



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

MeteoSchweiz

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Klimareport 2016



Klimareport 2016

Herausgeber

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie
MeteoSchweiz
Abteilung Klima
Operation Center 1
CH-8058 Zürich-Flughafen

kundendienst@meteoschweiz.ch
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. Eliane Maillard Barras, Dr. Rolf Philipona, G. Romanens,
Dr. Simon Scherrer, Thomas Schlegel, Dr. Christoph Spirig,
Dr. Reto Stöckli, Dr. René Stübi, Dr. Laurent Vuilleumier

Vertrieb

Bundespublikationen BBL, CH 3303 Bern
www.bundespublikationen.admin.ch

Artikelnummern 313.001.d
ISSN 2296-1488

Titelbild

Zauberhafter Dezember am Hüttnersee
Foto: Daniel Gerstgrasser

Bitte zitieren Sie diesen Bericht folgendermassen:
MeteoSchweiz 2017: Klimareport 2016. Bundesamt für
Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich. 80 S.

© MeteoSchweiz 2017

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Summary	6
1 Verlauf der Jahreswitterung 2016	10
2 Diagramme zum Jahresverlauf	20
3 Besonderheiten 2016	38
3.1 Rekordnässe im ersten Halbjahr	38
3.2 Föhnrekorde im November	39
3.3 Dezember mit Rekord-Trockenheit	41
4 Globales Klima und Wetterereignisse	44
4.1 Erneut globale Rekordwärme	44
4.2 El Niño und La Niña	46
4.3 Besondere Ereignisse	47
4.4 Arktisches und antarktisches Meereis	47
5 Klimamonitoring	50
5.1 Atmosphäre	52
5.1.1 Bodennahe Beobachtungen	52
Temperatur	52
Frosttage	55
Sommertage	56
Nullgradgrenze	57
Niederschlag	58
Tage mit starkem Niederschlag	61
Niederschlag der sehr nassen Tage	62
Trockenperioden	63
Trockenheitsindex	64
5.1.2 Freie Atmosphäre	65
Nullgradgrenze	65
Tropopausenhöhe	65
5.1.3 Zusammensetzung der Atmosphäre	66
Ozonmessreihe Arosa	66
Ozonmessungen Payerne	67
Sahara-Staub	68
Pollenintensität	69
5.2 Landoberfläche	70
Neuschneesummen	70
Tage mit Neuschnee	71
Frühlingsindex	72
Kirschblüte Liestal und Blattausbruch Rosskastanie Genf	73
5.3 Datengrundlagen & Methoden	76
Referenzen	78

Zusammenfassung

4

Das Jahr 2016 war in der Schweiz 0.7 Grad milder als die Norm 1981–2010. Im landesweiten Mittel gehört es zu den zehn wärmsten Jahren seit Messbeginn 1864. Das Jahr startete mit rekordnaher Winterwärme. Die Alpennordseite registrierte regional das niederschlagsreichste erste Halbjahr seit Messbeginn. Der Sommer kam erst im Juli, verweilte dann aber mit ungewöhnlicher Wärme bis im September. Auf das Jahresende hin führte anhaltendes Hochdruckwetter mit Rekordtrockenheit zu ausgeprägter Schneearmut in den Bergen.

Der Winter 2015/2016 war der zweitwärmste seit Messbeginn 1864. Gemittelt über die drei Wintermonate Dezember 2015 bis Februar 2016 ergab sich für die Schweiz ein Temperaturüberschuss von 2.5 Grad gegenüber der Norm 1981–2010. Ähnlich milde Verhältnisse brachten nur der Rekordwinter 2006/2007 mit einem Überschuss von 2.6 Grad und der Winter 1989/1990 mit einem Überschuss von 2.4 Grad.

Die Frühlingstemperatur 2016 bewegte sich im landesweiten Mittel im Bereich der Norm 1981–2010, wobei es deutliche regionale Unterschiede gab. In der Nordwestschweiz blieb die Frühlingstemperatur bis 0.6 Grad unter der Norm. In der Südschweiz gab es lokal Überschüsse bis 0.7 Grad. Verbreitet zu kühl waren der März und der Mai. Der April zeigte sich in den Bergen und auf der Alpensüdseite 1 bis 2 Grad zu mild.

Das erste Halbjahr 2016 endete auf der Alpennordseite regional mit den höchsten Niederschlagssummen seit Messbeginn im Jahr 1864. Grund dafür waren die anhaltend niederschlagsreichen Witterungsverhältnisse ab Jahresbeginn.

Der trübe Juni brachte auf der Alpennordseite nur 3 bis 8 Sommertage mit 25 Grad oder höher. Auf der Alpen-südseite waren es immerhin 12 bis 16 Sommertage. Im Juli und August registrierte die Alpennordseite um die 20 Sommertage. Auf der Alpensüdseite war es im Juli und August mit 26 bis 28 Sommertagen fast durchwegs sommerlich warm. Anhaltendes Hochdruckwetter in der ersten Monathälfte führte auf der Alpensüdseite, im Wallis und in der Westschweiz regional zum wärmsten September seit Messbeginn 1864. In den tieferen Lagen der Nordschweiz war es der viertwärmste September seit Messbeginn 1864.

Der Föhn entwickelte im November 2016 eine aussergewöhnliche Ausdauer. An den Messstandorten Vaduz und Altdorf wehte er vom 20. bis 24. November mehr als vier Tage ohne Unterbruch. Für Vaduz war es mit 108.2 Stunden die längste, für Altdorf mit 109.3 Stunden die zweitlängste ununterbrochene Föhnperiode seit Beginn der automatischen Messungen im Jahr 1981.

Beständiges Hochdruckwetter führte auf der Alpennordseite und in den Alpen verbreitet zum niederschlags-ärmsten Dezember seit Messbeginn 1864. In der westlichen Hälfte der Mittellandes und im Wallis gab es im Dezember gebietsweise gar keinen Niederschlag.

Die Nordwestschweiz, die Jurahöhen sowie der Alpenraum erlebten verbreitet den sonnigsten Dezember seit Beginn der Datenreihen im Jahr 1959. In den Alpen und auf der Alpensüdseite lieferte der Dezember vielerorts 20 bis 27 Sonnentage. In den Nebelgebieten zwischen dem Genfersee und Bodensee waren es regional hingegen nur 2 bis 5 Sonnentage.

Die höheren Lagen der Alpennordseite registrierten den zweitwärmsten, die Alpensüdseite regional den viertwärmsten Dezember in der 153-jährigen Messperiode. Als Folge der anhaltend trockenen und milden Bergwitterung waren die Alpen bis auf knapp 2000 m schneefrei. In 2500 m erreichten die Schneehöhen nur gerade 20 bis 30 cm.

Weltweit waren die Jahre 2016 und 2015 die deutlich wärmsten seit Messbeginn 1850. Mit einem massiven globalen Temperaturüberschuss von 0.77 Grad (2016) und 0.76 Grad (2015) im Vergleich zur Norm 1961–1990 setzten die beiden Jahre neue Grenzen in der ab 1850 verfügbaren globalen Temperatur-Messreihe. Die Wärmeüberschüsse der bisherigen Rekordjahre bewegten sich im Bereich von 0.55 Grad. Eine mögliche Erklärung der massiven globalen Wärmerekorde ist die kombinierte Wirkung der anhaltenden anthropogenen Klimaerwärmung und des starken El Niño Ereignisses.

In der langjährigen Temperaturentwicklung 1864–2016 erbringt das Jahr 2016 einen weiteren Beitrag zur Temperaturzunahme in der Schweiz. Alle Jahreszeiten waren zu mild im Vergleich zur Norm 1961–1990. Vor allem die Wintertemperatur lag mit 3.1 Grad weit darüber. Der Frühling und Herbst brachten knapp 1 Grad über der Norm, und der Sommer lag knapp 2 Grad darüber. In Übereinstimmung mit der allgemeinen Temperaturzunahme in der Schweiz ist die Anzahl der Sommertage deutlich angestiegen, die Anzahl der Frosttage hingegen deutlich zurückgegangen. Ebenso ist ein Anstieg der Nullgradgrenze zu beobachten, wobei dies vor allem die Jahreszeiten Winter, Frühling und Sommer betrifft. Die allgemeine Erwärmung drückt sich auch in einer früheren Vegetationsentwicklung aus.

Summary

In Switzerland the year 2016 was 0.7 °C milder than normal values 1981–2010. Averaged over the country it was among the ten warmest years since observations started in 1864. The year began with an almost record-breaking warm period in winter. Several regions north of the Alps registered a first half of the year with the highest precipitation totals since observations started. Summer only arrived in July, but it persisted with uncommon warmth until September. Towards the end of the year a stable zone of high pressure with a record lack of precipitation led to a significant lack of snow in the mountains.

The winter 2015/2016 was the 2nd warmest in the measurement period started in 1864. Averaged over the three winter months December 2015 to February 2016 a temperature surplus of 2.5 °C resulted for Switzerland compared with normal values 1981–2010. Only the record winter 2006/2007 brought similarly mild conditions with a surplus of 2.6 °C and the winter 1989/1990 with a surplus of 2.4 °C.

Averaged over the entire country the spring temperature 2016 was within the normal values 1981–2010, however, there were substantial regional differences. In the north-west the spring temperature remained up to 0.6 °C below the climate normal. In southern Switzerland there were local surpluses as high as 0.7 °C. In many parts the months of March and April were too cold. In the mountains and south of the Alps April was 1 to 2 °C too mild.

North of the Alps the first half of the year 2016 ended with the highest precipitation totals in certain regions since observations started in 1864. This was caused by the impact of continuous strong precipitation activity since the start of the year.

North of the Alps a grey month of June supplied only 3 to 8 summer days with temperatures of 25 °C and higher, though south of the Alps 12 to 16 summer days were recorded. In July and August stations north of the Alps registered around 20 summer days. South of the Alps it was summery and warm almost throughout, with 26 to 28 summer days.

South of the Alps, in the Valais and in western Switzerland, continuous high pressure influence in the first half of the month led in parts to the warmest September since observations began in 1864. In lower altitudes of northern Switzerland it was – overall – the fourth-warmest September since observations started in 1864.

In November 2016 the “Föhn” showed exceptional tenacity. At the stations of Vaduz and Altdorf it persisted from 20 to 24 November for over four days without interruption. For Vaduz it was the longest continuous “Föhn” period with 108.2 hours, for Altdorf the second-longest with 109.3 hours since measurements started in the year 1981.

North of the Alps and in the Alps a stable high-pressure zone led to the month with the least precipitation in many areas since observations started in 1864. In several regions of the western half of the Plateau and in the Valais December did not receive any precipitation at all.

Many parts of north-western Switzerland, the Jura heights and the Alpine zone experienced the sunniest December since the beginning of their data series in 1959. Many stations in the Alps and south of the Alps registered 20 to 27 sunshine days. In the fog areas between Lake Geneva and Lake Constance, however, there were, in some parts, only 2 to 5 sunshine days.

At higher altitudes north of the Alps, the second-warmest, south of the Alps the fourth-warmest December in the measuring period spanning 153 years was recorded regionally. As a consequence of the persistently dry and mild mountain weather the Alps remained without snow up to 2000 m a.s.l. At 2500 m a.s.l. snow depth amounted to a mere 20 to 30 cm.

Globally the two years 2016 and 2015 were by far the warmest on the record since beginning of the measurements in 1850. With a massive global surplus of 0.77 degrees (2016) and 0.76 degrees (2015) compared with normal value 1961–1990, the two years put new limits. The record-surpluses of the previous years showed amounts around 0.55 degrees. Experts attributed the massive global heat records on the combined effect of persistent anthropogenic climate warming and the strong El Niño event.

With a view to the long-term temperature change 1864–2016 the record year 2016 contributed again to the elevated mean temperature in Switzerland. All seasons brought above-normal temperatures. Especially in winter the overall mean temperature surplus amounted to 3.1 °C far above the normal value 1981–2010. Surpluses of nearly 1.0 °C are registered in spring and autumn, and summer was nearly 2 °C milder than normal values 1981–2010.

In accordance with generally higher temperatures the number of summer days has increased considerably while the number of frost days has decreased. The zero degree level has risen by around 400 m during the last decades, 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 1864–2015 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 for the remaining seasons. South of the Alps no long-term change in the precipitation pattern has been registered, both as regards

annual totals and seasonal totals. The number of days with heavy precipitation and the precipitation totals of very wet days have remained largely unchanged. The length of the most intensive dry periods has not changed.

The over 100-year-old snow records indicate in some regions a slight decrease, in other regions however, there is no change in the fresh snow totals. In the number of days with fresh snow some regions show a slight increase, in other regions however the measurement series indicate a slight decrease or no change.

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 and 1995.





1 | Verlauf der Jahreswitterung 2016

10

Das Jahr 2016 war in der Schweiz 0.7 Grad milder als die Norm 1981–2010. Im landesweiten Mittel gehört es zu den zehn wärmsten Jahren seit Messbeginn 1864. Das Jahr startete mit rekordnaher Winterwärme. Die Alpennordseite registrierte regional das niederschlagsreichste erstes Halbjahr seit Messbeginn. Der Sommer kam erst im Juli, verweilte dann aber mit ungewöhnlicher Wärme bis im September. Auf das Jahresende hin führte anhaltendes Hochdruckwetter mit Rekordtrockenheit zu ausgeprägter Schneearmut in den Bergen.

Zweitwärmster Winter

Der Winter 2015/2016 zeigte fast durchwegs einen sehr milden Verlauf. Extrem war vor allem die Rekord-Dezemberwärme 2015 von fast 4 Grad über der Norm 1981–2010. Sie lag 1 Grad über dem bisherigen Dezemberrekord aus dem Jahr 1868. Winterliche Kälte mit deutlich unterdurchschnittlicher Temperatur und einer Schneedecke auch in tiefen Lagen gab es nur während weniger Tage um die Januarmitte. Gemittelt über die drei Wintermonate Dezember 2015 bis Februar 2016 ergab sich für die Schweiz ein Temperaturüberschuss von 2.5 Grad gegenüber der Norm 1981–2010. Ähnlich milde Verhältnisse brachten nur der Rekordwinter 2006/2007 mit einem Überschuss von 2.6 Grad und der Winter 1989/1990 mit einem Überschuss von 2.4 Grad. Alle übrigen sehr milden Winter seit Messbeginn 1864 zeigten Überschüsse von weniger als 2 Grad.

Nasser Jahresbeginn im Norden

Auf der Alpennordseite verlief der Januar ausgesprochen niederschlagsreich. Die häufige und am Monatsende kräftige Niederschlagstätigkeit führte an Messstandorten mit über 100-jährigen Messreihen zu Rekord-Januarsummen: In Eschenz in der Region Bodensee waren es 185 mm, in Morimont in der Nordwestschweiz 189 mm. Die zweithöchsten Januarsummen registrierten St. Gallen mit 165 mm und Basel mit 132 mm. In den tieferen Lagen der Alpennordseite war es insgesamt der zweitnasseste Januar seit Messbeginn 1864. Die Alpensüdseite hingegen erhielt regional nur rund die Hälfte der normalen Januarmengen. Hier sind allerdings auch Januarmonate ganz ohne Niederschlag eine bekannte Erscheinung.

Extrem mildes Winterende

Während des insgesamt milden Februarverlaufs erfolgten mehrere kräftige Wärmeschübe. In Samedan stieg am 21. Februar die Tagesmaximum-Temperatur auf den Februar-Rekord von 11.7 Grad. Derselbe Wert wurde hier auch am 19.2.1998 erreicht. Die Messreihe der homogenen Tagesmaxima reicht in Samedan bis 1869 zurück. In Bern wurde mit 16.4 Grad das fünfthöchste Februar-Tagesmaximum seit Messbeginn 1864 registriert.

Kräftiger Märzschneefall im Süden

Kräftige Schneefälle in den ersten Märztagen lieferten in Locarno-Monti innert Tagesfrist 22 cm, in Lugano 15 cm. San Bernardino auf 1640 m erhielt 61 cm Neuschnee. Am Messstandort Locarno-Monti zeigt die bis 1935 zurückreichende Messreihe einzig am 17. März 1975 mit 25 cm etwas mehr Märzschnee innerhalb eines Tages. In San Bernardino wurde der Märzrekord aus dem Jahr 1979 egalisiert. Neuschneedaten sind hier seit 1968 verfügbar.

Lokal Rekordnässe im Mai

Der Frühling insgesamt lieferte verbreitet reichlich Niederschlag. Nur der März war mit Ausnahme der Alpensüdseite niederschlagsarm. Im April und vor allem im Mai fielen verbreitet überdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Lokal gab es Maisummen zwischen 180 und 250 Prozent der Norm. Luzern registrierte mit 270 mm, Château d'Oex mit 239 mm und Thun mit 198 mm den niederschlagsreichsten Mai seit Messbeginn im 19. Jahrhundert.

Föhn mit langem Atem

Bereits Anfang April wehte der Föhn am klassischen Föhnstandort Altdorf 65 Stunden oder fast drei Tage ohne Unterbruch. Einen Monat später legte er hier vom Morgen des 7. Mai bis am Morgen des 11. Mai 2016 eine knapp 93-stündige Periode hin. Das sind knapp vier Tage ohne Unterbruch. Es war die bisher zweitlängste Föhnperiode in Altdorf seit Beginn der kontinuierlichen Messungen im Jahr 1981.

Nur gut zwei Stunden vor Beginn dieses langen Föhnereignisses endete eine knapp zweitägige ununterbrochene Föhnperiode. Insgesamt stand Altdorf damit fünfeinhalb Tage unter Föhneinfluss. Die in Altdorf längste gemessene ununterbrochene Föhnperiode vom April 1993 dauerte 138 Stunden und 20 Minuten, also knapp sechs Tage.

Normale Frühlings-Temperatur

Die Frühlingstemperatur 2016 bewegte sich im landesweiten Mittel im Bereich der Norm 1981–2010, wobei es deutliche regionale Unterschiede gab. In der Nordwestschweiz blieb die Frühlingstemperatur bis 0.6 Grad unter der Norm. In der Südschweiz gab es lokal Überschüsse bis 0.7 Grad. Verbreitet zu kühl waren der März und der Mai. Der April zeigte sich in den Bergen und auf der Alpensüdseite 1 bis 2 Grad zu mild.

Frühsommer mit Unwettern

Der Juni war überwiegend trüb und regnerisch. In der ersten Monatshälfte brachten Gewitter kräftige Niederschläge und lokale Überschwemmungen. Zur Monatsmitte löste feuchte Mittelmeerluft in der Süd- und Ostschweiz Starkniederschläge aus. Die durch die bisherige Juniwitterung bereits nassen Böden reagierten auf die Starkniederschläge mit Hangrutschen und Überschwemmungen, was lokal grössere Schäden nach sich zog. Der Bodensee und Walensee traten über die Ufer und der Rhein führte Hochwasser. Im letzten Monatsdrittel verursachten heftige Gewitterregen in der östlichen Landeshälfte erneut Unwetterschäden.

Rekordnässe im ersten Halbjahr

Das erste Halbjahr 2016 endete auf der Alpennordseite regional mit den höchsten Niederschlagssummen seit Messbeginn im Jahr 1864. Grund dafür waren die anhaltend niederschlagsreichen Witterungsverhältnisse ab Jahresbeginn. Bis zur Jahresmitte brachten mit Ausnahme des März alle Monate deutlich überdurchschnittliche Niederschlagsmengen. An den Messstandorten Basel, Neuenburg und Luzern stiegen die Niederschlagssummen von Januar bis Juni markant über die bisherigen Rekordmarken in der 153-jährigen Messperiode. In Basel fielen 732 mm, in Neuenburg 771 mm und in Luzern 875 mm Regen.

Endlich etwas Sommer

Der trübe Juni brachte auf der Alpennordseite nur 3 bis 8 Sommertage mit 25 Grad oder höher. Auf der Alpensüdseite waren es immerhin 12 bis 16 Sommertage. Im Juli und August registrierte die Alpennordseite um die 20 Sommertage. Auf der Alpensüdseite war es im Juli und August mit 26 bis 28 Sommertagen fast durchwegs sommerlich warm.

Kurze Rekordhitze

Ab dem 22. August schob sich aus Westen ein Hochdruckgebiet über Mitteleuropa, welches bis am 28. wetterbestimmend blieb. Bei maximal möglicher Sonnenscheindauer stieg die Tagesmaximum-Temperatur auf der Alpennordseite ab dem 25. August 2016 verbreitet auf 30 Grad und mehr. Für die Periode 25. bis 31. August gab es Rekordwerte. In Genf erreichte das Tagesmaximum am 27. August 33.5 Grad, in Basel 33.8 Grad. In Genf war es der deutlich höchste Wert für Ende August seit Messbeginn 1864. Basel zeigte am 28. August 1992 mit 33.7 Grad ein ähnlich hohes Tagesmaximum.

Extreme Septemberwärme

Anhaltendes Hochdruckwetter in der ersten Monathälfte führte auf der Alpensüdseite, im Wallis und in der Westschweiz regional zum wärmsten September seit Messbeginn 1864. Neue Septemberrekorde registrierten Locarno-Monti mit 3.1 Grad, Sion mit 3.2 Grad und Neuchâtel mit 2.7 Grad über der Norm 1981–2010. In Lugano wurde der bisherige Rekordüberschuss von 2.8 Grad erneut erreicht, in Genf mit 2.6 Grad knapp nicht erreicht. In den tieferen Lagen der Nordschweiz war es insgesamt der viertwärmste September seit Messbeginn 1864.

Wintergruss im Herbst

Der deutlich zu kalte Oktober beendete die ungewöhnliche Spätsommer-Wärme. Schneefälle bis in mittlere Lagen und mehrere Bodenfröste im Flachland gaben dem Monat einen frühwinterlichen Charakter. Der November brachte in der ersten Monathälfte winterliche Kälte. Auf die Novemberrhälfte fiel reichlich Schnee in den Bergen. Einige höhere gelegene Skigebiete nahmen den Betrieb auf.

Föhnrekorde

Der Föhn entwickelte im November 2016 eine aussergewöhnliche Ausdauer. An den Messstandorten Vaduz und Altdorf wehte er vom 20. bis am 24. mehr als vier Tage ohne Unterbruch. Für Vaduz war es mit 108.2 Stunden die längste, für Altdorf mit 109.3 Stunden die zweitlängste ununterbrochene Föhnperiode seit Beginn der automatischen Messungen im Jahr 1981. Mit den zwei weiteren Föhnperioden anfangs November summierten sich die Föhnstunden in Vaduz auf die November-Rekordzahl von 137. Altdorf registrierte mit 135.5 Stunden den November mit der zweithöchsten Föhnstundenzahl.

Dezember im Rekordfieber

Beständiges Hochdruckwetter führte auf der Alpennordseite und in den Alpen verbreitet zum niederschlags-ärmsten Dezember seit Messbeginn 1864. In der westlichen Hälfte der Mittellandes und im Wallis gab es im Dezember gebietsweise gar keinen Niederschlag.

Die Nordwestschweiz, die Jurahöhen sowie der Alpenraum erlebten verbreitet den sonnigsten Dezember seit Beginn der Datenreihen im Jahr 1959. In den Alpen und auf der Alpensüdseite lieferte der Dezember vielerorts 20 bis 27 Sonnentage. In den Nebelgebieten zwischen dem Genfersee und Bodensee waren es regional hingegen nur 2 bis 5 Sonnentage.

Die höheren Lagen der Alpennordseite registrierten den zweitwärmsten, die Alpensüdseite regional den viertwärmsten Dezember in der 153-jährigen Messperiode. Als Folge der anhaltend trockenen und milden Bergwitterung waren die Alpen bis auf knapp 2000 m schneefrei. In 2500 m erreichten die Schneehöhen nur gerade 20 bis 30 cm.

Jahresbilanz

Die Jahrestemperatur 2016 lag in den meisten Gebieten der Schweiz 0.4 bis 0.9 Grad über der Norm 1981–2010. An einzelnen Messstandorten gab es Überschüsse von nur 0.2 bis 0.3 Grad oder von 1 Grad bis 1.3 Grad. Im landesweiten Mittel war es in der Schweiz 0.7 Grad wärmer als die Norm 1981–2010. Damit gehört das Jahr 2016 zu den zehn wärmsten, in den Alpen regional zu den fünf wärmsten seit Messbeginn 1864.

Der Jahressumme des Niederschlags erreichte auf der Alpennordseite verbreitet zwischen 90 und 120 Prozent der Norm 1981–2010. Lokal lagen die Werte auch zwischen 120 und 130 Prozent. Die Alpen und die Alpensüdseite erhielten Jahressummen im durchschnittlichen Bereich. Das auf der Alpennordseite aussergewöhnlich niederschlagsreiche erste Halbjahr lieferte bis Jahresmitte regional bereits 75 bis 90 Prozent der normalen Jahresmengen.

Die Jahressumme der Sonnenscheindauer bewegte sich in der ganzen Schweiz zwischen 90 und leicht über 100 Prozent der Norm 1981–2010. Verbreitet über der Norm lag die Sonnenscheindauer in den Monaten August, September und massiv im Dezember. Der Juli lieferte in der ganzen Schweiz, der März in den Alpen und auf der Alpensüdseite normale bis überdurchschnittliche Werte. In den restlichen sieben Monaten blieb die Sonnenscheindauer verbreitet unterdurchschnittlich.

Station	Höhe m ü.M	Temperatur °C			Sonnenscheindauer h			Niederschlag mm		
		Mittel	Norm	Abw.	Summe	Norm	%	Summe	Norm	%
Bern	553	9.4	8.8	0.6	1760	1682	105	1056	1059	100
Zürich	556	9.9	9.3	0.6	1642	1544	106	1297	1134	114
Genf	420	11.1	10.5	0.6	1821	1828	103	886	1005	88
Basel	316	10.9	10.5	0.4	1640	1637	103	997	842	118
Engelberg	1036	7.3	6.4	0.9	1357	1350	101	1612	1559	103
Sion	482	11.2	10.1	1.1	2086	2093	100	587	603	97
Lugano	273	13.3	12.4	0.9	2138	2069	103	1681	1559	108
Samedan	1709	2.8	2.0	0.8	1773	1733	102	750	713	105

Tabelle 1.1

Ausgewählte Jahreswerte 2016 im Vergleich zur Norm 1981–2010.

Norm Langjähriger Durchschnitt 1981–2010

Abw. Abweichung der Temperatur zur Norm 1981–2010

% Prozent im Verhältnis zu Norm 1981–2010 (Norm = 100%)

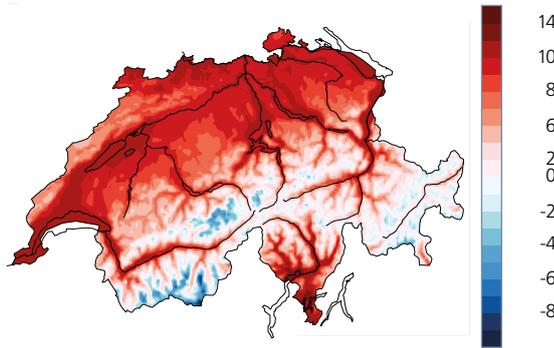
Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer im Jahr 2016

Abbildung 1.1

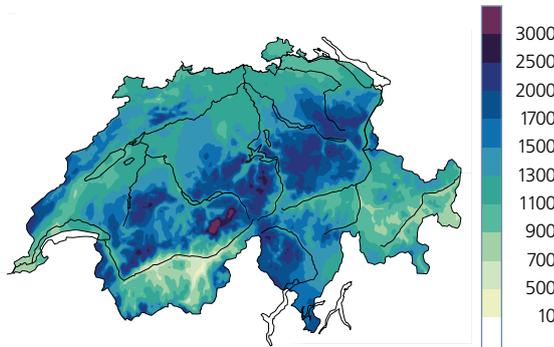
Räumliche Verteilung von Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer im Jahr 2016. Dargestellt sind Messwerte (links) und die Abweichungen zur Norm 1981–2010 (rechts).

Messwerte 2016

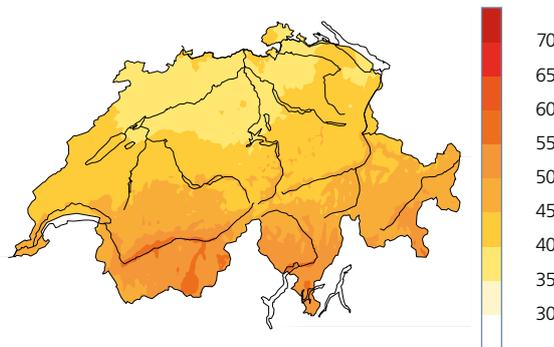
Jahresmitteltemperaturen °C



Jahres-Niederschlagssumme mm

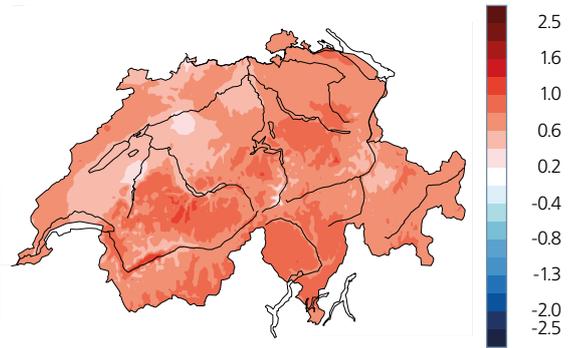


% der maximal möglichen jährlichen Sonnenscheindauer

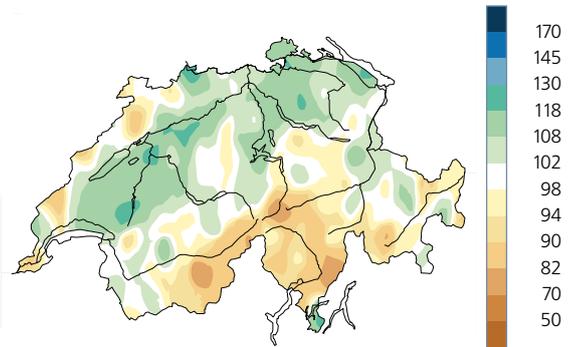


Abweichungen zur Norm 1981–2010

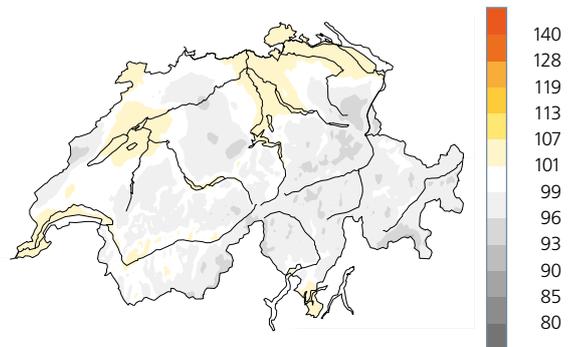
Abweichung der Jahresmitteltemperatur °C



Jahres-Niederschlagssumme %



Jährliche Sonnenscheindauer %

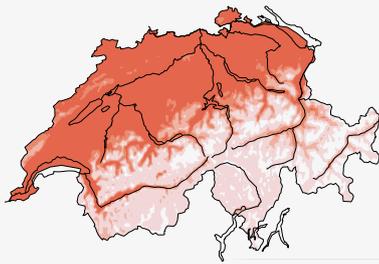


Monatstemperatur 2016 Abweichung zur Norm 1981–2010

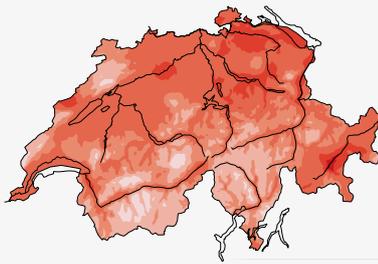
Abbildung 1.2

Räumliche Verteilung der Monatstemperatur als Abweichung zur Norm 1981–2010 in Grad C.

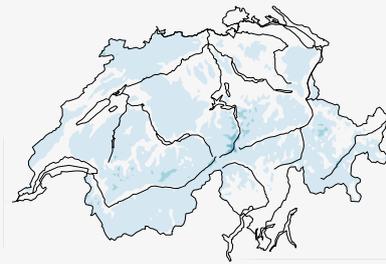
Januar 2016



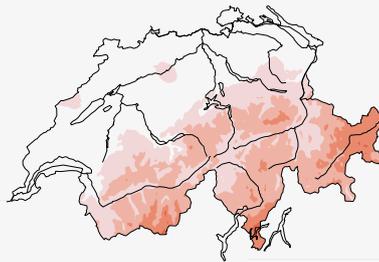
Februar 2016



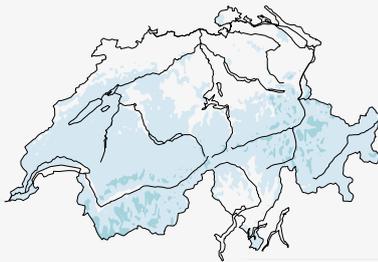
März 2016



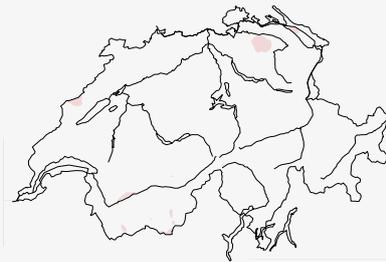
April 2016



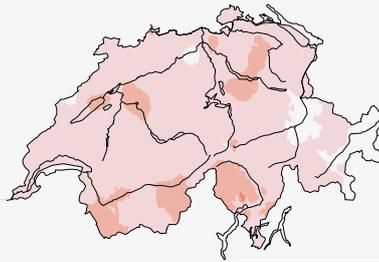
Mai 2016



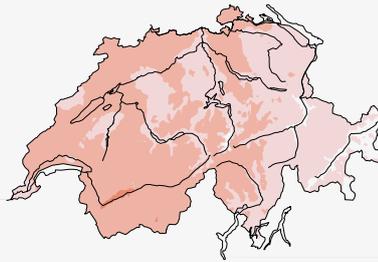
Juni 2016



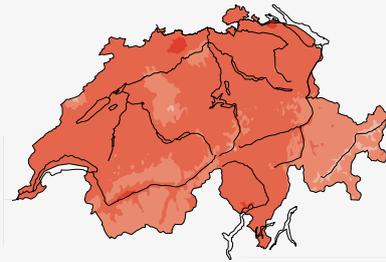
Juli 2016



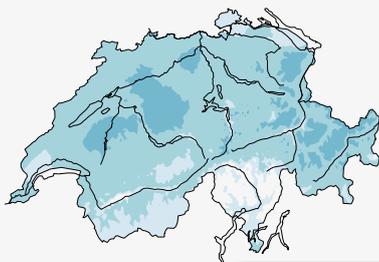
August 2016



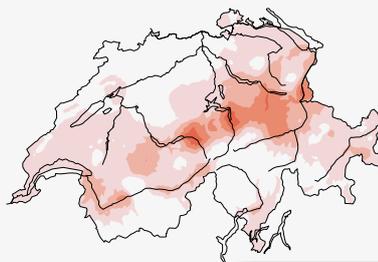
September 2016



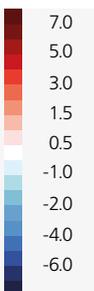
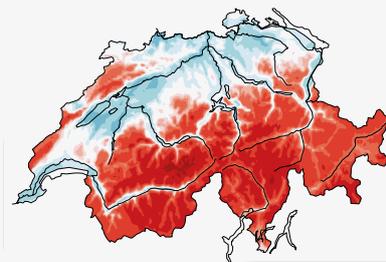
Oktober 2016



November 2016



Dezember 2016

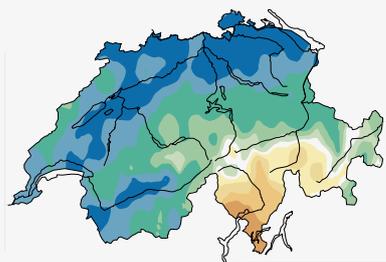


Monatsniederschlag 2016 in Prozent der Norm 1981–2010

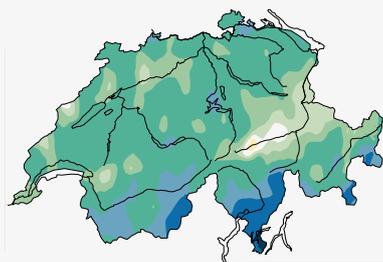
Abbildung 1.3

Räumliche Verteilung der Monatsniederschläge in Prozent der Norm 1981–2010.

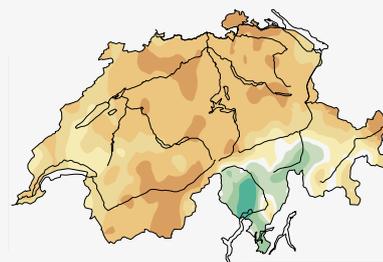
Januar 2016



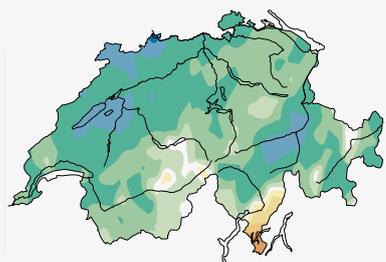
Februar 2016



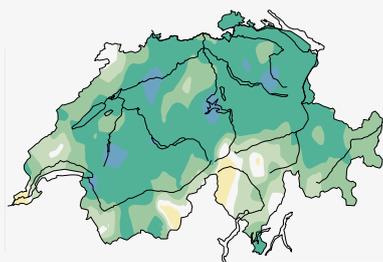
März 2016



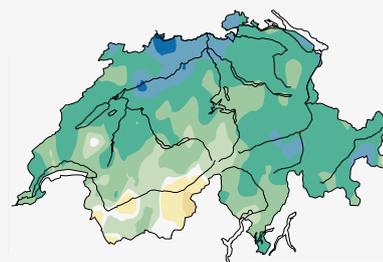
April 2016



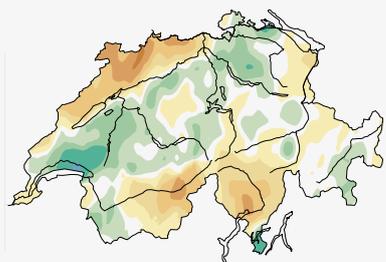
Mai 2016



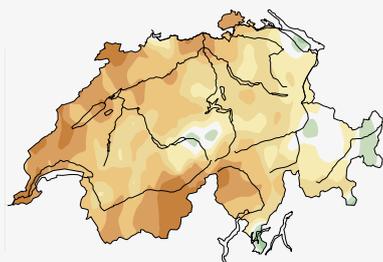
Juni 2016



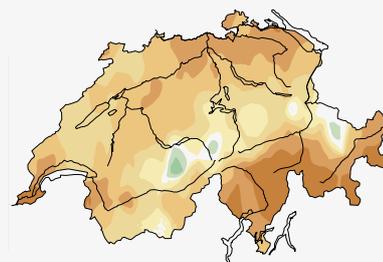
Juli 2016



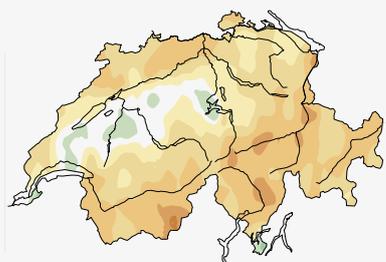
August 2016



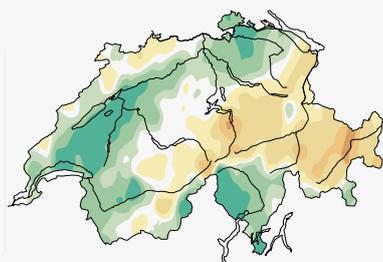
September 2016



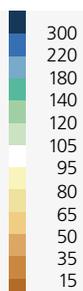
Oktober 2016



November 2016



Dezember 2016

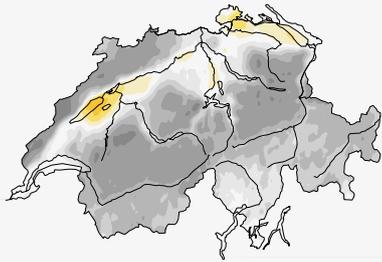


Monatliche Sonnenscheindauer 2016 in Prozent der Norm 1981–2010

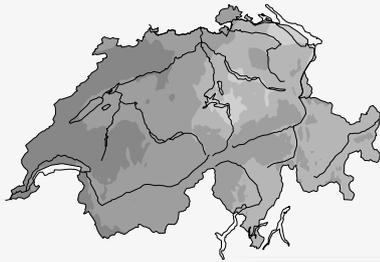
Abbildung 1.4

Räumliche Verteilung der monatlichen Sonnenscheindauer in Prozent der Norm 1981–2010.

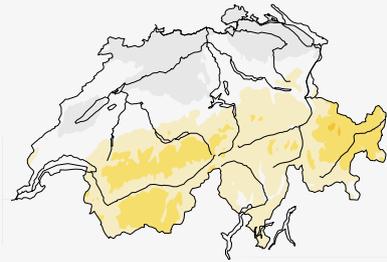
Januar 2016



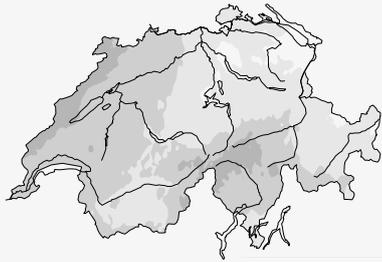
Februar 2016



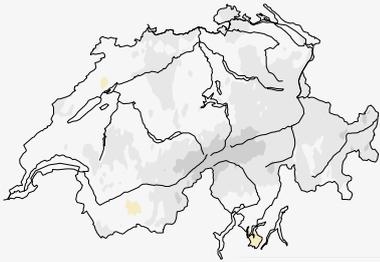
März 2016



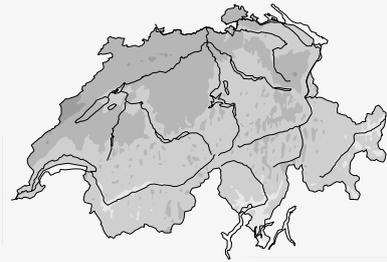
April 2016



Mai 2016



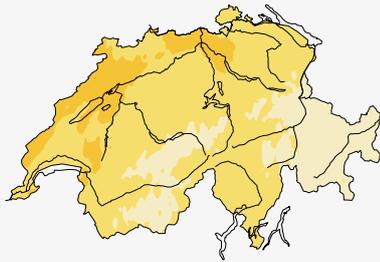
Juni 2016



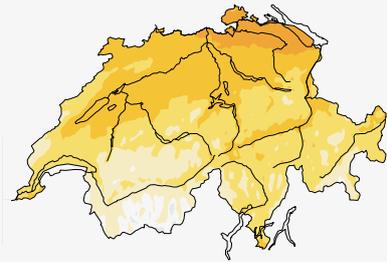
Juli 2016



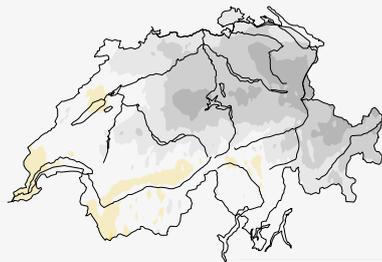
August 2016



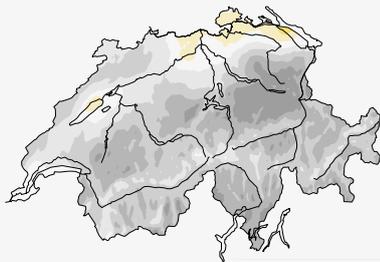
September 2016



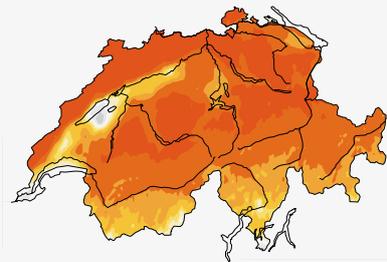
Oktober 2016



November 2016



Dezember 2016







2 | Diagramme zum Jahresverlauf

20

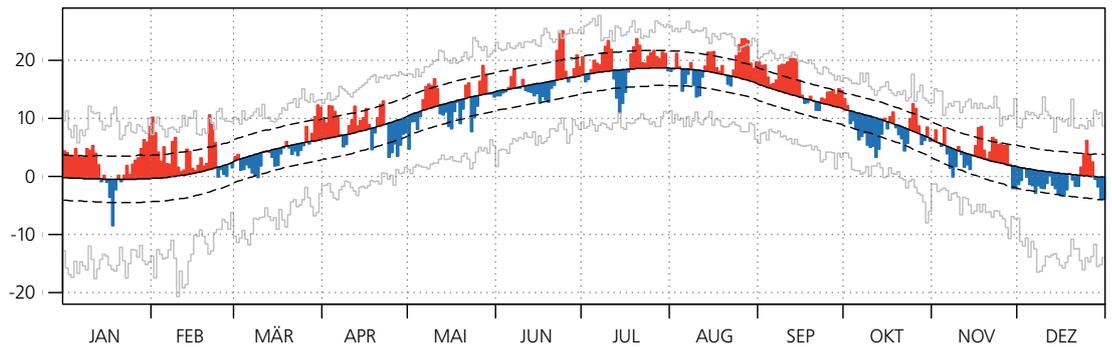
Temperatur, Sonnenscheindauer und Niederschlag

Abbildung 2.1
**Jahresverlauf der
 täglichen Temperatur,
 der täglichen Sonnenscheindauer und der
 täglichen Niederschlags-
 summen an der Mess-
 station Bern-Zollikofen.**

Bern-Zollikofen (553 m ü.M) 1.1.–31.12.2016

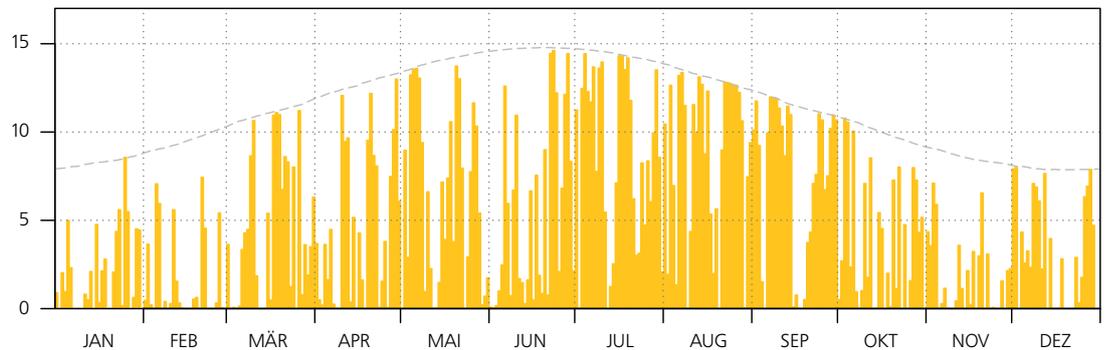
Mittlere tägliche Lufttemperaturen °C

Mittel: 9.4, Norm: 8.8



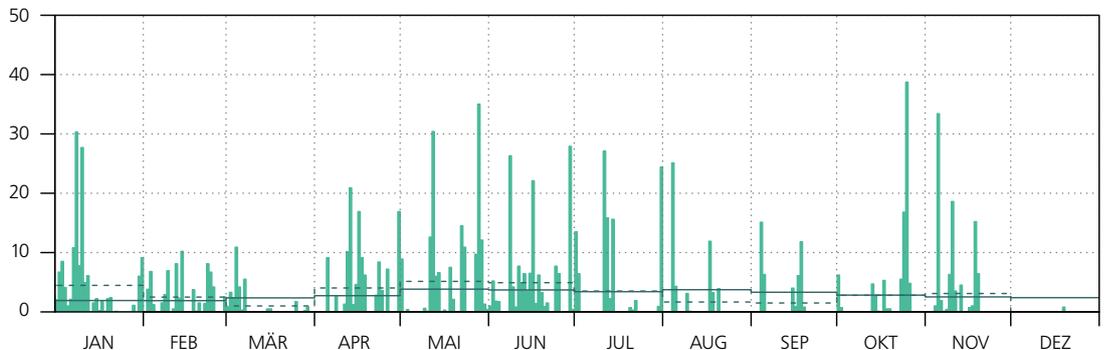
Tägliche Sonnenscheindauer h

Summe: 1759.8, Norm: 1683.2



Tägliche Niederschlagssummen mm

Summe: 1056.0, Norm: 1058.6

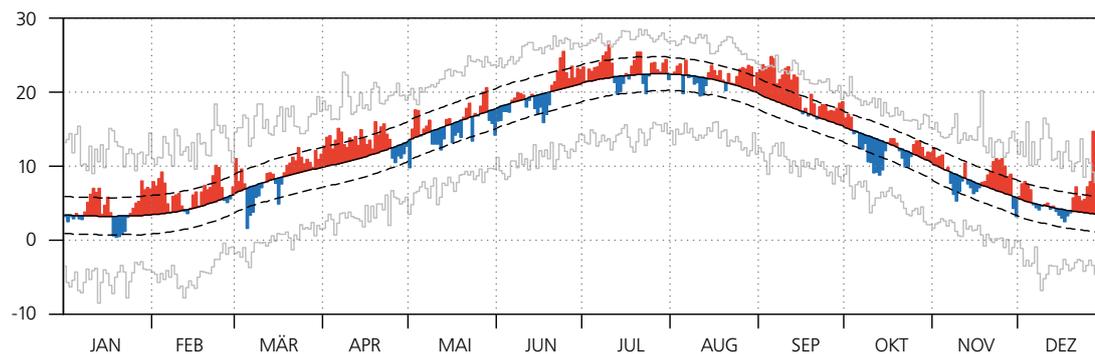


- Höchste bzw. tiefste Tagesmittel der Lufttemperatur der homogenen Datenreihe von 1864–2015
- Durchschnittliche homogene Tagesmittel der Lufttemperatur von 1981–2010 (Normwertperiode)
- - - Standardabweichung der durchschnittlich homogenen Tagesmittel der Lufttemperatur von 1981–2010
- - - Tägliche, 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

Lugano (273 m ü.M) 1.1.–31.12.2016

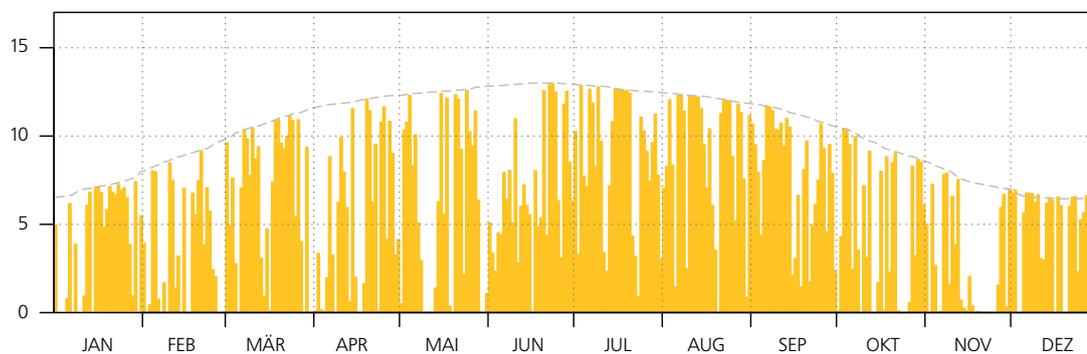
Mittlere tägliche Lufttemperaturen °C

Mittel: 13.3, Norm: 12.4



Tägliche Sonnenscheindauer h

Summe: 2137.6, Norm: 2068.9



Tägliche Niederschlagssummen mm

Summe: 1680.5, Norm: 1559.0

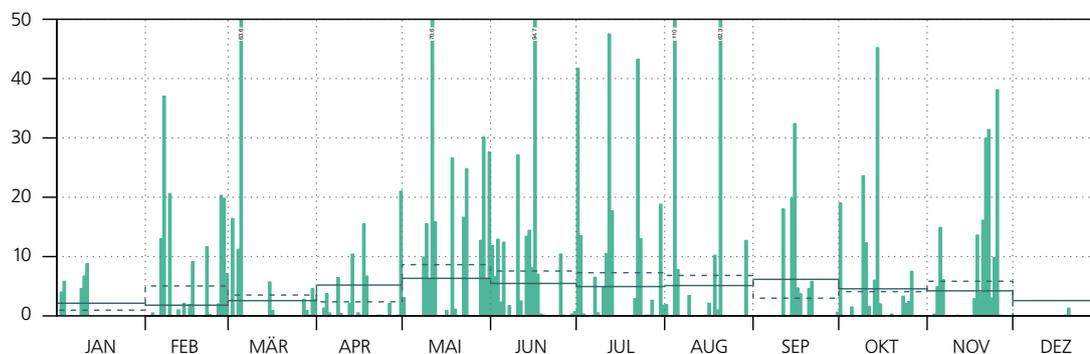


Abbildung 2.2

Jahresverlauf der täglichen Temperatur, der täglichen Sonnenscheindauer und der täglichen Niederschlagssummen an der Messstation Lugano.



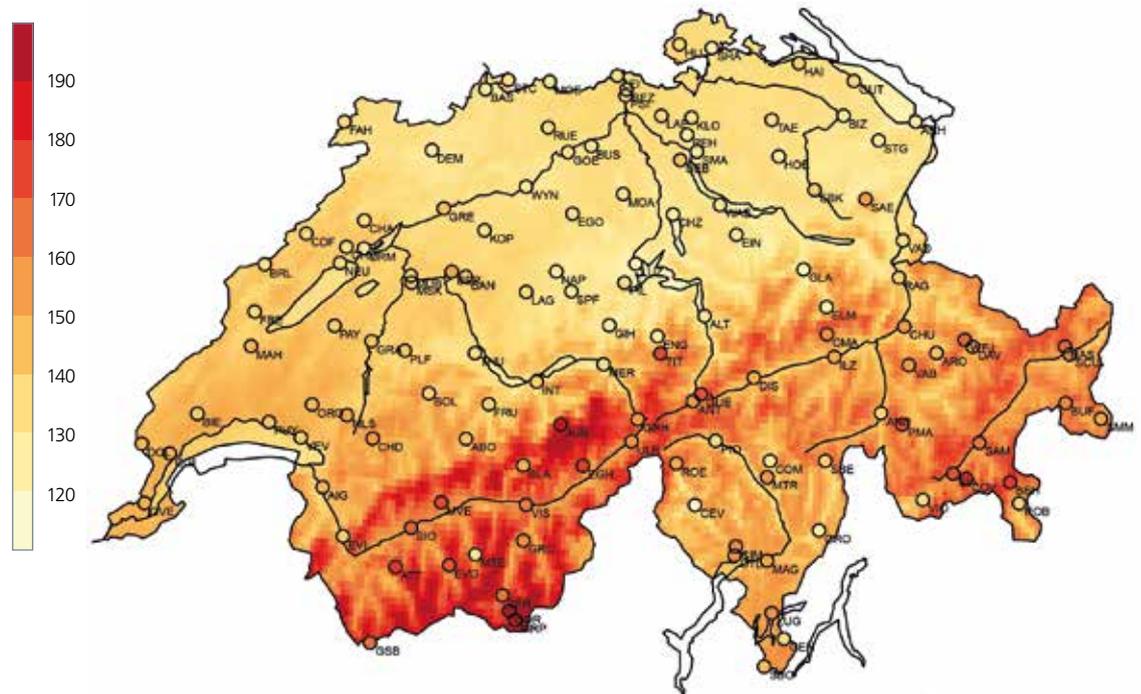
Die Jahresverlaufs-Diagramme für alle Stationen des Schweizer Klimanetzwerkes [1] findet der Leser unter der nachfolgend angegebenen Internetadresse:
<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/gegenwart/klima-verlauf.html>

Jahresverlauf der Globalstrahlung

Unter Globalstrahlung versteht man die gesamte an der Erdoberfläche auf eine horizontale Fläche auftreffende kurzwellige Solarstrahlung. Die Globalstrahlung hat vor allem im Zusammenhang mit der Energiegewinnung eine besondere Bedeutung.

Die jährlich gemittelte Globalstrahlung erreichte im Jahr 2016 in den Berner und Walliser Alpen 170–190 W m^{-2} (Abbildung 2.3). Dies entspricht einer jährlich kumulierten Energie von ca. 1600 kWh m^{-2} . Das Schweizer Mittelland erhielt aufgrund der winterlichen Nebellagen und einer erhöhten atmosphärischen Trübung deutlich weniger Globalstrahlung, nämlich etwa 120–150 W m^{-2} (1200 kWh m^{-2}). Die Differenz zwischen Bergregionen und dem Flachland wird auch an einzelnen Stationen deutlich: Während die Station Basel Binningen 133 W m^{-2} gemessen hat, erhielt die Station auf dem Jungfrauoch 187 W m^{-2} . Das Tessin, oftmals als Sonnenstube der Schweiz bezeichnet, übertrumpft die hochalpine Besonnung nicht: in Lugano wurden im Jahr 2016 durchschnittlich 157 W m^{-2} gemessen.

Abbildung 2.3
Jahresmittel der Globalstrahlung für 2016 in W/m^2 hergeleitet aus Satellitendaten. Die Kreise geben die entsprechenden Messwerte der Stationsdaten an.



Im Vergleich zum Mittel der vergangenen 10 Jahre lagen die Globalstrahlungswerte für 2016 schweizweit um etwa 2–5% tiefer. Allerdings trifft diese negative Anomalie nicht auf den Alpen-Hauptkamm zu. Dort wurden 1–3% mehr gemessen.

Die Globalstrahlung besitzt in unseren Breitengraden einen ausgeprägten saisonalen Zyklus, der der Sonnenbahn folgt (Abbildung 2.4). Die Tagesmittel der Globalstrahlung schwanken aber aufgrund der täglich wechselnden Bewölkung äusserst stark.

Die dominant auftretenden grauen Balken in der ersten Jahreshälfte verdeutlichen den generell trüben Winter und Frühling. Der Spätsommer war hingegen geprägt von fast durchwegs sonnigen Tagen. Der Dezember war überdurchschnittlich besonnt mit nur vier Tagen, die unter der Referenzperiode lagen.

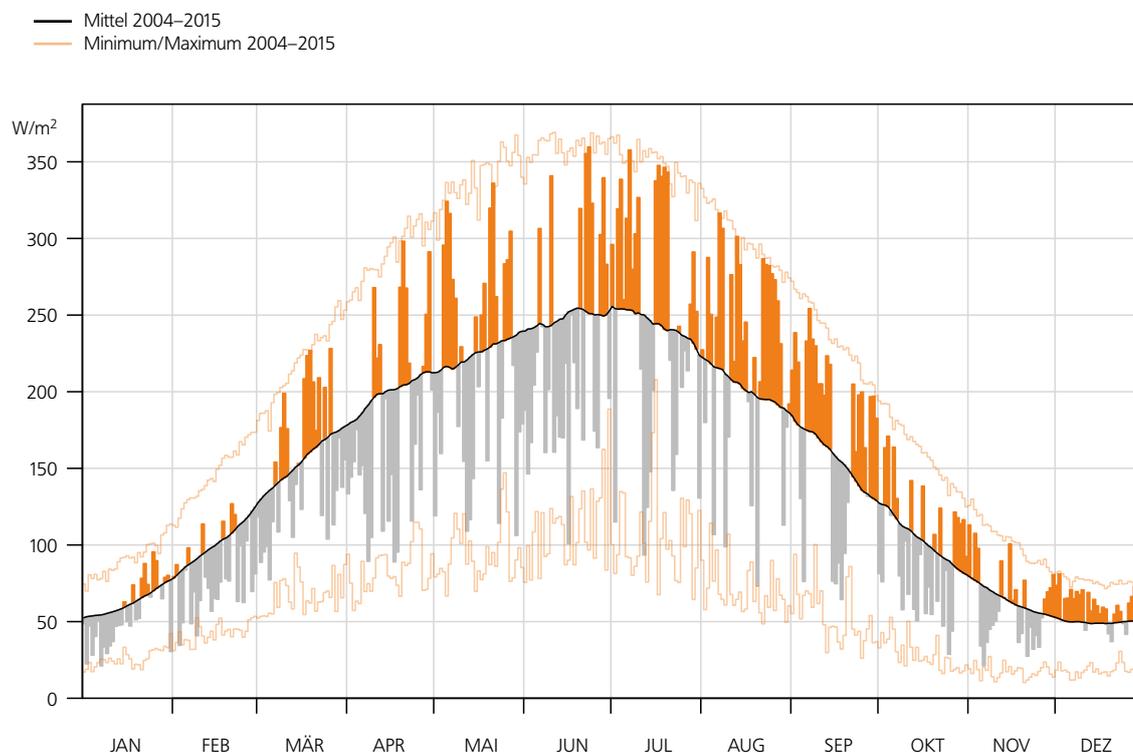


Abbildung 2.4
Tagesmittel der Globalstrahlung gemittelt über die ganze Schweiz für 2016. Orange Balken geben eine überdurchschnittliche, und graue Balken eine unterdurchschnittliche Einstrahlung im Vergleich zur Periode 2004–2015 an.

Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre

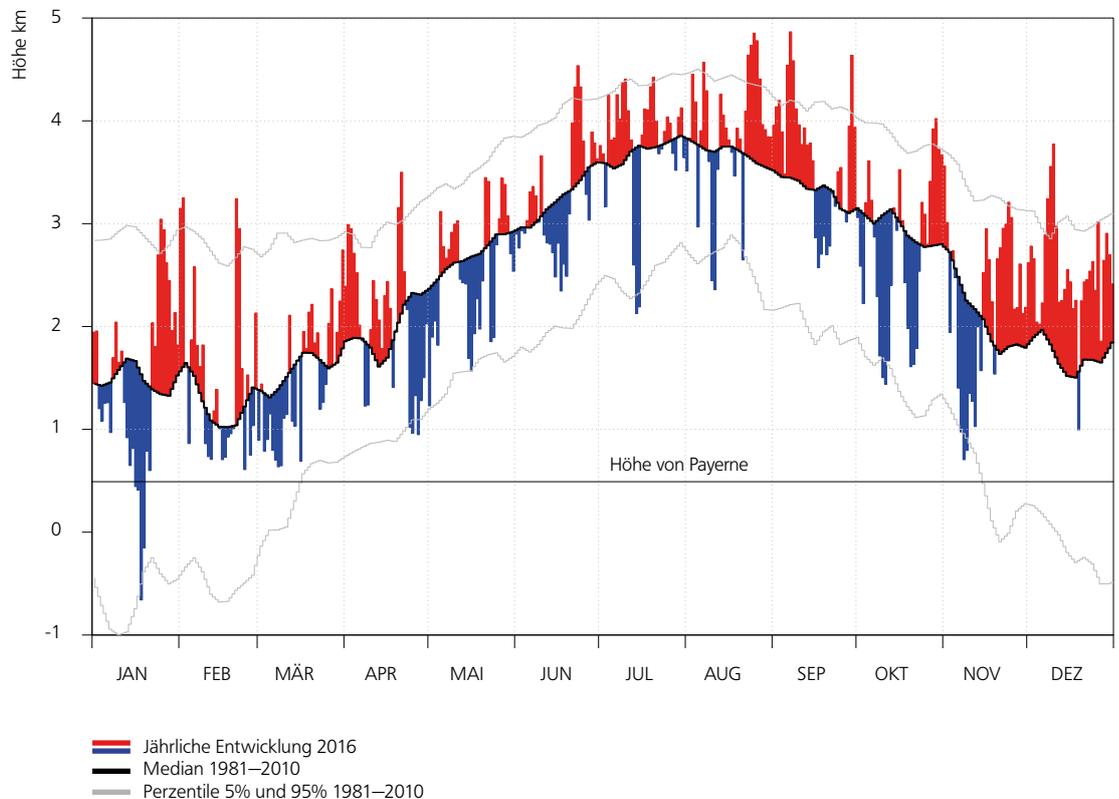
Der Verlauf der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre, ermittelt aus den täglichen Ballonsondierungen, widerspiegelt die hohen Temperaturen in der zweiten Hälfte August und ersten Hälfte September, und dann wieder in der zweiten Hälfte November und im Dezember des Jahres 2016. Im Oktober und Anfangs November lag die Nullgradgrenze tendenziell etwas tiefer im Vergleich zum Medianwert der Referenzperiode 1981–2010.

Eine unterdurchschnittliche Nullgradgrenze wurde auch Mitte Januar und Ende April und Teils auch im Mai und Juni gemessen. Trotzdem lag der Medianwert der Nullgradgrenze im Jahr 2016 aber 110 Meter höher im Vergleich zum Medianwert der Normperiode 1981–2010.

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 angehoben wird. Dies führt bei sehr kalten Verhältnissen im Winter auch mal zu einer Nullgradgrenze unterhalb des Meeresspiegels, was 2016 Mitte Januar der Fall war.

Median 2016: 2.63 km; 1981–2010: 2.52 km

Abbildung 2.5
Tägliche Höhe der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre über Payerne im Jahr 2016, ermittelt aus den aerologischen Radiosondenmessungen 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.



Tropopausenhöhe

Die Tropopause trennt die vom Wetter geprägte Troposphäre von der darüber liegenden eher stabil geschichteten sehr trockenen Stratosphäre. Die Tropopause ist immer durch eine deutliche Änderung des Temperaturverlaufs charakterisiert und entspricht oft der tiefsten Temperatur zwischen der Troposphäre und der Stratosphäre. Die Tropopausenhöhe wird aus den Ballonsondierungen ermittelt, welche zweimal pro Tag in Payerne gestartet werden. Die Berechnung der Tropopausenhöhe erfolgt mit einem automatischen Algorithmus entsprechend einer WMO Richtlinie.

Ähnlich wie die Nullgradgrenze zeigte auch die Tropopausenhöhe im Jahr 2016 sehr hohe Werte Ende Januar und in den ersten Tagen Februar. Höhen von über 15 000 m sind im Winter selten, und entsprechen schon eher äquatorialen Werten. Die Höhe des Medianwertes war 80 Meter höher als das langjährige Mittel der Medianwerte über die Periode 1981–2010. Im Oktober und in der ersten Hälfte November zeigte auch die Tropopausenhöhe eher tiefere Werte und somit eine mögliche Parallele zur tiefen Nullgradgrenze zur selben Zeit im Jahr 2016. Den tiefsten Jahreswert von knapp 6500 m erreichte die Tropopause nur kurz nach dem Jahreshöchstwert in der ersten Hälfte Februar.

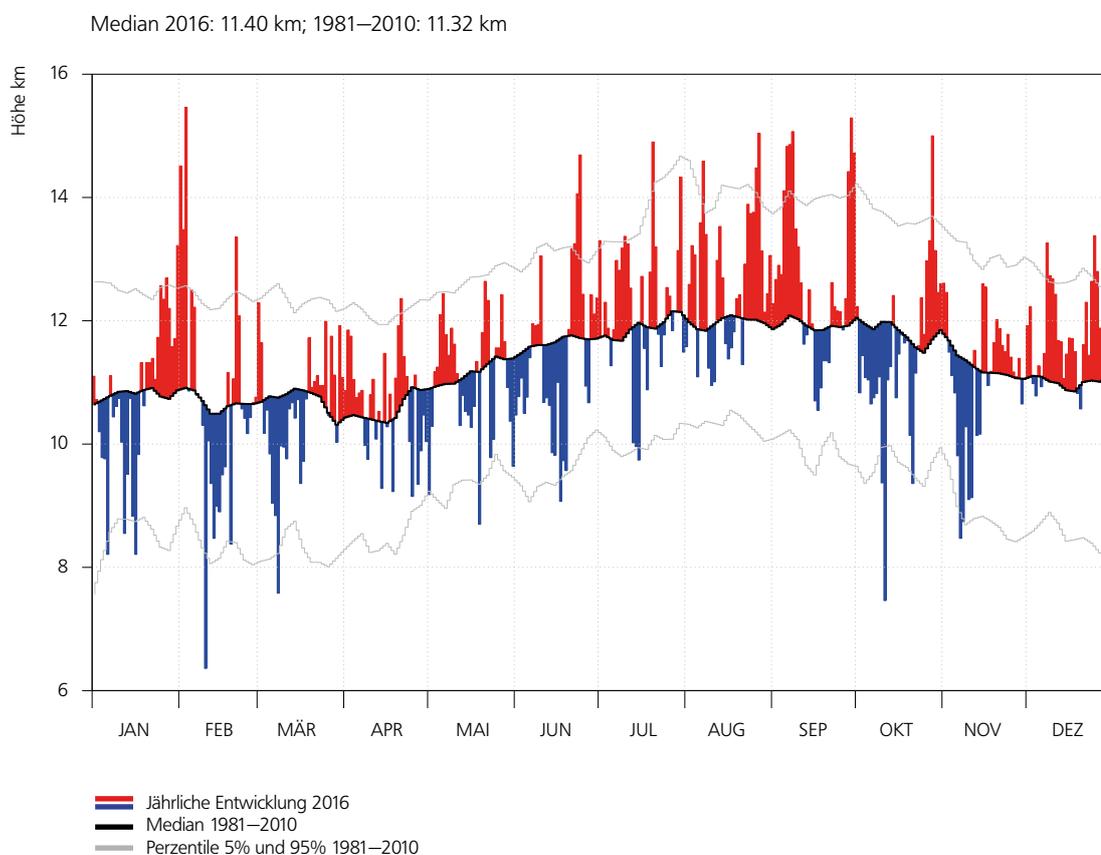


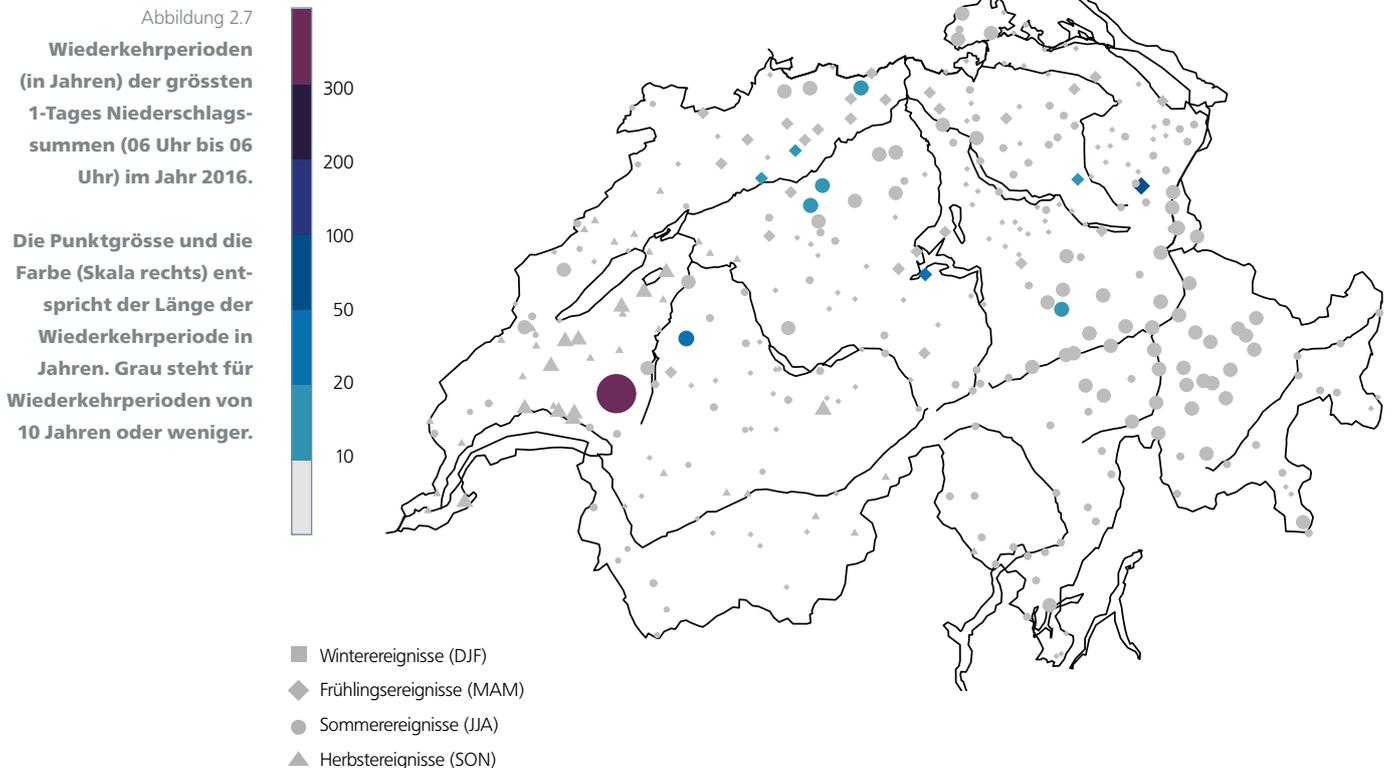
Abbildung 2.6

Tägliche Höhe der Tropopause über Payerne im Jahr 2016, ermittelt aus den aerologischen Radio-sondenmessungen 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.

Aussergewöhnliche Starkniederschläge

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). Das Jahr 2016 brachte nur wenige 1-Tagessummen der Niederschläge mit grösseren Wiederkehrperioden. Diese lagen meist zwischen 10 und 20 Jahren. Die Stationen mit den höchsten Wiederkehrperioden im Jahr 2016 (> 40 Jahre) waren der Säntis (80 Jahre, 161.9 mm/Tag) und Semsales (> 300 Jahre, 103.8 mm/Tag).

Die während eines kräftigen Gewitters am 11. Juli 2016 gefallene 1-Tagessumme von 103.8 mm am Messstandort Semsales war der höchste 1-Tageswert an diesem Messstandort seit Messbeginn im Jahr 1969. Die 1-Tagessumme von 161.9 mm vom Säntis belegt Rang fünf in der Messreihe seit 1882. Ursache der hohen Niederschlagsmenge war ein Tiefdruckgebiet über den Alpen mit anhaltendem Niederschlag.



Jahresverlauf der UV-Strahlung

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 Gesundheit darstellt (Hautkrebs, Hornhautschäden usw.). Andererseits sind auch positive Effekte vorhanden, zum Beispiel bezüglich der Produktion von Vitamin D im Körper. Die verwendeten UV-Messgeräte registrieren die Intensität der ultravioletten Strahlung durch einen so genannten Erythemfilter, dessen Verhalten die Empfindlichkeit der Haut, insbesondere für UV-B mit einem kleinen Anteil UV-A, nachbildet. MeteoSchweiz misst die UV-B Strahlung in Davos seit Mai 1995, auf dem Jungfrauoch seit November 1996, in Payerne seit November 1997 und in Locarno-Monti seit Mai 2001.

Der Vergleich der gleitenden Monatsmittel mit den mittleren jährlichen Verlaufswerten zeigt, dass im Jahr 2016 die UV-Strahlung in den Monaten April, Mai und Juni an allen Messstandorten signifikant unter der Norm lag. Im Gegen-

zug dazu zeigten die Monate Juli bis September an allen Messstandorten ausser Davos überdurchschnittliche Werte. Davos registrierte im Juli unterdurchschnittliche Werte. Überdurchschnittliche UV-Werte ergeben sich bei geringer, unterdurchschnittliche bei starker Bewölkung. Der Einfluss des Ozons macht sich vor allem bei wolkenlosen Verhältnissen bemerkbar. Dann bewirkt eine dünne Ozonschicht eine zusätzliche Erhöhung der UV-Strahlung.

Der Verlauf des Gesamtozons zeigte im Jahr 2016 keine speziellen Auffälligkeiten. Die Abweichungen der UV-Strahlung zum mehrjährigen Durchschnitt wurden deshalb vor allem durch den Jahresgang der Bewölkung bestimmt. Insbesondere kommt die anhaltend starke Bewölkung während des niederschlagsreichen ersten Halbjahres gut zum Ausdruck. Ebenso ist die geringe Bewölkung während der sonnenreichen und sehr warmen Periode in den Monaten August und September gut sichtbar.

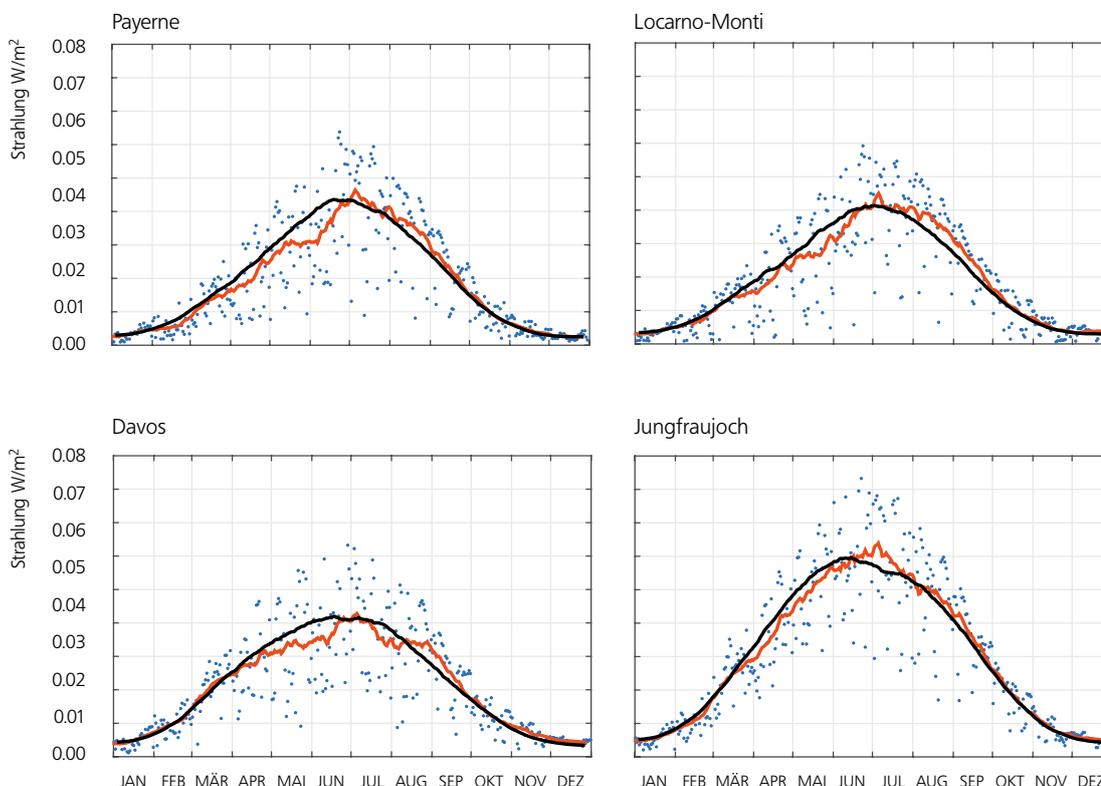


Abbildung 2.8

Tägliche Mittelwerte 2016 der erythemalen ultravioletten Strahlung (blaue Punkte) an den Messstationen Payerne, Locarno-Monti, Davos und Jungfrauoch. Rote Linie: gleitendes Monatsmittel (31 Tage). Schwarze Kurve: mittlerer jährlicher Verlauf berechnet aus den Daten 1995–2015 (Davos), 1997–2015 (Jungfrauoch), 1998–2015 (Payerne) und 2001–2015 (Locarno-Monti).

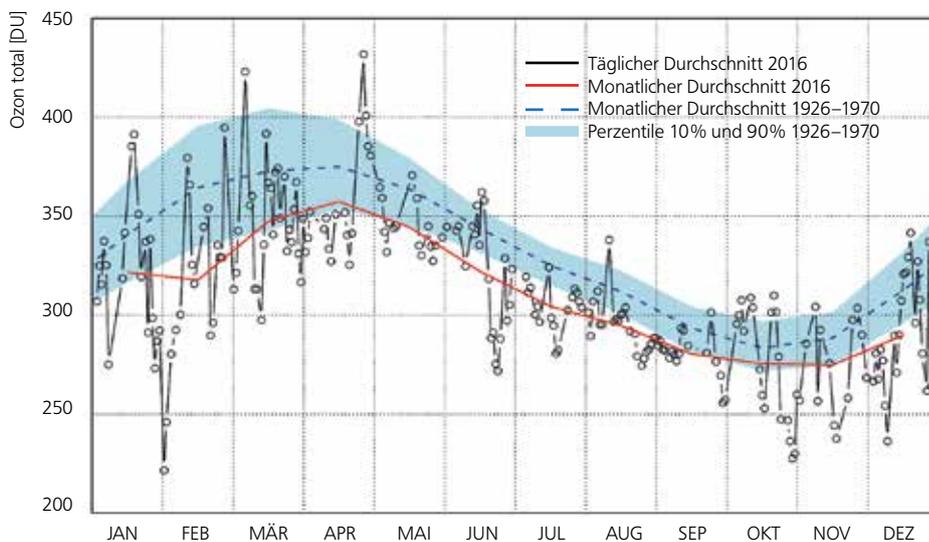
■ Täglich
— Monatlich 2016
— Monatlich Klima

Ozommessreihe Arosa

Die Entwicklung der Gesamtozonsäule über Arosa im Jahresverlauf (Abbildung 2.9) zeigt den typischen Jahresgang, mit einem Maximum, das im Frühling erreicht wird, und einem Minimum im Herbst. Die Entwicklung der Gesamtozonsäule im Jahresverlauf wird massgeblich durch den Transport von Ozon aus den Nordpolarregionen bestimmt, wo das Ozonmaximum am Ende der Polarnacht erreicht wird, das heisst zu Beginn des Frühlings.

Im Jahr 2016 lagen die Ozonwerte unterhalb der Werte der Normperiode 1926–1969, welche die Ozonschicht vor den Störungen durch menschliche Einwirkungen dokumentiert. Die anhaltende Abnahme der in Arosa gemessenen Gesamtozonsäule begann gegen 1970, einer Zeit, als der Ausstoss von Ozon schädigenden Substanzen stark anstieg. Ab dem Jahr 2000 ist über der Schweiz eine Stabilisierung des Gesamtozons festzustellen.

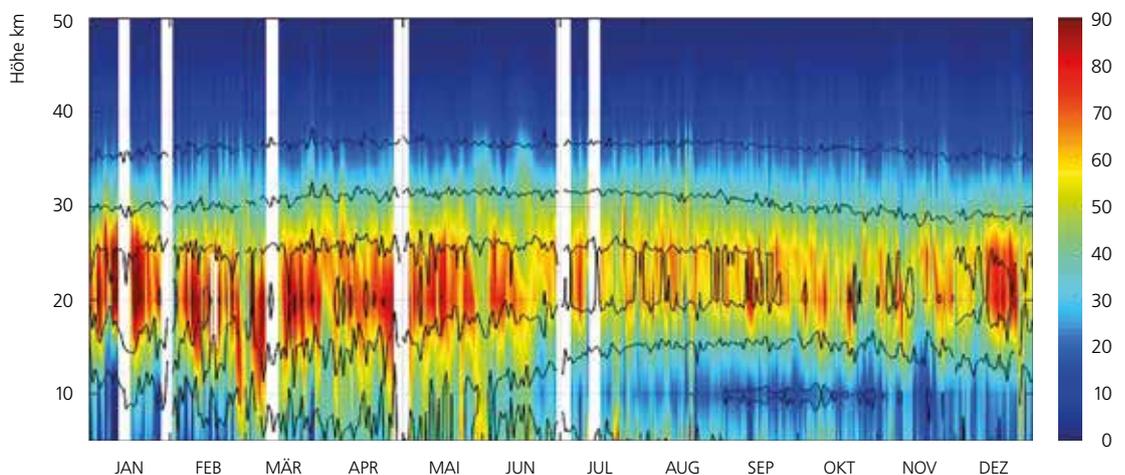
Abbildung 2.9
Entwicklung der Gesamtozonsäule über Arosa im Jahresverlauf 2016.
Schwarze Kurve: täglicher Durchschnitt. Rote Kurve: monatlicher Durchschnitt.
Die blaue Kurve zeigt den durchschnittlichen Jahresverlauf im Zeitraum 1926–1970, also vor Einsetzen des Problems der Ozonzerstörung. 80% der Schwankungen von Jahr zu Jahr innerhalb des Zeitraums 1926–1970 liegen innerhalb des blauen Bereichs.



Die Ozonprofile werden in Arosa seit 1956 von einem Dobson-Spektralphotometer gemessen. Es ist die längste Ozon-Messreihe der Welt. Für das Jahr 2016 sind die die Schwankungen des Ozons in der folgenden Grafik (Abbildung 2.10) in Farbe angegeben. Die Mittelwerte der Jahre 1970 bis 1980 sind in

Schwarz dargestellt (Höhenkurven für 20, 40, 60 und 80 DU). Das erlaubt es, die Abweichungen der Ozonwerte zum klimatologischen Mittel im Verlauf des Jahres in Abhängigkeit der Höhe zu visualisieren.

Abbildung 2.10
Die in Arosa von einem Dobson-Spektralphotometer gemessenen Ozonprofile im Jahr 2016.
Die Grafik zeigt die Ozonkonzentration in Dobson Units (DU) (Skala rechts zwischen 0 und 90 DU). 100 DU = 1mm reines Ozon bei Normaldruck 1013 hPa und 0°C.



Ozonmessungen Payerne

Das Mikrowellen-Radiometer SOMORA misst seit 2000 die vertikale Verteilung des Ozons in Payerne mit einer zeitlichen Auflösung von 1 Stunde. Die Schwankung des Ozons im Jahresverlauf 2016 ist in der folgenden Grafik (Abbildung 2.11) mit Farbe, für das Jahr 2015 in Schwarz angegeben (Höhenkurven für 4, 6 und 8 ppm). Das erlaubt die unterschiedlichen Ozonwerte im Verlauf des Jahres abhängig von der Höhe und im Vergleich zum Vorjahr darzustellen.

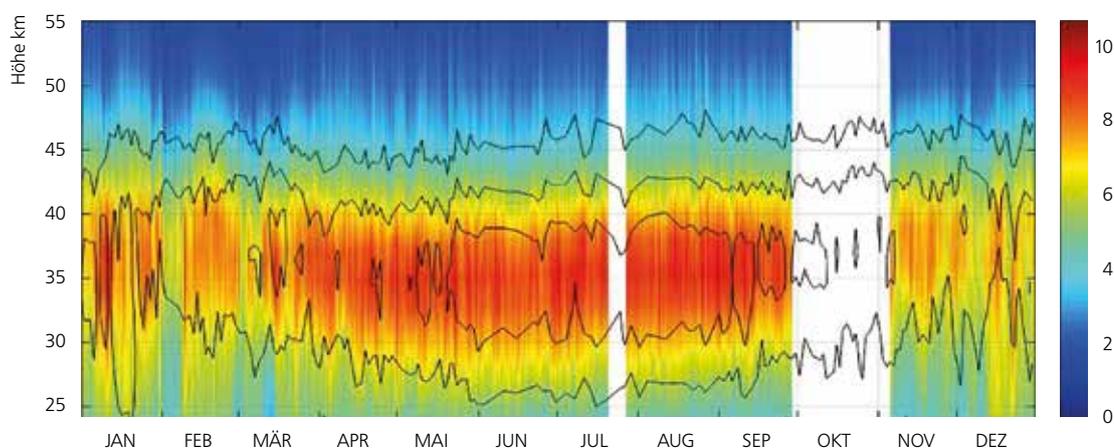
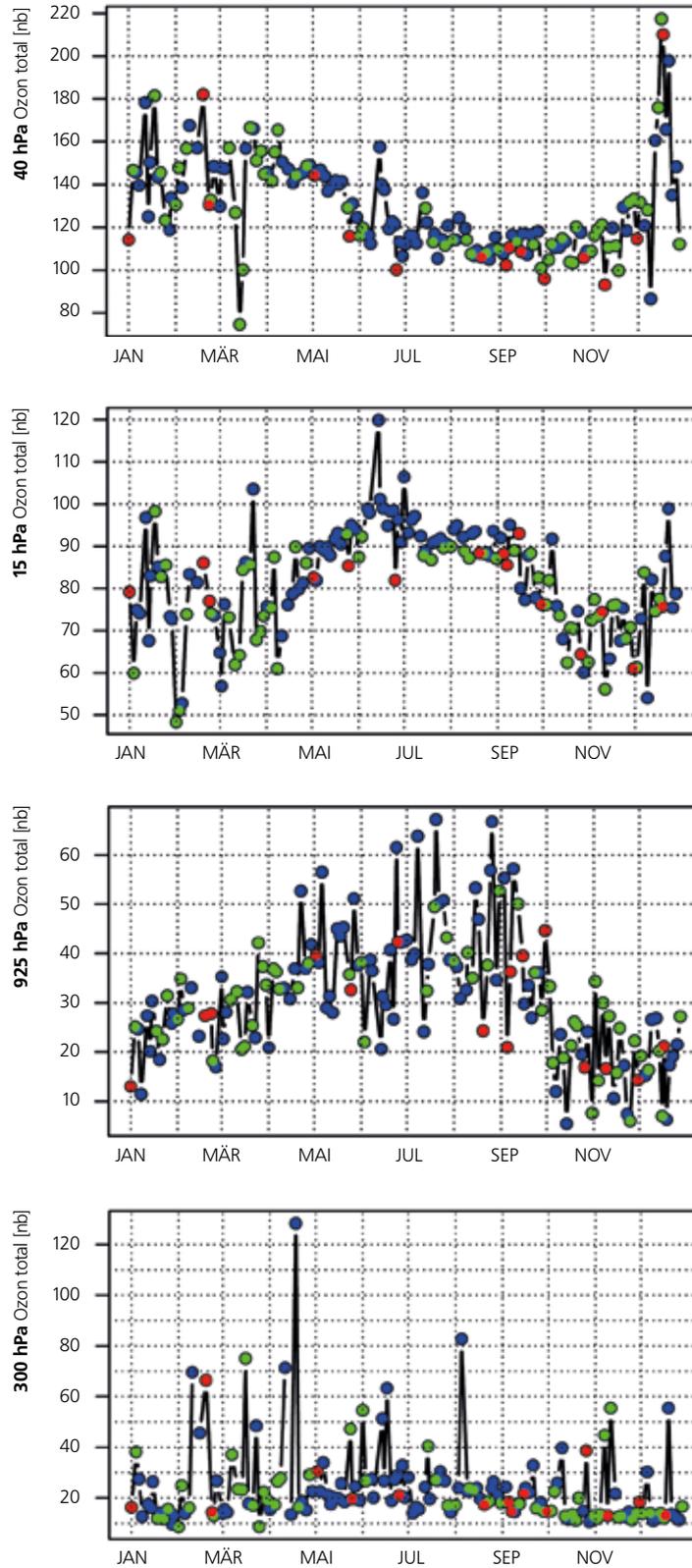


Abbildung 2.11
Durch Mikrowellenradiometer im Jahr 2016 in Payerne gemessene Ozonprofile. Die Grafik zeigt das Volumenmischungsverhältnis (VMR) des Ozons in Teilen pro Million (ppm). Rechte Skala zwischen 1 und 10 ppm.

Die Messungen der vertikalen Verteilung des Ozons in der Atmosphäre bis ungefähr 30 km Höhe werden im Rahmen von Ballon-Sonden-Aufstiegen vorgenommen. Die gewonnenen Daten erlauben es, die zeitliche Entwicklung der Ozonmenge in den verschiedenen Schichten der Atmosphäre zu bestimmen. Die folgende Abbildung zeigt die Entwicklung im Detail für das Jahr 2016 für vier verschiedene Höhenlagen:

- Auf niedriger Höhe (Stufe 925 hPa), wird die maximale Ozonmenge im Sommer erreicht, auf Grund der starken Sonneneinstrahlung und der Luftverschmutzung (welche die Ozonmenge erhöht).
- In den höheren Lagen der freien Atmosphäre, wo sich die meisten Wetterphänomene abspielen (Stufe 300 hPa = ~9000 m), ist das sommerliche Maximum stark abgeschwächt, da die Bedingungen für die Ozonbildung hier nicht optimal sind. Die markanten Spitzen beziehen sich auf den Eintritt von Ozon aus den höheren Schichten der Atmosphäre (Stratosphäre).
- In der unteren Stratosphäre (Stufe 40 hPa = ~18 km), wird die jährliche Entwicklung des Ozons durch den Transport von Ozon durch die vorherrschenden Strömungen bestimmt. Hier wird die stärkste Ozonkonzentration in der Zeit vom Winterende bis zum Frühlingsbeginn erreicht.
- In grösseren Höhen (15 hPa = ~25 km) führt die starke Sonneneinstrahlung zu einem Ozonmaximum im Sommer, wenn die Sonne hoch am Himmel steht.

Abbildung 2.12
Verlauf der Ozonkonzentration (Partialdruck in Nanobar) im Jahr 2016 in zwei verschiedenen Höhen der Troposphäre (<10 km, bei 925 hPa und 300 hPa) und zwei verschiedenen Höhen der Stratosphäre (>10 km, bei 40 hPa und 15 hPa). Die Farben zeigen, wie gut die Ballonsondendaten mit der unabhängigen Ozonmessung von Arosa übereinstimmen: Blau: sehr gute Übereinstimmung; grün: gute Übereinstimmung; rot: signifikante Unterschiede.



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 im Winter minimale Werte. Die durch natürliche und anthropogene Prozesse erzeugten Aerosole sammeln sich insbesondere in der planetaren Grenzschicht, also der untersten Schicht der Atmosphäre, welche je nach Jahreszeit eine Mächtigkeit von 0.5 bis 2 km aufweist.

Im Sommer erzeugt die Erwärmung des Bodens Konvektionsströmungen, die die Aerosole in grössere Höhen tragen. Das Jungfraujoch befindet sich dann verstärkt im Einflussbereich der planetaren 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 weiter Entfernung von den Verschmutzungsquellen.

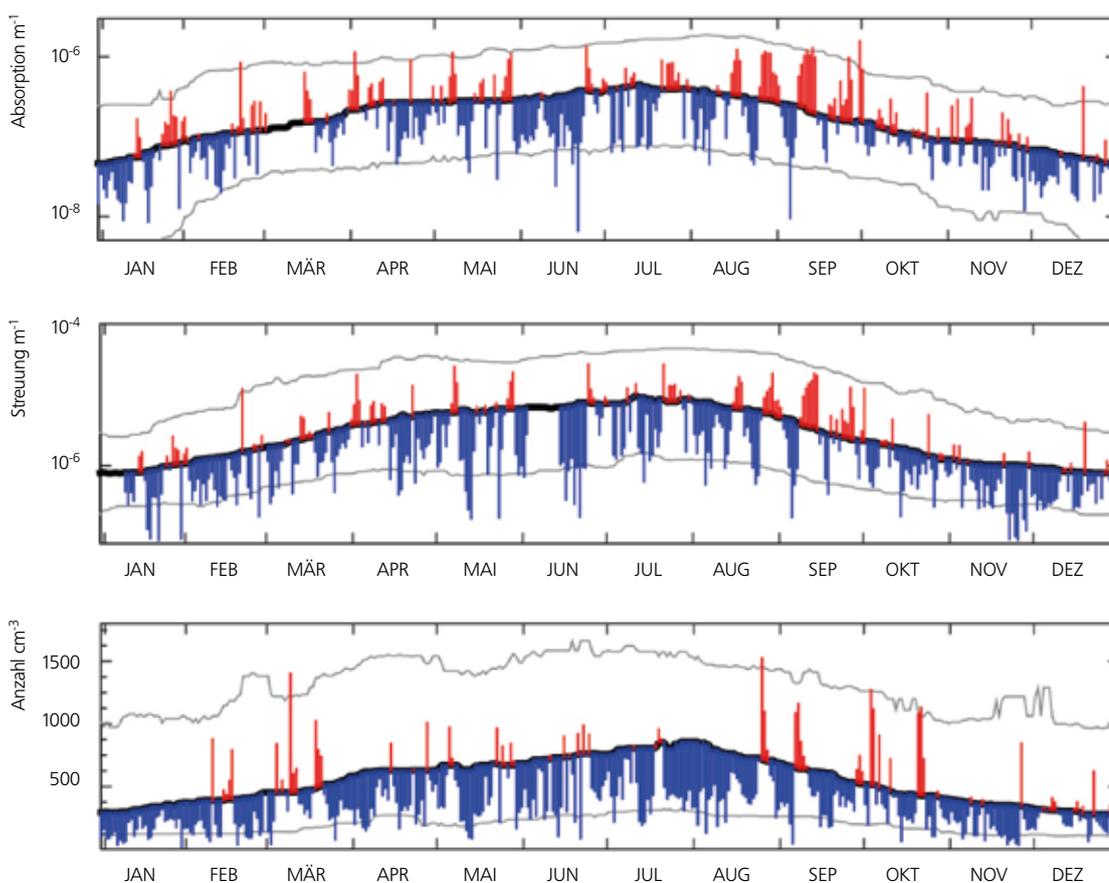


Abbildung 2.13

Entwicklung des Absorptionskoeffizienten bei 880 nm (oben), des Diffusionskoeffizienten (Streuung) bei 550 nm (Mitte) und der zahlenmässigen Konzentration (unten) der Aerosole im Jahr 2016 auf dem Jungfraujoch. Die schwarze Kurve zeigt das Mittel der Periode 1995–2015. Innerhalb der grauen 5% und 95% Perzentil-Linien liegen 90% der Tagesmittelwerte.

Vegetationsentwicklung

Schon im Dezember 2015 blühten die ersten Haselsträucher. Der Vorsprung der Vegetation betrug im Januar und Februar 2016 etwa 4 Wochen im Vergleich zum Mittel von 1981–2010. Anschliessend reduzierte sich die Verfrühung der Frühlingsvegetation auf ungefähr eine Woche (Kap. 5 Frühlingsindex). Weiter gebremst wurde die Vegetationsentwicklung im Frühsommer, so dass vermehrt späte Termine beim Nadelaustrieb der Fichte oder der Blüte der Linden beobachtet wurden. Im Herbst führten hohe Temperaturen im September zu einer leicht verspäteten Blattverfärbung.

Das aktuelle Jahr wird mit der Periode 1981–2010 verglichen. Dabei werden die Daten dieser Periode in Klassen eingeteilt. Die mittleren 50% aller Fälle werden als normal klassiert, je 15% als früh bzw. spät und je die extremsten 10% als sehr früh bzw. sehr spät. Abweichungen in Tagen vom Mittel der Vergleichsperiode werden für die mittleren 50% aller Beobachtungen im Jahr 2016 angegeben oder für den Median.

Frühling

Bereits ab Ende November 2015 wurde der Blühbeginn einzelner Haselsträucher entdeckt. Im phänologischen Beobachtungsnetz meldeten 16 Stationen (von total 100) den Blühbeginn im Dezember. Der Blühbeginn der Hasel wird erst seit 1996 beobachtet, wobei eine derart grosse Anzahl von Dezemberterminen in diesen 20 Jahren noch nie vorkam. Bei der allgemeinen Blüte der Hasel (beobachtet seit 1952) meldeten 14 Stationen, die mindesten 30-jährige Messreihen aufweisen, das früheste Datum der ganzen Messreihe und bei 16 Stationen war es das früheste Datum der Vergleichsperiode 1981–2010. Im Januar betrug der Vorsprung der Vegetation über 30 Tage. Im Durchschnitt aller Stationen fand die Haselblüte 22 Tage früher statt als im Mittel der Vergleichsperiode 1981–2010, wobei die letzten blühenden Haselsträucher im April oberhalb von 1000 m ü. M. beobachtet wurden.

Nur im Jahr 1994 fand die Haselblüte noch leicht früher statt als im aktuellen Jahr und in den Jahren 1993 und 2007 nur wenig später. Der Grund für diese aussergewöhnlich frühe Blüte lag in den hohen Temperaturen der Vormonate: der drittwärmste November und der wärmsten Dezember seit Messbeginn von 1864. Mit einem Vorsprung von etwa 4 Wochen trat Anfang Februar der erste blühende Hufattich ebenfalls sehr früh auf. Im März verringerte sich der Vorsprung der Vegetation auf knapp eine Woche, weil die Temperaturen tiefer als normal waren. Hufattich und Buschwindröschen blühten im März häufig zu einem normalen Zeitpunkt. Die Blattentfaltung der Bäume, die Blüte von Obstbäumen, Löwenzahn und Wiesen-schaumkraut fanden im April mit einem Vorsprung von rund 2 bis 10 Tagen auf das Mittel statt, wobei ab Mitte Monat immer mehr Beobachtungen in den Klassen früh und sehr früh

gemacht wurden. Die Kirschbäume blühten in Lagen unter 600 m ü. M. im Mittel am 11. April (4 Tage früher als normal) und die Buchen entfalteten ihre Blätter in dieser Höhenlage am 17. April (9 Tage früher als normal).

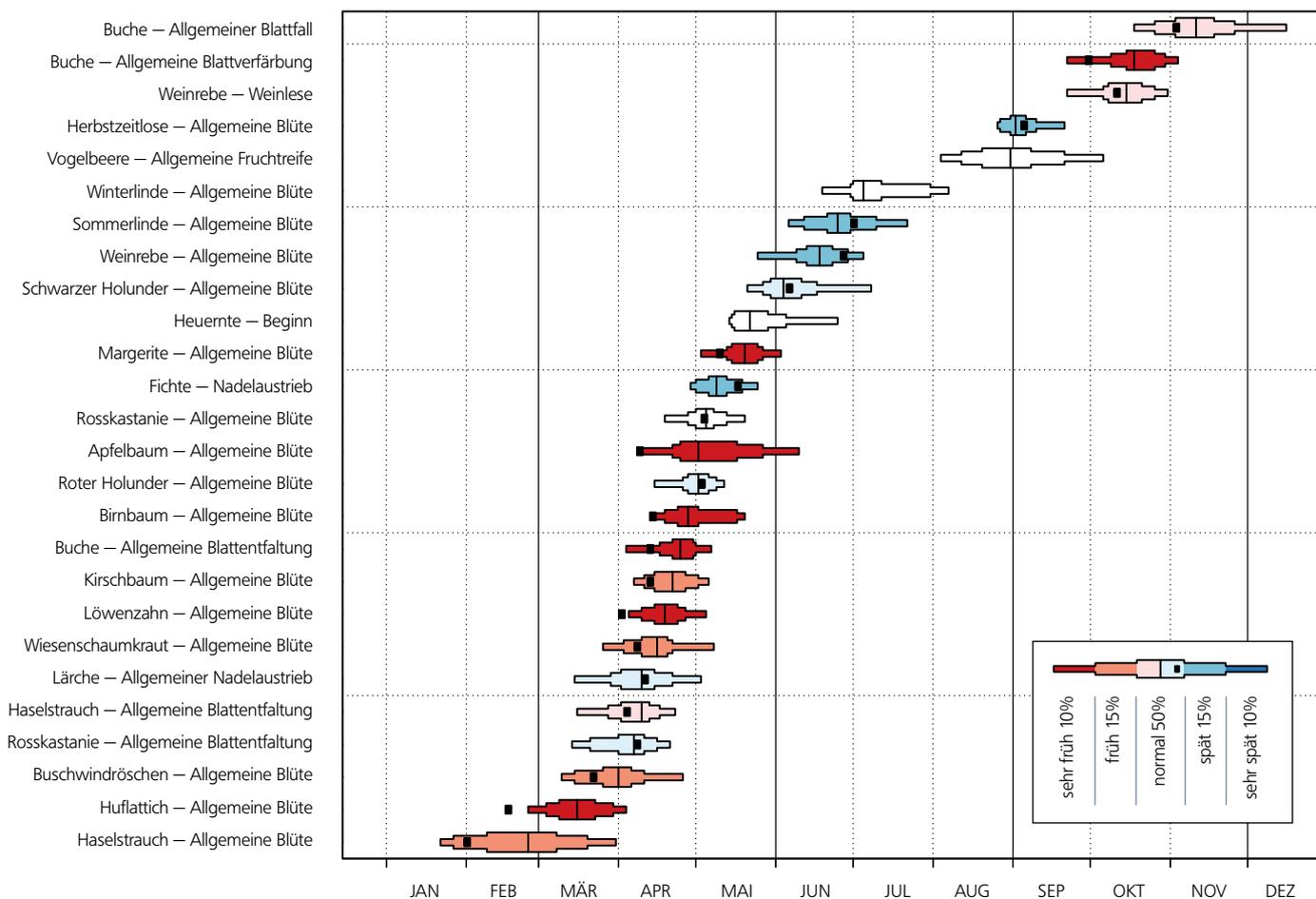
Im Mai verlief die Vegetationsentwicklung wieder im normalen zeitlichen Rahmen, da der Mai nur wenige wirklich warme Tage brachte. So wurden beim Nadelaustrieb der Fichte neben 46% normalen Eintrittsterminen auch 46% späte und sehr späte beobachtet. Im Mai verlagerten viele Pflanzen ihre Entwicklung in Höhenlagen zwischen etwa 800 und 1800 m ü. M.: der Nadelaustrieb der Lärchen, die Blattentfaltung der Buchen, die Blüte der Obstbäume und des Löwenzahns, ebenfalls alle im normalen Zeitrahmen. Die Wiesen wurden in diesem Jahr an vielen Orten zwischen dem 3. und 8. Mai etwa 10 Tage früher gemäht als im Mittel, denn das sonnige Wetter in diesem Abschnitt versprach ein trockenes Einbringen des Heus.

Sommer

Der Juni war trüb und regnerisch, weshalb sich die Vegetation nur langsam weiterentwickelte. Der Schwarze Holunder blühte Ende Mai und vor allem in der ersten Monathälfte Juni. Während die Termine im Mai meist normal oder sogar früh waren, wurden im Juni neben normalen Terminen vermehrt auch späte beobachtet. Im Mittel fand die Holunderblüte im Juni 1 bis 6 Tage später statt als im Durchschnitt der Jahre 1981–2010. In den Bergen oberhalb von rund 1000 m ü. M. blühten die Margeriten und die Fichten trieben ihre Nadeln aus, wobei der Nadelaustrieb der Fichten 2 bis 12 Tage verspätet war. Die Sommerlinden und Winterlinden blühten im Juni und Juli mit einer leichten Verspätung von rund 4 Tagen. Dabei lagen 41 bzw. 43% der Beobachtungen in den Klassen spät und sehr spät, bei 45 bzw. 52% als normal klassierten Beobachtungen. Die Fruchtreife von Vogelbeere und Schwarzem Holunder im August und September wurde zu einem mittleren Zeitpunkt erreicht.

Abbildung 2.14

Phänologischer Kalender 2016 von Rafz. Die Verteilung zeigt die Vergleichsperiode 1981–2010. Das Datum des aktuellen Jahrs wird als schwarzes Quadrat dargestellt und je nach zeitlicher Einordnung von sehr früh bis sehr spät wird die Vergleichsperiode eingefärbt. Fehlt die Beobachtung im Jahr 2016 oder liegt sie präzise beim Median, bleibt die Vergleichsperiode weiss.



Herbst

Einzelne Bäume mit bunten Herbstblättern wurden schon Ende September beobachtet. Verstärkt setzte die Blattverfärbung ab Mitte Oktober ein. Die Wälder verfärbten sich sichtbar, da viele Baumarten ihre Blätter gleichzeitig verfärbten. Bei der Buche war die Blattverfärbung vor allem in Höhenlagen über 1000 m ü. M. mit 8 Tagen recht stark verspätet, während sie unterhalb von 1000 m ü. M. nur 2–3 Tage später als in der Vergleichsperiode 1981–2010 auftrat. Die Blattverfärbung weiterer Bäume wird seit 1996 beobachtet. Im Vergleich mit dieser Zeitperiode war die Blattverfärbung von Birke, Bergahorn und den Linden um etwa 4–6 Tage zu spät, jeweils mit fast der Hälfte der Beobachtungen in den Klassen spät und sehr spät. Der Zeitpunkt der Blattverfärbung wird haupt-

sächlich durch die abnehmende Tageslänge bestimmt, wobei der Termin durch das Wetter modifiziert wird. Ein warmer September verspätet die Blattverfärbung, während Trockenheit im September sie eher verfrüht. Obwohl der diesjährige September trocken war, war es vermutlich die hohe Temperatur, die zu dieser leicht verspäteten Blattverfärbung beitrug. Die Mehrheit der Meldungen zum Blattfall der Buchen fiel in den Zeitraum vom 25. Oktober bis zum 10. November. Dabei zeigte sich keine Höhenabhängigkeit, so dass die Buchen in tiefen und höheren Lagen ihre Blätter alle zu einem ähnlich Zeitpunkt verloren. Im Vergleich mit der Periode 1981–2010 fand der Blattfall meist zu einem durchschnittlichen bis leicht späten Termin statt. Im Mittel betrug die Verspätung 3 Tage.

Pollensaison

Das Pollenjahr 2016 begann schon im Dezember des Vorjahrs mit der Blüte der Hasel. Bei den Baumpollen war die Hasel-, Erlen-, Hagebuchen- und Buchenpollensaison sehr stark. Die Birkenpollen erreichten durchschnittliche Werte, während die Eschenpollensaison schwach war. Die Gräserpollensaison dauerte lang, im Mai und Juni war sie jedoch wegen Niederschlägen eher schwach. Die Pollensaison 2016 wird mit dem 20-jährigen Mittel 1996–2015 verglichen.

Auf der Webseite der MeteoSchweiz zeigen Jahresgrafiken der 14 wichtigsten allergenen Arten die mittlere tägliche Pollenbelastung für die Stationen des Schweizer Pollenmessnetzes. Während der Pollensaison werden die Grafiken wöchentlich aktualisiert.



www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/gegenwart/phaenologie-und-pollen/pollenflug.html

Beginn der Pollensaison

Die ersten Haselsträucher blühten schon im Dezember 2015, da die Temperatur ab November stark überdurchschnittlich war. In Lugano und Genève waren die Pollenfallen in Betrieb und registrierten am 1. Dezember in Lugano und am 22. Dezember in Genève das erste Mal mässige Belastungen. In Lugano war der Pollenflug im Dezember an 10 Tagen mässig und am 29. Dezember sogar stark. In Genève wurde über die Weihnachtstage mässiger Pollenflug registriert. Ein so frühes, regelmässiges Vorkommen von Haselpollen wurde im Pollenmessnetz noch nie erfasst. Während der milden, ersten Januarhälfte war der Haselpollenflug auf der Alpennordseite schwach bis mässig. Dies bestätigte, dass an vielen Orten einzelne Haselsträucher blühten, aber doch ein grosser Teil der Haselkätzchen noch geschlossen war. Höhere Temperaturen liessen ab dem 25. Januar die Haselsträucher in der ganzen Schweiz vermehrt aufblühen und die Pollenbelastung stieg auf starke Werte an. Dieser Anstieg fand rund drei Wochen früher als im 20-jährigen Mittel von 1996–2015 statt.

Noch früher war der Anstieg auf starke Belastungen in den Jahren 1994, 2007 und 2008. Auch Erlenpollen wurden im Dezember gemessen, wobei die Konzentrationen etwas tiefer waren als bei der Hasel. Der Anstieg der Erlenpollenkonzentrationen Ende Januar und Anfang Februar fand ebenfalls rund drei Wochen früher als im Mittel statt. Damit gehörte dieses Datum auf der Alpennordseite zu den frühesten drei Jahren der Vergleichsperiode. Weil der März eher kühl war, begann die Birkenpollensaison ab dem 26. März im Tessin und ab dem 31. März auf der Alpennordseite zu einem mittleren Zeitpunkt. Gleichzeitig begann die Eschenpollensaison knapp eine Woche später als im Mittel. Die ersten Gräserpollen wurden im Tessin schon im März gemessen, drei bis vier Wochen früher als im

Mittel der Periode 1996–2015, wobei die Konzentrationen bis Mitte April schwach blieben. Der Anstieg auf starke Belastungen fand im Tessin am 20. April fast 2 Wochen früher statt als im Mittel. An den meisten Stationen der Alpennordseite traten die ersten Gräserpollen Ende April, Anfang Mai regelmässig auf, ungefähr zu einem normalen Termin. Kühles und regnerisches Wetter im Mai und Juni führte dazu, dass das Ansteigen auf starke Belastungen an mehreren Stationen der Alpennordseite sehr spät, nach dem 20. Mai stattfand. Einige Stationen zeigten erst nach dieser Regenperiode ab dem 20. Juni das Maximum des Gräserpollenflugs, ungefähr einen Monat später als normal. Der Saisonbeginn von Beifuss und Ambrosia wird von der Tageslänge mitbestimmt, so dass er jeweils nur wenige Tage variiert.

Dauer der Pollensaison

Weil der Pollenflug von Hasel und Erlen schon im Dezember begann, war die gesamte Zeitspanne mit Pollen in der Luft sehr lang. Sie dauerte von Dezember bis zum Vorkommen der letzten Beifuss- und Ambrosiapollen im September. Bei den einzelnen Pollenarten wiesen Hasel, Erle und Birke eine lange Saison auf, während die Eschenpollensaison kurz war. Starke Belastungen durch Birkenpollen gab es im Tessin bis Mitte Mai, über zwei Wochen länger als im Durchschnitt. Auf der Alpennordseite wurden Anfang Mai zum letzten Mal starke Birkenpollenbelastungen gemessen, rund eine Woche später als normal. Nachdem die Gräser im Mai und Juni schwächer blühten, dauerte die Zeit mit starken Belastungen bei nun günstigen Wetterbedingungen bis im Juli oder sogar August an, an vielen Stationen einige Tage, an anderen Stationen zwei bis drei Wochen länger als im Mittel.

Intensität der Pollensaison

Sehr intensiv war die Pollensaison von Hasel und Erle, gemessen an der Anzahl Tage mit starkem Pollenflug und der Gesamtpollenmenge. An fünf Messstationen (Bern, Genève, Locarno, Lugano Münsterlingen) war es die bisher stärkste Haselpollensaison der Vergleichsperiode und an zwei weiteren Stationen die zweitstärkste. Die Erlenpollensaison war sogar an sechs Messstationen die stärkste der Vergleichsperiode (Basel, Bern, La Chaux-de-Fonds, Lugano, Luzern, Münsterlingen, Zürich) und in Genève die zweitstärkste. Viele Tage mit günstigen Pollenflugbedingungen waren mit ein Grund für diesen intensiven Start der diesjährigen Pollensaison. Die Birkenpollensaison entsprach auf der Alpennordseite mit 16 bis 21 Tagen mit starkem Pollenflug etwa einer mittleren Intensität. Im Tessin, wo ein zweijähriger Blürrhythmus der Birken deutlich ist, war der Pollenflug intensiver und es wurde

in Lugano und Locarno die zweit- und viertstärkste Birkenpollensaison der Vergleichsperiode gemessen. Insgesamt wurden in Locarno 33 und in Lugano 30 Tage mit starkem oder sehr starkem Pollenflug registriert, 11 bis 14 Tage mehr als im Mittel. Hagebuche und Buche blühten in diesem Jahr sehr stark, die Hagebuche gleichzeitig mit der Birke, die Buche ab Mitte April. Sieben Messstationen der MeteoSchweiz in der Deutschschweiz und im Tessin wiesen ein so intensives Hagebuchenpollenjahr auf wie noch nie seit Messbeginn.

Bei der Buche gab es vier Rekorde in der Deutschschweiz. Während dieser Mastjahre, die in Abständen von einigen Jahren auftreten, bilden beide Baumarten sehr viele Blüten und später im Jahr Früchte und Samen aus. Beide Pollenarten haben ähnliche Allergene wie die Birkenpollen. Im Gegensatz dazu war der Pollenflug der Esche sehr schwach. Die Gesamtpollenmenge war bei acht Messstationen die zweit- oder drittschwächste der 20-jährigen Vergleichsperiode. Viele Eschen der Schweiz sind durch den Pilz des Eschentriebsterbens befallen. Die wie im Jahr 2014 erneut sehr schwache Pollenproduktion der Eschen ist möglicherweise eine Auswirkung dieser Krankheit. Die Grünerlenpollensaison war auf der Al-

pennordseite stärker, im Tessin und im Wallis schwächer als normal. Ein sehr markantes Transportereignis fand am 23. Juni 2016 statt, bei dem die aus den Alpen stammenden Pollen selbst in Münsterlingen oder Neuchâtel noch starke Belastungen erreichten.

Die Intensität der Gräserpollensaison lag an vielen Stationen im Bereich des Mittels. Unterdurchschnittliche waren die Konzentrationen im Mai und Juni bei kühlem, regnerischen Wetter. Nur in Buchs, Luzern und im Tessin war die Gräserpollensaison stärker als normal. Im Tessin setzte sich die Intensivierung der Gräserpollensaison, die seit wenigen Jahren beobachtet wird, auch in diesem Jahr fort, wobei der Grund dafür noch unbekannt ist (vgl. Pollenintensität Kap. 5). Durchschnittlich war auch die Beifusspollensaison im Wallis. Während in Genève die Ambrosiapollensaison leicht stärker war als im Mittel, wurden im Tessin wie bereits in den Vorjahren unterdurchschnittliche Pollenmengen gemessen. Der Grund ist das Vorkommen des Ambrosia-Blattkäfers (*Ophraella communa*) in Norditalien und im Tessin, welcher die Ambrosiapflanzen stark schädigt und den Pollenflug reduziert. In Genève und Frankreich ist bisher keine Ausbreitung dieses Käfers bekannt.

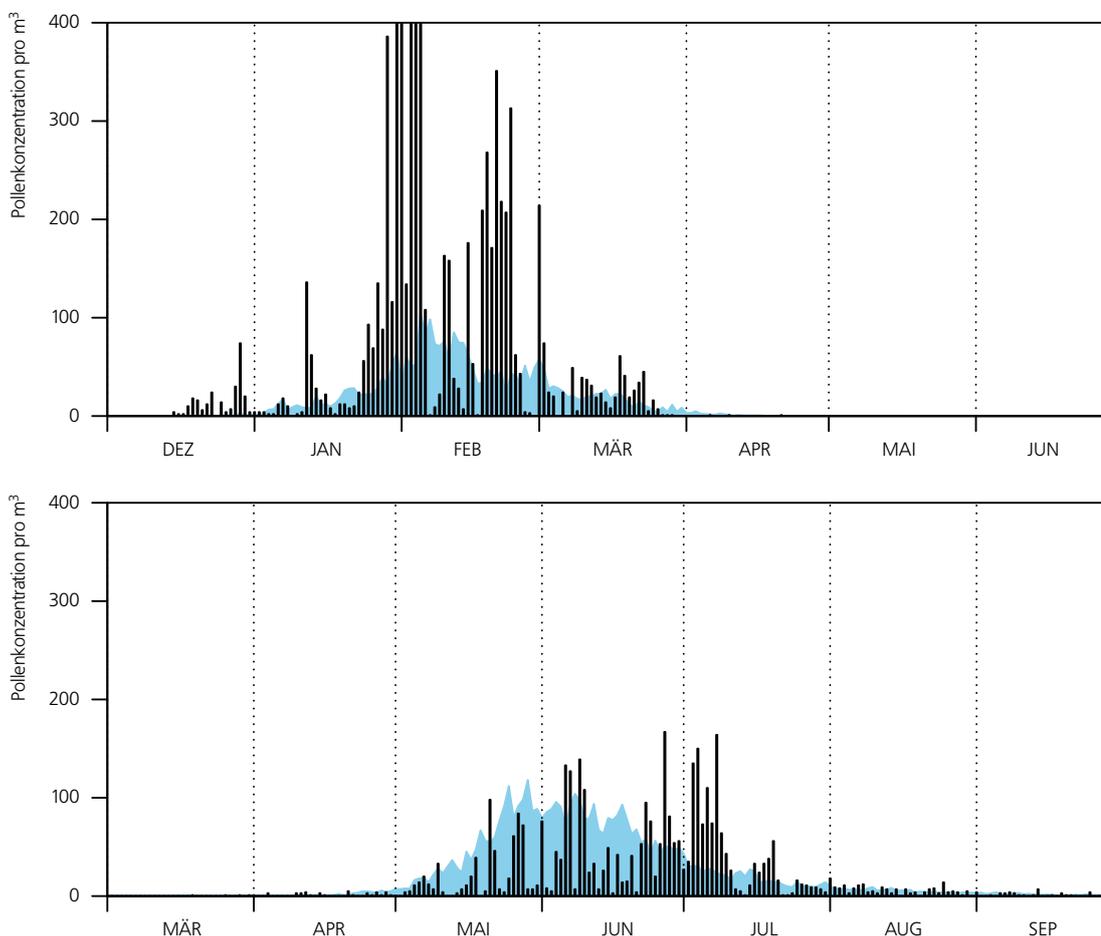


Abbildung 2.15

Verlauf der Haselpollensaison 2016 in Lugano (oben) und der Gräserpollensaison 2016 in Lausanne (unten) im Vergleich zum 20-jährigen Mittel von 1996–2015 (blaue Kurve). Die Haselpollensaison begann im Tessin sehr früh und war intensiv und lang. Die Gräserpollensaison war im Mai und Juni aufgrund der Niederschläge eher schwach. Die maximale Belastung wurde in Lausanne ein Monat später erreicht als normal.





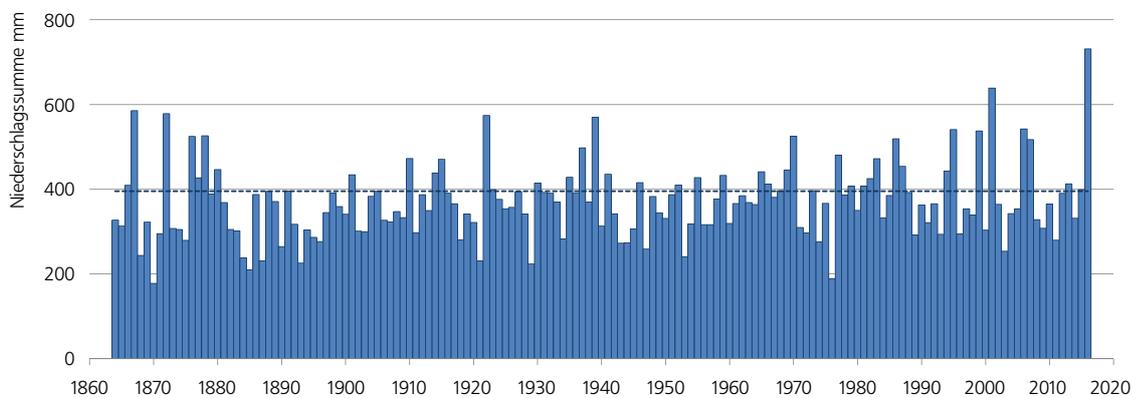
3 | Besonderheiten 2016

3.1 Rekordnässe im ersten Halbjahr

Die Alpennordseite registrierte regional das niederschlagsreichste erste Halbjahr seit Messbeginn im Jahr 1864. Bis zur Jahresmitte lieferten mit Ausnahme des März alle Monate deutlich überdurchschnittliche Niederschlagsmengen. An den Messstandorten Basel, Neuenburg und Luzern stiegen die Niederschlagssummen von Januar bis Juni markant über die bisherigen Rekordmarken in der 153-jährigen Messperiode.

In Basel fielen 732 mm, in Neuenburg 771 mm und in Luzern 875 mm Regen. Basel erhielt damit bereits bis zur Jahresmitte knapp 90 Prozent der normalen Jahresmenge von 842 mm. In Neuchâtel waren es knapp 80 Prozent der normalen Jahresmenge von 978 mm und in Luzern 75 Prozent der normalen Jahresmenge von 1173 mm.

Abbildung 3.1
Erstes Halbjahr (Januar–Juni) mit Rekord-Niederschlagssumme seit dem Messbeginn im Jahr 1864 am Messstandort Basel.
Die unterbrochene Linie zeigt die Norm 1981–2010 (395 mm).



Ostschweizer Nässe in Rekordnähe

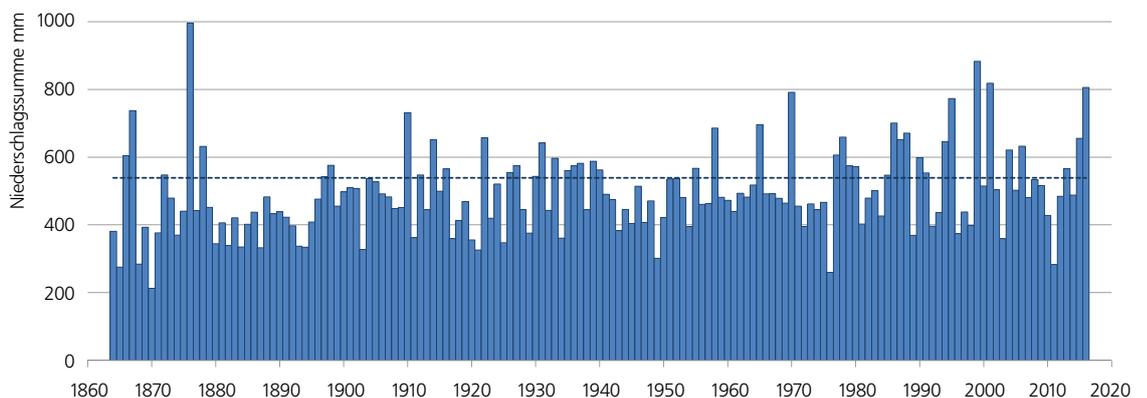
St. Gallen verzeichnete 2016 das zweitnässeste, Zürich und Winterthur das viertnässeste erste Halbjahr seit Messbeginn im 19. Jahrhundert. An diesen Ostschweizer Messstandorten fällt der für lange Zeit alles weit überragende Rekord aus dem Jahr 1876 auf. Auch damals brachten fünf der sechs Monate des ersten Halbjahres überdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Unterdurchschnittlich blieb nur der Januar 1876.

das Doppelte, im Juni 1876 sogar fast das Dreifache der Norm 1981–2010. Der Juni 1876 war in St. Gallen mit 451 mm, in Winterthur mit 285 mm und in Zürich mit 359 mm der deutlich regenreichste Monat in der Messgeschichte.

Speziell nass waren im Jahr 1876 der März und der Juni. Im März 1876 regnete es an diesen Messstandorten mehr als

Bereits im März 1876 gab es Hochwasserschäden von Basel über den Kanton Aargau bis in die Ostschweiz. Gegen Mitte Juni 1876 arteten Starkniederschläge in der Zentral- und Ostschweiz zur einer der massivsten historischen Hochwasserkatastrophen aus [34].

Abbildung 3.1
Niederschlagssumme erstes Halbjahr (Januar–Juni) am Messstandort Zürich-Fluntern 1864–2016. Die unterbrochene Linie zeigt die Norm 1981–2010 (539 mm).



3.2 Föhnrekorde im November

Der Föhn zeigt sich auch an klassischen Föhnstandorten nicht immer gleich deutlich. Während er in Altdorf mit milder und sehr trockener Luft meist klar zum Ausdruck kommt, ist die Föhnluft in Vaduz oft kühler und nicht ganz so trocken. Meteo-Schweiz erfasst die Föhnbedingungen mit drei Index-Werten (automatische Föhnbestimmung): Index 2 bedeutet deutlicher Föhn. Die für den betreffenden Standort definierten milden und trockenen Bedingungen sind damit vollständig erfüllt. Index 1 bezeichnet Mischluft. Der Föhnluft ist kühlfeuchte Luft beigemischt, die aus Seitentälern zufließt. Die Föhnkriterien sind dann nur teilweise erfüllt. Index 0 bedeutet kein Föhn. Eine Föhnanalyse kann strikt nach Index 2 (deutlicher Föhn) durchgeführt werden. Für Föhnstandorte wie Altdorf ist dies

unproblematisch, da bei Föhn praktisch immer Index 2 erfüllt ist. Eine solche Analyse wird der Natur jedoch nicht überall gerecht. An Föhnstandorten wie Vaduz mit häufiger Mischluft während Föhn ist der Index 2 eine zu enge Definition. Die Analyse mit Index 1 und 2 bringt für Vaduz neue Erkenntnisse.

Der Föhn entwickelte im November 2016 eine aussergewöhnliche Ausdauer. An den Messstandorten Vaduz und Altdorf wehte er vom 20. bis am 24. mehr als vier Tage ohne Unterbruch. Für Vaduz war es mit 108.2 Stunden die längste, für Altdorf mit 109.3 Stunden die zweitlängste ununterbrochene Föhnperiode seit Beginn der automatischen Messungen im Jahr 1981.

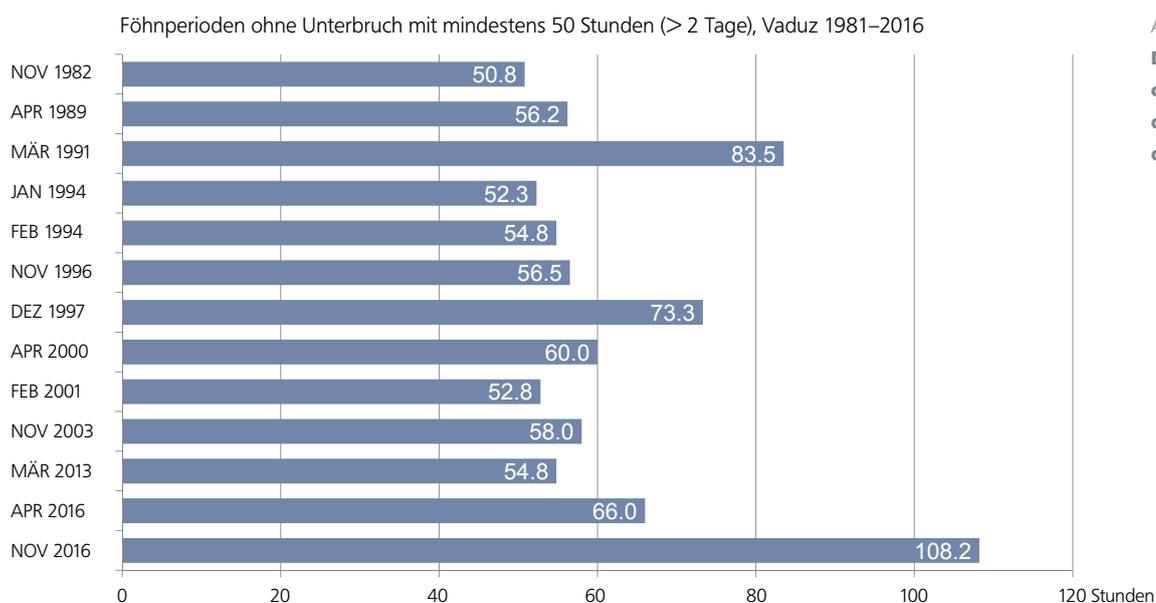
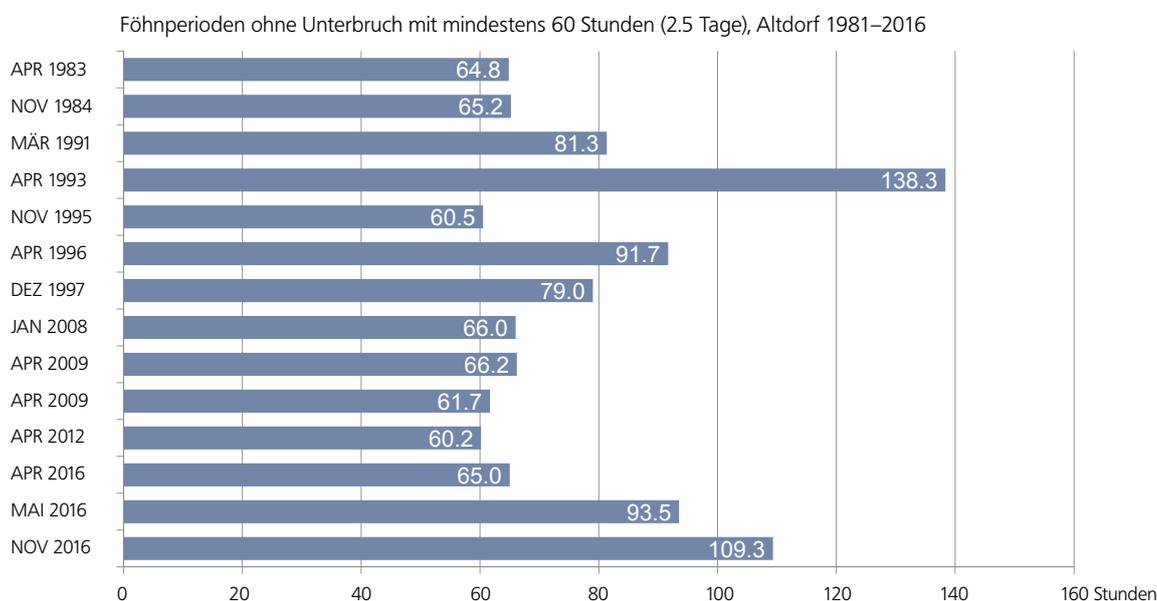


Abbildung 3.3

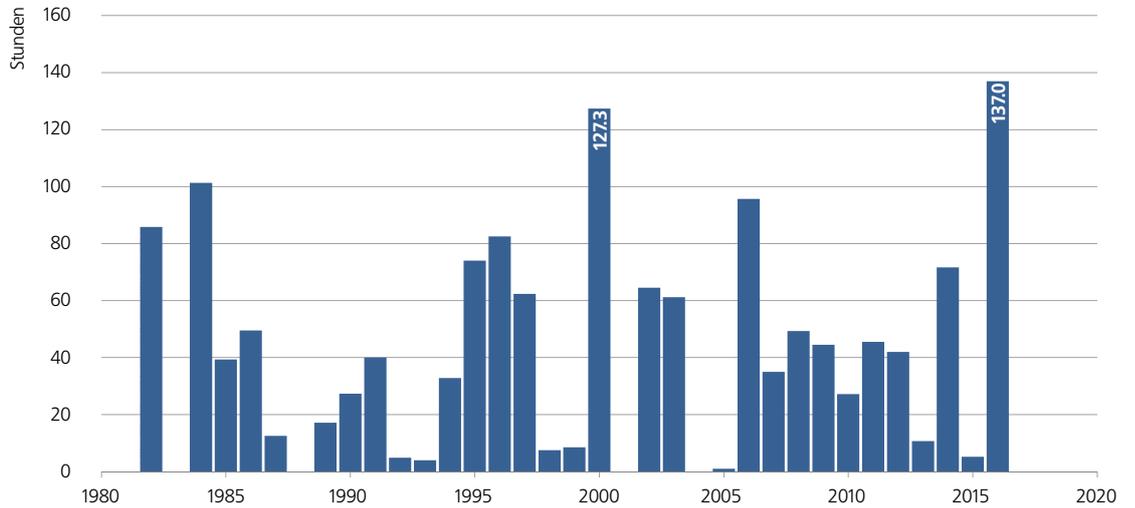
Die längsten ununterbrochenen Föhnperioden an den Messstandorten Vaduz und Altdorf.



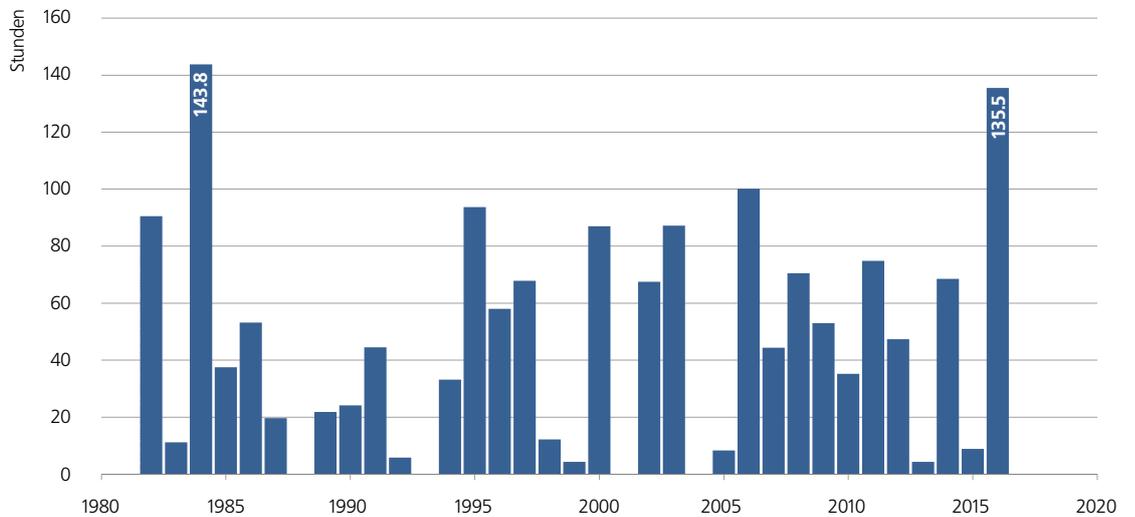
Mit den zwei weiteren Föhnperioden am 5. und am 8. November summierten sich die Föhnstunden im November 2016 in Vaduz auf die November-Rekordzahl von 137. In Altdorf waren es insgesamt 135.5 Föhnstunden, Rang 2 hinter dem Rekord-November 1984. An beiden Messstandorten ist es erst der zweite November mit deutlich über 100 Föhnstunden seit Beginn der automatischen Messungen im Jahr 1981.

Föhnstunden November, Vaduz, 1981–2016

Abbildung 3.4
**Föhnstunden im
 November 1981–2016
 an den Messstandorten
 Vaduz und Altdorf.**



Föhnstunden November, Altdorf, 1981–2016



3.3 Dezember mit Rekord-Trockenheit

Das Mittelland der Schweiz erlebte den niederschlagsärmsten Dezember seit Messbeginn 1864. Vom Genfersee bis zum Bodensee fielen im Durchschnitt nur gerade 2.0 mm Niederschlag. In der westlichen Hälfte der Mittellandes gab es gebietsweise gar keinen Dezemberrniederschlag. Ursache der Niederschlagsarmut war beständiges Hochdruckwetter.

Im langjährigen Durchschnitt (Norm 1981–2010) erhält das Mittelland eine Dezembermenge von knapp 90 mm. Dezember mit weniger als 10 Prozent der Norm sind extrem selten. Während der 153-jährigen Messperiode waren neben dem aktuellen Dezember nur die beiden Dezember 1963 mit 4.8 mm und 1864 mit 6.0 mm derart trocken. Mit seinen nur 2.0 mm Niederschlag erklimmt der Dezember 2016 das Podest der dreitrockensten Monate überhaupt. Weniger Niederschlag brachten im Mittelland der Schweiz nur der September 1865 mit 1.7 mm und der April 1893 mit 1.1 mm.

Niederschlagssumme Dezember, Mittelland, 1864–2016

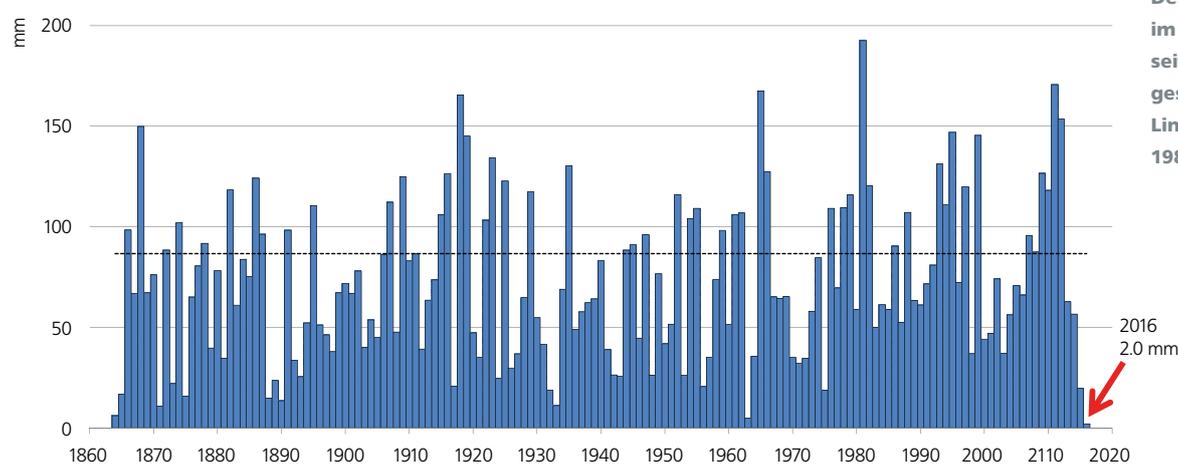


Abbildung 3.5

Dezemberrniederschlag im Mittelland der Schweiz seit Messbeginn. Die gestrichelte schwarze Linie zeigt die Norm 1981–2010 (87 mm).

Für die Niederschlagsanalyse sind im Mittelland der Schweiz 11 Messreihen mit homogenen Niederschlags-Daten bis 1864 zurück verfügbar. Die Daten machen deutlich, dass sich im Mittelland in den letzten Jahrzehnten keine Austrocknung des Dezembers abzeichnet. Von der Normperiode 1961–1990 zur Normperiode 1981–2010 hat sich die Niederschlagssumme im Dezember von durchschnittlich 78 mm auf durchschnittlich 87 mm erhöht.

Auch die Alpensüdseite registrierte einen extrem trockenen Dezember. In Lugano gab es nur 1.4 mm, in Locarno- Monti nur 3.4 mm Niederschlag. Gegen Ende Monat brachen im Tessin und im Misox mehrere Waldbrände aus. Auf der Alpensüdseite sind Dezember mit nur wenigen mm Niederschlag etwa alle 15 bis 20 Jahre zu beobachten.





4| Globales Klima und Wetterereignisse

44

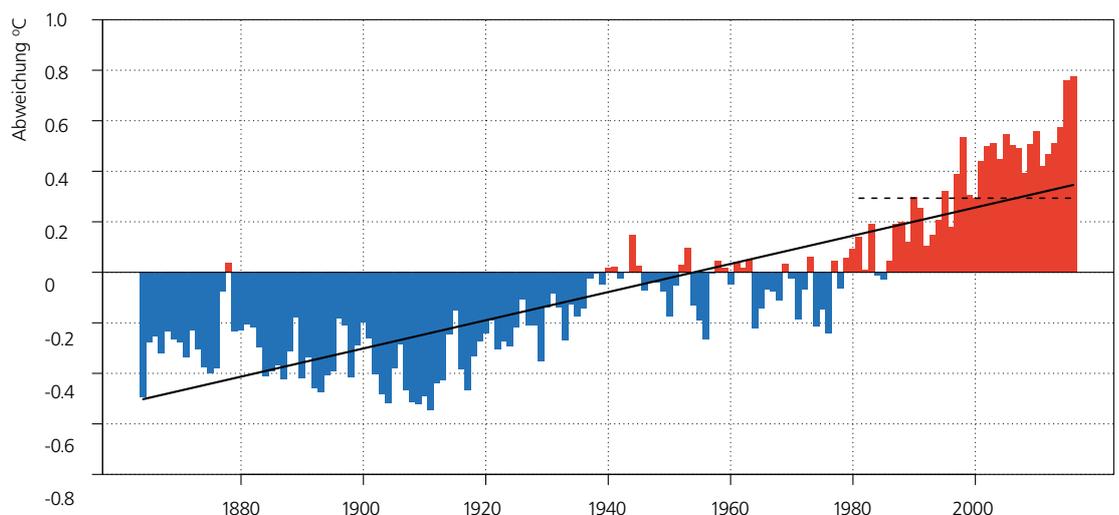
Weltweit war das Jahr 2016 zusammen mit dem Vorjahr 2015 das deutlich wärmste seit Messbeginn 1850. Eine überdurchschnittliche Jahresmitteltemperatur wurden auf dem grössten Teil der Land- und Wasserflächen gemessen. Grössere Gebiete mit unterdurchschnittlicher Jahresmitteltemperatur waren vor allem im nördlichen Pazifik, im zentralen Nordatlantik, im südlichen Südamerika sowie in den Meeresgebieten rund um die Antarktis zu finden. Die folgende Zusammenstellung basiert hauptsächlich auf dem jährlichen Klimastatus-Bericht der Welt Meteorologie Organisation (WMO) [25].

4.1 Erneut globale Rekordwärme

Gemäss dem englischen globalen Datensatz (University of East Anglia) lag die globale Jahrestemperatur 2016 0.77 Grad über der Norm 1961–1990. Vergleichbar hoch war der letztjährige Wert mit 0.76 Grad über der Norm. Die beiden Rekordjahre 2015 und 2016 setzen eine neue Grenze in der ab 1850 verfügbaren globalen Temperatur-Messreihe. Die Wärmeüberschüsse der bisherigen Rekordjahre bewegten sich im Bereich von 0.55 Grad über der Norm 1961–1990.

Die grössten positiven Abweichungen mit 2 bis über 5 Grad im Vergleich zur Norm 1961–1990 zeigte ein umfangreiches Gebiet von Osteuropa über Zentralasien bis weit nach Sibirien, die Region von Nordwest-Kanada bis Alaska sowie Grönland. Wie in den Vorjahren betraf die überdurchschnittliche Wärme die Nordhemisphäre deutlich stärker als die Südhemisphäre. Die grössten negativen Abweichungen mit -0.5 bis -1 Grad im Vergleich zur Norm 1961–1990 ergaben die Messungen in den polaren Meeresgebieten 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 Linie zeigt den Temperaturtrend von 0.56 °C/100 Jahre. Die gestrichelte Linie zeigt die Norm 1981–2010.



Daten: University of East Anglia, 2017 [14], neuer Datensatz HadCRUT4-gl.

Die Trends der globalen Jahrestemperatur zeigt Tabelle 4.1. Die Gesamtänderung der globalen Temperatur (Land und Wasser) von 1864 bis 2016 beträgt +0.86 Grad. Die globale Durchschnittstemperatur liegt bei rund 14 °C. Das übergeordnete Muster in der langjährigen globalen Temperaturentwicklung mit der Häufung sehr warmer Jahre in jüngster Zeit findet sich auch in der Temperaturreihe der Schweiz (Abbildung 5.1). Die Temperaturänderung in der Schweiz verläuft also im Wesentlichen parallel zur globalen Temperaturentwicklung.

Tabelle 4.1

Trends der globalen Jahrestemperatur in den Perioden 1864–2016, 1900–2016 und 1961–2016, berechnet für die Land- und Wasseroberflächen insgesamt.

Periode	°C/10 Jahre	°C/100 Jahre
1864–2016	+0.06	+0.56
1901–2016	+0.08	+0.79
1961–2016	+0.15	

Daten: University of East Anglia, 2017 [14], neuer Datensatz CRUTEM4-gl.

4.2 El Niño und La Niña

El Niño entwickelte sich gegen Ende 2015 zum bisher drittstärksten Ereignis der letzten 65 Jahre. Bis im April 2016 blieb El Niño in kräftiger Ausprägung (Warmphase). Nach der anschließenden Abschwächung stellten sich ab September 2016 La Niña-Bedingungen ein (Kaltphase). El Niño Ereignisse sind im langjährigen Durchschnitt etwa alle vier bis sieben Jahre zu erwarten. Die seltenen starken Ereignisse wie 2015/2016 stehen dabei den weit häufigeren schwachen Ereignissen gegenüber.

El Niño, bzw. die El Niño Southern Oscillation (ENSO), ist bei kräftiger Ausprägung einer der Hauptfaktoren, welcher die jährlichen Schwankungen der globalen Temperatur verursacht. El Niño nimmt Einfluss auf die globale atmosphärische Zirkulation, wodurch sich weltweit veränderte Wettermuster ergeben und sich die globale Temperatur erhöht. Experten führen den massiven globalen Wärmerekord 2015 und 2016 auf die kombinierte Wirkung der anhaltenden anthropogenen Klimaerwärmung und des starken El Niño Ereignisses zurück [25].

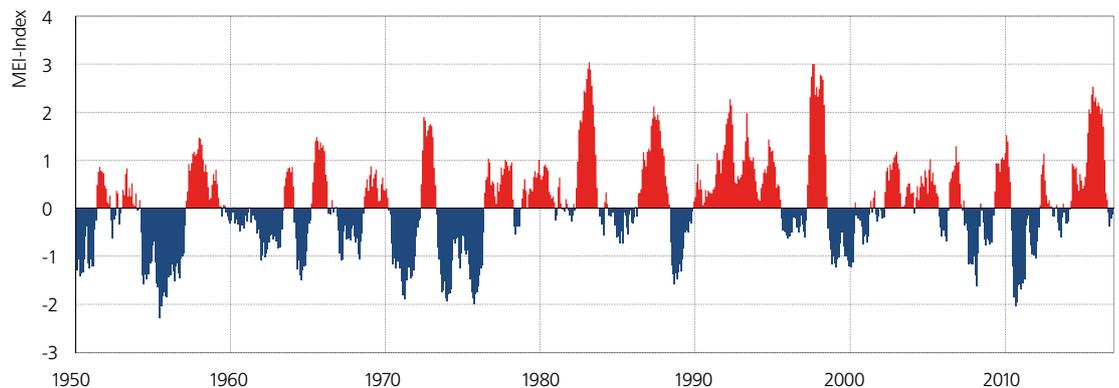


Abbildung 4.2

Multivariater El Niño Southern Oscillation Index (MEI) 1950–2016. 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-, Nord- und 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

In vielen Gebieten der Erde herrschte 2016 grosse Trockenheit. Experten führen dies vor allem auf die Wirkung von El Niño zurück. Am stärksten traf es das südliche Afrika. Es war bereits die zweite extrem niederschlagsarme Regenzeit in Folge. Die Ernteeinbussen lagen über 10 Prozent. Davon betroffen waren rund 17 Millionen Menschen. Neben der Trockenheit registrierte das südliche Afrika eine massive sommerliche Hitzewelle. Am 7. Januar stieg die Maximumtemperatur in Pretoria auf 42.7 Grad, in Johannesburg auf 38.9 Grad. Beide Werte lagen 3 Grad über der bisherigen Rekordtemperatur.

Extreme Hitze gab es in Südostasien vor dem Einsetzen des Monsuns. Thailand registrierte im April mit 44.6 Grad einen neuen Landesrekord. In Indien stieg die Temperatur im Mai auf den neuen Rekord von 51.0 Grad. Einen weiteren neuen Landesrekord gab es im Iran mit 53.0 Grad.

Die kräftigste Kältewelle überrollte Ostasien. In Kanton in Südchina fiel der erste Schnee seit 1967. In Hong Kong sank die Temperatur auf den ungewohnt tiefen Wert von 3.1 Grad. Es war die sechstiefste Temperatur seit Messbeginn.

Einen speziellen Wechsel der Niederschlags-Extreme erlebte Tasmanien. Das Gebiet registrierte die niederschlagsärmste September-April-Periode und anschliessend die niederschlagsreichste Mai-Oktober-Periode seit Messbeginn. Im Yangtse-Einzugsgebiet in China führten anhaltend hohe Niederschlagsmengen von April bis Juli zu den grössten Überschwemmungen seit 1999.

Die nordatlantische tropische Wirbelsturmaktivität lag über der Norm 1981–2010. Es war die aktivste Saison seit 2012. Der stärkste und teuerste Sturm mit den meisten Opfern war Hurrikan Matthew, welcher vor allem in Haiti grosse Zerstörungen hinterliess. Er kostete über 1600 Menschen das Leben und die Schäden werden auf 15 Milliarden US-Dollar geschätzt. Im Ostpazifik bewegte sich die tropische Wirbelsturmaktivität ebenfalls über der Norm. Die Saison war jedoch weniger aktiv als in den beiden vergangenen Jahren. Im Nordwestpazifik lag die Wirbelsturmaktivität im normalen Bereich.

4.4 Arktisches und antarktisches Meereis

Die Fläche des arktischen Meereises schrumpfte während der sommerlichen Schmelzperiode 2016 mit einem Minimum von 4.14 Mio km² im September auf die zweitgeringste Ausdehnung in der verfügbaren Satelliten-Messreihe seit 1979. Das winterliche Maximum von 14.52 Mio km² gegen Ende März 2016 war zusammen mit dem Vorjahr das geringste in der Messreihe.

Das sommerliche Minimum der antarktischen Meereisfläche gegen Ende Februar 2016 lag mit 2.60 Mio km² etwas unter dem Durchschnitt. Das winterliche Maximum Anfang September 2016 blieb mit 18.44 Mio km² ebenfalls leicht unter dem Durchschnitt. Von Mitte September bis zum Jahresende bewegte sich die antarktische Meereisfläche durchwegs deutlich unter dem jahreszeitlichen Durchschnitt.





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.

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

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

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. Zusätzlich werden hier weitere für die Schweiz spezifische

Klimaindikatoren diskutiert, unter anderem die für ein Alpenland wichtige Schneebedeckung.

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.

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)	

Tabelle 5.2

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

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/home/klima/gegenwart/klima-indikatoren.html>

Temperatur

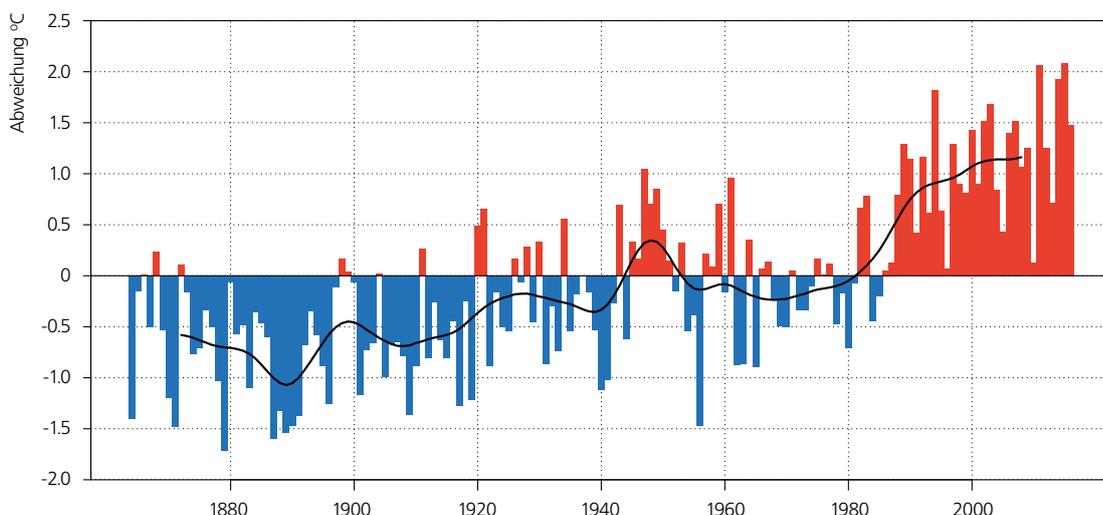
Die Jahrestemperatur 2016 lag in der Schweiz im landesweiten Mittel 1.5 Grad über der Norm 1961–1990. Damit gehört das Jahr 2016 zu den zehn wärmsten Jahren seit Messbeginn 1864.

Der Winter 2015/16 war mit 3.1 Grad über der Norm der zweitwärmste in der 153-jährigen Messreihe. Der niederschlagsreiche Frühling 2016 zeigte sich mit 0.8 Grad über der Norm nicht speziell mild. Der Sommer 2016 belegt mit 1.8 Grad über der Norm Rang elf in der Messreihe seit 1864. Die Herbsttemperatur schliesslich bewegte sich mit 0.9 Grad über der Norm 1961–1990 in einem moderaten Bereich (Abbildung 5.2).

Deutlich zu mild mit 2 Grad oder mehr über der Norm waren die sechs Monate Januar, Februar, Juli, August, September und Dezember. Die drei Monate April, Juni und November lagen 1 bis 1.6 Grad über der Norm. Die beiden Monate März und Mai brachten einen Überschuss von weniger als 1 Grad. Der Oktober blieb 0.7 Grad unter der Norm.

Der langjährige gesamtschweizerische Trend der Jahrestemperatur liegt bei $+1.3\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ Jahre}$, was einer Gesamtänderung von $+2\text{ Grad}$ entspricht (1864 bis 2016). Die saisonalen Trends 1864 bis 2016 liegen im Bereich von $+1.2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ Jahre}$ und $+1.4\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ Jahre}$. 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 20-jährige, gewichtete Mittel.



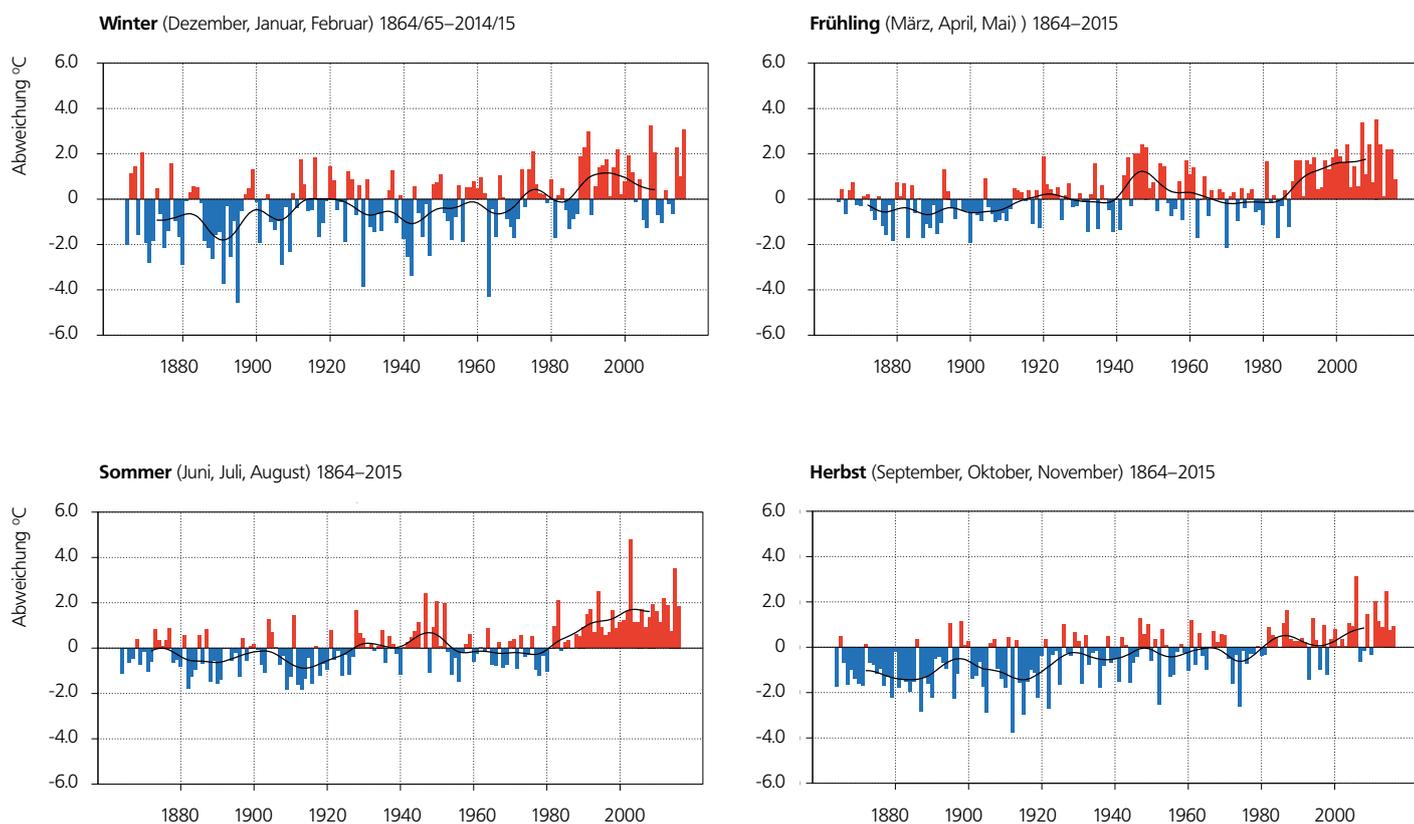


Abbildung 5.2

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). Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige, gewichtete Mittel.

Tabelle 5.3

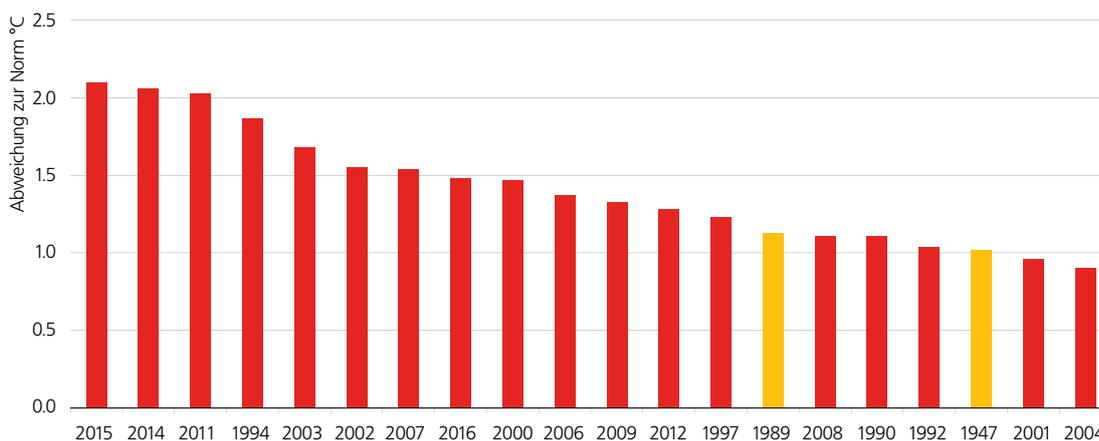
Saisonale und jährliche Temperaturtrends in Grad Celsius pro 10 Jahre in den Perioden 1864–2016, 1901–2016 und 1961–2016, berechnet jeweils für die ganze Schweiz. Die Signifikanz-Angaben werden im Abschnitt Temperatur unter 5.3 Datengrundlagen und Methoden erläutert.

Periode	Frühling März–Mai °C	Sommer Juni–August °C	Herbst September–November °C	Winter Dezember–Februar °C	Jahr Januar–Dezember °C
1864–2016	+0.12 stark signifikant	+0.13 stark signifikant	+0.14 stark signifikant	+0.12 stark signifikant	+0.13 stark signifikant
1901–2016	+0.16 stark signifikant	+0.19 stark signifikant	+0.18 stark signifikant	+0.15 stark signifikant	+0.17 stark signifikant
1961–2016	+0.47 stark signifikant	+0.49 stark signifikant	+0.24 stark signifikant	+0.30 signifikant	+0.38 stark signifikant

Jahre mit einer stark überdurchschnittlichen Temperatur haben sich in der Schweiz ab Ende der 1980er Jahre gehäuft. Von den 20 wärmsten Jahren seit Messbeginn 1864 sind 18 seit 1990 aufgetreten (Abbildung 5.3). Das Muster der langjährigen Temperaturentwicklung in der Schweiz mit der Häufung sehr warmer Jahre in jüngster Zeit findet sich auch in der globalen Temperaturreihe (Abbildung 4.1). Die Temperaturänderung in der Schweiz verläuft also im Wesentlichen parallel zur globalen Temperaturentwicklung.

Ohne global wirksame Interventionsmassnahmen wird für die Schweiz bis 2050 eine weitere deutliche Erwärmung erwartet. Bis 2099 soll die Zunahme der jahreszeitlichen Mitteltemperatur laut den aktuellen Klimaszenarien, ausgehend vom Mittel 1981–2010, rund 3.2 bis 4.8 Grad betragen. Die stärkste Erwärmung von über 4 Grad wird für den Sommer berechnet, wobei in den südlichen Landesteilen die Werte bis gegen +5°C gehen können [23].

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.



Auf der Web-Seite der MeteoSchweiz finden sich zusätzliche Informationen zur Temperaturentwicklung in der Schweiz:
<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/gegenwart/klima-trends.html>
<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/gegenwart/klima-trends/trends-an-stationen.html>

Frosttage

Als Folge der vorwiegend milden Wintermonate lag die Anzahl Frosttage 2016 an allen hier aufgeführten Messstandorten unter dem Durchschnitt. In Bern im nördlichen Flachland waren es 95 (Norm 115), in Sion im Wallis 82 (Norm 97), in Davos in den Ostalpen 184 (Norm 210) und in Lugano in der Südschweiz 10 (Norm 35).

Mit der kräftigen Wintererwärmung der letzten Jahrzehnte ist in den Messreihen Bern, Davos und Lugano ein signifikanter Rückgang der Anzahl Frosttage festzustellen. Pro Jahrzehnt werden hier rund vier bis sieben Frosttage weniger verzeichnet. Keine signifikante Veränderung bei der Anzahl Frosttage gibt es in der Messreihe von Sion.

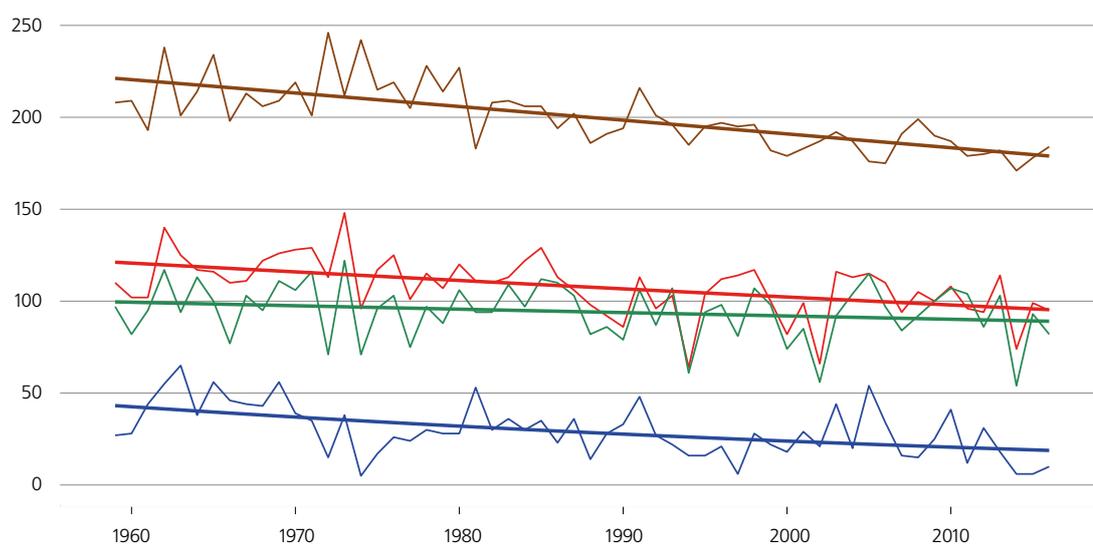


Abbildung 5.4

Zeitlicher Verlauf der Frosttage (Tage des Kalenderjahres mit minimaler Temperatur < 0 °C) für die Stationen Bern, Sion, Davos und Lugano.

■ Bern-Zollikofen
■ Sion
■ Davos
■ Lugano

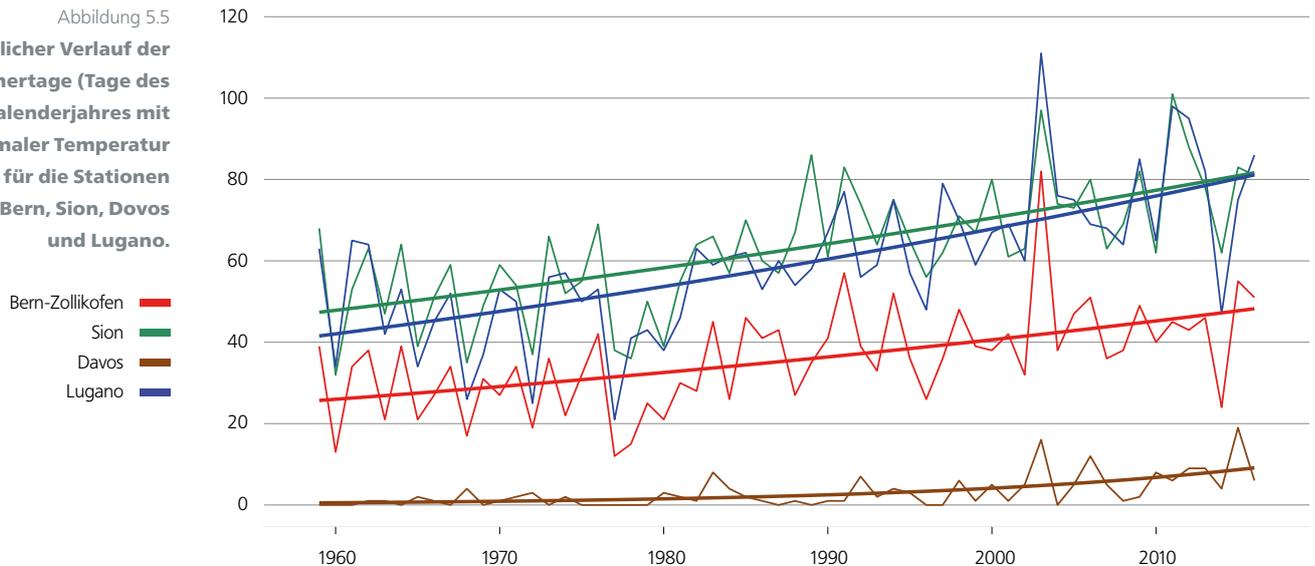
Ohne global wirksame Interventionsmassnahmen werden laut den aktuellen Klimaszenarien für die Periode 2077-2099 in der Region Bern 25 bis 50, in der Region Sion um 50 und in der Region Davos um 125 bis 150 Frosttage erwartet. In der Region Lugano werden praktisch keine Frosttage mehr auftreten [32].

Sommertage

Vor allem die überdurchschnittliche Wärme Ende August und im Monat September führten zu einer überdurchschnittlichen Anzahl Sommertage. In Bern im nördlichen Flachland waren es 51 (Norm 30), in Sion im Wallis 81 (Norm 55) und in Lugano in der Südschweiz 86 (Norm 50). In Davos in den Ostalpen stieg die Anzahl Sommertage auf 6 (Norm 1).

Mit der kräftigen Sommererwärmung seit den 1980-er Jahren ist die Zunahme der Anzahl Sommertage vor allem in den tieferen Lagen der Schweiz 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 auf 1600 m ü.M. sind es zwei Sommertage mehr pro Jahrzehnt.

Abbildung 5.5
Zeitlicher Verlauf der Sommertage (Tage des Kalenderjahres mit maximaler Temperatur $\geq 25^\circ\text{C}$) für die Stationen Bern, Sion, Davos und Lugano.



Ohne global wirksame Interventionsmassnahmen werden laut den aktuellen Klimaszenarien für die Periode 2077–2099 in der Region Bern 60 bis 80, in den Regionen Sion und Lugano über 100 und in der Region Davos um 15 Sommertage erwartet [32].

Nullgradgrenze

Die klimatologische Nullgradgrenze (hier bestimmt aus Bodennessstationen als Mittel für die ganze Schweiz, siehe Anhang) liegt im Durchschnitt der Jahre 1961 bis 2016 im Winter (Monate Dezember bis Februar) bei rund 770 m ü.M., im Frühling (Monate März bis Mai) bei um 1960 m ü.M., im Sommer (Monate Juni bis August) bei etwa 3360 m ü.M. und im Herbst (Monate September bis November) bei ungefähr 2440 m ü.M.

Die Nullgradgrenze steigt für den Zeitraum 1961 bis 2016 in allen Jahreszeiten signifikant an (p -Werte < 0.05). Der Anstieg bewegt sich je nach Jahreszeit zwischen knapp 40 (Herbst) und gut 70 m pro Jahrzehnt (Frühling und Sommer). Diese Werte entsprechen einem Anstieg der Nullgradgrenze von rund 150 bis 200 Höhenmetern pro Grad Celsius Erwärmung.

Im Winter 2015/2016 lag die Nullgradgrenze mit knapp 1300 m ü.M. über 300 m über dem linearen Trend 1961–2016. Nur im Winter 2006/2007 wurden ähnlich hohe Werte seit 1961 verzeichnet. Im Frühling 2016 lag die Nullgradgrenze mit knapp 2000 m ü.M. deutlich unter dem Wert des linearen Trends von 1961 bis 2016 aber immer noch etwas über dem Durchschnitt der Reihe seit 1961. Der Sommer 2016 lag mit einer klimatologischen Nullgradgrenze von etwas über 3500 m ü.M. recht genau auf dem Wert des langfristigen Trends. Ähnliches gilt für die Nullgradgrenze im Herbst 2016 mit gut 2500 m ü.M.

Die jahreszeitliche Höhenlage der Nullgradgrenze zeichnete 2016 recht gut die mittleren Temperaturen der Jahreszeiten nach (überwiegend sehr milder Winter, normal warmer Frühling, sowie leicht zu warmer Sommer und Herbst).

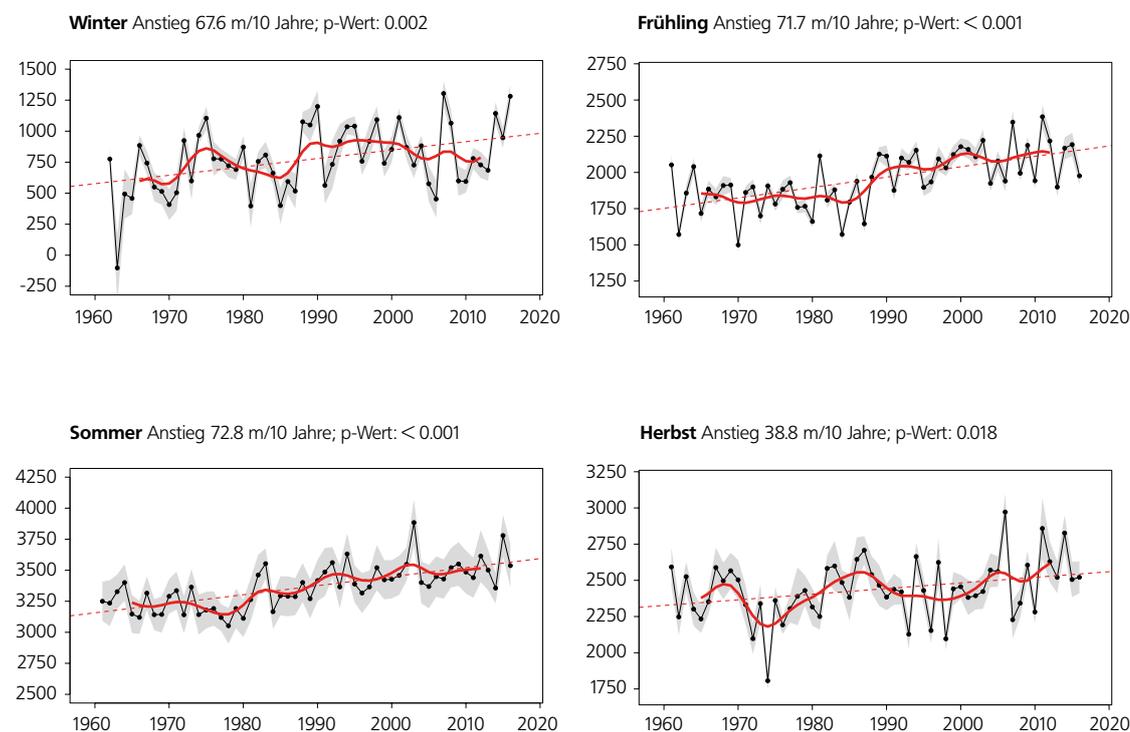
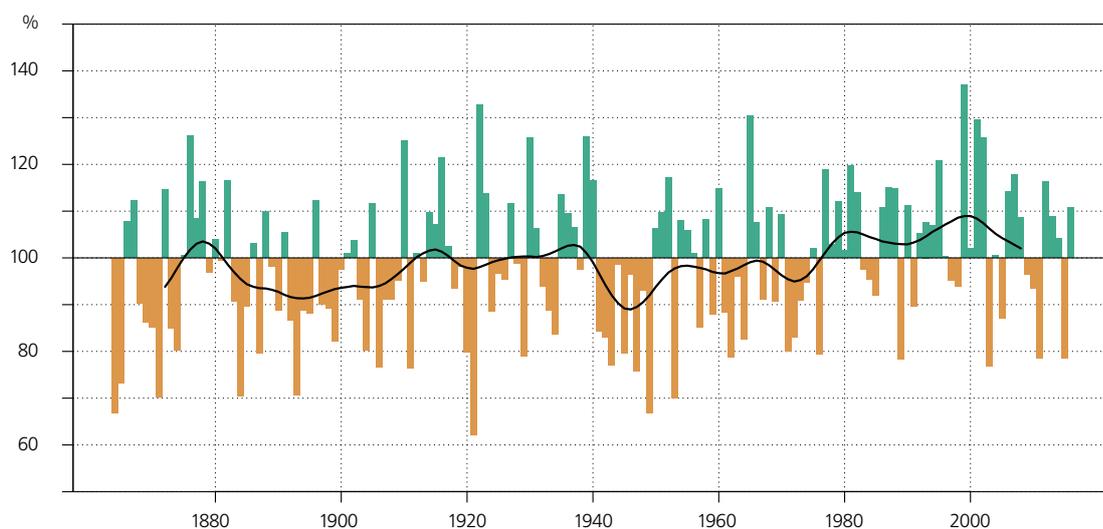


Abbildung 5.6
Verlauf der saisonalen Nullgradgrenze als Mittel für die ganze Schweiz (schwarze Linie und Punkte in m ü.M.) mit linearem Trend (rot gestrichelt), 20-jährigem gewichtetem Mittel (dicke rote Kurve) und den Daten zum Trend (Änderung und Signifikanz). Der graue Bereich zeigt die Unsicherheit der Nullgradgrenzbestimmung.

Die Niederschlagsmenge erreichte im Jahr 2016 im nördlichen Flachland (Mittelland) 111 Prozent der Norm (Abbildung 5.7). Dabei lieferte das erste Halbjahr auf der Alpennordseite regional die höchsten Niederschlagssummen seit Messbeginn im Jahr 1864 (Kap. 3.1). Im Herbst (Abbildung 5.8) und vor allem im Dezember fielen unterdurchschnittliche Mengen. Der Dezember war im nördlichen Flachland verbreitet der niederschlagsärmste seit Messbeginn (Kap. 3.3). In der Südschweiz lag die Niederschlagsmenge im Jahr 2016 mit 99 Prozent im Bereich der Norm.

Im Mittelland ist ein langfristiger Niederschlagstrend (1864–2016) von +7.0%/100 Jahre zu beobachten (+0.7%/10 Jahre). Saisonal zeigt sich jedoch nur im Winter ein signifikanter Trend (+2.1%/100 Jahre bzw. +2.1%/10 Jahre). In den Jahreszeiten Frühling, Sommer und Herbst sind keine langfristigen Trends (1864–2016) 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 5.4. und Tabelle 5.5.

Abbildung 5.7
Langjähriger Verlauf der Jahres-Niederschlagssummen gemittelt über das Mittelland. Dargestellt ist das Verhältnis der Jahres-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 20-jährige gewichtete Mittel.



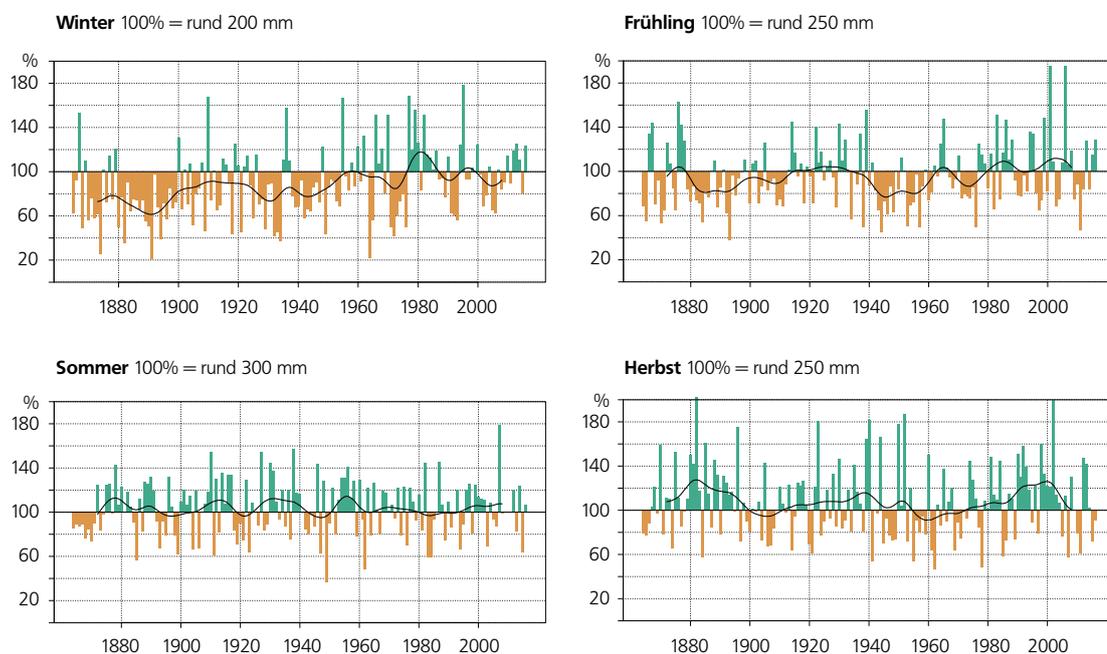


Abbildung 5.8

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 20-jährige gewichtete Mittel. Man beachte, dass die Sommer 2008 bis 2011 100% Niederschlag lieferten, was in der Grafik als «fehlende» Säulen zum Ausdruck kommt.

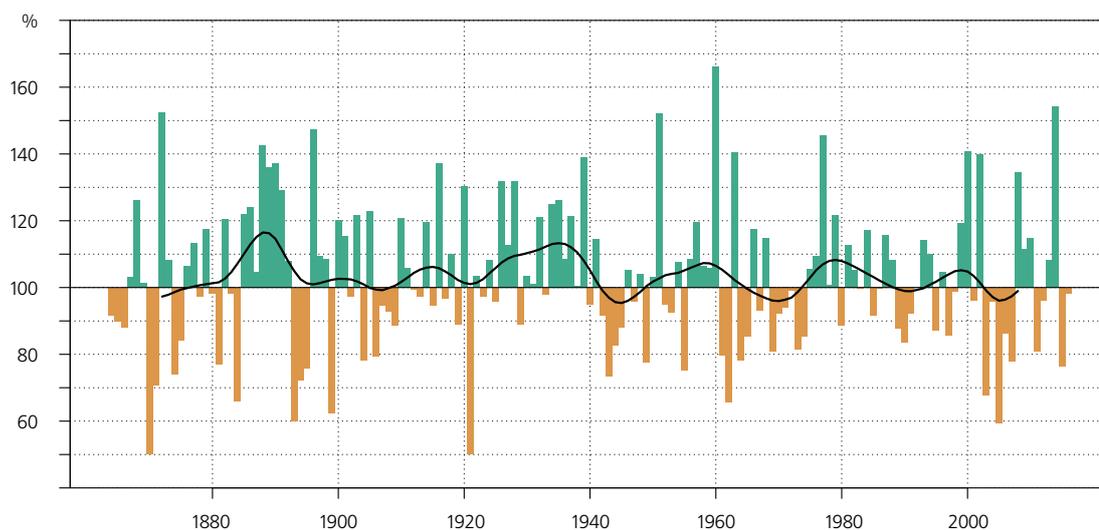


Abbildung 5.9

Langjähriger Verlauf der Jahres-Niederschlagssummen in der Südschweiz. Dargestellt ist das Verhältnis der Jahres-Niederschlagssummen zur Norm 1961–1990 (grün = positive Abweichungen, braun = negative Abweichungen). Als Datenbasis dienen die homogenen Messreihen Lugano und Locarno-Monti. Die schwarze Kurve zeigt das 20-jährige gewichtete Mittel.

Abbildung 5.10

Langjähriger Verlauf der jahreszeitlichen Niederschlagssummen in der Südschweiz. Als Datenbasis dienen die homogenen Messreihen Lugano und Locarno-Monti. Dargestellt ist das Verhältnis der saisonalen Niederschlagssummen zur Norm 1961–1990 (grün = positive Abweichungen, braun = negative Abweichungen). Die schwarze Kurve zeigt das 20-jährige gewichtete Mittel.

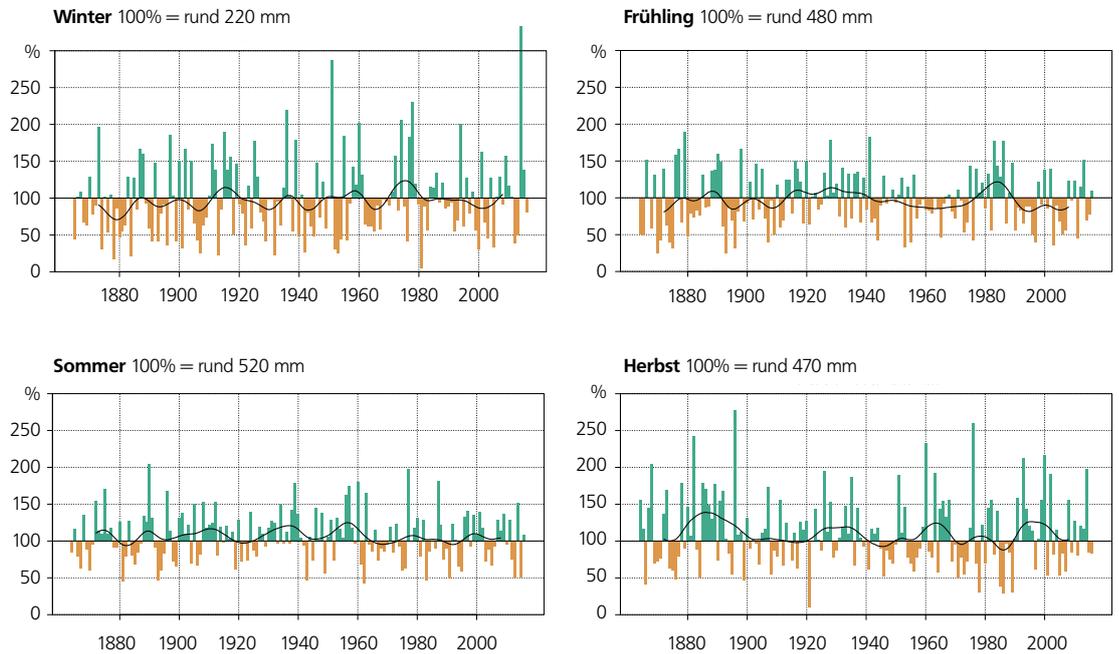


Tabelle 5.4

Saisonale und jährliche Niederschlagstrends in Prozent pro 10 Jahre in den Perioden 1864–2016, 1901–2016 und 1961–2016, berechnet für das Mittelland. Die Angaben signifikant, stark signifikant und nicht signifikant werden im Abschnitt Niederschlag unter 5.3 Datengrundlagen und Methoden erläutert.

Periode	Frühling März–Mai %	Sommer Juni–August %	Herbst September–November %	Winter Dezember–Februar %	Jahr Januar–Dezember %
1864–2016	+0.8 nicht signifikant	+0.1 nicht signifikant	-0.1	+2.1 stark signifikant	+0.7 signifikant
1901–2016	+0.5 nicht signifikant	-0.5 nicht signifikant	+0.9 nicht signifikant	+1.7 signifikant	+0.7 nicht signifikant
1961–2016	-0.4 nicht signifikant	+0.3 nicht signifikant	+3.7 nicht signifikant	+0.7 nicht signifikant	+1.6 nicht signifikant

Tabelle 5.5

Saisonale und jährliche Niederschlagstrends in Prozent pro 10 Jahre in den Perioden 1864–2016, 1901–2016 und 1961–2016, berechnet für die Südschweiz. Die Angabe nicht signifikant wird im Abschnitt Niederschlag unter 5.3 Datengrundlagen und Methoden erläutert.

Periode	Frühling März–Mai %	Sommer Juni–August %	Herbst September–November %	Winter Dezember–Februar %	Jahr Januar–Dezember %
1864–2016	+0.2 nicht signifikant	-0.1 nicht signifikant	-0.5 nicht signifikant	+1.0 nicht signifikant	-0.2 nicht signifikant
1901–2016	-1.0 nicht signifikant	-1.2 nicht signifikant	-0.1 nicht signifikant	+0.6 nicht signifikant	-0.5 nicht signifikant
1961–2016	+0.3 nicht signifikant	+2.5 nicht signifikant	+1.3 nicht signifikant	+2.1 nicht signifikant	+1.2 nicht signifikant

Ohne global wirksame Interventionsmassnahmen wird für die Schweiz ab 2050 im Sommer eine 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].

Tage mit starkem Niederschlag

Die niederschlagsreiche erste Jahreshälfte 2016 ging auf der Alpennordseite mit einer grösseren Anzahl Tage mit starkem Niederschlag einher. In Bern waren es 13 Tage (Norm 10), in Davos 15 Tage (Norm 10). In Sion gab es 4 Tage (Norm 5) und in Lugano 23 Tage (Norm 26) mit starkem Niederschlag. Wie beim Niederschlagsregime generell (Ausnahme Winter Mittelland, vgl. Tabelle 5.4) sind bezüglich der Tage mit starkem Niederschlag an den hier aufgeführten Messstandorten in der untersuchten Periode ab 1959 keine signifikanten Trends feststellbar. Blickt man hingegen bis 1901 zurück, so zeigen 92 Prozent von 185 Messreihen eine Zunahme und 35 Prozent eine signifikanten Zunahme von starken Niederschlägen. 91 Prozent zeigen zudem eine Zunahme und 31 Prozent eine signifikanten Zunahme der Intensität von Starkniederschlägen [33].

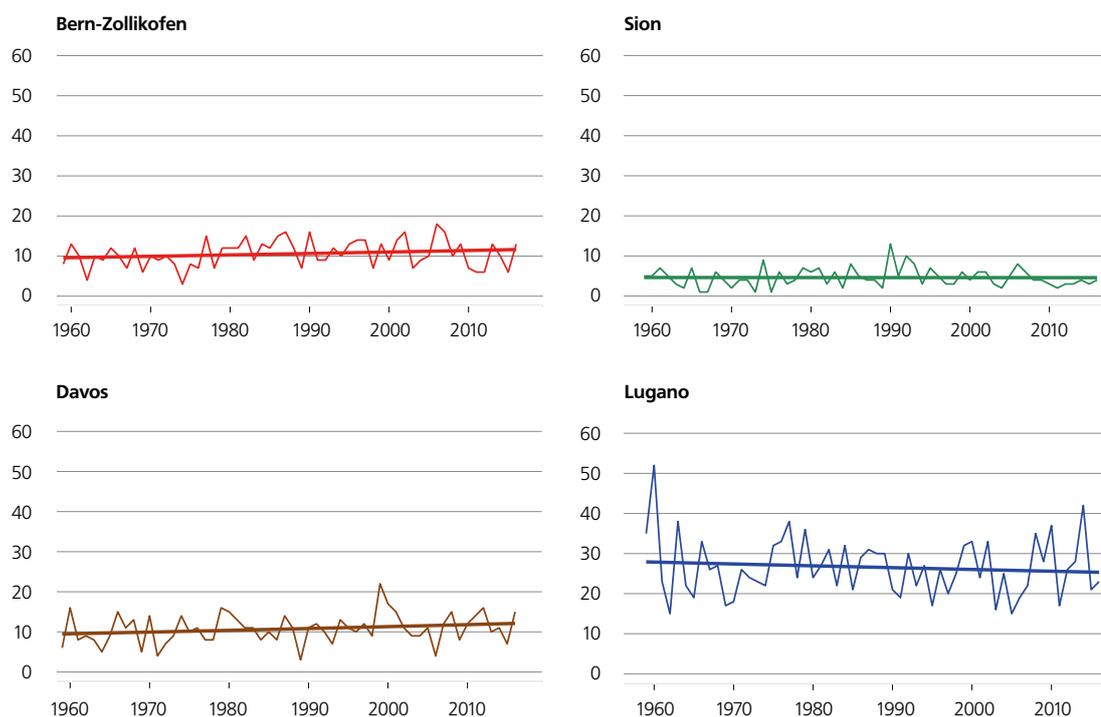


Abbildung 5.11
Anzahl Tage mit Niederschlag ≥ 20 mm im Kalenderjahr für die Stationen Bern, Sion, Davos und Lugano.

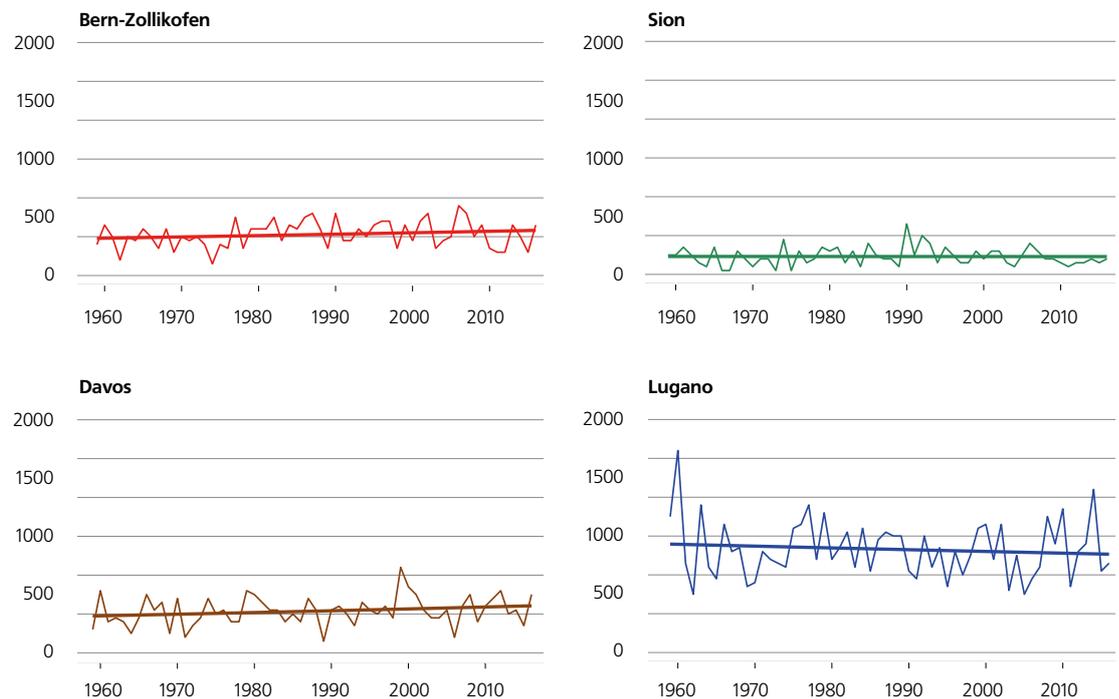


Auf der Web-Seite der MeteoSchweiz finden sich zusätzliche Informationen zur Niederschlagsentwicklung in der Schweiz:
<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/gegenwart/klima-trends.html>
<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/gegenwart/klima-trends/trends-an-stationen.html>

Niederschlag der sehr nassen Tage

Die Niederschlagssumme der sehr nassen Tage lag im niederschlagsarmen Jahr 2016 an den Messstandorten Bern und Davos deutlich über der Norm (Bern 302 mm / Norm 216 mm; Davos 268 mm / Norm 214 mm). Am Messstandort Sion erreichte die Niederschlagssumme der sehr nassen Tage mit nur 26 mm einen deutlich unterdurchschnittlichen Wert (Norm 98 mm). Lugano zeigte mit 884 mm (Norm 858 mm) einen leicht überdurchschnittlichen Wert. Im langfristigen Verlauf zeigen Bern, Sion und Lugano keinen signifikanten Trend. In der Messreihe Davos liegt die Zunahme nur knapp unter der Signifikanzschwelle.

Abbildung 5.12
**Jährliche Niederschlags-
 summe 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 ge-
 hören. Als Referenzperiode
 gelten die Jahre 1961–1990.**



Trockenperioden

Bern registrierte im Jahr 2016 mit 42 Tagen die zweitlängste Trockenperiode in der seit 1959 verfügbaren Messreihe. Eine geringfügig längere Trockenperiode mit 45 Tagen trat in Bern im Jahr 1963 auf. Am Messstandort Sion gehört die ebenfalls 42-tägige Trockenperiode zu den zehn längsten in der Datenreihe seit 1959. Von den Messstandorten Davos und Lugano liegen vom Jahr 2016 keine speziellen Werte vor. Die längste Trockenperiode dauerte in Davos 21 Tage (Norm 22) und in Lugano 25 Tage (Norm 33). Im langfristigen Verlauf zeigt keine der genannten Messreihen einen signifikanten Trend zu längeren oder kürzeren Trockenperioden.

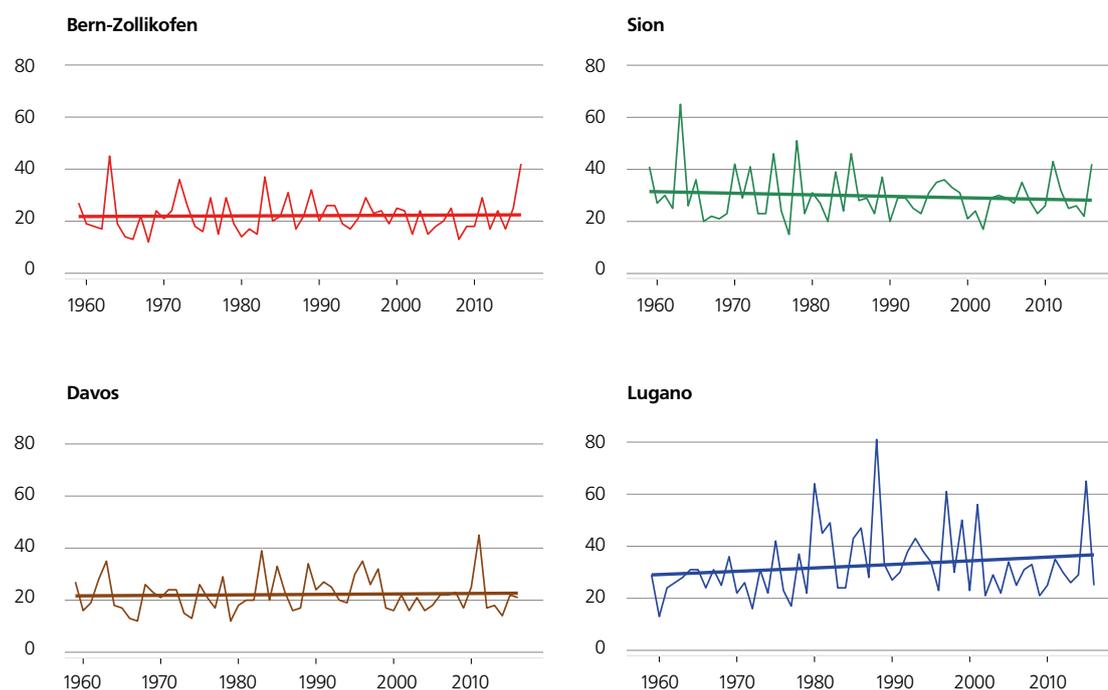


Abbildung 5.13

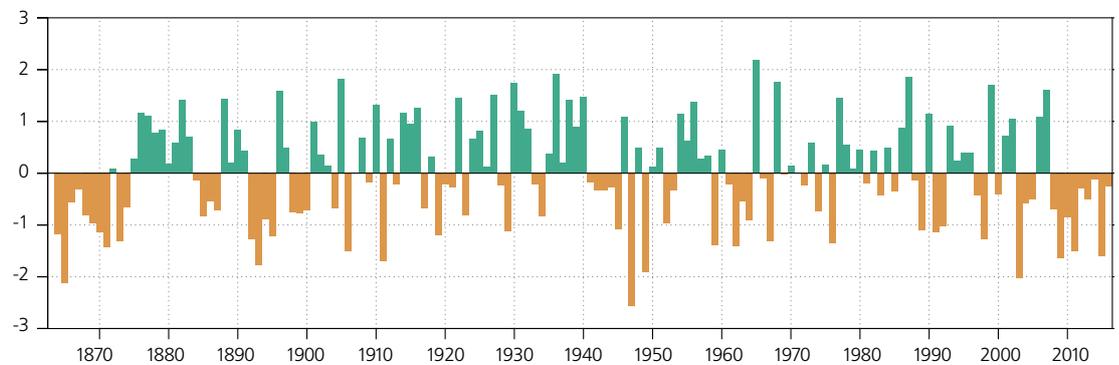
Dauer (Anzahl Tage) der längsten Trockenperiode pro Kalenderjahr für die Stationen Bern, Sion, Davos und Lugano.

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 Messungen in Bern zeigen, dass die letzten Jahre während der Vegetationsperiode allesamt trockener waren als im langjährigen Median. Das Jahr 2016 war in dieser Beziehung völlig durchschnittlich. 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 5.14
**SPEI über die gesamte
 Vegetationsperiode
 (6 Monate, April-September)
 an der Messstation Bern.
 Positive Werte bedeuten
 feuchtere und negative
 Werte trockenere
 Bedingungen als im
 Median (1864–2015).**



Nullgradgrenze

Der Jahresmedian der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre, ermittelt aus den täglichen Ballonsondierungen, erreichte 2016 mit 2610 m ü.M. wieder einen deutlich tieferen Wert als der Höchstwert der Messreihe der im Jahr zuvor erreicht wurde. Der um 230 m tiefer gelegene Wert gegenüber dem Vorjahr zeigt einmal mehr die grosse Variabilität der Nullgradgrenze, welche von Jahr zu Jahr gemessen werden kann.

Die langjährige Entwicklung des Jahresmedian der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre verläuft praktisch identisch zur Entwicklung der Jahresmitteltemperatur der Schweiz. Sehr eindrücklich ist im Besonderen die schnelle Änderung Ende der 1980er Jahre erkennbar. Der Jahresmedian der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre steigt in der Periode 1959–2016 mit 72 Meter pro 10 Jahre signifikant an. Dies steht in guter Übereinstimmung mit dem langjährigen Trend der Nullgradgrenze, welcher aus Bodenmessstationen bestimmt wird (Kapitel 5.1.1).

Tropopausenhöhe

Der Jahresmedian der Tropopausenhöhe erreichte 2016 mit 11390 m ü.M. wieder einen deutlich tieferen Wert als das Maximum über die Zeitreihe von 11 720 m, das im Vorjahr gemessen wurde. Der grosse Wechsel von der ausgesprochen tiefen Lage im Jahr 2010 zur sehr hohen Lage im darauffolgenden Jahr wurde nun von 2015 zu 2016 in ähnlicher Weise, aber in die andere Richtung, wiederholt und zeigt die grosse Variabilität von Jahr zu Jahr. Der Jahresmedianwert der Tropopausenhöhe steigt in der Periode 1959–2016 mit 58 Meter pro 10 Jahre signifikant an. Dies steht in guter Übereinstimmung mit dem langjährigen Trend der Nullgradgrenze.

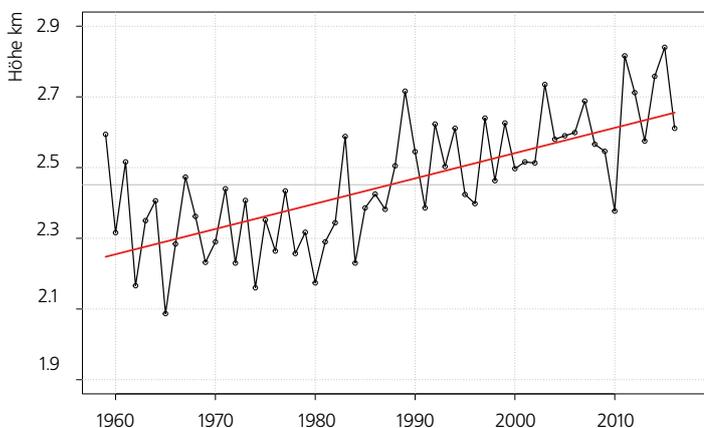


Abbildung 5.15

Jahresmedianwerte der Nullgradgrenze 1959–2016 ermittelt aus den täglichen Ballonsondierungen der Aerologischen Station Payerne. Die graue Linie zeigt den Mittelwert 1959–2016 auf etwa 2460 m ü.M.

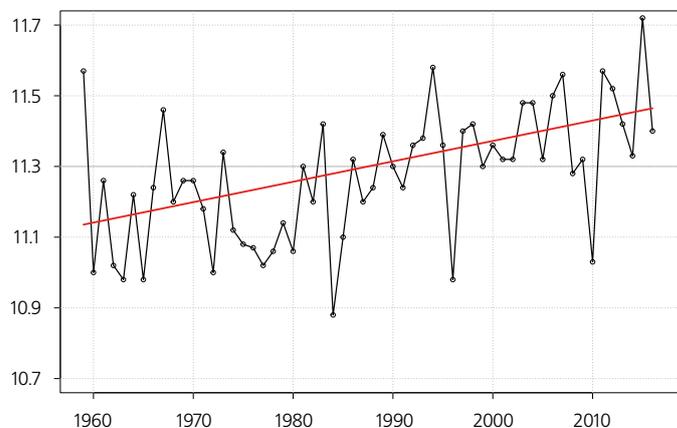


Abbildung 5.16

Jahresmedianwerte der Tropopausen Höhe 1959–2016, bestimmt aus den täglichen Ballonsondierungen der Aerologischen Station Payerne. Die graue Linie zeigt den Mittelwert 1959–2016 auf 11300 m ü.M.

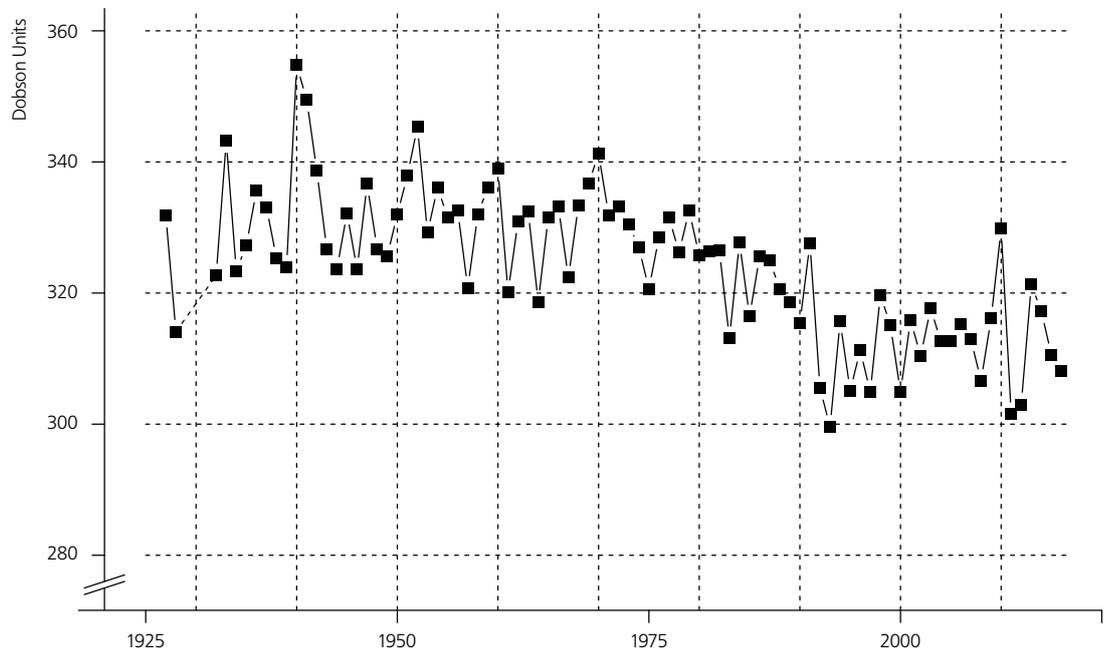
Zusammensetzung der Atmosphäre

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 ozonschädlicher Stoffe. In den vergangenen Jahren ist eine Stabilisierung des Gesamt ozons zu beobachten [8], wobei der Mittelwert zwischen 1995 und heute im Bereich von 315 DU liegt.

Auch wenn in den Jahren 2010 und 2013 ein relativ hoher Jahresdurchschnitt gemessen wurde (330 bzw. 321 DU), liegen die Mittelwerte für die Jahre 2011 und 2012 nahe bei 300 DU (301 bzw. 303 DU). Dies zeigt, dass der Gesamt ozonwert über mehrere Jahre hinweg starken Schwankungen unterliegt.

Abbildung 5.17
Gesamt ozonsäule in Arosa
zwischen 1926 und 2016.
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 MeteoSchweiz in Payerne aus gemessen. Die älteren Messungen (1966 bis 1968) stammen von der ETH in Zürich. Dank dieser lückenlosen Messreihe ist es möglich, die zeitliche Entwicklung des Ozongehalts verschiedener Schichten der Atmosphäre zu bestimmen. In der folgenden Abbildung sind drei verschiedene Höhenstufen (3, 22 und 27 km) als Beispiel dargestellt.

Wie die drei horizontalen Geraden hervorheben, hat sich das Ozon seit den 2000-er Jahren nicht mehr signifikant verändert. Für die Jahre vor 2000 hingegen lässt sich eine Abnahme des Ozons in der Stratosphäre (veranschaulicht durch die Höhen 22 und 27 km) und eine Zunahme des Ozon in der Troposphäre beobachten (hier durch die Höhe 3 km veranschaulicht).

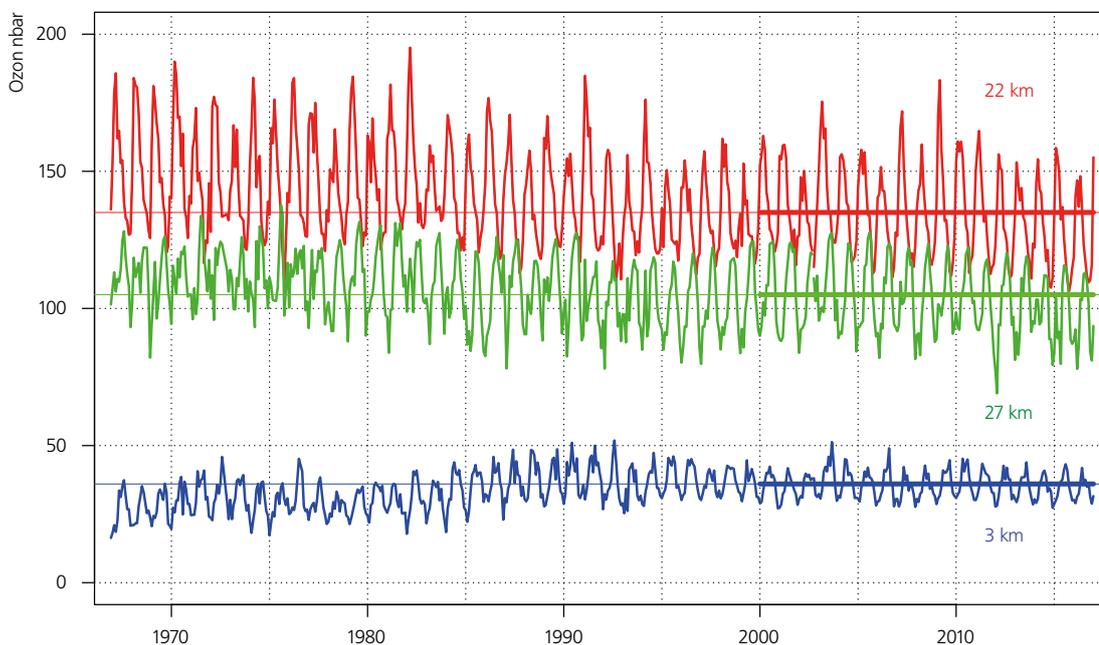


Abbildung 5.18

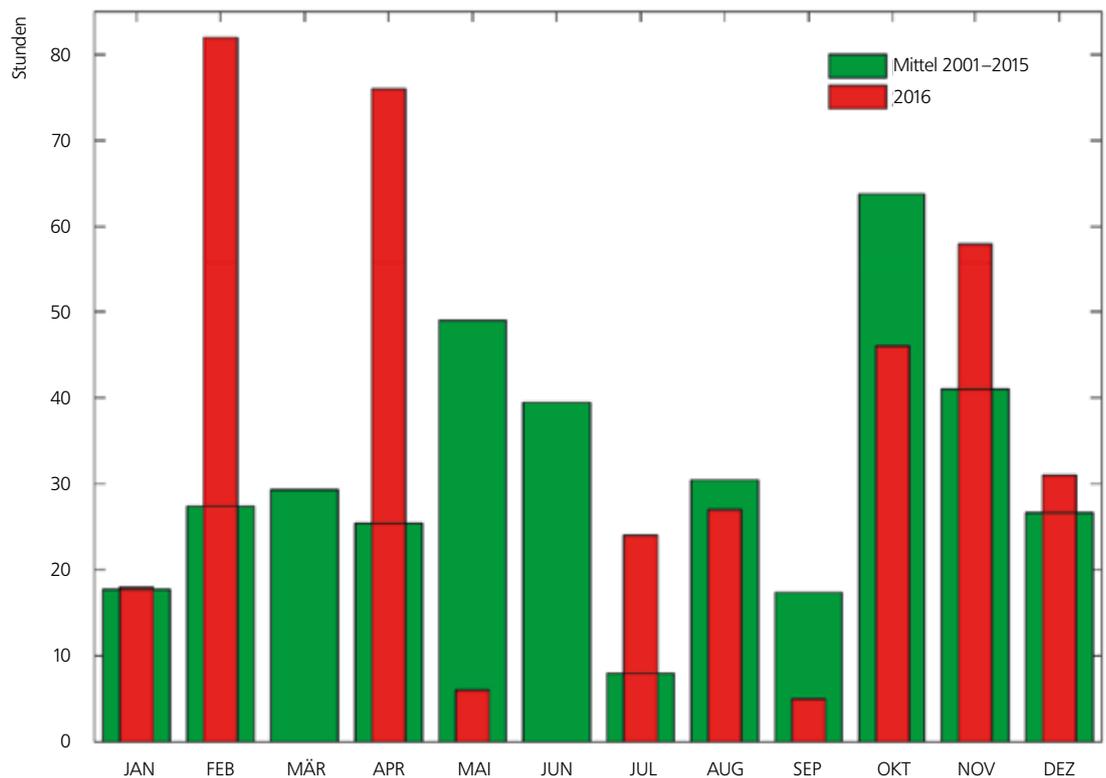
Monatliche Ozonkonzentration auf drei verschiedenen Höhen für die Periode 1967-2016. Blau: 3 km, rot: 22 km, grün: 27 km. Die Ozonkonzentration ist als Partialdruck in nanobar (nbar) angegeben.

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 Jungfraujoch, 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.

Mittlerweile ist eine 15-jährige Messreihe der Sahara-Staub-Einträge verfügbar. 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- schmutzung über den Alpen bei. Im Sommer sind die Eintragsereignisse seltener, im Winter sind sie nur von sehr kurzer Dauer. Der Grossteil der Ereignisse (rund 50%) dauert lediglich einige Stunden. Nur ein Viertel der Ereignisse erstreckt sich über mehr als einen Tag.

Abbildung 5.19
Anzahl Stunden pro Monat mit Mineralstaubeintrag aus der Sahara an der Messstation Jungfraujoch. Die monatlichen Werte des Jahres 2016 sind als rote Säulen dargestellt. Die grünen Säulen zeigen den Mittelwert über die Periode 2001–2015. Die Messwerte zwischen 2010 und 2011 waren während längerer Perioden nicht verwendbar, wodurch keine SDE-Aufzeichnung möglich war.



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. Die Birkenpollensaison 2016 war auf der Alpennordseite durchschnittlich, im Tessin war es die zweitstärkste der Messreihe (siehe Kapitel 2). Der zweijährige Blürrhythmus ist im Tessin sehr schön zu sehen. Die Intensität der Gräserpollensaison lag auf der Alpennordseite im Bereich des Mittels. Im Tessin zeigt sich in den letzten Jahren eine Tendenz zu zunehmendem Gräserpollenflug, der sich auch in diesem Jahr fortsetzte. Die absoluten Werte sind im Tessin jedoch deutlich tiefer als auf der Alpennordseite.



Abbildung 5.20
Intensität des Pollenflugs der Birken (links) und der Gräser (rechts) in den Regionen der Alpennordseite von 1989–2016 und im Tessin von 1991–2016. Der saisonale Pollen Index ist die Summe der täglichen Pollenkonzentrationen. Die schwarze Linie zeigt das 5-jährige gewichtete Mittel.

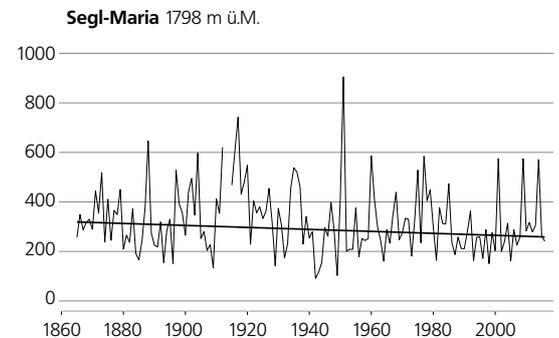
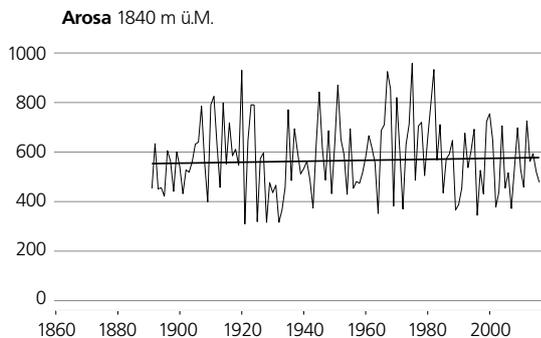
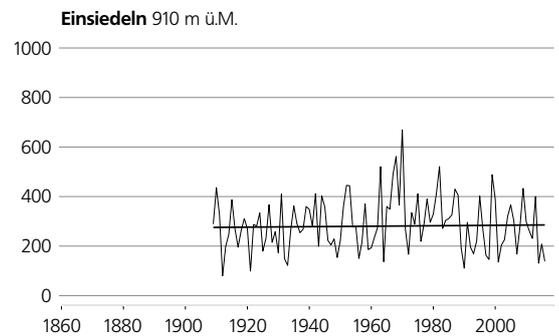
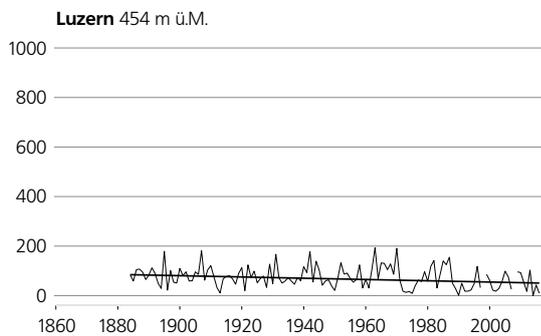
5.2 Landoberfläche

Neuschneesummen

Der extrem milde Winter 2015/16 mit einem rekordmilden und extrem niederschlagsarmen Dezember führte zu stark unterdurchschnittlichen Schneemengen. Am Messstandort Segl-Maria im Oberengadin erreichte die Neuschneesumme im Winterhalbjahr Oktober bis März 2.41 m (Norm 3.12 m). In Arosa waren es 4.78 m (Norm 6.31 m), in Einsiedeln 1.39 m (Norm 3.41 m) und in Luzern im nördlichen Flachland nur gerade 10 cm (Norm 83 cm).

Bei den Neuschneesummen im Winterhalbjahr ist an den Messstandorten Arosa und Einsiedeln kein signifikanter Trend feststellbar. Am Messstandort Segl-Maria ist die Abnahme von 4 cm pro Jahrzehnt knapp nicht signifikant. Am Messstandort Luzern ist eine signifikante Abnahme von 2.5 cm pro Jahrzehnt zu beobachten. Dabei ist allerdings darauf hinzuweisen, dass die täglichen und monatlichen Schneeaufzeichnungen nicht in Form homogener Daten verfügbar sind.

Abbildung 5.21
Neuschneesummen in cm im Winterhalbjahr ab Messbeginn bis 2016 an den Messstationen Luzern, Einsiedeln, Arosa und Segl-Maria.



Tage mit Neuschnee

Im extrem milden Winter 2015/16 mit der Rekordwärme und der extremen Niederschlagsarmut im Dezember bewegte sich auch die Anzahl Tage mit messbarem Neuschnee deutlich unter dem Durchschnitt. Im Winterhalbjahr Oktober bis März waren es am Messstandort Segl-Maria im Oberengadin 23 Tage mit Neuschnee (Norm 42 Tage), in Arosa 59 Tage (Norm 71 Tage), in Einsiedeln 31 Tage (Norm 46 Tage). Luzern im nördlichen Flachland verzeichnete sogar nur gerade 2 Tage mit Neuschnee (Norm 18 Tage).

Die Messreihe Arosa zeigt einen signifikanten Trend zu mehr Tagen mit Neuschnee. Er liegt knapp +2 Tagen pro Jahrzehnt. Luzern zeigt demgegenüber mit -0.4 Tagen pro Jahrzehnt einen schwachen, aber signifikanten Trend zu weniger Tagen mit Neuschnee. An den beiden Messstandorten Einsiedeln und Segl-Maria ist kein signifikanter Trend zu beobachten. Auch hier ist darauf hinzuweisen, dass die täglichen und monatlichen Schneeaufzeichnungen nicht in Form homogener Daten verfügbar sind.

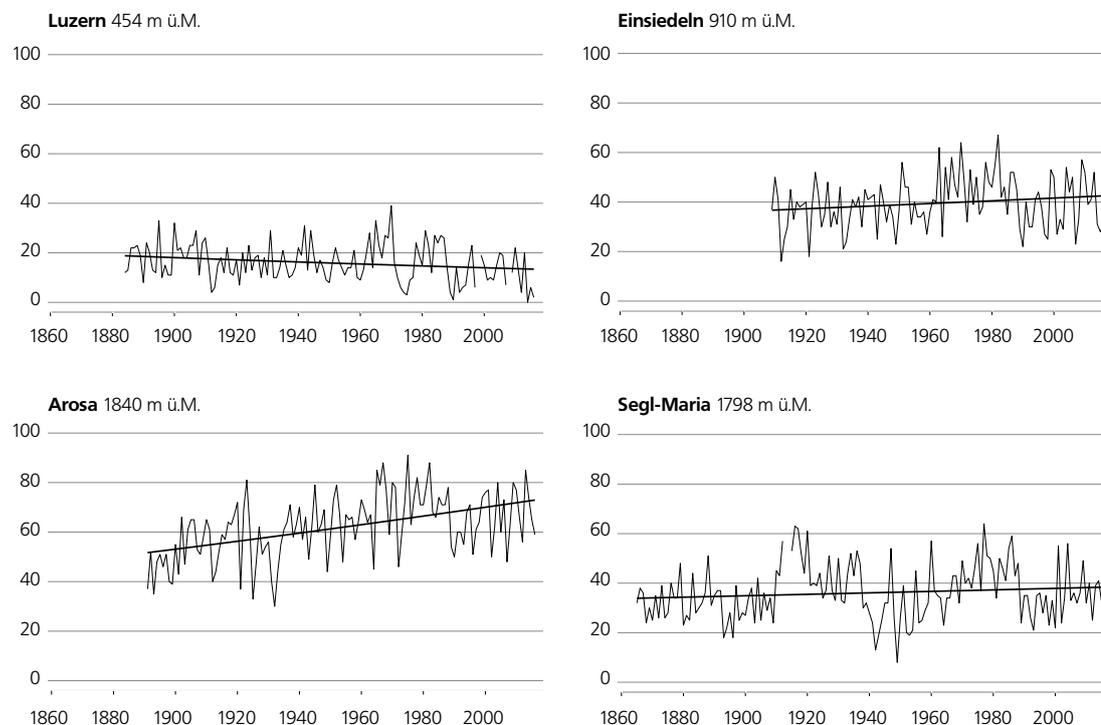


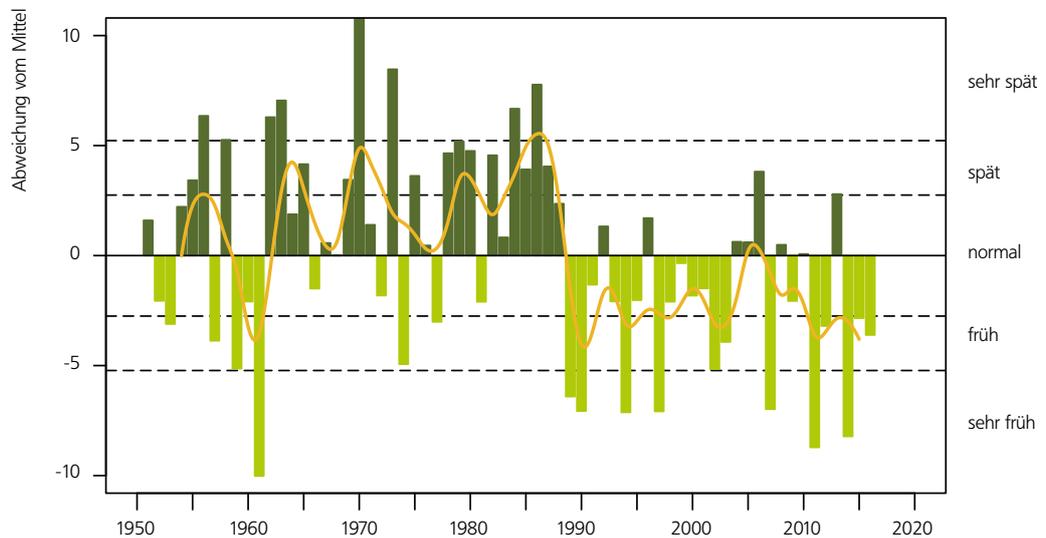
Abbildung 5.22
Anzahl Tage mit Neuschnee
im Winterhalbjahr ab Mess-
beginn bis 2016 an den
Messstationen Luzern,
Einsiedeln, Arosa und
Segl-Maria.

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]. Im Jahr 2016 entwickelte sich die Vegetation im Frühling früher als im Mittel. Anfang Jahr wurde die Blüte der Haselsträucher so früh beobachtet wie kaum jemals und im Februar blühte der Hufplattich ebenfalls sehr früh. Im Januar und Februar betrug der Vorsprung der Vegetation drei bis vier Wochen. Kälteeinbrüche verkleinerten den Vorsprung im März und April auf etwa eine Woche und im Mai lag die Vegetationsentwicklung ungefähr im Durchschnitt der Periode 1981–2010.

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 5.23
Jährlicher Stand der gesamt-schweizerischen Vegetationsentwicklung (Frühlingsindex) 1951–2016 dargestellt als Abweichung vom langjährigen Durchschnitt des Standes der Vegetationsentwicklung. Die ausgezogene Linie zeigt das 5-jährige gewichtete Mittel.



Kirschblüte Liestal und Blattausbruch Rosskastanie Genf

Seit 1894 wird bei der ländlichen Station Liestal das Eintrittsdatum der Blüte eines Kirschbaums registriert. In der Messreihe lässt sich ab etwa 1990 ein Trend zu früheren Eintrittsterminen feststellen. Der Eintrittstermin am 6. April 2016 lag genau im Mittel der Periode von 1981–2010.

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. Im Jahr 2016 fand der Blattausbruch der Rosskastanien am 16. März statt. Der Blattausbruch der Rosskastanie wird sehr stark durch die Temperaturen beeinflusst, aber auch andere Faktoren wie das Baumalter oder das Stadtklima können eine Rolle spielen. Der Grund für die seit einigen Jahren wieder späteren Eintrittstermine ist noch unbekannt.

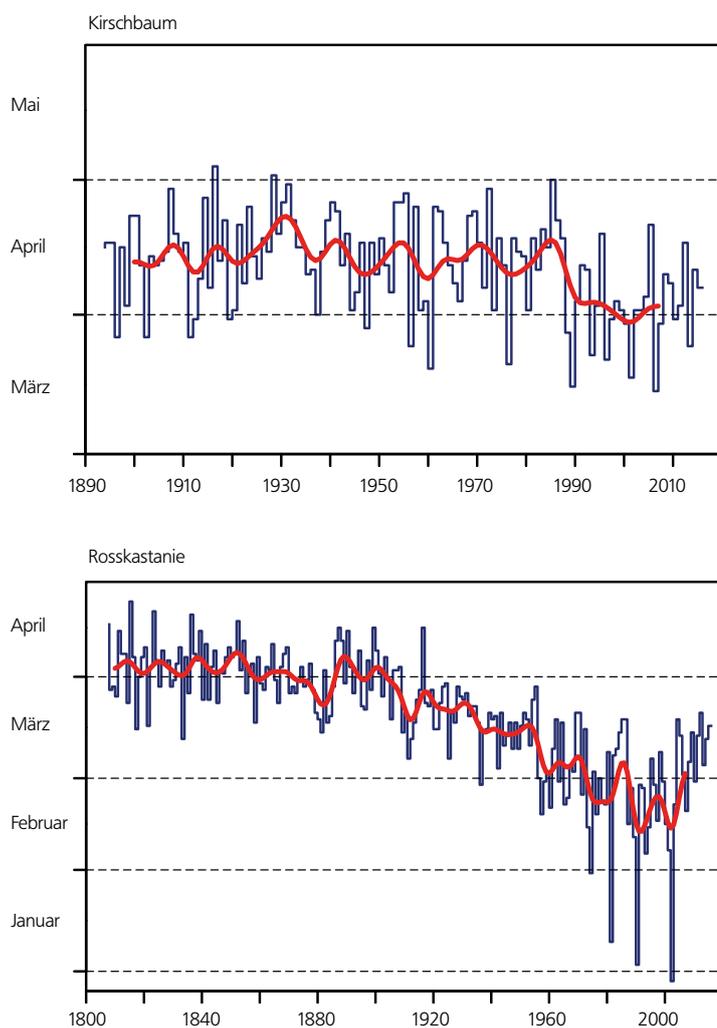


Abbildung 5.24

**Blüte des Kirschbaums
bei Liestal 1894–2016
(oben) und Blattausbruch
der Rosskastanie in Genf
1808–2016 (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]. Eingangsrößen 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 idealer Weise nicht mit absoluten Temperaturen, sondern als Abweichung zum langjährigen Normwert (1961–1990) dargestellt. Die Analysen basieren auf homogenen Messreihen [2] aus dem Schweizer Klimanetzwerk (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [1]). Bei Trendanalysen wird jeweils angegeben, wie eindeutig der Trend ist. Dabei werden die zwei Signifikanzniveaus «stark signifikant» und «signifikant» unterschieden. «Stark signifikant» bedeutet, dass mit sehr grosser Sicherheit gesagt werden kann, dass ein Trend vorhanden ist (p -Wert ≤ 0.01 ; die Irrtumswahrscheinlichkeit ist 1% oder kleiner). «Signifikant» bedeutet, dass mit grosser Sicherheit gesagt werden kann, dass ein Trend vorhanden ist (p -Wert > 0.01 und ≤ 0.05 ; die Irrtumswahrscheinlichkeit liegt zwischen 1% und 5%). «Nicht signifikant» bedeutet, dass bezüglich der gewählten Signifikanzschwelle (p -Wert = 0.05) kein gesicherter Trend vorliegt.

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 homogenen Messreihen [2] aus dem Schweizer Klimanetzwerk (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [1]). Bei Trendanalysen wird jeweils angegeben, wie eindeutig der Trend ist. Dabei werden die zwei Signifikanzniveaus «stark signifikant» und «signifikant» unterschieden. «Stark signifikant» bedeutet, dass mit sehr grosser Sicherheit gesagt werden kann, dass ein Trend vorhanden ist (p -Wert ≤ 0.01 ; die Irrtumswahrscheinlichkeit ist 1% oder kleiner). «Signifikant» bedeutet, dass mit grosser Sicherheit gesagt werden kann, dass ein Trend vorhanden ist (p -Wert > 0.01 und ≤ 0.05 ; die Irrtumswahrscheinlichkeit liegt zwischen 1% und 5%). «Nicht signifikant» bedeutet, dass bezüglich der gewählten Signifikanzschwelle (p -Wert = 0.05) kein gesicherter Trend vorliegt.

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]. Ausführliche Informationen zu seltenen Starkniederschlägen sind zu finden unter: www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/vergangenheit/klima-extreme/extremwertanalysen.html

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 ge-

legenen 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 [29]. 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. Verwendete Pollenmessstationen: Zentral- und Ostschweiz: Basel, Buchs, Luzern, Münsterlingen und Zürich. Westschweiz: Bern, Genève, Neuchâtel. Tessin: Locarno und Lugano.

Neuschneesummen und Tage mit Neuschnee

Die täglichen und monatlichen Schneeaufzeichnungen sind nicht in Form homogener Daten verfügbar. Die Homogenisierung von Schneedaten konnte bisher noch nicht an die Hand genommen werden. 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 160 Stationen verteilt über die ganze Schweiz durchgeführt. Für den Frühlingsindex werden rund 80 Stationen mit den längsten Messreihen verwendet. Der hier verwendete Frühlingsindex wird auf der Basis der zehn folgenden phänologischen Phasen gebildet: Blüte des Haselstrauchs, Blüte des Hufattichs, Blüte des Buschwindröschens, Blattentfaltung der Rosskastanie, Blüte des Kirschbaumes, Blattentfaltung des Haselstrauchs, Nadelaustrieb 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] http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/CA_3.php
http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/WCDMP_72_TD_1500_en_1.pdf
- [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., Latenser M., 2004: Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and large-scale climate variability. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13215, doi: 1029/2004GL020255.
- [11] Latenser 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, 2017: Temperature anomaly (from the base period 1961–90) datasets HadCRUT4. http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut4/data/current/time_series/HadCRUT4.3.0.0.annual_ns_avg.txt
- [15] IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (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., Molnar, 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., Kirchhofer 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 2016: WMO Statement on the status of the global climate in 2016.
<https://public.wmo.int/en/media/press-release/provisional-wmo-statement-status-of-global-climate-2016>
- [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] 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).
- [30] MeteoSchweiz, 2012: Klimareport 2011. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich. 68 pp.
- [31] MeteoSchweiz, 2014: Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz, 243, 36 pp.
- [32] Zubler E. M., Scherrer S. C., Croci-Maspoli M., Liniger M. A. und Appenzeller C., 2014: Key climate indices in Switzerland; expected changes in a future climate, *Climatic Change*: 123(2), 255-271.
- [33] Scherrer S.C., Fischer E. M., Posselt R., Liniger M. A., Croci-Maspoli M., and Knutti R., 2016: Emerging trends in heavy precipitation and hot temperature extremes in Switzerland, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, doi:10.1002/2015JD024634.
- [34] Pfister Ch., 1999: *Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen*. Verlag Paul Haupt, Bern.

Adressen

Bundesamt für Meteorologie
und Klimatologie MeteoSchweiz
Operation Center 1
Postfach 257
CH-8058 Zürich-Flughafen

Ufficio federale di meteorologia
e climatologia MeteoSvizzera
Via ai Monti 146
CH-6605 Locarno-Monti

Office fédéral de météorologie
et de climatologie MétéoSuisse
7bis, av. de la Paix
CH-1211 Genève 2

Office fédéral de météorologie
et de climatologie MétéoSuisse
Chemin de l'Aérodrome
CH-1530 Payerne

Website

meteoschweiz.admin.ch

Kontakt

kundendienst@meteoschweiz.ch