der planetarischen Grenzschicht.

Im Winter befindet sich das Jungfraujoch die meiste Zeit in der freien Troposphäre [27] und eignet sich daher gut für die Messung der optischen Eigenschaften und der Konzentration von Aerosolen in grossem Abstand von den Verschmutzungsquellen.

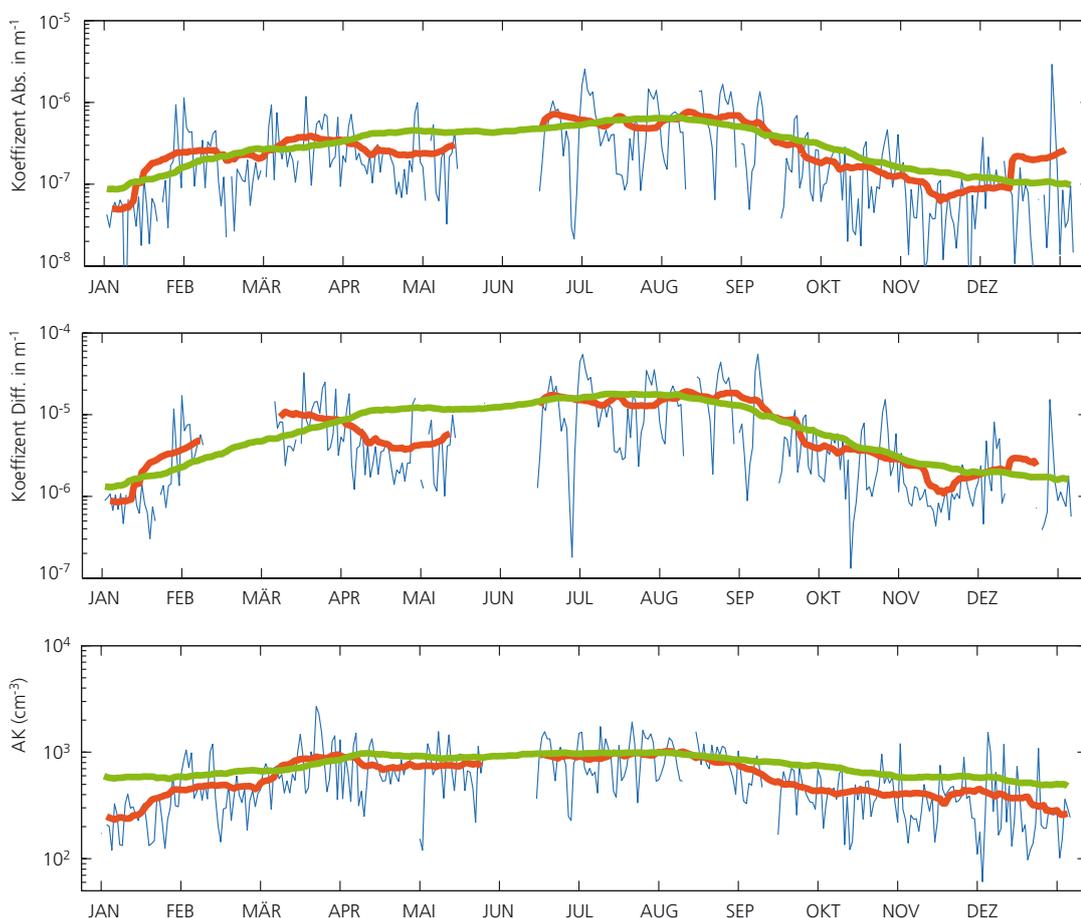


Abbildung 2.10:
Entwicklung des Absorptionskoeffizienten bei 880 nm (oben), des Diffusionskoeffizienten bei 450 nm (Mitte) und der zahlenmässigen Konzentration (unten) der Aerosole im Jahr 2012 auf dem Jungfraujoch. Blaue Kurve: täglicher Durchschnitt 2012. Rote Kurve: mobiler monatlicher Durchschnitt 2012. Grüne Kurve: mobiler monatlicher Durchschnitt im Zeitraum 1995 bis 2011.



3 | Besonderheiten 2012

3.1 Extreme Kältewelle im Februar

Der Februar 2012 brachte die massivste Kältewelle der vergangenen 27 Jahre. An der Messstation Zürich-Fluntern (556 m ü.M.) zeigte die Kaltperiode vom 1. bis zum 14. Februar ein Temperaturmittel von -9.9 Grad. Damit gehört sie hier

zu den zehn kältesten 14-Tagesperioden seit Messbeginn 1864. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts sind nur drei ähnliche Ereignisse aufgetreten.

Im Januar 1985 letztmals kälter

Die Kältewelle vom Januar 1985 erreichte an der Messstation Zürich-Fluntern ein minimales 14-Tagesmittel von -11.8 Grad C. Sie zeigte ein erstaunlich ähnliches Verhalten wie die Kältewelle vom Februar 2012, indem eine erste massivere Phase nach einer kurzen Abschwächung von einer zweiten

etwas weniger massiven Phase gefolgt wurde (Abbildung 3.1, oben). In der Westschweiz ist dasselbe zu beobachten, allerdings liegen hier in beiden Fällen etwas mildere Temperaturen vor (Beispiel Neuenburg, Abbildung 3.1, unten).

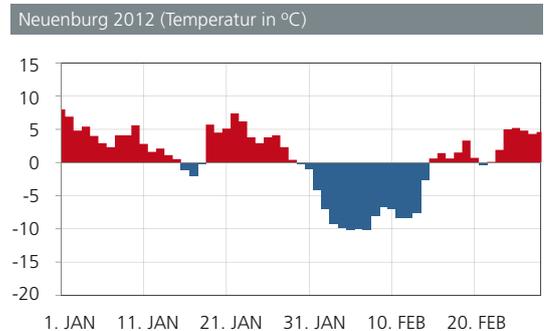
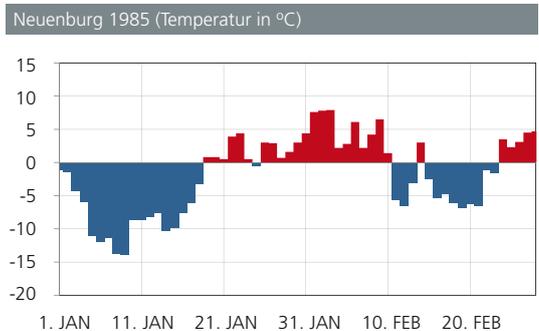
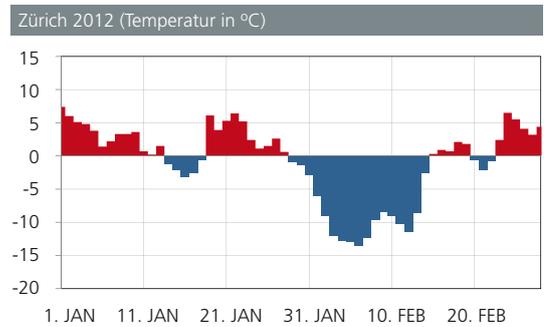
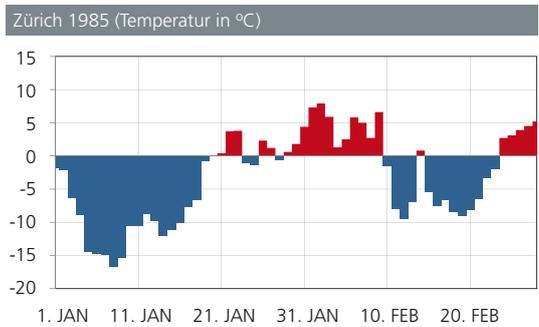
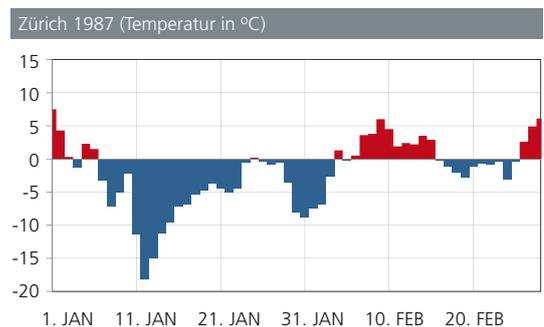
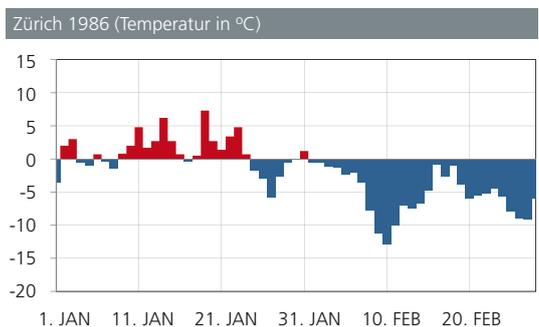


Abbildung 3.1: Die Kältewellen vom Januar 1985 und vom Februar 2012 im Vergleich. Oben Messstation Zürich-Fluntern, unten Messstation Neuenburg. Dargestellt ist der Verlauf der homogenen Tagesmittelwerte vom 1. Januar bis zum 28. Februar. Tagesmittelwerte unter Null Grad sind blau, solche über Null Grad rot eingefärbt. Neuenburg zeigt in beiden Fällen etwas mildere Verhältnisse als Zürich-Fluntern.

Während der Kältewelle vom Januar 1987 (Abbildung 3.2) dauerte die Phase mit tiefen Temperaturen nur sehr kurze Zeit. Das minimale 14-Tagesmittel lag an der Messstation Zürich bei -8.0 Grad C, also rund 4 Grad höher als 1985 und rund 2 Grad höher als während der aktuellen Februar-

kälte 2012. Die Kältewelle vom Februar 1986 mit Ende am 4. März zeigte an der Messstation Zürich ein minimales 14-Tagesmittel von -6.2 Grad C. Trotz ihrer Länge gehört sie damit zu den weniger intensiven Kältewellen.

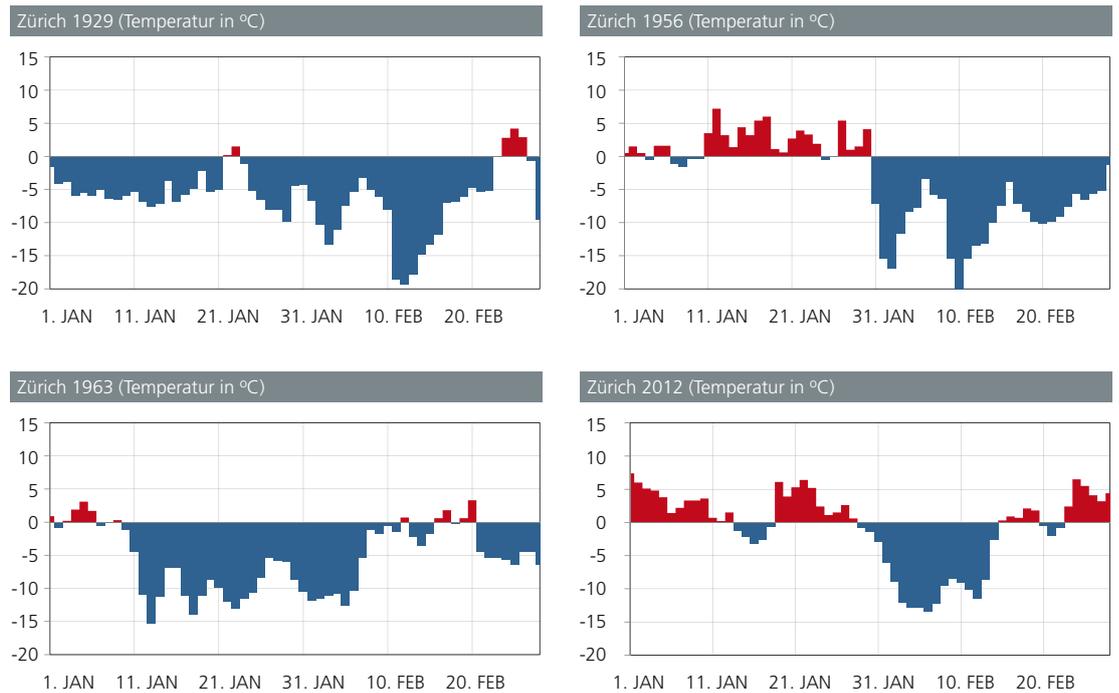
Abbildung 3.2: Die Kältewellen vom Januar 1987 und vom Februar 1986 an der Messstation Zürich-Fluntern. Dargestellt ist der Verlauf der homogenen Tagesmittelwerte vom 1. Januar bis zum 28. Februar. Tagesmittelwerte unter Null Grad sind blau, solche über Null Grad rot eingefärbt. Die Kältewelle vom Februar 1986 endete am 4. März 1986.



Extreme Kältewellen

Die extremsten Kältewellen im 20. Jahrhundert datieren aus den Jahren 1929, 1956 und 1963 (Abbildung 3.3). Dabei wurden die folgenden minimalen 14-Tagesmittel erreicht: im Februar 1929 -11.1 Grad C, im Februar 1956-11.7 Grad C und im Januar 1963 -10.9 Grad C.

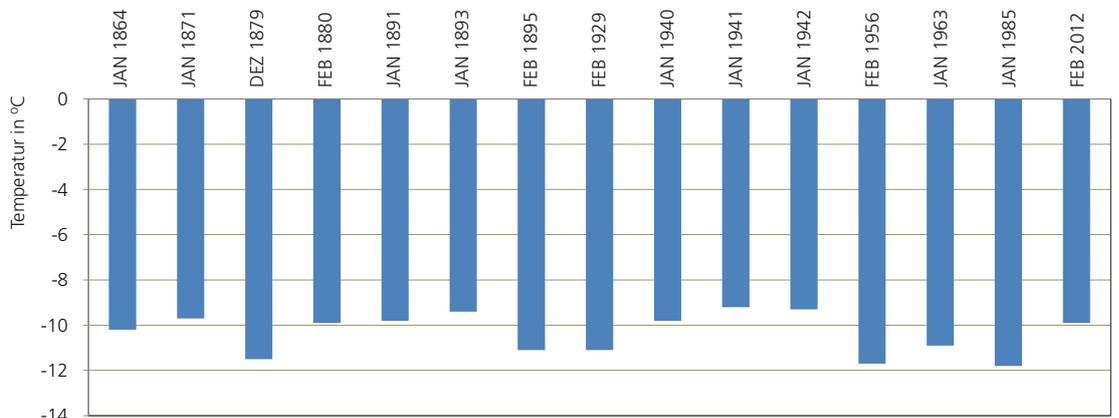
Abbildung 3.3: Die extremsten Kältewellen im 20. Jahrhundert an der Messstation Zürich-Fluntern (1929, 1956 und 1963) im Vergleich zur Kältewelle vom Februar 2012. Dargestellt ist der Verlauf der homogenen Tagesmittelwerte vom 1. Januar bis zum 28. Februar. Tagesmittelwerte unter Null Grad sind blau, solche über Null Grad rot eingefärbt.



Seit Messbeginn 1864 sind an der Messstation Zürich 15 Kältewellen mit einem minimalen 14-Tagesmittel von -9.0 oder tiefer aufgetreten. Die Kältewelle vom Februar 2012 gehört bezüglich Intensität, hier definiert über das minimale 14-Tagesmittel, zu den 10 extremsten Ereignissen (Abbildung 3.4).

Die extremsten Kältewellen betrafen mit einer Ausnahme immer die Monate Januar und Februar. Einzige bisherige Ausnahme ist die massive Kältewelle vom Dezember 1879. Und die Natur kannte damals kein Erbarmen, denn bereits zwei Monate später, im Februar 1880, wurde die Schweiz von einer weiteren intensiven Kältewelle erfasst.

Abbildung 3.4: Kältewellen mit einem minimalen 14-Tagesmittel von -9.0 oder tiefer an der Messstation Zürich in der Messperiode 1864 bis 2012. Die Berechnung basiert auf homogenen Tagesmittelwerten.



Immer weniger Kältewellen

Über zwei Wochen anhaltende Kältewellen sind im Verlauf der letzten 150 Jahre deutlich seltener geworden (Abbildung 3.5). Ab Messbeginn 1864 bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts traten sie häufiger auf als in der Folgezeit. Eine Häufung ist auch um 1940 festzustellen. Vor allem in den letzten vier Jahrzehnten sind ausgeprägte Kältewellen hingegen eine seltene Erscheinung. In die gleiche Zeit fällt auch die starke Zunahme der Wintertemperatur in der Schweiz.



Abbildung 3.5:
Häufigkeit von Kältewellen an der Messstation Zürich in der Messperiode 1864 bis 2012. Aufgeführt sind Kältewellen mit einem minimalen 14-Tagesmittel von -9.0 Grad C oder tiefer sowie solche mit einem minimalen 14-Tagesmittel von -6.0 Grad C oder tiefer. Die Berechnung basiert auf homogenen Tagesmittelwerten.

3.2 Prächtige Wasserhose auf dem Zürichsee

Am 21. Juli 2012 herrschte nach dem Durchgang einer Kaltfront am Vortag auf der Alpennordseite wechselhaftes Wetter mit gewittrigen Regenschauern. In der Zürichsee-region erreichten die Temperaturen maximal zwischen 15 und 17 Grad. Gegen Abend wurde aus Nordwesten in höheren Schichten kältere Luft zu den nordöstlichen Landes-teilen geführt.

Die Schichtung in der Atmosphäre wurde dadurch noch instabiler und es entwickelten sich intensivere Schauer- und Gewitterzellen. In der Atmosphäre herrschten also kräftige Aufwärtsbewegungen, eine wesentliche Voraussetzung für die Bildung von Wasserhosen. Das Zusammentreffen (Konvergenz) der kühlen Umgebungsluft mit der über dem See liegenden warmen und feuchten, das heisst leichten Luft führte über der Wasserfläche zur Wirbelbildung, woraus sich bei optimaler Kombination von kräftig aufquellender Gewitterwolke und darunterliegendem bodennahem Wirbel der Wirbelschlauch der Wasserhose zwischen der Unterseite der Gewitterwolke und der Seeoberfläche entwickeln kann.

Die Wasserhose entstand am 21. Juli 2012 gegen 17 Uhr auf der Höhe Thalwil, Rüslikon, Kilchberg. Der schön ausgebildete helle Schlauch war sehr gut sichtbar auf dem dunklen Hintergrund des wolkenverhangenen Gewitterhimmels. Entsprechend sind viele interessante Fotos von diesem Ereignis verfügbar.

Wasserhosen über dem Zürichsee sind sehr selten. Gemäss dem Schweizerischen Sturmarchiv [29] sind aus dem 20. Jahrhundert drei Beobachtungen bekannt (1920, 1950, 1961). Vereinzelt gibt es auch Beschreibungen von Wasserhosen aus früheren Jahrhunderten. Seit dem Jahr 2000 sind drei Ereignisse vermerkt (2003, 2007 und 2012).

In den letzten Jahren sind auch auf anderen Schweizer Seen schöne Wasserhosen beobachtet worden, so auf dem oberen Genfersee, dem Neuenburgersee, dem Zugersee und vermehrt auf dem Bodensee. Hier entwickelten sich knapp zwei Monate nach dem Zürichsee-Ereignis am 13. September 2012 während eines Kaltluftvorstosses gar mehrere Wasserhosen gleichzeitig.

Abbildung 3.6:
**Schematische Darstellung
zur Entstehung einer
Wasserhose. Hellblau:
Wasserfläche; dunkelblaue
Pfeile: kühle Umgebungs-
luft; rote Pfeile:
warmfeuchte Luft
über der Wasserfläche.
Gezeichnet nach [30].**

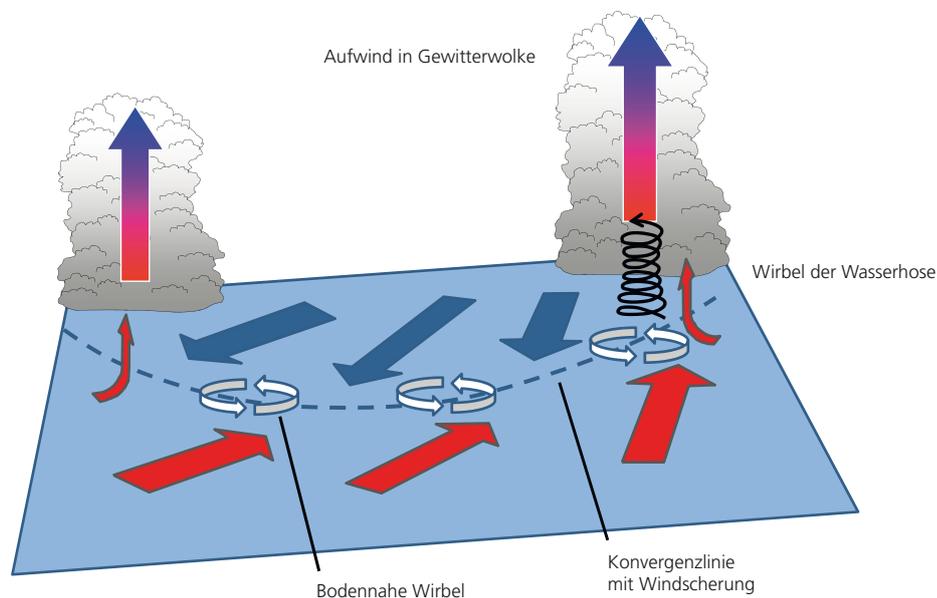


Abbildung 3.7:
**21. Juli 2012, 17 Uhr:
Ausgeprägte Wasserhose
über dem Zürichsee. Foto:
Peter Meurer**



3.3 Viel Schnee zum Winterbeginn

Der kräftige Schneefall bis ins Flachland Ende Oktober 2012 setzte früh im Jahr einen sehr winterlichen Akzent. In Zürich (556 m ü.M., Messbeginn 1931) fiel die rekordhohe Oktober-Neuschneesumme von 26 cm. Der zweithöchste Wert von 20 cm stammt vom Oktober 2008, der nächst tiefere mit 18 cm vom Oktober 1939. In St. Gallen (776 m ü.m., Messbeginn 1938) brachte der Oktober 2012 eine Neuschneesumme von 40 cm.

Deutlich mehr Oktoberschnee mit 59 cm wurde in der St. Galler-Messreihe nur 1941 aufgezeichnet. Damals lag die Messstation rund 100 m tiefer als heute, so dass auf den

heutigen Messstandort bezogen von einer noch grösseren Oktobersumme auszugehen ist. In allen übrigen Oktobermonaten seit Messbeginn erreichte in St. Gallen die Neuschneesumme einmal 31 cm und sonst weniger als 30 cm

In Zürich abermals rekordhoch war die Dezember-Neuschneesumme von 60 cm (Abbildung 3.8). Nur wenig tiefer waren die Werte aus den Jahren 2010, 1979 und 1962 mit je 58 cm sowie aus dem Jahr 1981 mit 56 cm. In St. Gallen kamen 83 cm zusammen, was zwar hoch ist, aber keineswegs im Rekordniveau liegt.

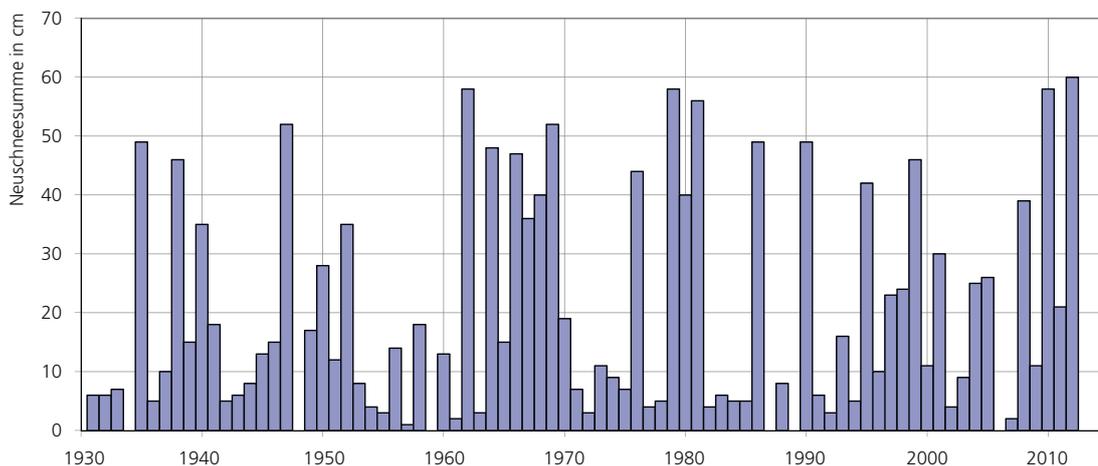


Abbildung 3.8: **Dezember-Neuschneesumme Zürich 1931-2012.**

Der reichliche Schneefall in den beiden Monaten Oktober und Dezember neben etwas Neuschnee auch im November summierte sich in Zürich auf 100 cm und damit in der Messreihe seit 1931 auf die zweithöchste Neuschneesumme der

Monate Oktober bis Dezember (Abbildung 3.9). Etwas mehr Neuschnee mit 109 cm fiel in derselben Periode nur im Jahr 1966. In allen übrigen Jahren lagen die Oktober-Dezember Neuschneesummen deutlich tiefer.

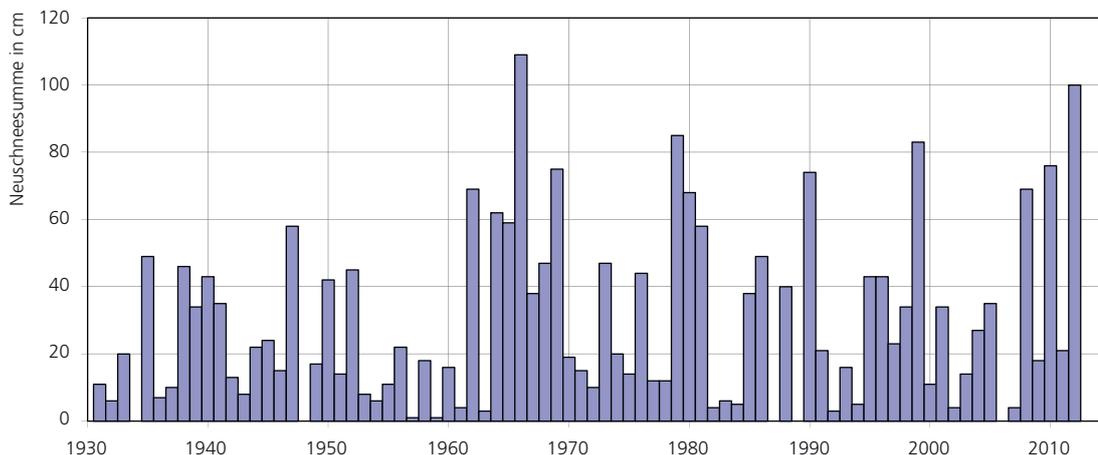


Abbildung 3.9: **Neuschneesumme der Monate Oktober bis Dezember an der Messstation Zürich 1931-2012.**



4| Globaler Witterungsverlauf 2012

Weltweit war das Jahr 2012 das neuntwärmste seit Messbeginn 1880, wie die Weltmeteorologie-Organisation (WMO) mitteilt [25]. Die globale Mitteltemperatur lag 0.45 Grad C (± 0.11 Grad C) über dem langjährigen (1961-1990) Mittelwert von 14 Grad C. Überdurchschnittliche Jahresmitteltemperaturen wurden auf dem grössten Teil der Landoberflächen gemessen. Die folgende Zusammenstellung basiert hauptsächlich auf dem jährlichen Klimastatus-Bericht der Welt Meteorologie Organisation (WMO) [25].

4.1 Erneut sehr warmes Jahr

Das Jahr 2012 fügt sich abermals nahtlos in die ununterbrochene Serie sehr warmer Jahre seit Ende des 20. Jahrhunderts. Die grössten positiven Abweichungen zeigten Nordamerika, Südeuropa, das westliche Russland sowie Gebiete von Afrika und Asien. Unterdurchschnittliche Temperaturen wurden in Alaska, im nördlichen und östlichen Australien und in Zentralasien beobachtet.

Die Meeresoberflächentemperaturen waren verbreitet überdurchschnittlich. Unterdurchschnittliche Meeresoberflächentemperaturen zeigte ein grosses Gebiet vom zentralen tropischen bis zum nordöstlichen Pazifik, Teile des Südatlantiks und der Ozeangebiete rund um die Antarktis [25].

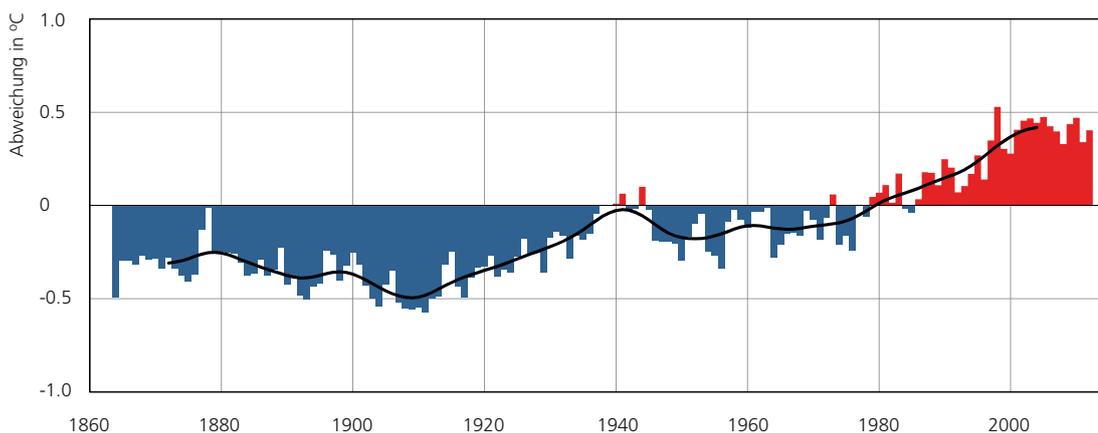


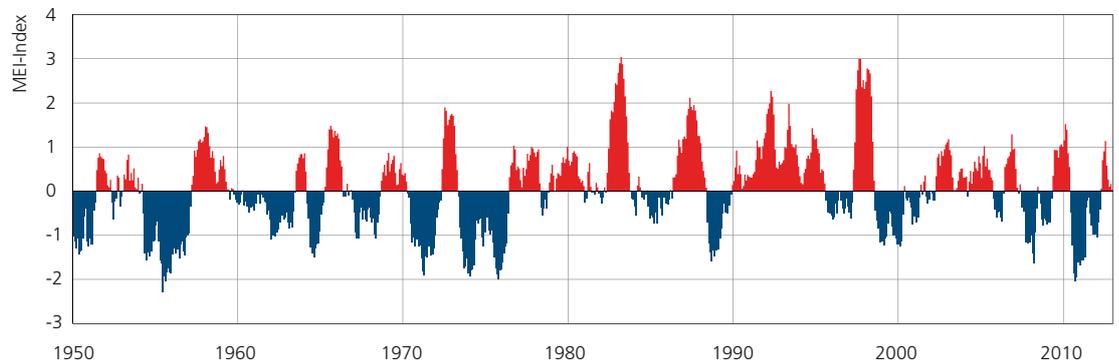
Abbildung 4.1: Langjähriger Verlauf der globalen Mitteltemperatur (Land- und Wasserflächen). Dargestellt ist die jährliche Abweichung der Temperatur von der Norm 1961-1990 (rot = positive Abweichungen, blau = negative Abweichungen). Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige, gewichtete Mittel. Daten: University of East Anglia, 2012 [14].

4.2 Der Einfluss von La Niña

Das globale Witterungsgeschehen stand in den ersten drei Monaten 2012 unter dem Einfluss einer schwachen bis mässigen La Niña Situation (kalte Klimaanomalie im äquatorialen Pazifik), welche sich ab September 2011 bildete und bis März 2012 anhielt (Abbildung 4.2). Erfahrungsgemäss hat ein La Niña Ereignis zu Beginn eines Jahres einen kühlenden Effekt, was auch 2012 der Fall war. Das globale Temperaturmittel der 3-Monats-Periode Januar bis März erreichte 2012 den tiefsten Wert seit 1997.

Im weiteren Jahresverlauf wechselte die Situation im äquatorialen Pazifik kurzfristig zu einem schwachen bis mässigen El Niño (warme Klimaanomalie), um gegen Jahresende eine neutrale Situation einzunehmen. Mit dem Ende von La Niña konnte auch ein Ansteigen der globalen Mitteltemperatur beobachtet werden.

Abbildung 4.2:
Multivariater El Niño Southern Oscillation Index (MEI). Rot sind die Indexwerte der El Niño Phase (Warmphase), blau die Indexwerte der La Niña Phase (Kaltphase) dargestellt. Der MEI setzt sich zusammen aus dem Bodendruck, der ost-west- und nord-süd-Komponenten des Bodenwindes, der Meeresoberflächentemperatur, der Lufttemperatur auf Meereshöhe sowie des Bewölkungsgrades. Die Messungen erfolgen im äquatorialen Pazifik. Die Daten sind verfügbar unter [26].



4.3 Besondere Ereignisse

Der grösste Teil Europas und grosse Gebiete Asiens waren von Ende Januar bis Mitte Februar von einer ungewöhnlichen Kältewelle betroffen. In mehreren Ländern wurde der kälteste Februar der letzten rund drei Jahrzehnte registriert. Es war weltweit die massivste Kältewelle im Jahr 2012. Zudem brachte der Winter in vielen Regionen Europas eine ausgesprochene Trockenheit von Januar bis März.

Gleichzeitig wurde auch der südliche Teil der USA und das nördliche Mexico von anhaltender Trockenheit erfasst. In Teilen der USA war es die Fortsetzung einer seit 2011 herrschenden Trockenphase. Ab April bis Oktober (südhemisphärisches Winterhalbjahr) war auch der grösste Teil Australiens von ausgeprägter winterlicher Trockenheit betroffen.

Hurrikan Sandy brachte Ende Oktober entlang der Ostküste der USA Rekordniederschläge mit den entsprechenden Überflutungsfolgen. Gleichzeitig wurden einige Küstenregionen von der bisher heftigsten Sturmflut (Eindringen von Meerwasser in Küstenzonen durch Windtrieb) mit Rekord-Wasserständen heimgesucht. Weltweit betrachtet war die tropische Wirbelsturmaktivität im Bereich des Mittels 1981-2010.

Auf Grönland konnte im Juli 2012 erstmals seit Aufnahme der Satellitenmessungen 1979 eine über praktisch den gesamten Eisschild (97% der Eisfläche) sich ausdehnende sommerliche Schneeschmelze beobachtet werden. Im langjährigen Durchschnitt ist rund die Hälfte des Eisschildes von der sommerlichen Schneeschmelze betroffen. Grund für die extreme Schneeschmelze war ein anhaltendes Hochdrucksystem, welches aus Süden fortgesetzt Warmluft heranführte



4.4 Arktisches Meereis mit sommerlichem Minimum-Rekord

Die Fläche des arktischen Meereises erreichte während der sommerlichen Schmelzperiode 2012 die geringste Ausdehnung in der verfügbaren Satelliten-Messreihe seit 1979. Die zweit geringste Ausdehnung stammt vom Sommer 2007, und der vergangene Sommer 2011 liegt diesbezüglich auf Rang drei. Die geringsten winterlichen Maximalausdehnungen datieren aus den Wintern 2005, 2006, 2007 und 2011, welche alle vergleichbar geringe Meereisflächen zeigten.

In der Antarktis wurde während der Schmelzperiode im Februar/März 2012 die viert grösste sommerliche Meereisfläche verzeichnet. Während der Wachstumsphase wurde im September 2012 die grösste winterliche antarktische Meereisfläche seit Beginn der Messungen 1979 erreicht.





5 | Klimamonitoring

Das Kapitel Klimamonitoring (Klimabeobachtung) gibt einen Überblick zur langjährigen Klimaentwicklung in der Schweiz mit Bezug zum aktuellen Berichtsjahr. Für die Hauptparameter Temperatur und Niederschlag kann die Klimaentwicklung seit Aufnahme der offiziellen Messungen im Winter 1863/64 nachgezeichnet werden. Für die meisten übrigen Parameter liegen bereinigte Messreihen ab 1959 vor.

Gegliedert wird das Kapitel nach der GCOS-Struktur (Global Climate Observing System) der essentiellen Klimavariablen [22]. Behandelt werden die Bereiche Atmosphäre und Landoberfläche (Tabelle 5.1), und daraus als Schwerpunkt der Teilbereich bodennahe Beobachtungen.

Es handelt sich dabei um die klassischen Messreihen von Temperatur und Niederschlag und die daraus abgeleiteten Parameter. Um bei den einzelnen Parametern den Fokus möglichst direkt auf der Klimaentwicklung zu haben, werden die Datengrundlagen und Methoden gesondert im Abschnitt 5.3 behandelt.

Bereich		Essentielle Klimavariablen
Atmosphäre	Bodennah	Lufttemperatur, Niederschlag, Luftdruck, bodennahe Strahlungsbilanz, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Wasserdampf
	Freie Atmosphäre	Strahlungsbilanz (inkl. Sonnenstrahlung), Temperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Wasserdampf, Wolken
	Zusammensetzung	Kohlendioxid, Methan, Ozon, weitere Treibhausgase, Aerosole, Pollen
Ozean	Oberfläche	Oberflächentemperatur, Salzgehalt, Meereshöhe, Meereszustand, Meereis, Strömung, biologische Aktivität, Partialdruck des Kohlendioxids
	Zwischen- und Tiefenwasser	Temperatur, Salzgehalt, Strömung, Nährstoffe, Kohlenstoff, Spurenstoffe, Phytoplankton
Landoberfläche		Abfluss, Seen, Grundwasser, Wassernutzung, Isotope, Schneebedeckung, Gletscher und Eiskappen, Permafrost, Albedo, Oberflächenbedeckung (inkl. Vegetationstyp), Blattflächenindex, photosynthetische Aktivität, Biomasse, Waldbrand, Phänologie

Tabelle 5.1
Essentielle Klimavariablen gemäss GCOS Second Adequacy Report [24], ergänzt mit den für die Schweiz zusätzlich relevanten Variablen. Aus [22].

Die Temperatur und der Niederschlag stellen gemäss GCOS zwei Hauptindikatoren für die Veränderungen des Klimas dar [22]. Daraus abgeleitet hat die Welt Meteorologie Organisation (WMO; World Meteorological Organization) ein Set von spezifisch definierten Klimaindikatoren [4] mit dem Ziel, die Entwicklung des Temperatur- und Niederschlagsregimes detailliert und global einheitlich zu erfassen, wie z.B. die Frosthäufigkeit oder die Häufigkeit von starken Niederschlägen (Bereich Atmosphäre, bodennah). Zusätzlich werden

hier weitere für die Schweiz spezifische Klimaindikatoren diskutiert, unter anderem die für ein Alpenland wichtige Schneebedeckung (Bereich Landoberfläche).

Gemäss Empfehlung der WMO ist bei Analysen zur Klimaentwicklung die Normperiode 1961-1990 zu verwenden [4], [28]. In diesem Kapitel wird diese Empfehlung entsprechend umgesetzt.

Tabelle 5.2:

Verwendete Klimaindikatoren aus den behandelten Bereichen Atmosphäre und Landoberfläche. Die WMO-Indikatoren sind definiert in WMO/ETCCDI [4].

Bezeichnung	Typ	Definition	Bedeutung/Charakteristik
Temperatur	Temperatur	Tagesmitteltemperatur konventionell (Morgen bis Morgen) aggregiert auf Monats- und Jahrestemperatur	Hauptindikator für die Veränderungen des Klimas und essentielle Klimavariablen [22].
Frosttage (WMO)	Temperatur	Tage des Kalenderjahres mit minimaler Temperatur $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	Die Anzahl Frosttage ist hauptsächlich von der Höhenlage der Station abhängig. Als guter Klimaindikator vor allem in höheren Lagen verwendbar.
Sommertage (WMO)	Temperatur	Tage des Kalenderjahres mit maximaler Temperatur $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$	Die Anzahl Sommertage hauptsächlich von der Höhenlage der Station abhängig. Als guter Klimaindikator vor allem in tiefen Lagen verwendbar.
Nullgradgrenze	Temperatur	Höhenkote mit der Temperatur Null Grad, bestimmt auf der Basis von Messwerten von Bodenmessstationen und mit Ballonsondierungen	Die Höhenlage der Nullgradgrenze ist ein Mass für den Wärmeinhalt der Atmosphäre im Höhenprofil.
Niederschlag	Niederschlag	Tagessumme konventionell (Morgen bis Morgen) aggregiert auf Monats- und Jahressummen	Hauptindikator für die Veränderungen des Klimas und essentielle Klimavariablen [22].
Tage mit starkem Niederschlag (WMO)	Starkniederschlag	Tage des Kalenderjahres mit Tagesniederschlag $P \geq 20 \text{ mm}$	Die Schwelle von mehr als 20 mm darf nicht gleichgestellt werden mit seltenen Extremniederschlägen. Ereignisse von 20 mm werden in der Schweiz jedes Jahr mehrmals registriert.
Niederschlag der sehr nassen Tage (WMO)	Starkniederschlag	Niederschlagssumme der Tage im Kalenderjahr, an welchen der Tagesniederschlag $P > 95\text{tes}$ Perzentil der Tagesniederschläge erreicht (Referenz: 1961-1990)	Ein Tag gilt als sehr nass, wenn seine Niederschlagssumme grösser ist als die im langjährigen Durchschnitt 18 nassesten Tage im Jahr.
Max. Anzahl zusammenhängender Trockentage (WMO)	Niederschlag	Maximale Anzahl zusammenhängender Tage des Kalenderjahres, für welche der Tagesniederschlag $P < 1 \text{ mm}$ ist	Ununterbrochene Periode mit hintereinander folgenden Trockentagen, von denen jeder weniger als 1 mm Niederschlag aufweist.
Trockenheitsindex	Niederschlag	SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index) Abweichung von der mittleren klimatischen Wasserbilanz (Differenz von Niederschlag und potenzieller Verdunstung)	Der Indexwert eines bestimmten Monats zeigt den akkumulierten Wassermangel bzw. den akkumulierten Wasserüberschuss in der davorliegenden Periode im langjährigen Vergleich.
Neuschneesumme	Niederschlag	Neuschneesumme der Monate Oktober bis März (Winterhalbjahr)	Schneemengen und Neuschneefall sind in komplexer Weise von der Temperatur und dem Niederschlag abhängig. Sie reagieren deshalb sehr empfindlich auf langfristige Klimaänderungen [9], [10], [11], [12], [13].
Tage mit Neuschnee	Niederschlag	Anzahl Tage mit messbarem Neuschnee der Monate Oktober bis März (Winterhalbjahr)	

5.1 Atmosphäre

5.1.1

Bodennahe Beobachtungen

Die hier verwendeten Klimaindikatoren nach WMO (Tabelle 5.2) werden überwiegend exemplarisch anhand der Messreihen der Stationen Bern (nordalpines Flachland), Sion (inneralpines Tal), Davos (alpine Lage) und Lugano (Südschweiz) dargestellt. Berechnet werden sie als Jahreswerte, das heisst zum Beispiel Anzahl Frosttage pro Jahr, wobei immer das Kalenderjahr Verwendung findet (1. Januar bis 31. Dezember).

Auf der Web-Seite der MeteoSchweiz finden sich zusätzliche Informationen zu Klimaindikatoren: http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_heute/klimaindikatoren/indikatoren_browser.html

Temperatur

Im gesamtschweizerischen Mittel war das Jahr 2012 das neunt wärmste seit Messbeginn 1864 (Abbildung 5.1). Der Frühling war landesweit der fünft wärmste, der Sommer der viert wärmste und der Herbst der siebent wärmste seit Messbeginn. Die Wintertemperatur lag genau auf der Norm 1961-1990 (Abbildung 5.2). Unter den Monaten stach der März als zweit wärmster, der August als viert wärmster sowie der Februar als neunt kältester hervor.

Der langjährige gesamtschweizerische Trend der Jahrestemperatur liegt bei $+1.2^{\circ}\text{C}/100$ Jahre ($+0.12^{\circ}\text{C}/10$ Jahre), was einer Gesamtänderung von $+1.8$ Grad entspricht (1864 bis 2012). Die saisonalen Trends liegen ebenfalls um $+1.2^{\circ}\text{C}/100$ Jahre. Eine Gesamtübersicht zu den Temperaturtrends gibt Tabelle 5.3.

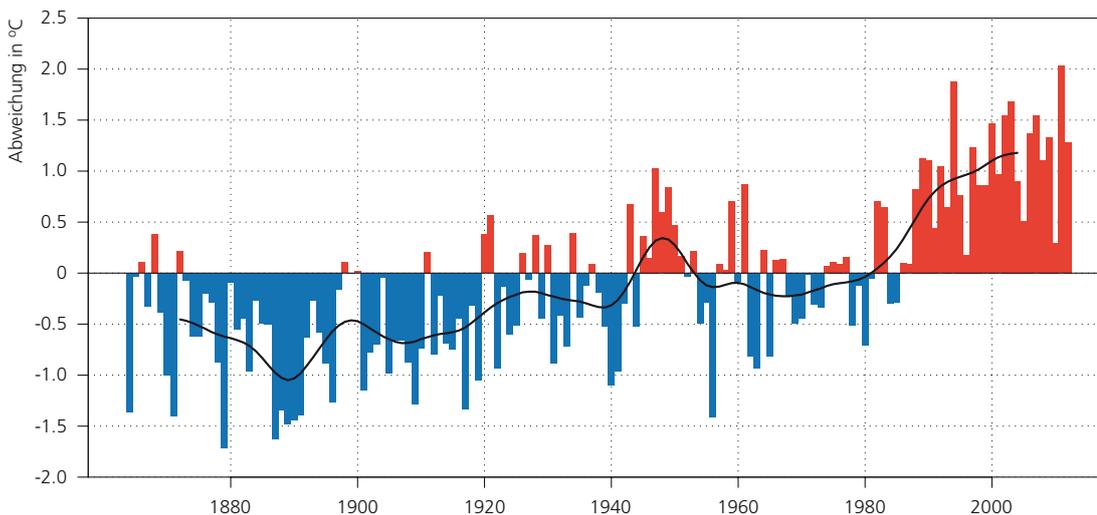


Abbildung 5.1:
Langjähriger Verlauf der Jahres-Temperatur gemittelt über die gesamte Schweiz. Dargestellt ist die jährliche Abweichung der Temperatur von der Norm 1961-1990 (rot = positive Abweichungen, blau = negative Abweichungen). Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige, gewichtete Mittel. Als Datenbasis dienen die verfügbaren 12 homogenen Messreihen der Schweiz.

Abbildung 5.2:

Langjähriger Verlauf der jahreszeitlichen Temperatur gemittelt über die gesamte Schweiz. Dargestellt ist die jährliche Abweichung der saisonalen Temperatur von der Norm 1961-1990 (rot = positive Abweichungen, blau = negative Abweichungen). Als Datenbasis dienen die verfügbaren 12 homogenen Messreihen der Schweiz. Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige, gewichtete Mittel.

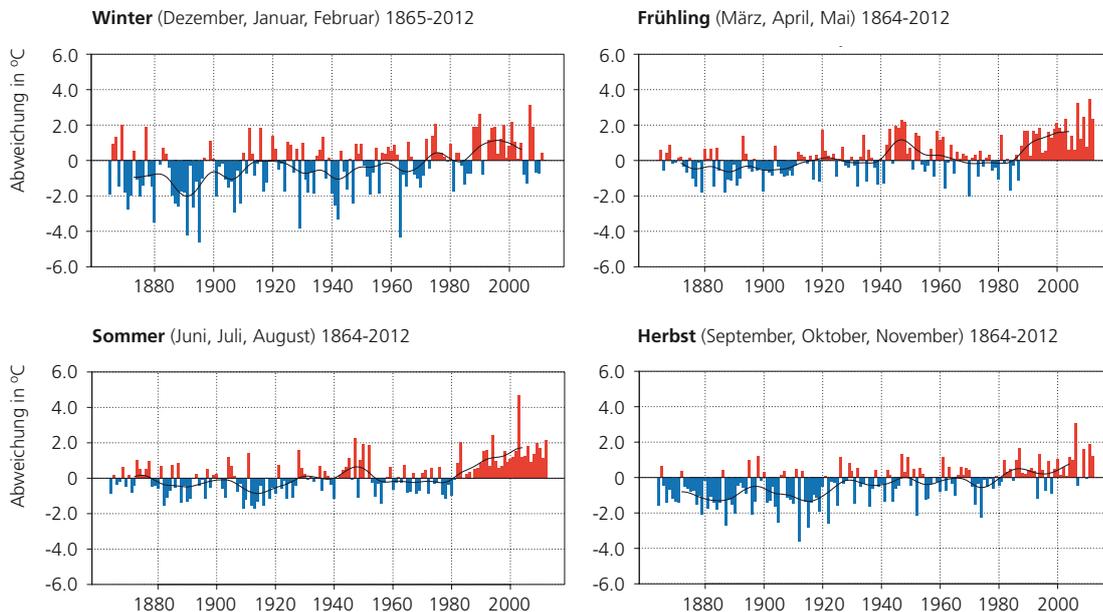


Tabelle 5.3: Saisonale und jährliche Temperaturtrends in Grad Celsius pro 10 Jahre in den Perioden 1864-2012, 1901-2012 und 1961-2012, berechnet jeweils für die ganze Schweiz.

Periode	Frühling März-Mai	Sommer Juni-August	Herbst September-November	Winter Dezember-Februar	Jahr Januar-Dezember
1864-2012	+ 0.12 °C stark signifikant	+ 0.11 °C stark signifikant	+ 0.12 °C stark signifikant	+ 0.12 °C stark signifikant	+ 0.12 °C stark signifikant
1901-2012	+ 0.16 °C stark signifikant	+ 0.17 °C stark signifikant	+ 0.17 °C stark signifikant	+ 0.14 °C stark signifikant	+ 0.16 °C stark signifikant
1961-2012	+ 0.52 °C stark signifikant	+ 0.50 °C stark signifikant	+ 0.24 °C stark signifikant	+ 0.30 °C stark signifikant	+ 0.38 °C stark signifikant

Ohne global wirksame Interventionsmassnahmen wird für die Schweiz bis 2050 eine weitere deutliche Erwärmung erwartet. Bis 2099 soll die Erwärmung laut den aktuellen Klimaszenarien, ausgehend vom Mittel 1981-2010, rund 3 Grad betragen. Die stärkste Erwärmung von über 4 Grad erfährt dabei der Sommer, wobei in den südlichen Landes- teilen die Werte bis gegen +5°C gehen [23].

Die zukünftig erwartete starke Erwärmung deckt sich mit der Entwicklung in den letzten zwei Jahrzehnten. Jahre mit einer stark überdurchschnittlichen Temperatur haben sich ab Ende der 1980er Jahre gehäuft. Von den 20 wärmsten Jahren seit Messbeginn 1864 sind 17 seit 1990 aufgetreten.

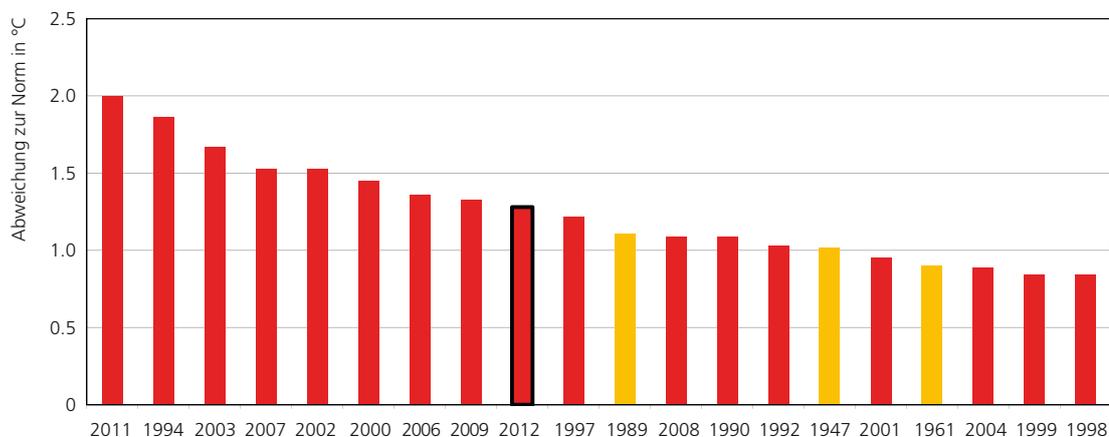


Abbildung 5.3:
Rangliste der 20 wärmsten Jahre seit 1864. Die Balken zeigen die Abweichung der mittleren Schweizer Jahrestemperatur zur Norm 1961-1990. Jahre seit 1990 sind rot dargestellt. Das Jahr 2012 ist schwarz umrandet.

Auf der Web-Seite der MeteoSchweiz finden sich zusätzliche Informationen zur Temperaturentwicklung in der Schweiz:
www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_heute/trends_schweiz.html
www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_heute/trends_an_stationen.html

Das Muster der langjährigen Temperaturentwicklung in der Schweiz mit der Häufung sehr warmer Jahre in jüngster Zeit findet sich auch in der Temperaturreihe gemittelt über die globalen Landflächen (Abbildung 5.4). Die Temperaturänderung in der Schweiz verläuft also konsistent mit den übrigen

Kontinenten. Die Trends der globalen Jahrestemperatur zeigt Tabelle 5.4. Die Gesamtänderung der globalen Temperatur von 1864 bis 2012 beträgt +0.75 Grad. Die globale Durchschnittstemperatur liegt bei rund 14°C.

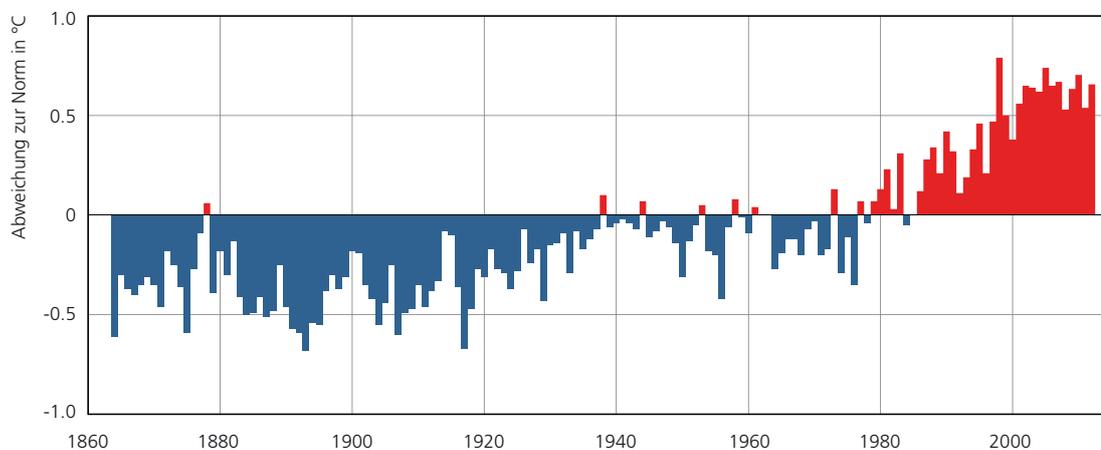


Abbildung 5.4:
Langjähriger Verlauf der globalen Jahres-Temperatur gemittelt über die Landflächen. Dargestellt ist die jährliche Abweichung der Temperatur von der Norm 1961-1990 (rot = positive Abweichungen, blau = negative Abweichungen). Daten: University of East Anglia, 2013 [14].

Periode	Land- und Wasseroberfläche		Landoberfläche	
	°C/10 Jahre	°C/100 Jahre	°C/10 Jahre	°C/100 Jahre
1864-2012	+ 0.05	+ 0.50	+ 0.06	+ 0.64
1901-2012	+ 0.08	+ 0.76	+ 0.09	+ 0.87
1961-2012	+ 0.13	-	+ 0.19	-

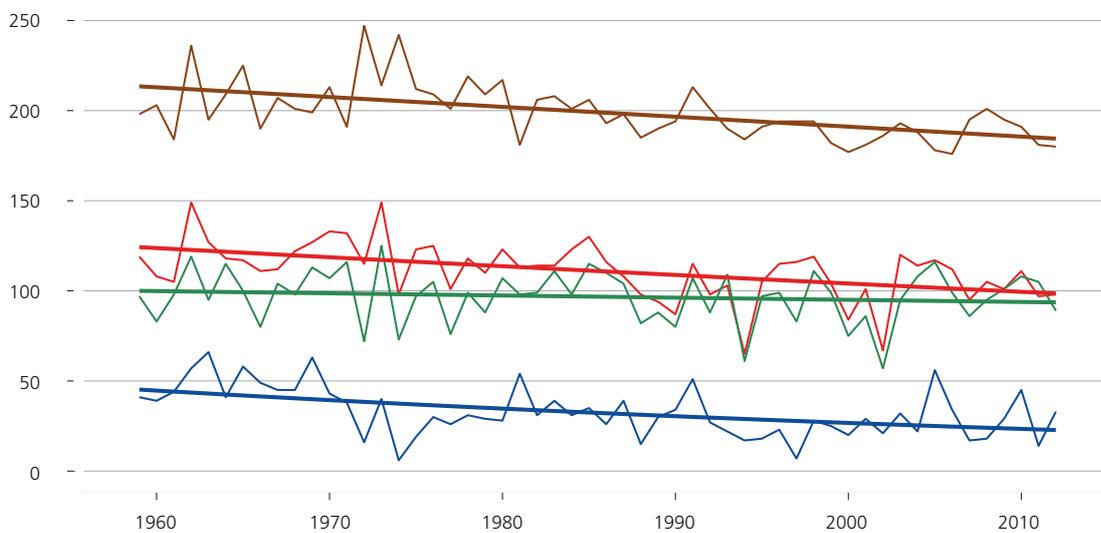
Tabelle 5.4:
Trends der globalen Jahrestemperatur in den Perioden 1864-2012, 1901-2012 und 1961-2012, berechnet für die Land- und Wasseroberflächen insgesamt und nur für die Landoberflächen. Basisdaten: University of East Anglia, 2013 [14].

Frosttage

Die Anzahl Frosttage bewegte sich 2012 in den Tieflagen der Nordschweiz (Bern) und im Wallis (Sion) im unterdurchschnittlichen Bereich (Bern 98/Norm 115; Sion 89/Norm 98). In den höheren Lagen der Ostalpen (Davos) war sie ebenfalls unterdurchschnittlich (180/Norm 203). In der Südschweiz (Lugano) entsprach die Anzahl Frosttage etwa der Norm (33/Norm 35).

Als Folge der kräftigen Wintererwärmung ist ein Rückgang der Anzahl Frosttage festzustellen. In den Messreihen Bern, Davos und Lugano ist dieser Trend signifikant. Pro Jahrzehnt werden hier vier bis fünf Frosttage weniger verzeichnet.

Abbildung 5.5:
Zeitlicher Verlauf der
Frosttage (Tage des Kalenderjahres mit minimaler Temperatur $<0^{\circ}\text{C}$) für die Stationen Bern, Sion, Davos und Lugano.



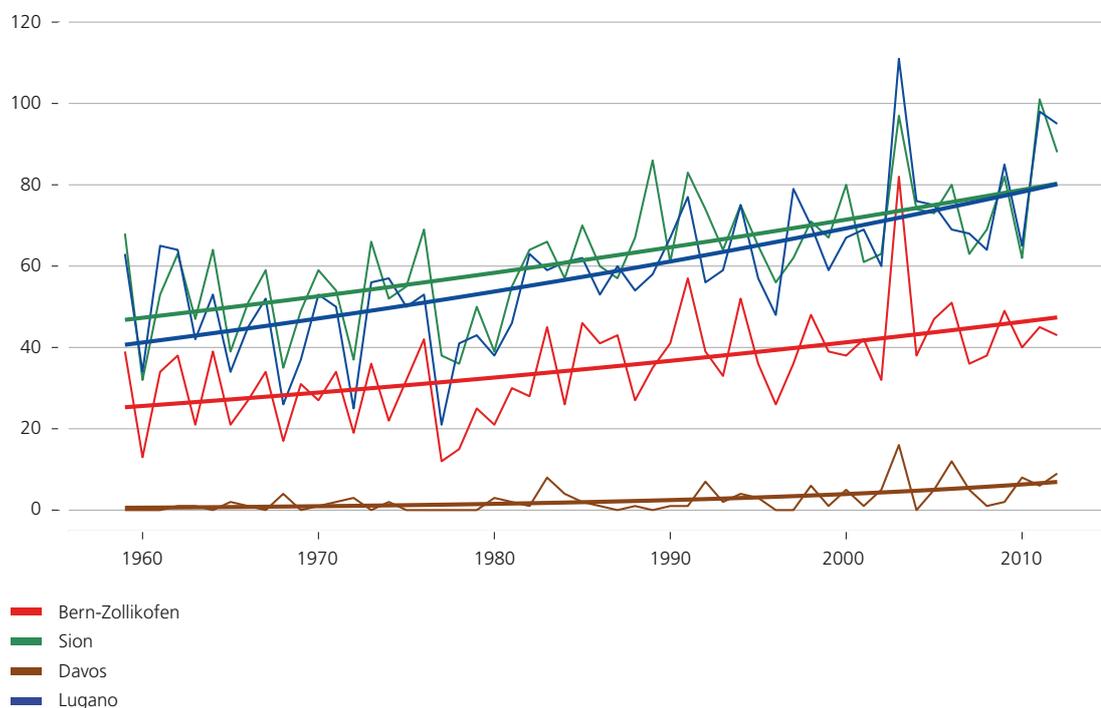
■ Bern-Zollikofen
■ Sion
■ Davos
■ Lugano

Sommertage

Das erneut sehr warme Jahr 2012 brachte im Wallis und im Tessin ungewöhnlich viele Sommertage. In Sion im Wallis war es mit 88 die dritthöchste Anzahl (Norm 55). Nur das Jahr 2003 mit dem Hitzesommer und das Rekordjahr 2011 lieferten hier mit 97 bzw. 101 mehr Sommertage. In Lugano erreichte es mit 95 (Norm 50) ebenfalls für Rang drei. Der Rekord wird hier nach wie vor vom Jahr 2003 mit 111 Sommertagen gehalten. Das vergangene Temperaturrekord-Jahr 2011 brachte in Lugano mit 98 nur wenig mehr Sommertage.

Viele, jedoch keine ungewöhnliche Anzahl Sommertage, lieferte das Jahr 2012 in Bern (43/Norm 30). Hier hält das Hitzesommerjahr 2003 den einsamen Rekord von 82 Sommertagen. Ein ähnliches Muster zeigt Davos, auf Grund der Höhenlage von 1600 m ü.M. jedoch auf deutlich tieferem Niveau (9/Norm 1.4), wobei das Hitzesommerjahr 2003 mit 16 Sommertagen weit weniger aus den anderen Jahren hervor sticht als in den tiefer gelegenen Messreihen.

Mit der kräftigen Erwärmung im Frühling und im Sommer seit den 1980er Jahren ist die Zunahme der Anzahl Sommertage eine zu erwartende Konsequenz. In allen der vier dargestellten Messreihen ist dieser Trend signifikant. Pro Jahrzehnt werden in Bern vier, in Sion sechs und in Lugano sieben Sommertage mehr verzeichnet. In Davos sind es einen bis zwei Tage mehr Sommertage pro Jahrzehnt.



Nullgradgrenze

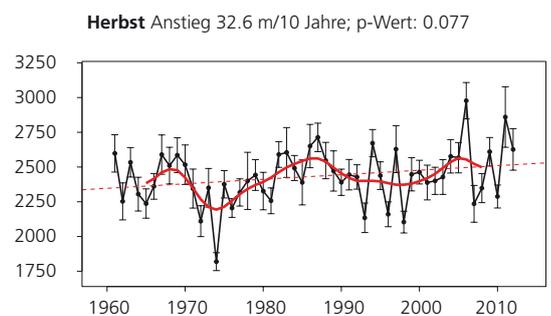
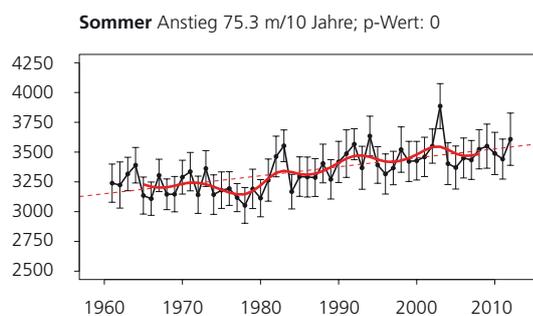
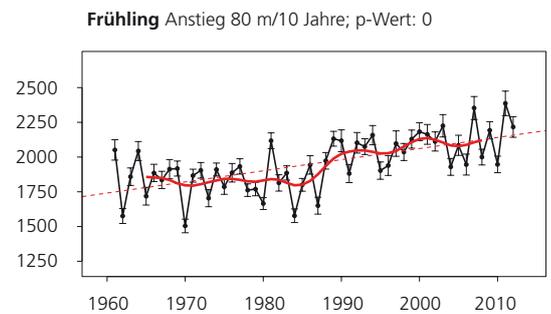
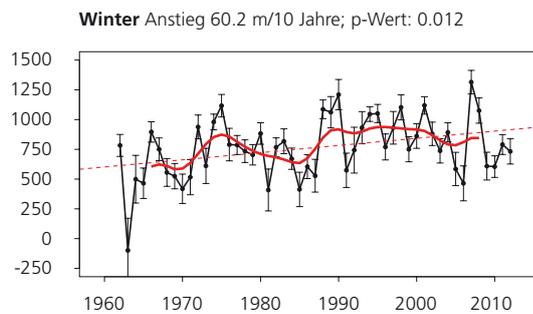
Die klimatologische Nullgradgrenze (hier bestimmt aus Bodenmessstationen als Mittel für die ganze Schweiz, siehe Anhang) liegt im Durchschnitt der Jahre 1961 bis 2012 im Winter bei gut 750 m, im Frühling bei 1950 m, im Sommer bei etwa 3350 m und im Herbst etwas über 2400 m.

Im Winter 2011/2012 lag die Nullgradgrenze mit rund 750 m ü.M. im Bereich der Durchschnittshöhe. Im Frühling 2012 erreichte sie mit rund 2200 m ü.M. die dritt höchste Lage, und im Sommer mit gut 3600 m ü.M. ebenfalls die dritt höchste Lage in der Messreihe seit 1961. Im Herbst schliesslich lag die Nullgradgrenze mit etwas über 2600 m ü.M.

in der sechst höchsten Lage seit 1961. Die jahreszeitliche Höhenlage der Nullgradgrenze zeichnet also recht gut die Temperatur der Jahreszeiten nach (fünft wärmster Frühling, viert wärmster Sommer, siebent wärmster Herbst, Winter im normalen Bereich bezogen auf die Norm 1961-1990).

Die Nullgradgrenze steigt in den Jahreszeiten Winter, Frühling und Sommer in der Periode 1961-2012 signifikant an. Der Anstieg bewegt sich je nach Jahreszeit zwischen gut 30 (Herbst) und rund 80 m (Frühling) pro 10 Jahre. Allgemein entsprechen diese Werte einem Anstieg der Nullgradgrenze von rund 150 bis 200 m pro Grad Erwärmung.

Abbildung 5.7:
Verlauf der saisonalen Nullgradgrenze als Mittel für die ganze Schweiz (schwarze Linie in m ü.M.) mit linearem Trend (rot gestrichelt) und den Daten zum Trend (Änderung und Signifikanz). Die vertikalen grauen Linien zeigen die Fehlerbalken der Nullgradgrenzenbestimmung für jedes einzelne Jahr.



Niederschlag

Nach drei Jahren unterdurchschnittlichen Jahresniederschlägen fielen 2012 im nördlichen Flachland (Mittelland) wieder überdurchschnittliche Mengen. Reichlich Niederschlag brachte hier vor allem der Herbst (Abbildung 5.8 und Abbildung 5.9). In der Südschweiz waren die Jahresniederschläge unterdurchschnittlich, allerdings weniger stark als im Vorjahr 2011, wobei vor allem der Winter 2011/2012 deutlich zu trocken ausfiel (Abbildung 5.10 und Abbildung 5.11).

Im Mittelland ist ein langfristiger Niederschlagstrend (1864-2012) von +7.6%/100 Jahre zu beobachten (+0.8%/10 Jahre). Saisonal zeigt sich jedoch nur im Winter ein signi-

fikanter Trend (+20%/100 Jahre bzw. +2.0%/10 Jahre). In den Jahreszeiten Frühling, Sommer und Herbst sind keine langfristigen Trends (1864-2012) zu eindeutig mehr oder weniger Niederschlag vorhanden. Die Südschweiz zeigt weder auf der jährlichen noch auf der saisonalen Basis langfristige Trends zu eindeutig mehr oder weniger Niederschlägen. Eine Gesamtübersicht zu den nordalpinen und südalpinen Niederschlagstrends geben Tabelle 5.5. Tabelle 5.6.

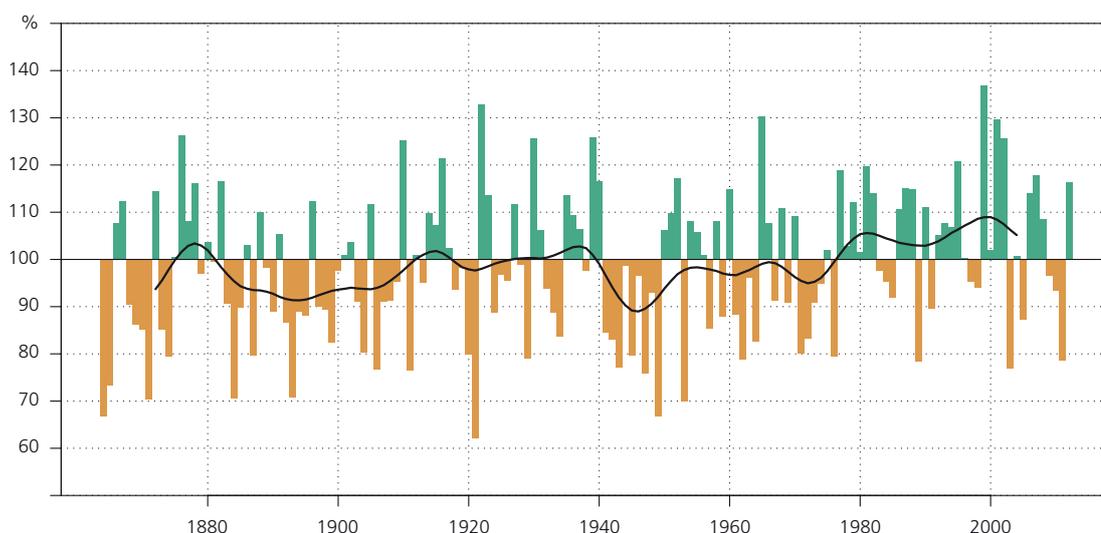


Abbildung 5.8:
Langjähriger Verlauf der Jahres-Niederschlagssummen gemittelt über das Mittelland. Dargestellt ist das Verhältnis der Jahres-Niederschlagssummen zur Norm 1961-1990. Als Datenbasis dienen die homogenen Messreihen Genève, Basel, Bern und Zürich. Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige, gewichtete Mittel.

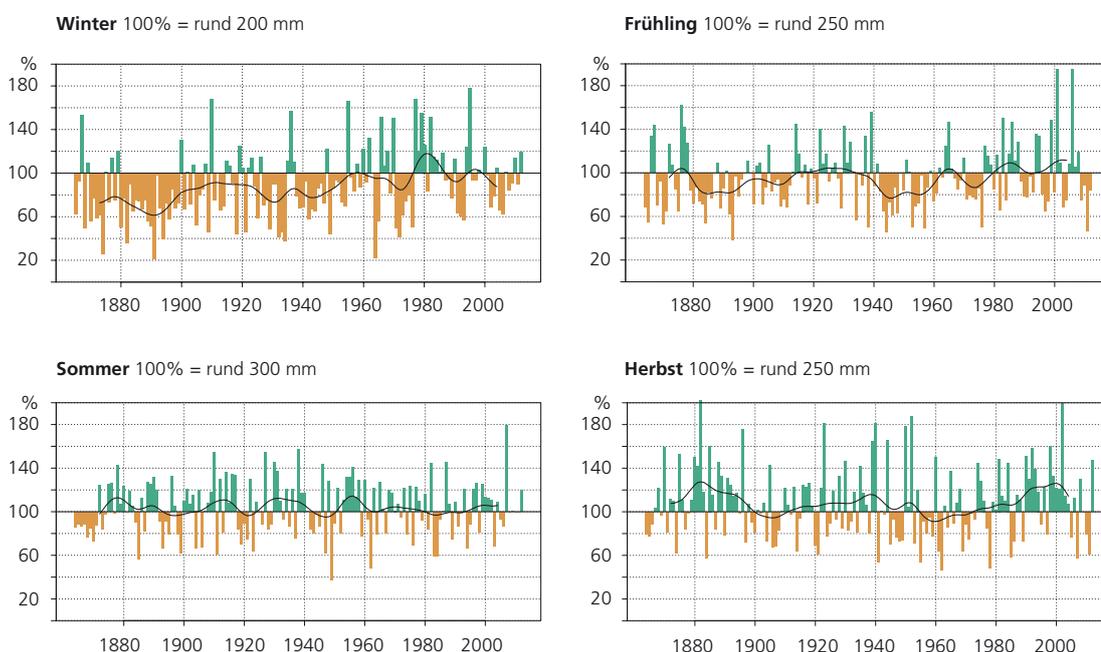


Abbildung 5.9:
Langjähriger Verlauf der jahreszeitlichen Niederschlagssummen gemittelt über das Mittelland. Dargestellt ist das Verhältnis der saisonalen Niederschlagssummen zur Norm 1961-1990 (grün = positive Abweichungen, braun = negative Abweichungen). Als Datenbasis dienen die homogenen Messreihen Genève, Basel, Bern und Zürich. Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige, gewichtete Mittel. Man beachte, dass die Sommer 2008 bis 2011 100% Niederschlag lieferten, was in der Grafik als «fehlende» Säulen zum Ausdruck kommt.

Abbildung 5.10:
Langjähriger Verlauf der Jahres-Niederschlags-summen Lugano (Süd-schweiz). Dargestellt ist das Verhältnis der Jahres-Niederschlagssummen zur Norm 1961-1990. Als Datenbasis dient die homogene Messreihe Lugano. Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige, gewichtete Mittel.

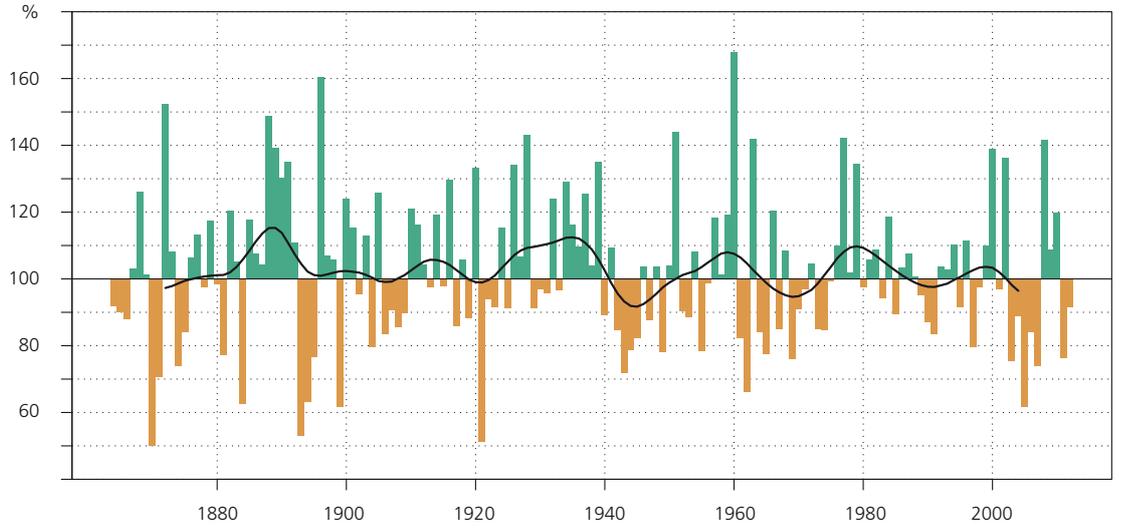
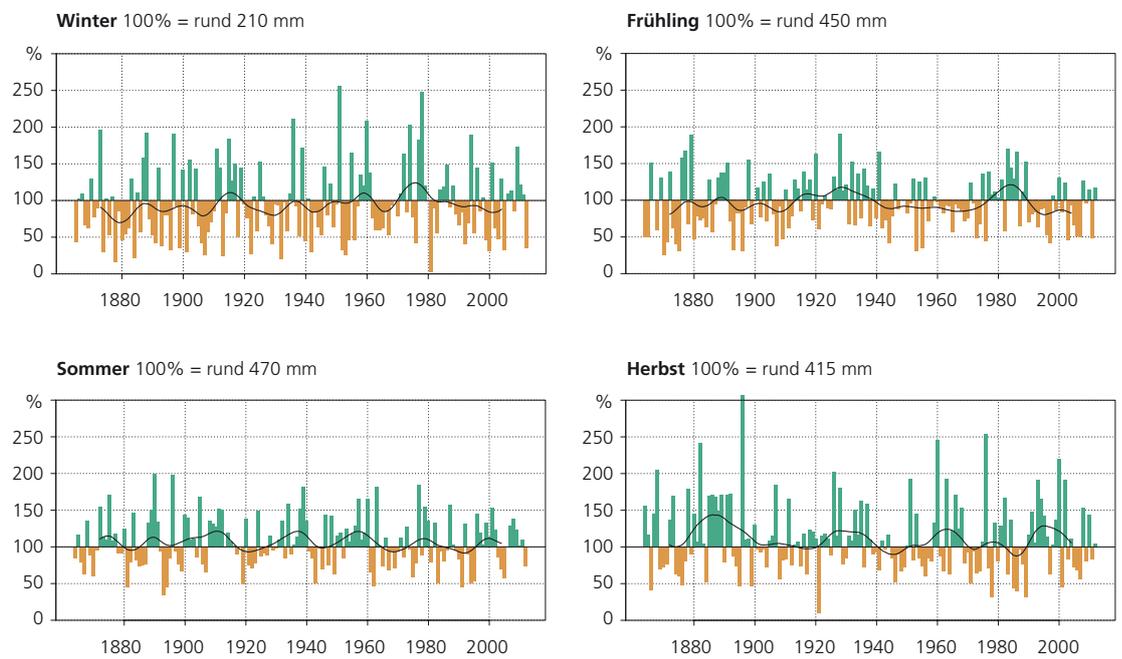


Abbildung 5.11:
Langjähriger Verlauf der jahreszeitlichen Niederschlagssummen homogenen Messreihe Lugano (Südschweiz). Dargestellt ist das Verhältnis der saisonalen Niederschlagssummen zur Norm 1961-1990 (grün = positive Abweichungen, braun = negative Abweichungen). Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige, gewichtete Mittel.



Periode	Frühling März-Mai	Sommer Juni-August	Herbst September-November	Winter Dezember-Februar	Jahr Januar-Dezember
1864-2012	+ 0.6% nicht signifikant	+ 0.2% nicht signifikant	0.0% nicht signifikant	+ 2.0% stark signifikant	+ 0.8% stark signifikant
1901-2012	+ 0.2% nicht signifikant	- 0.4% nicht signifikant	+ 1.0% nicht signifikant	+ 1.6% nicht signifikant	+ 0.8% nicht signifikant
1961-2012	- 1.2% nicht signifikant	+ 0.1% nicht signifikant	+ 4.8% nicht signifikant	- 0.3% nicht signifikant	+ 2.1% nicht signifikant

Tabelle 5.5:

Saisonale und jährliche Niederschlagstrends in Prozent pro 10 Jahre in den Perioden 1864-2012, 1901-2012 und 1961-2012, berechnet für das Mittelland.

Periode	Frühling März-Mai	Sommer Juni-August	Herbst September-November	Winter Dezember-Februar	Jahr Januar-Dezember
1864-2012	+ 0.2% nicht signifikant	0.0% nicht signifikant	- 0.8% nicht signifikant	+ 1.0% nicht signifikant	- 0.3% nicht signifikant
1901-2012	-1.1% nicht signifikant	- 0.9% nicht signifikant	- 0.4% nicht signifikant	+ 0.8% nicht signifikant	- 0.5% nicht signifikant
1961-2012	- 1.2% nicht signifikant	+ 3.6% nicht signifikant	+ 1.2% nicht signifikant	+ 0.4% nicht signifikant	+ 0.6% nicht signifikant

Tabelle 5.6:

Saisonale und jährliche Niederschlagstrends in Prozent pro 10 Jahre in den Perioden 1864-2012, 1901-2012 und 1961-2012, berechnet für die Südschweiz.

Ohne global wirksame Interventionsmassnahmen wird für die Schweiz ab 2050 im Sommer eine deutliche Niederschlagsabnahme erwartet. Bis Ende dieses Jahrhunderts soll diese laut den aktuellen Klimaszenarien, ausgehend vom Mittel 1981-2010, im Westen und Süden gegen 30 Prozent betragen. Tendenziell eher zunehmende Niederschlagssummen im Winter zeigen die Szenarien vor allem südlich der Alpen [23].



Auf der Web-Seite der MeteoSchweiz finden sich zusätzliche Informationen zur Niederschlagsentwicklung in der Schweiz:

www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_heute/trends_schweiz.html
www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_heute/trends_an_stationen.html

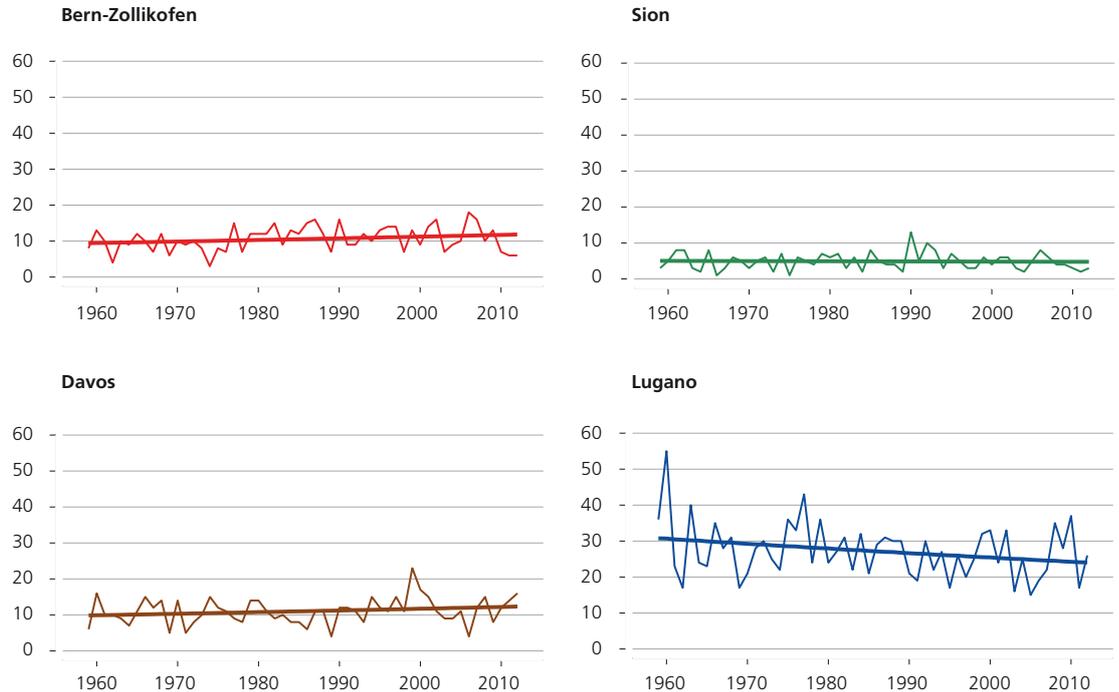
Tage mit starkem Niederschlag

Die Niederschlags-Intensität im Jahr 2012 ist vergleichbar mit dem Vorjahr. Unter der Norm 1961-1990 lag die Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag an den Messstandorten Bern mit 6 Tagen (Norm 10) und Sion mit 3 Tagen (Norm 5). Im Bereich der Norm lag sie am Messstandort Lugano mit 26 Tagen (Norm 28). Am Messstandort Davos hingegen gehört 2012 mit 16 Tagen (Norm 10) wiederum zu den intensivsten Jahren. Mehr Tage mit starkem Niederschlag lieferten hier nur die Jahre 1999 mit 23 und 2000 mit 17.

Wie beim Niederschlagsregime generell sind bezüglich der Tage mit starkem Niederschlag an den Messstandorten Bern, Sion und Davos keine signifikanten Trends feststellbar. Am

Messstandort Lugano auf der Alpensüdseite ist hingegen ein knapp signifikanter Trend zu weniger Tagen mit starkem Niederschlag vorhanden. Der Rückgang ist allerdings gering und liegt bei einem Tag pro Jahrzehnt. Am Messstandort Locarno-Monti (Alpensüdseite) ist dieser Rückgang nicht zu beobachten. Monti oder Airolo, ist diese abnehmende Tendenz nicht zu beobachten.

Abbildung 5.12:
Anzahl Tage mit Niederschlag ≥ 20 mm im Kalenderjahr für die Stationen Bern, Sion, Davos und Lugano.



Niederschlag der sehr nassen Tage

Die Niederschlagssumme der sehr nassen Tage im Jahr 2012 zeigt dasselbe Verhalten wie die Tage mit starkem Niederschlag. Unter der Norm 1961-1990 lag sie an den Messstandorten Sion mit 267 mm (Norm 332 mm) und Lugano mit 681 mm (Norm 827 mm). Im Bereich der Norm lag sie am Messstandort Bern mit 426 mm (Norm 440 mm).

Am Messstandort Davos hingegen lieferten die sehr nassen Tage im Jahr 2012 mit 647 mm (Norm 445 mm) eine der grössten Summe seit 1961. Grösser war die Niederschlagssumme der sehr nassen Tage nur in den Jahren 1999, 2000, 2011, 2008 und 1979.

Im langfristigen Verlauf zeigt von den genannten Messreihen nur diejenige von Davos einen signifikanten Trend. Wie bereits bei der vorangehenden Diskussion der Tage mit starkem Niederschlag ist auch beim Niederschlag der sehr nassen Tage auffallend, dass die langjährige Tendenz am Messstandort Lugano (Alpensüdseite) im Gegensatz zu den anderen genannten Messstandorten in Richtung geringerer Mengen weist. Am Messstandort Locarno-Monti (Alpensüdseite) ist dieser Rückgang jedoch ebenfalls nicht zu beobachten.

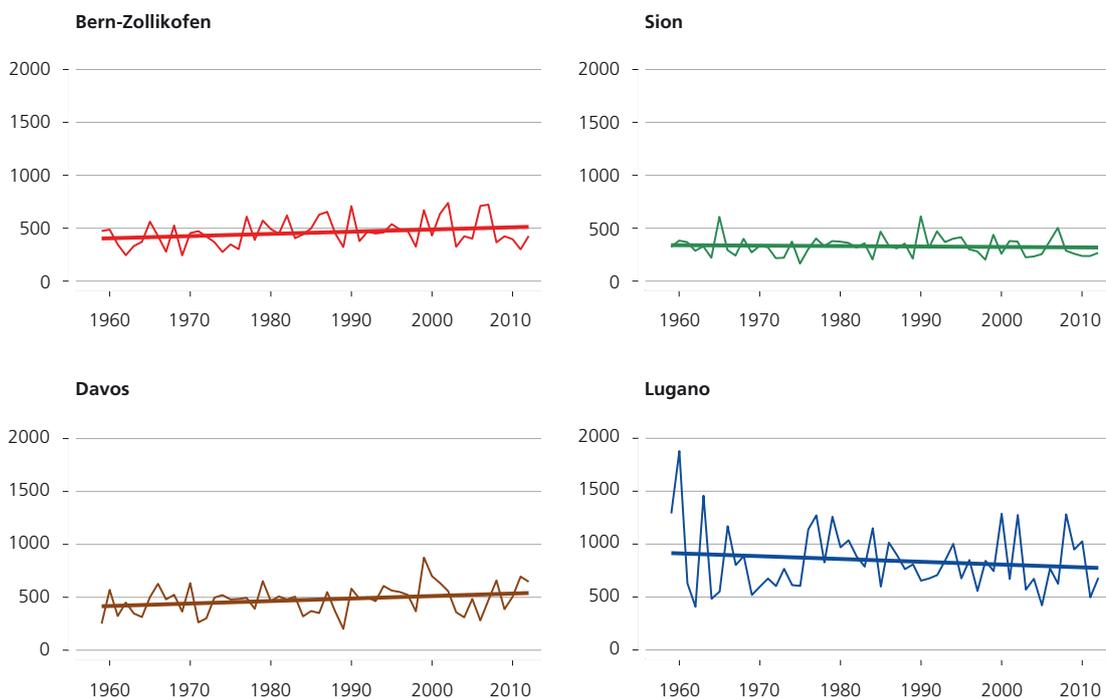


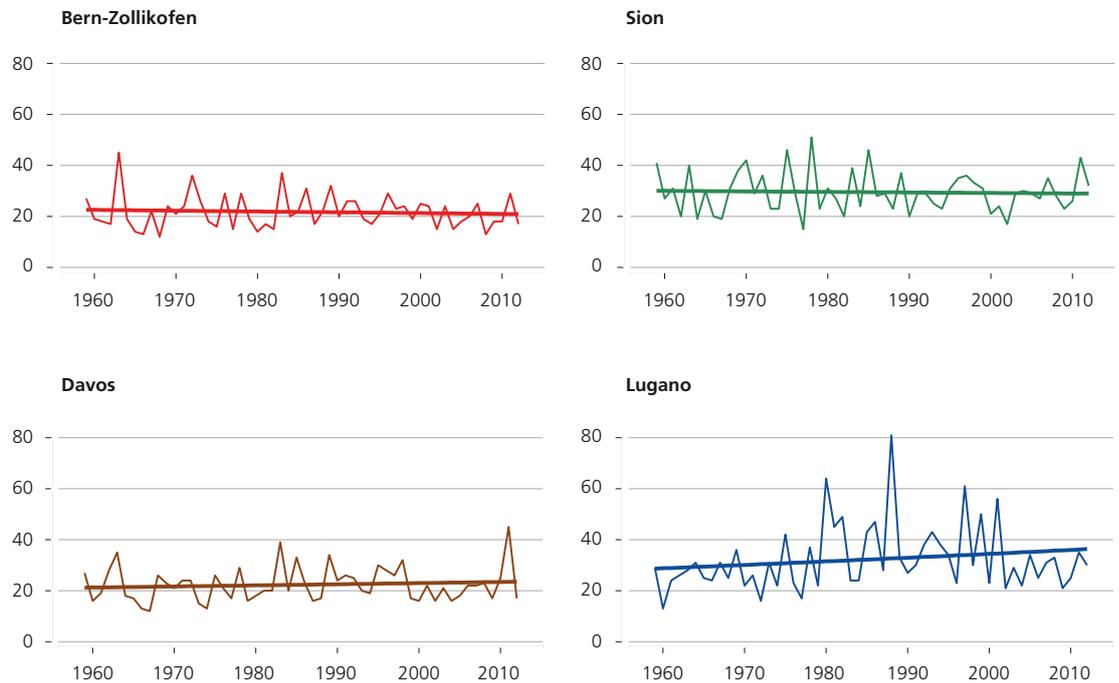
Abbildung 5.13:
Jährliche Niederschlagssumme aller sehr nassen Tage für die Stationen Bern, Sion, Davos und Lugano. Als sehr nasse Tage gelten jene, deren Tagesniederschlagssumme zu den 5% der höchsten Tagesniederschläge gehören. Als Referenzperiode gelten die Jahre 1961-1990.

Trockenperioden

Das Jahr 2012 mit verbreitet reichlich Niederschlag brachte keine speziell lange Trockenperiode im Vergleich zur durchschnittlichen Länge in der Normperiode 1961-1990. Die längste Trockenperiode bewegte sich an den Messstandorten Sion mit 32 Tagen (Norm 30 Tage) und Lugano mit 30 Tagen (Norm 32 Tage) nahe der Norm. Etwas kürzer als die Norm war die längste Trockenperiode in Bern mit 17 Tagen (Norm 22 Tage) und in Davos mit ebenfalls 17 Tagen (Norm 22 Tage).

Im langfristigen Verlauf zeigt keine der genannten Messreihen einen signifikanten Trend zu längeren Trockenperioden. Dies gilt sehr absolut für die Messstandorte Bern, Sion und Davos, während in der Messreihe Lugano zumindest eine Tendenz zu längeren Trockenperioden ersichtlich ist.

Abbildung 5.14:
Dauer (Anzahl Tage) der
längsten Trockenperiode
pro Kalenderjahr für die
Stationen Bern, Sion,
Davos und Lugano.



Trockenheitsindex

Trockenheit kann auf verschiedene Arten verstanden werden. Ganz allgemein ist sie als Niederschlagsdefizit über eine längere Zeit, d.h. mehrere Monate bis mehrere Jahreszeiten definiert.

Je nach Dauer einer Trockenheit betrifft die Wasserknappheit verschiedene Bereiche (Land- und Forstwirtschaft, Wasser- und Energieversorgung, Schifffahrt) unterschiedlich stark. Hier wird anhand des SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index) die Wasserbilanz der Monate April bis September aufgezeigt.

Das Sommerhalbjahr (Vegetationsperiode) ist der entscheidende Zeitraum für die Landwirtschaft. Die aktuellen Daten zeigen, dass die letzten fünf Jahre während der Vegetationsperiode allesamt trockener waren als im langjährigen Mittel.

Die niedrigsten SPEI-Werte (1947, 1865, 2003, 1949, 1893, 1911) in dieser Reihe entsprechen genau denjenigen Jahren, in welchen die grössten landwirtschaftlichen Schäden auftraten. Die ausgeprägten Perioden mit negativem SPEI stimmen gut überein mit bekannten Dürreereignissen während der letzten 150 Jahre ([19], [18]).

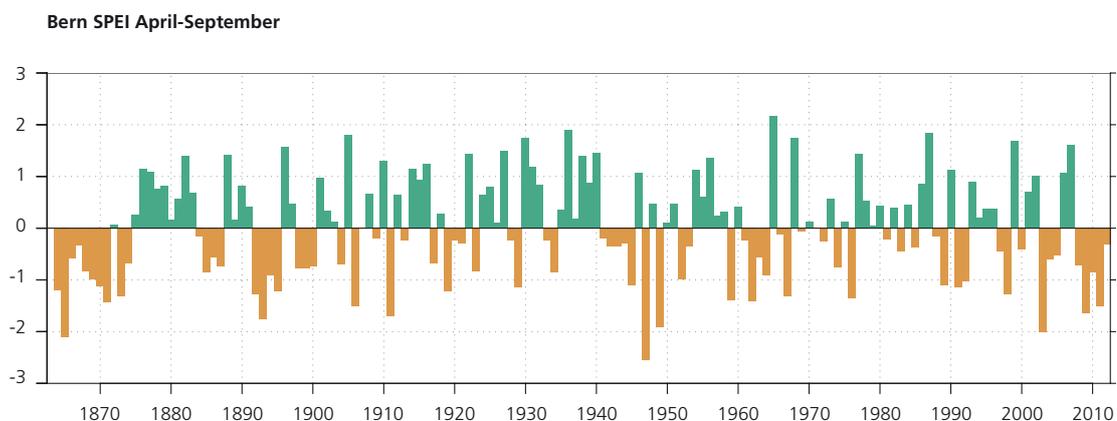


Abbildung 5.15:
SPEI über die gesamte Vegetationsperiode (6 Monate, April-September) an der Messstation Bern. Positive Werte bedeuten feuchtere und negative Werte trockenere Bedingungen als im Mittel (1864-2012).

Nullgradgrenze

Das Jahresmittel der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre, ermittelt aus den täglichen Ballonsondierungen, erreichte 2012 mit knapp 2500 m ü.M. erneut einen hohen Wert in der Messreihe ab 1959. Die im Jahr 2012 an den Bodenmessstationen festgestellte überdurchschnittliche Wärme findet damit auch Ausdruck in der freien Atmosphäre. Augenfällig ist die ausgesprochen tiefe Lage der Nullgradgrenze im 2010 gefolgt von der Rekordhöhe im Jahr 2011, womit sehr schön aufgezeigt wird, wie gross die Variabilität von Jahr zu Jahr sein kann, ganz entsprechend der Variabilität der Jahresmitteltemperatur.

Die langjährige Entwicklung des Jahresmittels der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre verläuft praktisch identisch zur Entwicklung der Jahresmitteltemperatur der Schweiz. Sehr eindrücklich ist insbesondere die schnelle Änderung am Ende der 1980er Jahre erkennbar. Das Jahresmittel der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre steigt in der Periode 1959-2012 mit 70 m pro 10 Jahre signifikant an. Dies steht in guter Übereinstimmung mit den jahreszeitlichen Trends der Nullgradgrenze bestimmt aus Bodenmessstationen (Kapitel 5.1.1).

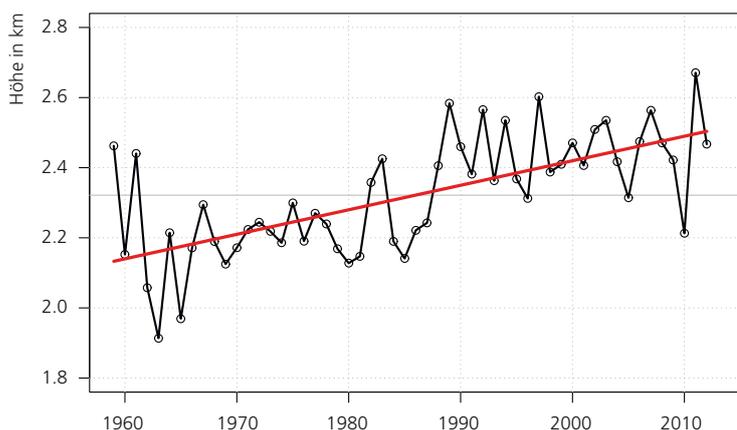


Abbildung 5.16:

Jahresmittel der Nullgradgrenze 1959-2012 bestimmt aus den täglichen Ballonsondierungen der Aerologischen Station Payerne.

Tropopausen Höhe

Das Jahresmittel der Tropopausen Höhe erreichte 2012 mit knapp 11'400 m ü.M. ebenfalls erneut einen hohen Wert in der Messreihe seit 1959. Die ausgesprochen tiefe Lage von 2010 und das anschliessende Maximum im Jahr 2011 zeigen die grosse Variabilität von Jahr zu Jahr, sehr ähnlich wie die Nullgradgrenze. Das Jahresmittel der Tropopausen Höhe steigt in der Periode 1959-2012 mit 56 m pro 10 Jahre signifikant an. Dies steht in guter Übereinstimmung mit den jahreszeitlichen Trends der Nullgradgrenze.

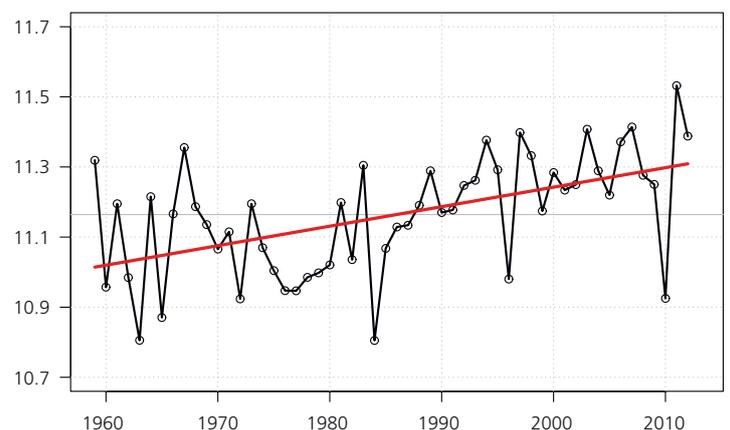


Abbildung 5.17:

Jahresmittel der Tropopausen Höhe 1959-2012 bestimmt aus den täglichen Ballonsondierungen der Aerologischen Station Payerne.

Ozonmessreihe Arosa

Mit den in Arosa durchgeführten Messungen verfügt die Schweiz über die weltweit längste Messreihe für das atmosphärische Gesamt Ozon. Seit Beginn der Messungen im Jahr 1926 bis etwa 1975 lieferten diese Messungen einen Langzeit-Mittelwert von etwa 330 DU. Zwischen 1975 und 1995 zeigen die Messungen eine erhebliche Abnahme des Gesamt ozons um etwa 20 DU. Die kontinuierliche Abnahme des Gesamt ozons über Arosa setzte in den 1970er Jahren ein.

Genau in diese Zeit fällt die stark erhöhte Freisetzung ozon-schädlicher Stoffe. In den vergangenen Jahren ist eine Stabilisierung des Gesamt ozons [8] zu beobachten, wobei der Mittelwert zwischen 1995 und heute im Bereich von 313 DU liegt. Auch wenn im Jahr 2010 ein aussergewöhnlich hoher Jahresdurchschnitt von 330 DU gemessen wurde, liegen die Mittelwerte für die Jahre 2011 und 2012 nahe bei 300 DU. Dies zeigt, dass der Gesamt ozonwert über mehrere Jahre hinweg starken Schwankungen unterliegt.

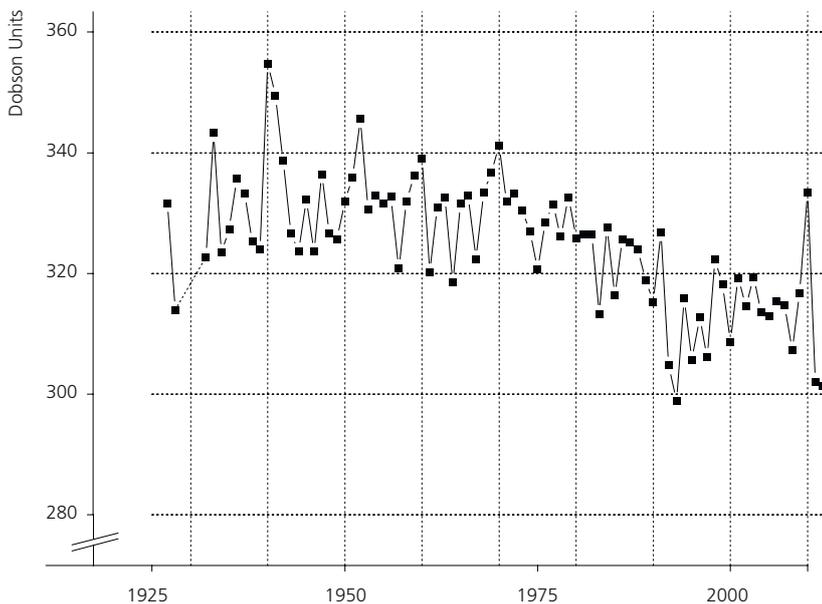


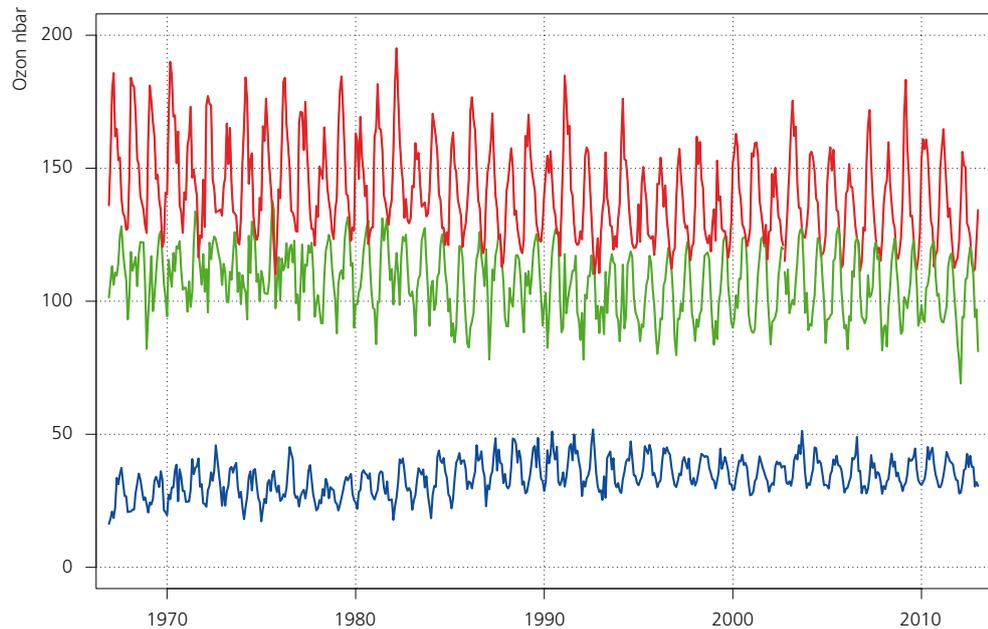
Abbildung 5.18:

**Gesamt ozonsäule in Arosa
zwischen 1927 und 2012. 100
Dobson-Einheiten (Dobson
Units) = 1 mm reines Ozon bei
1013 hPa und 0 °C.**

Ozonmessungen Payerne

Seit 1968 wird die Ozonkonzentration mit Ballonsonden von der Aerologischen Station von MétéoSuisse in Payerne aus gemessen. Die älteren Messungen (1966 bis 1968) stammen von der ETH in Zürich. Dank dieser unterbrechungsfreien Messreihe ist es möglich, die zeitliche Entwicklung des Ozongehalts verschiedener Schichten der Atmosphäre zu bestimmen.

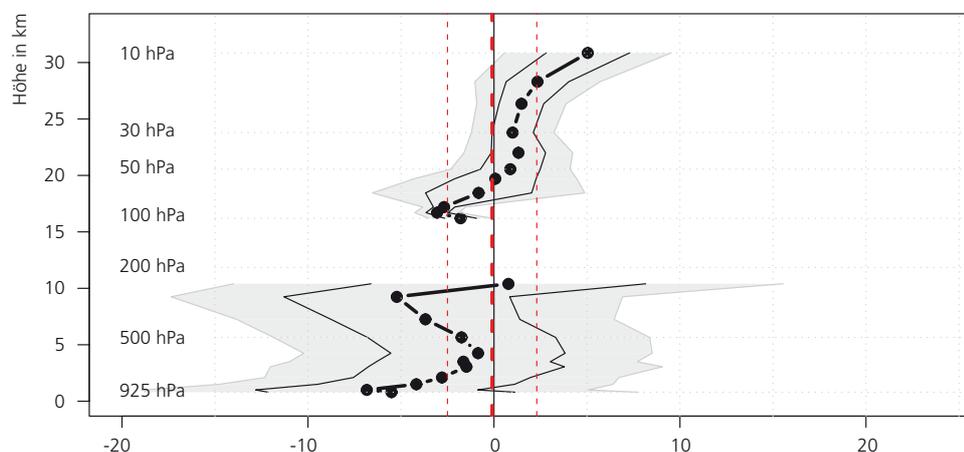
Abbildung 5.19:
Monatliche Ozonkonzentration auf den drei Höhen 3 km, 22 km und 27 km für die Periode 1967 bis 2011. Die Ozonkonzentration ist als Partialdruck in nanobar (nbar) angegeben.



Im Höhenbereich zwischen 15 und 18 km (untere Stratosphäre) konnte im Zeitraum zwischen 2001 und 2012 eine tendenziell weiter abnehmende Ozonkonzentration beobachtet werden (Abbildung 5.20). Oberhalb von 18 km (mittlere Stratosphäre) gab es tendenziell eine leichte Zunahme, die jedoch nicht

signifikant ist. Im Bereich zwischen 10 und 15 km war keinerlei Veränderung festzustellen. Unterhalb von 10 km (Troposphäre) war tendenziell eine Abnahme zu verzeichnen, die in den meisten Höhen jedoch nicht signifikant war.

Abbildung 5.20:
Veränderung der Ozonkonzentrationen von 2001 bis 2011 in verschiedenen Höhen zwischen 0.5 km und 31 km, ausgedrückt in prozentualen Konzentrationsänderungen auf den entsprechenden Höhen pro 10 Jahre (%/10 Jahre).



Sahara-Staub

Ein wesentlicher Bestandteil der atmosphärischen Aerosole sind Mineralstäube. Deren wichtigste Quelle wiederum ist die Wüste Sahara. Historisch wurde das Vorhandensein von Mineralstäuben durch Niederschlagsanalysen oder anhand von Ablagerungen in Schnee und Eis nachgewiesen. Seit 2001 werden in der alpinen Forschungsstation Jungfrauoch, in 3580 Metern Höhe in den Schweizer Alpen, kontinuierliche Messungen der Diffusions- und Absorptionskoeffizienten bei verschiedenen Wellenlängen durchgeführt. Anhand dieser Messungen konnte eine neue Vorgehensweise entwickelt werden, mit der Eintrag von Sahara-Staub (Saharan Dust Events, SDE) über der Schweiz mit stündlicher Auflösung gemessen werden kann. Es ist nun möglich, die SDE-Häufigkeit in den Alpen zu untersuchen.

Zudem wurde eine zwölfjährige klimatologische Untersuchung des Sahara-Staub-Eintrags eingeleitet. Jedes Jahr werden zwischen 10 und 40 Eintragsereignisse gemessen, was 200 bis 650 Stunden entspricht. Allgemein gesagt trägt der Eintrag von Sahara-Staub während des Frühjahrs (März bis Juni) sowie in den beiden Monaten Oktober und November erheblich zur Aerosolver Verschmutzung über den Alpen bei. Im Sommer sind die Eintragsereignisse seltener, im Winter sind sie nur von sehr kurzer Dauer. Der Grossteil der Ereignisse (48%) dauert lediglich einige Stunden; nur ein Viertel (25%) dauert über einen Tag.

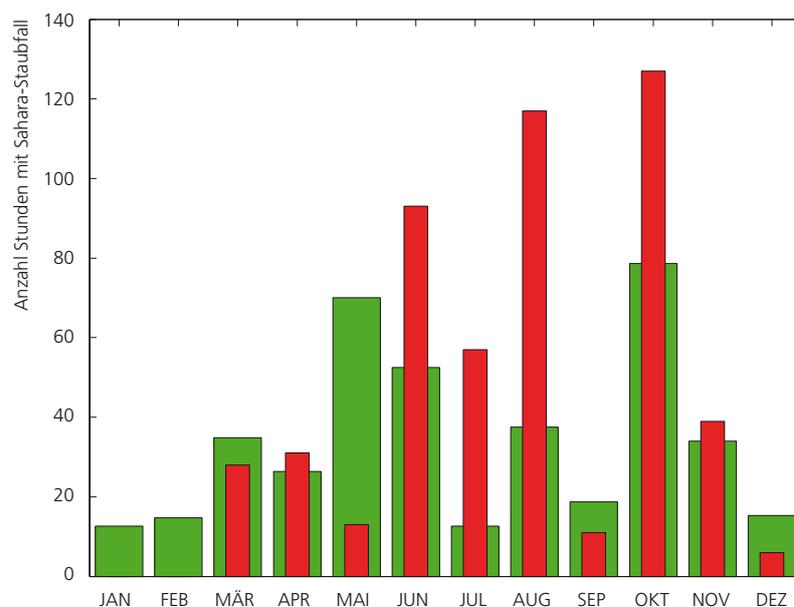


Abbildung 5.21:
Anzahl Stunden pro Monat mit Mineralstaubeintrag aus der Sahara an der Messstation Jungfrauoch, 2001 bis 2012. Die Messwerte zwischen 2010 und 2011 waren während längerer Perioden nicht verwendbar, wodurch keine SDE-Aufzeichnung möglich war.

■ Mittel 2001-2011
 ■ 2012



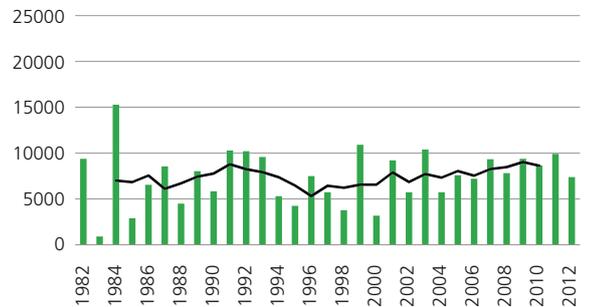
Pollenintensität

Die Intensität der Pollensaison ändert sich von Jahr zu Jahr und kann einmal sehr stark oder auch sehr schwach sein. Dies hat Auswirkungen auf die Stärke der Heuschnupfensymptome der Pollenallergiker.

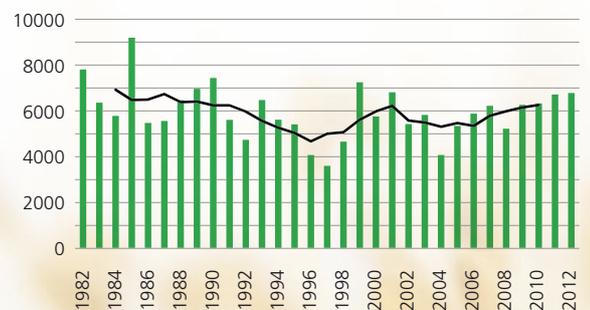
Bei der Birke hängt die Intensität der Pollensaison einerseits vom Wetter des Vorjahres ab, da die Blütenkätzchen schon im Sommer des Vorjahres angelegt werden. Warmes Wetter begünstigt die Anlage einer grösseren Zahl von Blütenkätzchen. Weiter hängt die Intensität auch vom Wetter während der Blütezeit und von der Pflanzenphysiologie ab, denn Birken zeigen eine Tendenz zu einem zweijährigen Blürrhythmus. Bei den Gräserpollen wird die Intensität der Saison hauptsächlich vom Wetter während der Blütezeit der Gräser bestimmt

Das Pollenjahr 2012 gehörte eher zu den schwachen bis mittleren Blühjahren. Die Buchen blühten in diesem Jahr gar nicht und Eichen und Haseln verzeichneten ebenfalls je eine schwache Pollensaison. Normale Pollenmengen wiesen Erlen, Birken, Gräser, Ambrosia und Beifuss auf. Die Eschensaison war in der Westschweiz stärker als normal, in der Zentral- und Ostschweiz schwächer. Allgemein waren im Tessin die Saisonalen Pollenindices von Erle, Esche und besonders der Birke hoch, auch wenn die Anzahl Tage mit starkem Pollenflug dieser Arten meist im Bereich des Mittels lagen.

Birke Zentral- und Ostschweiz



Gräser Zentral- und Ostschweiz



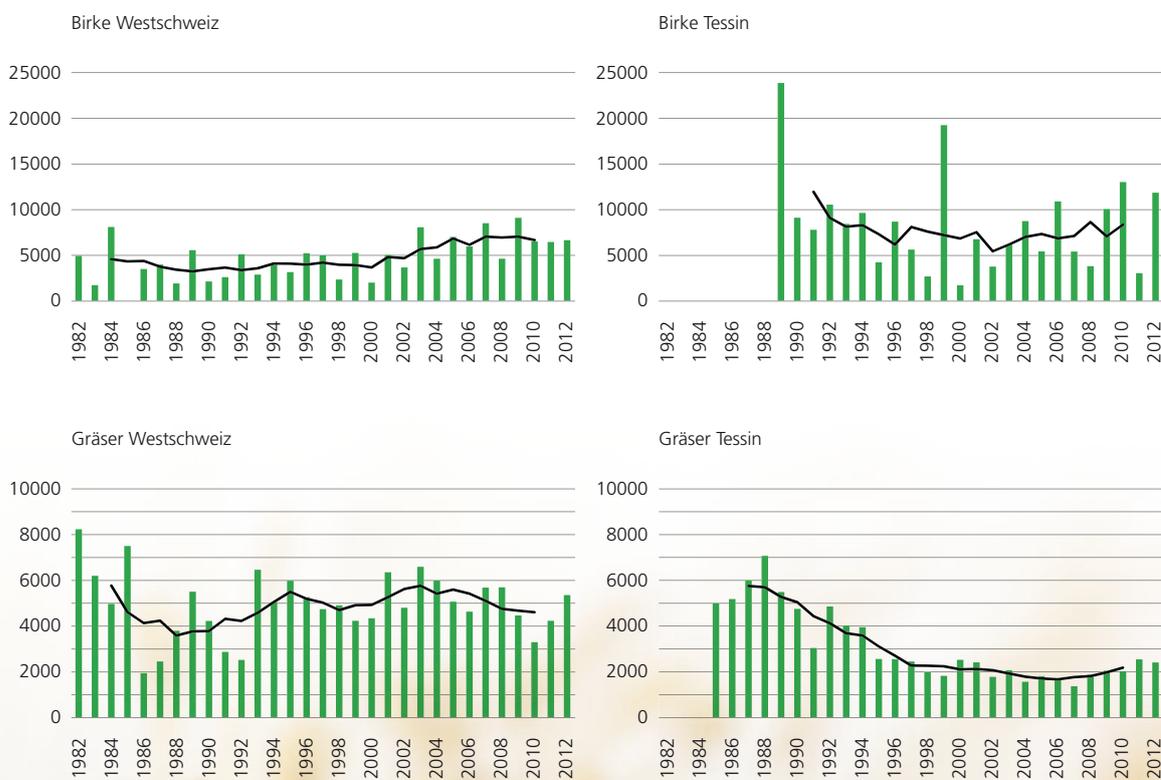


Abbildung 5.22

Intensität des Birkenpollenflugs in drei Regionen 1982-2012. Der saisonale Pollen Index ist die Summe der täglichen Pollenkonzentration.

Abbildung 5.23:

Intensität des Gräserpollenflugs in drei Regionen 1982-2012. Der saisonale Pollen Index ist die Summe der täglichen Pollenkonzentration.



5.2 Landoberfläche

Neuschneesummen und Tage mit Neuschnee

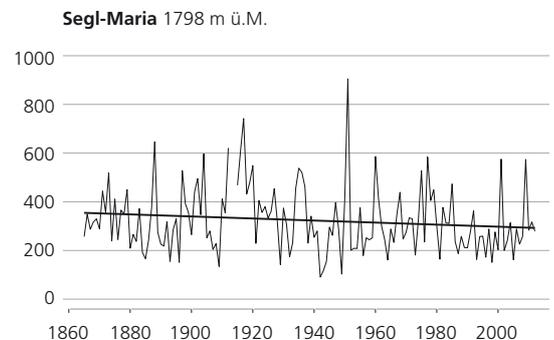
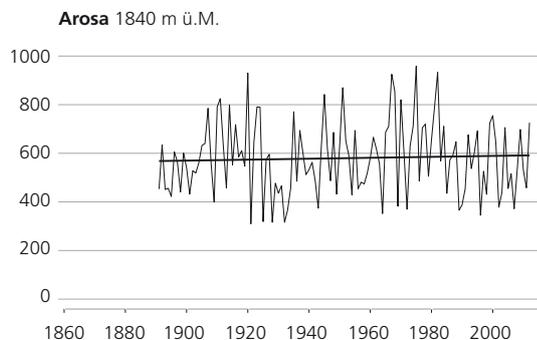
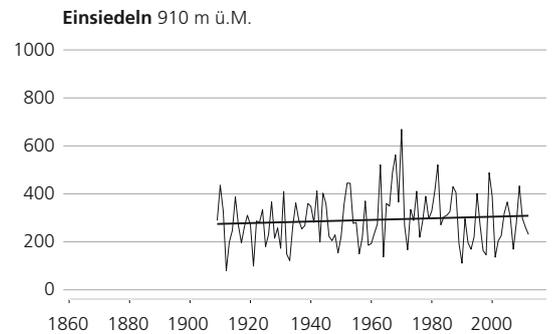
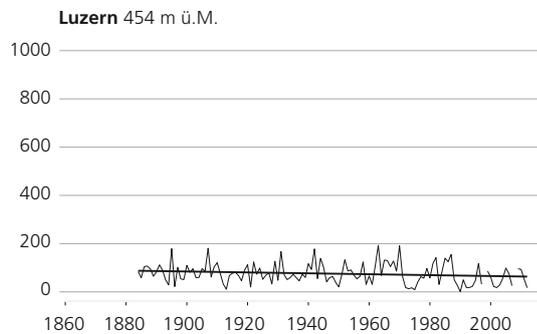
Bereits gegen Jahresende 2011 lag in den Schweizer Alpen mit Ausnahme des Südens verbreitet überdurchschnittlich viel Schnee. In den ersten Tagen des Jahres 2012 fielen in höheren Lagen nochmals grosse Schneemengen. Arosa verzeichnete schliesslich im Winterhalbjahr 2011/12 im Vergleich zur Norm 1961-1990 eine überdurchschnittliche Neuschneesumme (726 cm/Norm 631 cm).

Im Flachland blieb es derweil mild und weitgehend schneefrei. In Luzern brachte das Winterhalbjahr eine Neuschneesumme von nur gerade 17 cm (Norm 83 cm). Das ist zusammen mit dem Winterhalbjahr 1973/74 die fünft geringste Neuschneesumme seit Messbeginn 1883/84. Auch am Messstandort Einsiedeln in mittlerer Höhe blieb die winterliche

Neuschneesumme mit 231 cm weit unter der Norm von 341 cm, und dasselbe gilt für den hochgelegenen Messstandort Segl-Maria mit 279 cm auf der Alpensüdseite (Norm 312 cm).

In keiner der aufgeführten Messreihen zu den Neuschneesummen im Winterhalbjahr ist ein signifikanter Trend feststellbar. Dabei ist allerdings darauf hinzuweisen, dass die täglichen und monatlichen Schneeaufzeichnungen nicht in Form homogener Daten verfügbar sind.

Abbildung 5.24:
Neuschneesummen in cm im Winterhalbjahr ab Messbeginn bis 2012 an den Messstationen Luzern, Einsiedeln, Arosa und Segl-Maria.



Die Anzahl Tage mit messbarem Neuschnee war an allen hier aufgeführten Messstandorten unterdurchschnittlich: Arosa 56 Tage (Norm 71 Tage), Einsiedeln 41 Tage (Norm 46 Tage), Luzern 4 Tage (Norm 18 Tage) und Segl-Maria 25 Tage (Norm 42 Tage). Dies widerspiegelt die Tatsache, dass die grossen hochalpinen Schneemengen während weniger Schneefall-Ereignisse mit grosser Intensität gefallen sind.

Einen signifikanten Trend zu mehr Tagen mit Neuschnee zeigen die Messreihen von Arosa (+1.7 Tage/10 Jahre) und Einsiedeln (+0.7 Tage/10 Jahre). Die genauere Betrachtung macht jedoch deutlich, dass hier insbesondere die Phase ab den 1960er Jahren bis in die 1980er Jahre mehr Tage mit Neuschnee lieferte, während die Werte vorher und nachher sichtbar tiefer liegen.

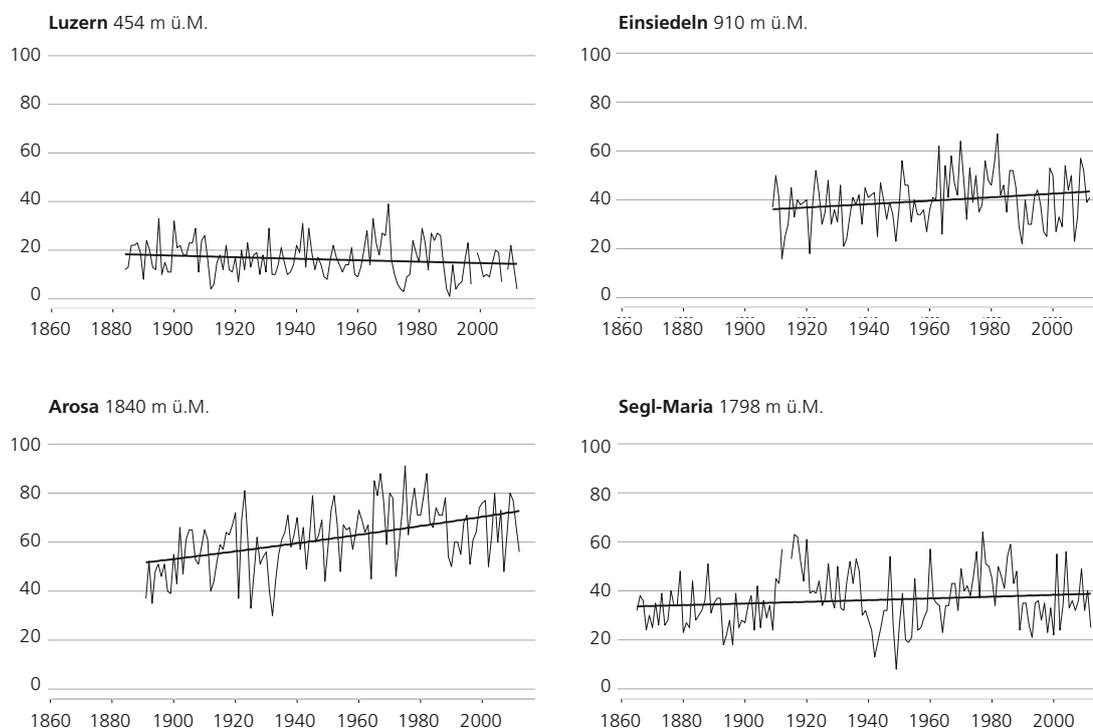


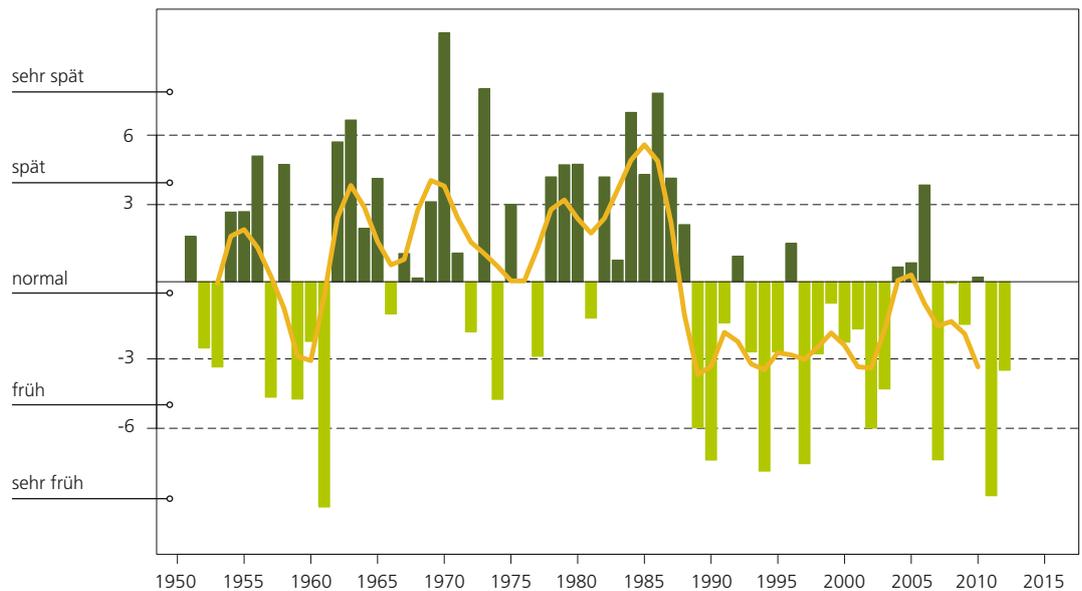
Abbildung 5.25:
Anzahl Tage mit Neuschnee
im Winterhalbjahr ab
Messbeginn bis 2012 an
den Messstationen Luzern,
Einsiedeln, Arosa
und Segl-Maria.

Frühlingsindex

Der Frühlingsindex wird als Masszahl verwendet, um den Stand der Vegetationsentwicklung im Frühling im Verhältnis zu den Vorjahren bzw. im Verhältnis zum langfristigen Mittel zu charakterisieren. Die Vegetationsentwicklung im Frühling ist hauptsächlich vom Gang der Winter- und Frühlingstemperatur abhängig [7]. Normale Wintertemperaturen, jedoch mit sehr kaltem Februar, kombiniert mit einem sehr warmen März und einem nur wenig zu warmen April führten zu einer leicht verfrühten Vegetationsentwicklung im Frühling 2012.

Parallel zu den höheren Winter- und insbesondere höheren Frühlingstemperaturen ab Mitte der 1980er Jahre zeigt der Frühlingsindex ab der zweiten Hälfte der 1980er Jahre eine gleichsam sprunghafte Verschiebung zu einer früheren Vegetationsentwicklung im Frühling.

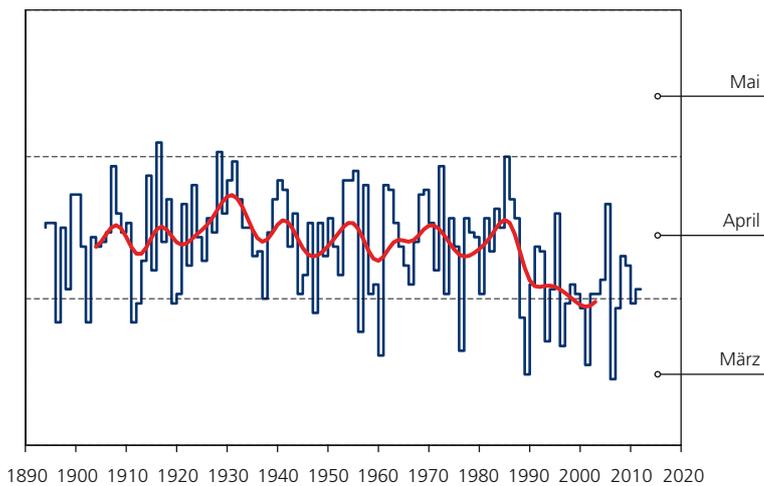
Abbildung 5.26:
**Jährlicher Stand der
 gesamt-schweizerischen
 Vegetationsentwicklung
 (Frühlingsindex) 1951-2012
 im Vergleich zum lang-
 jährigen Durchschnitt.
 Die ausgezogene Linie
 zeigt das 5-jährige
 gewichtete Mittel.**



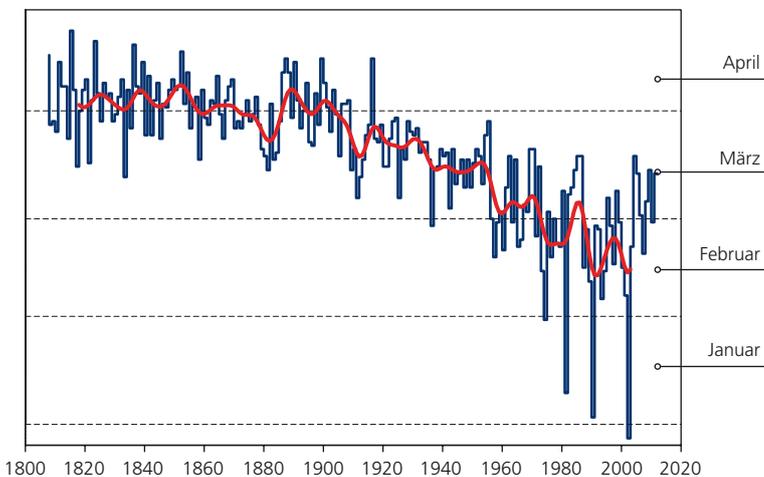
Kirschblüte Liestal und Blattausbruch Rosskastanie Genf

Seit 1894 werden bei der ländlichen Station Liestal die Eintrittsdaten der Blüte der Kirschbäume registriert. In der Messreihe lässt sich ab etwa 1990 ein Trend zu früheren Eintrittsterminen feststellen. Der Eintrittstermin Anfang April 2012 liegt im Vergleich zu den letzten zwei Jahrzehnten im Mittelfeld.

Von grosser Bedeutung ist auch die seit 1808 existierende historische Messreihe des Zeitpunkts des Blattausbruchs der Rosskastanie in Genf. Dies ist die längste phänologische Messreihe der Schweiz. Ab etwa 1900 ist ein deutlicher Trend zu früheren Eintrittsterminen ersichtlich. Als Folge der normalen Wintertemperaturen 2011/12 und dabei einem sehr kalten Februar 2012, erfolgte der Blattausbruch Mitte März 2012 recht spät.



1890 1900 1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020



1800 1820 1840 1860 1880 1900 1920 1940 1960 1980 2000 2020

Abbildung 5.27:

Blüte der Kirschbäume bei Liestal 1894-2012 (oben) und Blattausbruch der Rosskastanie in Genf 1808-2012 (unten).



5.3 Datengrundlagen & Methoden

Ausgewählte Klimaindikatoren nach WMO

Die Klimaindikatoren nach WMO werden nach den Regeln und der offiziellen Software des WMO Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) berechnet [4]. Eingangsgrossen sind homogenisierte Reihen ab 1959.

Temperatur

Auf Grund der unterschiedlichen Temperaturregimes auf kleinem Raum (tiefere Temperaturen in Berglagen, höhere Temperaturen im Flachland), wird die Temperaturentwicklung in der Schweiz idealerweise nicht mit absoluten Temperaturen, sondern als Abweichung zum langjährigen Normwert (1961-1990) dargestellt. Die Analysen basieren auf dem Standard-Set von 12 homogenen Messreihen [2] aus dem Schweizer Klimanetzwerk (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [1]).

Nullgradgrenze bestimmt aus Bodenmessstationen

Der Berechnung der Nullgradgrenze liegt folgendes Vorgehen zu Grunde: Für jeden Zeitpunkt (hier saisonal, also z.B. Winter 1962) wird über eine lineare Regression zwischen homogenisierten Temperaturmittelwerten und Höhe über Meer die Höhe der Nullgradgrenze sowie eine Abschätzung deren Unsicherheit bestimmt [6]. Auf der Basis der einzelnen Jahreswerte wird die zeitliche Veränderung der Höhe der Nullgradgrenze berechnet (Trend in m/10 Jahre). Verwendet werden alle 29 Stationen aus dem Klimamessnetz (Swiss NBCN) [1].

Zu beachten ist, dass die Nullgradgrenzenbestimmung je nach Saison unterschiedlich stark fehlerbehaftet ist (graue Fehlerbalken in der Grafik). Im Frühling und Herbst ist die Bestimmung relativ genau möglich, da sowohl recht gute lineare Beziehungen zwischen Temperatur und Höhe besteht, wie auch die Nullgradgrenze noch in Höhen liegt, wo Messstationen vorhanden sind. Im Winter und speziell im Sommer ist die Bestimmung unsicherer, allerdings aus verschiedenen Gründen.

Im Winter ist die Bestimmung schwierig, da Kaltluftseen und Nebel sowie Frontdurchgänge die Beziehung zwischen Temperatur und Höhe stark verwischen und keine schöne lineare Beziehung zwischen Temperatur und Höhe besteht. Im Sommer ist die Beziehung zwar ziemlich linear, doch die Höhe der Nullgradgrenze liegt weit über den verfügbaren Stationen. Damit haben kleinste Unsicherheiten der Temperatur-Höhen Beziehung grosse Auswirkungen auf den Fehlerbereich der Nullgradgrenze.

Niederschlag

In der Schweiz stehen sich das nordalpine und das südalpine Niederschlagsregime gegenüber, beide mit ihren ganz spezifischen Eigenheiten in der langfristigen Niederschlagsentwicklung. Die Darstellung einer gesamtschweizerischen Niederschlagskurve kann diese wesentlichen regionalen Unterschiede verschleiern. Deshalb wird im Folgenden eine Differenzierung zwischen nordalpiner und südalpiner Niederschlagsentwicklung vorgenommen. Eine gesamtschweizerische Niederschlagsentwicklung (nord- und südalpin gemittelt) wird nicht aufgeführt. Die Analysen basieren auf den verfügbaren 12 homogenen Messreihen [2] aus dem Schweizer Klimanetzwerk (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [1]).

Tage mit starkem Niederschlag

Der hier verwendete Begriff „starker Niederschlag“ auf der Basis der Schwelle ≥ 20 mm darf nicht gleichgestellt werden mit seltenen Extremniederschlägen. Ein Tagesniederschlag von 20 mm wird an in den meisten Gebieten der Schweiz jedes Jahr mehrmals registriert. Es handelt sich dabei also um ein häufiges Ereignis. Selten ist ein Niederschlagsereignis, welches nur noch etwa alle 10 Jahre oder seltener zu erwarten ist. In Bern ist dies ab rund 65 mm, in Sion ab 50 mm, in Davos ab 70 mm und in Lugano ab 130 mm Tagesniederschlag der Fall. Der Nachweis von Trends bei Extremereignissen stösst jedoch auf Grund ihrer Seltenheit an grundsätzliche Grenzen. Je seltener Ereignisse sind, umso schwieriger ist es, einen Trend nachzuweisen [5]. Extreme Ereignisse sind deshalb ungeeignete Indikatoren für die Klimaänderung.

Niederschlag der sehr nassen Tage

Ein Tag gilt als sehr nass, wenn seine Niederschlagssumme grösser ist als die im langjährigen Durchschnitt 18 (5%) nassen Tage im Jahr. Als Referenzperiode gelten die Jahre 1961-1990. Dargestellt wird die Gesamtmenge des Niederschlags pro Jahr, welche während der sehr nassen Tage gefallen ist.

Trockenheitsindex

Die Indizes SPI (standardized precipitation index) und SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index) zeigen die Abweichungen vom mittleren Niederschlag und der mittleren klimatischen Wasserbilanz (Differenz von Niederschlag und potenzieller Verdunstung) an. Positive Werte bedeuten feuchtere und negative Werte trockenere Bedingungen als im Mittel. Der SPI (standardized precipitation index, [20]) ist ein Mass für die Niederschlagsanomalie über eine bestimmte Zeitbasis (typischerweise 1 bis 48 Monate) und wird aus monatlichen Niederschlagssummen berechnet. Die kumulierten Niederschläge der vergangenen (1 bis 48) Monate werden dabei mit den entsprechenden Niederschlagssummen zum

gleichen Zeitpunkt in der Vergangenheit verglichen. Dafür wird die Verteilung dieser Niederschlagssummen in eine Standardnormalverteilung um Null transformiert. Der so transformierte Wert einer bestimmten Niederschlagssumme ist der SPI-Wert. Der SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index, [21]) wird analog zum SPI berechnet, anstelle der Niederschlagssummen über eine bestimmte Zeitdauer wird aber die klimatische Wasserbilanz benutzt. Die klimatische Wasserbilanz entspricht dem Niederschlag abzüglich der potenziellen Evapotranspiration. Der SPEI ist also die auf Standardnormalverteilung transformierte Wasserbilanz. Entsprechend der Definition der Standardnormalverteilung entsprechen Bedingungen mit einem SPI/SPEI von weniger als -1 einer Häufigkeit von gut 15%, solche mit einem Wert unter -2 einer von gut 2%. Entsprechend kann die Trockenheit oder der Wasserüberschuss mit den Indizes in folgende Klassen eingeteilt werden:

SPEI	≤ -2.0	extrem trocken
-2.0	$< \text{SPEI} \leq -1.5$	sehr trocken
-1.5	$< \text{SPEI} \leq -1.0$	trocken
-1.0	$< \text{SPEI} < 1.0$	normal
1.0	$\leq \text{SPEI} < 1.5$	nass
1.5	$\leq \text{SPEI} < 2.0$	sehr nass
SPEI	≥ 2.0	extrem nass

Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre

Unter normalen atmosphärischen Bedingungen nimmt die Lufttemperatur von der Erdoberfläche aus mit zunehmender Höhe ab. Ist die Temperatur am Boden positiv, so befindet sich in der Höhe eine Fläche, auf welcher die Temperatur 0 Grad beträgt. Über dieser Fläche nimmt die Temperatur negative Werte an. Die jeweilige Höhe, auf welcher sich die Grenze zwischen positiven und negativen Temperaturen befindet, nennen wir die Höhe der Nullgradgrenze. Bei Inversionen bei denen die Nullgradgrenze zweimal oder gar dreimal durchschnitten wird, wird laut WMO Richtlinien in der Regel der oberste Schnittpunkt als effektive Höhe der Nullgradgrenze genommen. Um auch bei negativen Temperaturen am Boden vergleichbare Zahlen über die Höhe der Nullgradgrenze zu erhalten, wird bei solchen Wetterlagen ein theoretischer Wert ermittelt.

Von der in der Sondierung angegebenen Bodentemperatur wird eine fiktive unter der Erdoberfläche gelegene Höhe, beziehungsweise Tiefe der Nullgradgrenze errechnet, indem ein mittlerer vertikaler Temperaturgradient von 0.5°C pro 100 Meter angenommen wird. Auf diese Weise ergeben sich Nullgradgrenzen, welche unter der Oberfläche, bei Bodentemperaturen von -2.5°C oder tiefer, sogar unter dem Meeres Niveau liegen und somit negativ sind [31]. Die Höhe der Nullgradgrenze ist im Bericht jedes Radiosonden Aufstieges enthalten. Aus diesen Werten werden Monatsmittel errechnet, welche dann für die Berechnung von Klimatrends verwendet werden.

Pollenintensität

Der Pollenindex berechnet sich aus der täglichen Pollenkonzentration der Luft. Bestimmt wird für jeden Tag die Anzahl Pollen pro Kubikmeter Luft für die betrachtete Pollenart. Diese Zahl wird für das ganze Jahr aufsummiert. Der daraus entstehende Wert ist schliesslich dimensionslos.

Neuschneesummen und Tage mit Neuschnee

Die täglichen und monatlichen Schneeaufzeichnungen sind nicht in Form homogener Daten verfügbar. Die Interpretation der Messreihen ist deshalb mit der gebotenen Vorsicht vorzunehmen.

Frühlingsindex

Der Stand der Vegetationsentwicklung wird mit Hilfe von phänologischen Phasen erfasst. Die Phänologie befasst sich mit den im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Entwicklungserscheinungen in der Natur. Phänologische Beobachtungen werden an rund 80 Stationen verteilt über die ganze Schweiz durchgeführt.

Der hier verwendete Frühlingsindex wird auf der Basis der zehn folgenden phänologischen Phasen gebildet: Blüte des Haselstrauchs, Blüte des Huflattichs, Blüte des Buschwindröschens, Blattentfaltung der Rosskastanie, Blüte des Kirschaumes, Blattentfaltung des Haselstrauchs, Nadelaustrrieb der Lärche, Blüte des Wiesenschaumkrautes, Blattentfaltung der Buche und Blüte des Löwenzahns.

Die einzelnen phänologischen Phasen sind natürlich vom Gang der Witterung abhängig. So kann die Blüte des Haselstrauchs bei einem milden Winterende früh eintreten, während eine nachfolgende länger dauernde Kaltperiode den Fortschritt der Vegetationsentwicklung wieder hemmt. Die Vegetationsentwicklung ist zudem von der Höhenlage abhängig. An tief gelegenen Beobachtungsstandorten mit milden Verhältnissen treten die phänologischen Phasen früher ein als in höheren Lagen mit kühlen Verhältnissen. Mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse werden diese umfangreichen Beobachtungsdaten strukturiert, vereinfacht und zur Veranschaulichung zu einem gesamtschweizerischen Frühlingsindex zusammengefügt [7].

Referenzen

- [1] Begert M., Seiz G., Foppa N., Schlegel T., Appenzeller C., Müller G., 2007: Die Überführung der klimatologischen Referenzstationen der Schweiz in das Swiss National Climatological Network (Swiss NBCN). Arbeitsbericht MeteoSchweiz, 215.
- [2] Begert M., Seiz G., Schlegel T., Musa M., Baudraz G., Moesch M., 2003: Homogenisierung von Klimamessreihen der Schweiz und Bestimmung der Normwerte 1961-1990. Schlussbericht des Projekts NORM90. MeteoSchweiz, Zürich.
- [3] North N., Kljun N., Kasser F., Heldstab J., Maibach M., Reutimann J., Guyer M., 2007: Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Umwelt-Zustand Nr. 0728. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- [4] siehe <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/>
- [5] Frei C. and Schär C., 2001: Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitations in the Alpine region. *Journal of climate* 14: 1568-1584.
- [6] siehe <http://www.r-project.org>
- [7] Studer S., Appenzeller C. and Defila C., 2005: Inter-annual variability and decadal trends in Alpine spring phenology: A multivariate analysis approach. *Climatic Change* 73: 395-414.
- [8] Favaro G., Jeannot P., Stübi R., 2002: Re-evaluation and trend analysis of the Payerne ozone soundings. Veröffentlichungen der MeteoSchweiz Nr. 63. MeteoSchweiz, Zürich.
- [9] Beniston M., 1997: Variations of snow depth and duration in the swiss alps over the last 50 years: Links to changes in large-scale climatic forcings, *Climatic Change* 36 (1997), 281-300.
- [10] Scherrer S.C., Appenzeller C., Laternser M., 2004: Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local and large-scale climate variability. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13215, doi: 10.2929/2004GL020255.
- [11] Laternser M., Schneebeli M., 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931-99). *International Journal of Climatology* 23: 733-750.
- [12] Marty C, 2008: Regime shift of snowdays in Switzerland, *Geophys. Res. Lett.* 35, L12501, doi: 10.1029/2008GL033998.
- [13] Wüthrich C., 2008: Lange Schneemessreihen der Schweiz, Aufarbeitung der längsten Schneemessreihen und Trendanalyse ausgewählter Schneeparameter, Geographisches Institut der Universität Bern, Diplomarbeit.
- [14] University of East Anglia, 2013: Temperature anomaly (from the base period 1961-90) datasets HadCRUT3 and CRUTEM3. <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#datadown>
- [15] IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [16] Collaud Coen, M., Andrews, E., Asmi, A., Baltensperger, U., Bukowiecki, N., Day, D., Fiebig, M., Fjaeraa, A. M., Flentje, H., Hyvärinen, A., Jefferson, A., Jennings, S. G., Kouvarakis, G., Lihavainen, H., Lund Myhre, C., Malm, W. C., Mihapopoulos, N., Molenar, J. V., O'Dowd, C., Ogren, J. A., Schichtel, B. A., Sheridan, P., Virkkula, A., Weingartner, E., Weller, R., and Laj, P. 2013: Aerosol decadal trends – Part 1: In-situ optical measurements at GAW and IMPROVE stations, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 869-894, doi:10.5194/acp-13-869-2013.
- [17] Begert M., Schlegel T., Kirchofer W., 2005: Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. *International Journal of Climatology* 25: 65-80.
- [18] Calanca, P., 2007: Climate change and drought occurrence in the Alpine region: How severe are becoming the extremes? *Global and Planetary Change*, 57, 1-2, 151-160. doi: 10.1016/j.gloplacha.2006.11.001
- [19] Pfister, C., Rutishauser, M., 2000: Dürresommer im Schweizer Mittelland seit 1525. Workshopbericht «Trockenheit in der Schweiz», Organe Consultatif sur les Changements Climatiques (OcCC), Bern. 17 S. und 2 Anhänge. (http://www.occc.ch/reports_e.html)
- [20] McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales, *Proc. 8th Conf. on Applied Climatology*, Jan. 17-22, American Meteorological Society, Boston, pp. 179-184.

- [21] Vicente-Serrano S., Bugueria S., Lopez-Moreno J., 2010: A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, *J of Climate*, 23, 1696-1718, doi: 10.1175/2009JCLI2909.1
- [22] Seiz G., Foppa N., 2007: Nationales Klima-Beobachtungssystem (GCOS Schweiz). Publikation von MeteoSchweiz und ProClim, 92 S. http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_international/gcos/publikationen/Berichte.Par.0026.DownloadFile.tmp/seiz2007.pdf
- [23] CH2011, 2011: Swiss Climate Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. <http://www.ch2011.ch/>
- [24] WMO, 2003: GCOS-82. Second Report on the Adequacy of the Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC. WMO TD 1143.
- [25] WMO 2013: WMO statement on the status of the global climate in 2012. Draft-Version Januar 2013. Vorläufige Version November 2012 unter: http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/documents/966_WMOstatement.pdf
- [26] MEI-Daten unter: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/people/klaus.wolter/MEI/table.html>
- [27] Collaud Coen M., Weingartner E., Furger M., Nyeki S., Prévôt A. S. H., Steinbacher M., and Baltensperger U., 2011: Aerosol climatology and planetary boundary influence at the Jungfraujoch analyzed by synoptic weather types. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 5931-5944, doi:10.5194/acp-11-5931-2011.
- [28] Wright W., 2012: Discussion paper on the calculation of the standard Climate normals: a proposal for a dual system. http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/GCDS_1.php http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/Rev_discussion_paper_May2012.pdf
- [29] Sturmmarchiv Schweiz. Swiss Severe Weather Database. Spezialseite Wasserhosen Zürichsee. http://sturmmarchiv.ch/index.php/Spezialseite_Wasserhosen_Z%C3%BCrichsee
- [30] Wakimoto M.R., Wilson J.W., 1989: Non-supercell Tornadoes. *Monthly Weather Review* 117, 1113-1140.
- [31] Güller A., 1979: Die Nullgradgrenze in der Schweiz 1951-1978, nach den Radiosondierungen von Payerne. *Klimatologie in der Schweiz*, Heft 21/0. Beiheft zu den *Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt* (Jahrgang 1978).

Adressen

MeteoSchweiz
Krähbühlstrasse 58
CH-8044 Zürich
T +41 44 256 91 11

MeteoSchweiz
Flugwetterzentrale
CH-8050 Zürich-Flughafen
T +41 43 816 20 10

MeteoSvizzera
Via ai Monti 146
CH-6605 Locarno 5 Monti
T +41 91 756 23 11

MétéoSuisse
7bis, av. de la Paix
CH-1211 Genève 2
T +41 22 716 28 28

MétéoSuisse
Chemin de l'Aérologie
CH-1530 Payerne
T +41 26 662 62 11



Website

www.meteoschweiz.ch



Download

www.meteoschweiz.ch



Kontakt

klimainformation@meteoschweiz.ch