



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

MeteoSchweiz

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Klimareport 2014



Die spektakulären Fotos für den Klimareport 2014 stammen von Stephan Siegrist und seinem Team. Stephan Siegrist ist professioneller Extrembergsteiger und Kletterer aus Interlaken. Der Bergführer unternimmt Touren und Expeditionen in verschiedenen Gebirgen der Welt mit teils sehr schwierigen Kletterrouten.

Stephan Siegrist auf dem Niederhorn, Berner Oberland. Herbstliche Hochdrucklage; von einer über Nordeuropa ziehenden Warmfront werden ein paar Schleierwolken zu den Alpen geführt.

Foto visualimpact.ch; Thomas Senf





Klimareport 2014

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, Fosco Spinedi, Dr. Christoph
Spirig, Dr. Reto Stöckli, Dr. René Stübi, Dr. Laurent Vuilleumier

Titelfoto

Stephan Siegrist auf der Slackline zwischen den «Twintowers»
Birg-Schilthorn, Berner Oberland, im Hintergrund sind Eiger
und Mönch zu sehen.

Foto visualimpact.ch; Thomas Ulrich

Bitte zitieren Sie diesen Bericht folgendermassen:
MeteoSchweiz 2015: Klimareport 2014. Bundesamt für
Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich. 80 S.

© MeteoSchweiz 2015
ISSN 2296-1488

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	6
Summary	7
1 Verlauf der Jahreswitterung 2014	10
2 Diagramme zum Jahresverlauf	18
3 Besonderheiten 2014	36
3.1 Wärmstes Jahr seit Messbeginn	36
3.2 Enorme Neuschneesummen im Süden	37
3.3 Rekord-Sonnenarmut im Hochsommer	38
3.4 Rekordniederschlag im Juli	38
3.5 Das November–Hochwasser im Tessin	39
4 Globales Klima und Wetterereignisse 2014	42
4.1 Globale Rekordwärme	42
4.2 El Niño und La Niña	44
4.3 Besondere Ereignisse	45
4.4 Arktisches und antarktisches Meereis	45
5 Klimamonitoring	48
5.1 Atmosphäre	50
5.1.1 Bodennahe Beobachtungen	50
Temperatur	50
Frosttage	53
Sommertage	54
Nullgradgrenze	55
Niederschlag	56
Tage mit starkem Niederschlag	59
Niederschlag der sehr nassen Tage	60
Trockenperioden	61
Trockenheitsindex	62
5.1.2 Freie Atmosphäre	63
Nullgradgrenze	63
Tropopausen Höhe	63
5.1.3 Zusammensetzung der Atmosphäre	64
Ozonmessreihe Arosa	64
Ozonmessungen Payerne	65
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

6

Die Jahrestemperatur 2014 erreichte in der Schweiz im landesweiten Mittel einen Rekordüberschuss von 1.24 Grad im Vergleich zur Norm 1981–2010. Damit wurde der bisherige Rekord von 1.21 Grad aus dem Jahr 2011 minim übertroffen. Auf der Alpensüdseite gab es regional die dritthöchste Jahres-Niederschlagssumme.

Stetige Zufuhr milder Luftmassen führten zum drittwärmsten Winter 2013/14 in der Schweiz seit Messbeginn 1864. Im Churer Rheintal gab es mit häufiger Föhnunterstützung gar eine Rekord-Winterwärme. Auf der Alpensüdseite fielen Niederschlagssummen in Rekordhöhe, in höheren Lagen regional Rekord-Neuschneesummen. Demgegenüber blieb der Winter 2013/2014 im Flachland der Nordschweiz meist grün und regional war es mit nur gerade 1 cm Neuschnee der schneeärmste Winter in den über 80jährigen Aufzeichnungen.

Der Frühling brachte erneut überdurchschnittliche Wärme, war etwas zu trocken und recht sonnig. Mild und sonnig waren vor allem die beiden Monate März und April, während der Mai wechselhaft und zu kühl ausfiel. Bis Juni zeigten sich alle Monate ausser dem Mai überdurchschnittlich warm. Aus dem anhaltenden Wärmeüberschuss ergab sich die drittwärmste erste Jahreshälfte seit Messbeginn vor 151 Jahren.

Nach einer kurzen Hitzewelle im Juni zeigten sich die Hochsommer-Monate Juli und August zu kühl und ausgesprochen nass. Vielerorts gab es Juliregenmengen in Rekordhöhe. Das häufige Regenwetter führte zum sonnenärmsten Hochsommer seit Messbeginn, besonders ausgeprägt auf der Alpensüdseite und in der Westschweiz.

Schliesslich erlebte die Schweiz den zweitwärmsten Herbst seit Messbeginn. Auf der Alpensüdseite und im Engadin war der Herbst zudem nass und sonnenarm. Im November fielen im Tessin regional Rekordniederschläge. Sie verursachten Hochwasser an den Tessiner Seen, was beträchtliche Überflutungen in den Stadtgebieten von Locarno und Lugano nach sich zog.

Die überdurchschnittliche Wärme des Herbstes setzte sich auch im Dezember fort. Schnee lag meist nur oberhalb von 1000 bis 1500 m ü.M., und auch dort nur in unterdurchschnittlichen Mengen. Mit Kaltluft aus Nordwesten und Norden kippte die Witterung auf das Jahresende hin innerhalb von zwei Tagen von extrem mild auf winterlich kalt. Auf der Alpennordseite fiel Schnee bis ins Flachland.

Bezüglich der langfristigen Klimaentwicklung ist in der Schweiz in Übereinstimmung mit der allgemeinen Temperaturzunahme während der analysierten Periode 1959–2014 die Anzahl der Sommertage deutlich angestiegen, die Anzahl der Frosttage hingegen deutlich zurückgegangen. Die Nullgradgrenze ist in

derselben Periode rund 390 m angestiegen, wobei dies vor allem die Jahreszeiten Winter, Frühling und Sommer betrifft. Die allgemeine Erwärmung drückt sich auch in einer früheren Vegetationsentwicklung aus.

Die langjährige Niederschlagsentwicklung 1864–2014 zeigt auf der Alpennordseite für das Jahr und den Winter einen signifikanten Trend zu höheren Niederschlagssummen. Die übrigen Jahreszeiten verzeichnen keine langfristige Änderung in den Niederschlagssummen. Auf der Alpensüdseite ist sowohl bei den Jahressummen als auch bei jahreszeitlichen Summen keine langfristige Niederschlagsänderung festzustellen. Die Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag hat sich in der analysierten Periode seit 1959 nicht geändert. Der Niederschlag der sehr nassen Tage hat sich in den einen Regionen erhöht, während andere Regionen keine Änderung zeigen. Die Länge der intensivsten Trockenperioden hat sich nicht verändert.

In den über 100jährigen Schnee-Aufzeichnungen ist regional eine leichte Abnahme, in grösseren Gebieten jedoch keine Änderung der Neuschneesummen festzustellen. Bei den Tagen mit Neuschnee zeigt sich in den einen Gebieten eine leichte Zunahme, in anderen Gebieten jedoch keine Änderung.

Die Ozonsituation in der höheren Atmosphäre über der Schweiz ist in den letzten Jahren stabil geblieben. Dies nachdem zwischen 1970 und 1995 eine Abnahme des Gesamt Ozons um rund 6 Prozent stattgefunden hat.

Summary

Throughout 2014 weather extremes were chasing one another in Switzerland. Together with the year 2011 it was the warmest since observations started in 1864. In some regions of the Ticino, it was the third wettest year.

Steady supply of mild air led to the third warmest winter in Switzerland since the measurements started in 1864. In the Rhine valley near Chur, the winter temperatures even were the highest on record due to support of Föhn winds. On the southern slopes of the Alps, record-breaking precipitation sums were registered. At higher altitudes, regionally, record-breaking new snow sums were measured. This was in stark contrast to the substantial lack of snow in the northern lowland. Regionally it was the winter with the least amount of snow in the measurement series spanning over more than 80 years.

Spring was also characterised by above average temperatures, drier than average conditions and above average sunshine duration. Especially March and April were mild and sunny, while May was rather changeable and cool. Until June, all months except May showed above average temperatures. This continuous excess warmth led to the third warmest first half of the year since measurements began 151 years ago.

After a short heat wave in June, the midsummer months July and August showed below average temperatures and were markedly wet. In many places, the precipitation sums in July were the highest on record. The frequent rainy weather led to the dullest midsummer since measurements started. This was especially pronounced in the Ticino and western Switzerland.

Finally, the Swiss autumn was the second warmest since measurements started. In the Ticino and in the Engadina, the autumn was also wet and dull. In November, record high precipitation sums fell in the Ticino. This led to flooding of the city centres of Locarno and Lugano and in the vicinity of the lakes.

The above-average temperatures of autumn continued into December. Snow was mostly confined to altitudes above 1000 to 1500 m a.s.l., and that in below-average amounts. With cold air from north-west and north during the last days of the year the weather switched from extremely mild to wintery cold within two days. North of the Alps there was snowfall down to lowland.

With a view to the long-term temperature development the record year 2014 contributed to the elevated mean temperature in Switzerland, concerning all seasons. In accordance with generally higher temperatures the number of summer days has increased considerably while the number of frost days has decreased in the period under scrutiny since 1959. In the same period the zero degree level has risen by around

390 m, mainly in the winter, spring and summer seasons. The general rise in temperature has also led to an earlier development of vegetation.

North of the Alps the long-term precipitation development 1864–2014 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.

In the period under scrutiny since 1959 the number of days with heavy precipitation has remained largely unchanged. Precipitation totals of very wet days have increased regionally; in many places however there has been no change. The length of the most intensive dry periods has not changed. The over 100-year-old snow records 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 also some regions show a slight increase, in other regions however the measurement series indicate 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.

Instabile Wetterlage im Berner Oberland – aus Westen ziehen erste schwache Schauer auf. Stephan Siegrist mit Ralf Weber am «Top of the Mushroom», Eiger, Berner Oberland.

Foto: visualimpact.ch; Thomas Senf





1 | Verlauf der Jahreswitterung 2014

10

Im Jahr 2014 jagten sich in der Schweiz die Wetterextreme. Das Jahr war das wärmste seit Messbeginn 1864. Damit war es knapp wärmer als 2011. Nach dem Rekordschnee im Süden zu Jahresbeginn blieb es während der ersten Jahreshälfte landesweit extrem mild. Der Hochsommer verlief überall regnerisch, kühl und extrem sonnenarm. Im Juli fielen auf der Alpennordseite Rekordniederschläge. Der Herbst brachte erneut der ganzen Schweiz extreme Wärme und dem Süden Rekordniederschläge mit Hochwasser.

Das wärmste Jahr seit Messbeginn

Das Jahr 2014 brachte im landesweiten Mittel einen Temperaturüberschuss von 1.24 Grad im Vergleich zur Norm 1981–2010. Damit ist 2014 das wärmste Jahr in der Messreihe seit 1864. Die Differenz zum bisherigen Rekordjahr 2011 mit einem Überschuss von 1.21 Grad ist allerdings extrem gering. Da Messungen immer auch mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind, müssen die Jahre 2011 und 2014 grundsätzlich als gleich warm betrachtet werden. Sie zeigen beide einen Rekordüberschuss von 1.2 Grad gegenüber der Norm 1981–2010.

Rekordschnee auf der Alpensüdseite

Das Jahr 2014 begann mit Rekorden auf der Alpensüdseite. Dort wurde regional mit Abstand der niederschlagsreichste Winter seit Messbeginn vor 151 Jahren verzeichnet. In den Tessiner Bergen fiel derweil lokal mit fast 7 Meter die höchste Neuschneemenge seit Aufnahme der Messungen vor über 50 Jahren. Demgegenüber blieb der Winter 2013/2014 im Flachland der Nordschweiz meist grün und regional war es mit nur gerade 1 cm Neuschnee der schneeärmste Winter in den über 80jährigen Aufzeichnungen.

Drittwärmster Winter in der Schweiz

Die während des Winters 2013/2014 stetige Zufuhr milder Luftmassen aus subtropischen Gebieten führten zum drittwärmsten Winter in der Schweiz seit Messbeginn 1864. Über die ganze Schweiz gemittelt erreichte der Überschuss 1.7 Grad im Vergleich zur Norm 1981–2010. Der bisher mildeste Winter 2006/07 lag 2.6 Grad über der Norm. Rang zwei belegt der Winter 1989/90 mit von 2.0 Grad über der Norm. Im Churer Rheintal war es mit Föhnunterstützung gar der wärmste Winter in den Messreihen.

Extrem warmes erstes Halbjahr

Im ersten Halbjahr zeigten sich alle Monate ausser dem Mai überdurchschnittlich warm. Aus dem anhaltenden Wärme-

überschuss ergab sich die drittwärmste erste Jahreshälfte seit Messbeginn vor 151 Jahren. Die Temperatur lag landesweit gemittelt 1.5 Grad über der Norm 1981–2010. Eine vergleichbare Wärme mit 1.6 Grad über der Norm brachte auch die erste Jahreshälfte 2011. Den Wärmerekord hält das erste Halbjahr 2007 mit einem Überschuss von 2.3 Grad.

Rekord-Nässe und Rekord-Sonnenarmut im Hochsommer

So richtig Sommer wurde es nur während einer rund einwöchigen Hitzewelle in der ersten Junihälfte. Während den Hochsommer-Monaten Juli und August bestimmten häufige und kräftige Regenfälle den Witterungsverlauf. Extrem viel Regen fiel vor allem im Juli. In der westlichen Hälfte der Schweiz wurden an zahlreichen, in der östlichen Hälfte an einzelnen Messstationen neue Juli-Rekordsummen gemessen. Für nordalpine Verhältnisse speziell beeindruckend war die extreme Julisumme von 523 mm am Messstandort Les Avants oberhalb Montreux. Das entspricht rund dem dreifachen der normalen Julimenge. Das viele Wasser führte an verschiedenen Orten zu Überschwemmungen und Hangrutschen mit zum Teil grossen Schadensfolgen. Mehrfach davon betroffen war die Region Emmental-Entlebuch.

Häufig Regen bedeutet wenig Sonne, und so erlebte die Schweiz den sonnenärmsten Hochsommer seit Messbeginn. Besonders massiv war das Sonnendefizit auf der Alpensüdseite und in der Westschweiz. Hier fehlten über 120 Sonnenstunden oder zwischen ein und zwei Wochen voller Sonnenschein im Vergleich zu einer normalen Juli-August-Periode.

Extreme Herbst-Wärme und Hochwasser im Süden

Nach dem kühlen Hochsommer heizte der Herbst wieder so richtig ein. Schweizweit wurde der viertwärmste Oktober sowie der zweitwärmste November seit Messbeginn aufgezeichnet. Zusammen mit dem ebenfalls milden September ergab sich über die ganze Schweiz gemittelt der zweitwärmste Herbst in der 151jährigen Schweizer Messreihe. Die Temperatur lag im

Landesdurchschnitt 2.1 Grad über der Norm 1981–2010. Der Rekordherbst 2006 bewegte sich 2.6 Grad über der Norm, während sich der Herbst 2011 auf Rang drei mit einem Überschuss von 1.4 Grad bereits deutlich weniger mild zeigte.

Mit der extremen Wärme kam auf der Alpensüdseite auch der grosse Regen. Nach einem bereits regenreichen Oktober fielen hier im November regional vier- bis über fünfmal höhere Regensummen als in einem durchschnittlichen November. Lugano registrierte mit 587 mm den regenreichsten November seit Messbeginn 1864. In Locarno-Monti war es mit 733 mm Rang zwei in der seit 1883 verfügbaren Messreihe. So wie am Standort Locarno-Monti fiel im Tessin verbreitet die zweithöchste November-Niederschlagssumme, und der Novemberrekord stammt überall aus dem Jahr 2002.

Als Folge der anhaltend kräftigen Niederschläge stiegen der Lago Maggiore und der Lago di Lugano markant an. Gegen Novembermitte traten beide Seen für mehrere Tage über die Ufer und setzten Stadtgebiete von Lugano und Locarno unter Wasser.

Warten auf den Winter

Die überdurchschnittliche Wärme des Herbstes setzte sich auch im Dezember fort. Schnee lag meist nur oberhalb von 1000 bis 1500 m ü.M., und auch dort nur in unterdurchschnittlichen Mengen. Auch nach der Dezembermitte erreichte die alpine Schneedecke verbreitet erst 30 bis 60 Prozent der normalen Höhe. Annähernd normale Schneeverhältnisse gab es nur in den Walliser Südtälern mit 60 bis 90 Prozent der normalen Schneehöhen.

Kräftiger Wintereinbruch aufs Jahresende

Mit Kaltluft aus Nordwesten und aus Norden kippte die Witterung ab dem 26. Dezember innerhalb von zwei Tagen von extrem mild auf winterlich kalt. Auf der Alpennordseite fiel vom 26. bis am 29. Schnee bis ins Flachland. Lokal waren es in den Niederungen 20 bis 30 cm Neuschnee. In höheren Lagen entlang des Alpennordhanges sowie im Jura gab es 40 bis 60 cm.

In der kalten Luft und mit aufklarendem Himmel sank die Minimum-Temperatur im Mittelland am Morgen des 29. Dezember lokal auf extrem tiefe Werte. In Hallau im Kanton Schaffhausen fiel sie auf minus 21.1 Grad. Das ist an diesem Messstandort der weitaus tiefste Dezemberwert in der über 50jährigen Messreihe. Am 29. und am 30. Dezember blieben die Temperaturen im grössten Teil der Schweiz ganztags unter dem Gefrierpunkt. Ausnahmen waren die Genfersee Region und die Alpensüdseite.

Jahresbilanz

Die Jahrestemperatur 2014 lag in der Schweiz verbreitet 1.0 bis 1.4 Grad, auf der Alpensüdseite und im Engadin rund 1.0 Grad über der Norm 1981–2010. Über die ganze Schweiz gemittelt erreichte der Überschuss 1.24 Grad, womit die bisherige Rekordwärme des Jahres 2011 minim übertriften wurde.

Der Jahresniederschlag erreichte in den meisten Regionen normale oder etwas unterdurchschnittliche Mengen. Auf der Alpensüdseite und im Engadin war das Jahr mit Mengen von 120 bis 170 Prozent der Norm 1981–2010 deutlich zu nass. Lugano und Locarno-Monti registrierten mit 150 bis 160 Prozent der Norm das dritt nasseste Jahr in den weit über 100jährigen Messreihen. Etwas mehr Niederschlag brachte hier letztmals das Jahr 1960 mit über 160 Prozent der Norm 1981–2010.

Die Sonnenscheindauer bewegte sich verbreitet im Bereich der Norm 1981–2010. Gebietsweise wurde allerdings auch eines der sonnenreicheren Jahre aufgezeichnet, so in Zürich mit 111 Prozent, in Luzern und in Neuchâtel mit 110 Prozent der Norm. In Graubünden, auf der Alpensüdseite sowie in Gipfel-lagen war es hingegen mit nur 80 bis 90 Prozent der Norm ein ausgesprochen sonnenarmes Jahr. Im Oberengadin wurde das dritt sonnenärmste, auf dem Säntis und dem Jungfraujoch das viert sonnenärmste Jahr registriert. Homogene Messreihen zur Sonnenscheindauer liegen seit 1959 vor.

Station	Höhe m ü.M.	Temperatur °C			Sonnenscheindauer h			Niederschlag mm		
		Mittel	Norm	Abw.	Summe	Norm	%	Summe	Norm	%
Bern	553	10.0	8.8	1.2	1823	1682	108	1034	1059	98
Zürich	556	10.6	9.4	1.2	1714	1544	111	1076	1134	95
Genève	420	11.7	10.6	1.1	1860	1828	102	1005	1005	100
Basel	316	11.9	10.5	1.4	1699	1637	104	869	842	103
Engelberg	1036	7.7	6.4	1.3	1317	1350	98	1658	1559	106
Sion	482	11.8	10.2	1.6	2022	2093	97	530	603	88
Lugano	273	13.5	12.5	1.0	1875	2069	91	2430	1559	156
Samedan	1709	3.2	2.0	1.2	1552	1733	90	957	713	134

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

Tabelle 1.1
**Ausgewählte Jahreswerte
 2014 im Vergleich zur Norm
 1981–2010.**

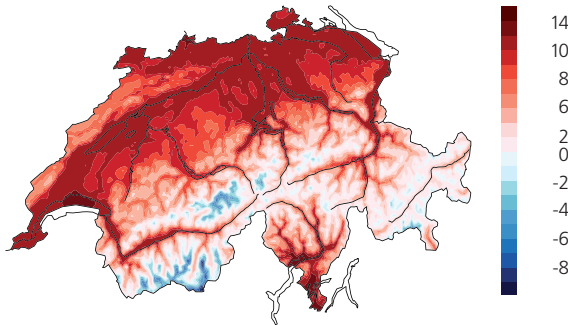
Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer im Jahr 2014

Abbildung 1.1

Räumliche Verteilung von Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer im Jahr 2014.
Dargestellt sind Messwerte (links) und die Abweichungen zur Norm 1981–2010 (rechts).

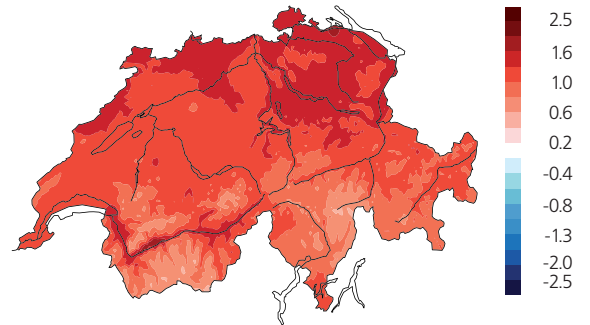
Messwerte 2014

Jahresmitteltemperaturen °C

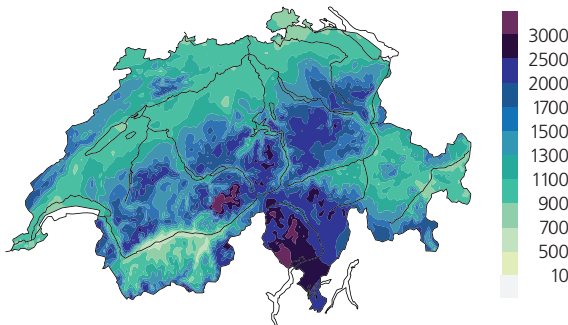


Abweichungen zur Norm 1981–2010

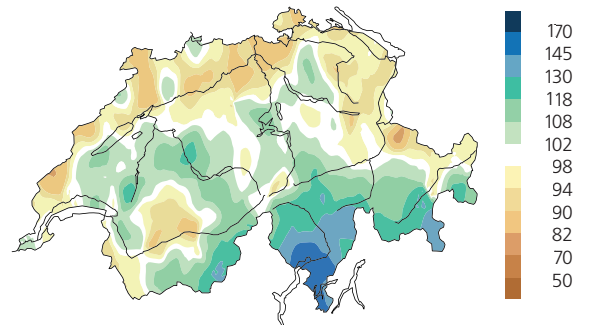
Abweichung der Jahresmitteltemperatur °C



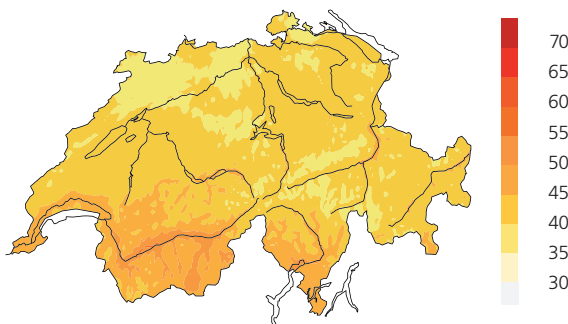
Jahres-Niederschlagssumme mm



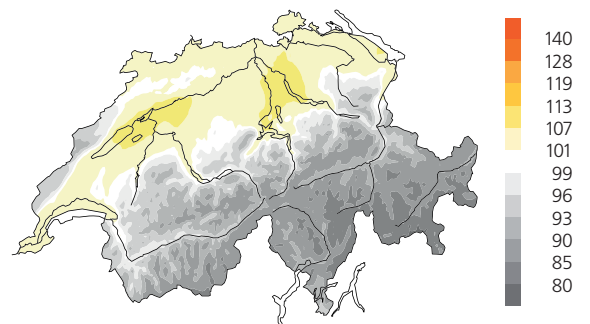
Jahres-Niederschlagssumme %



% der maximal möglichen jährlichen Sonnenscheindauer



Jährliche Sonnenscheindauer %

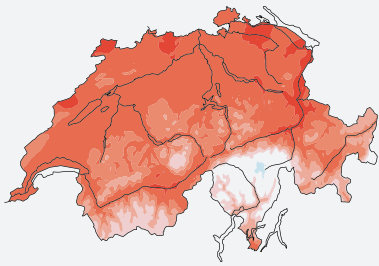


Monatstemperatur 2014 Abweichung zur Norm 1981–2010

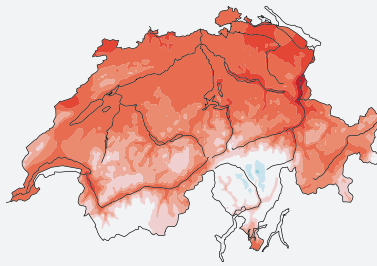
Abbildung 1.2

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

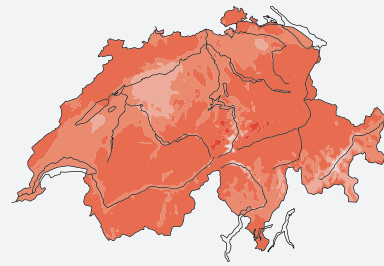
Januar 2014



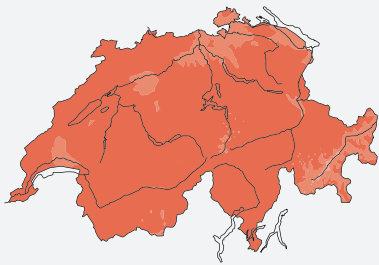
Februar 2014



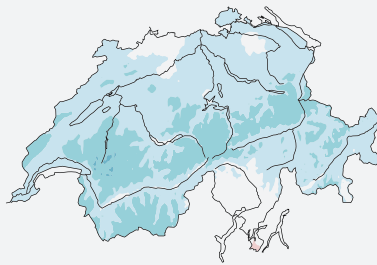
März 2014



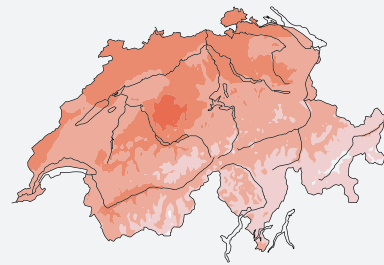
April 2014



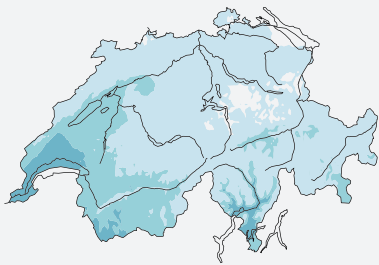
Mai 2014



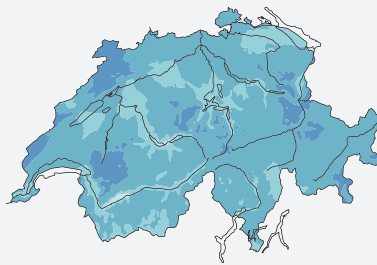
Juni 2014



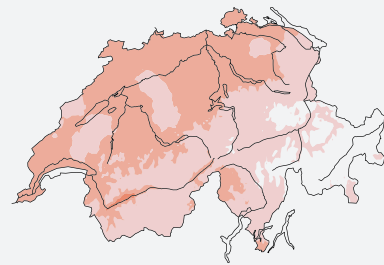
Juli 2014



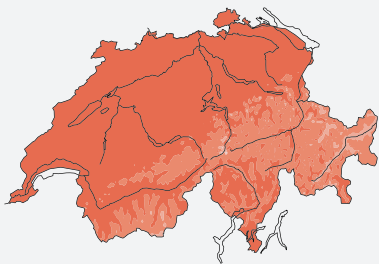
August 2014



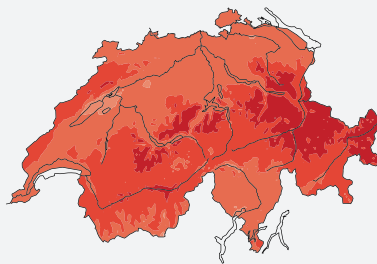
September 2014



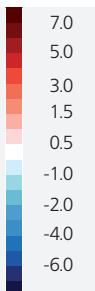
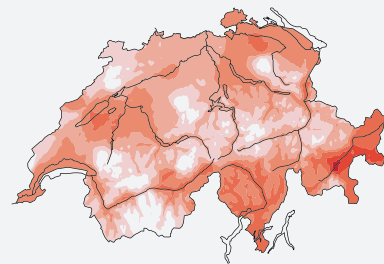
Oktober 2014



November 2014



Dezember 2014

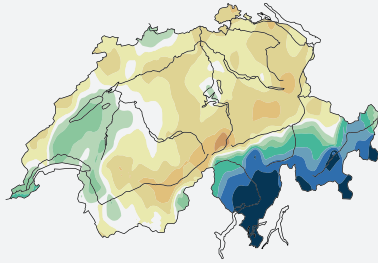


Monatsniederschlag 2014 in Prozent der Norm 1981–2010

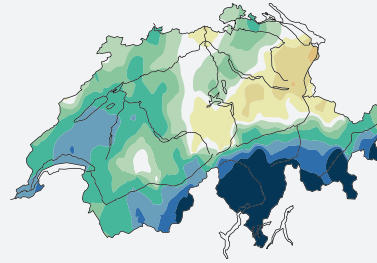
Abbildung 1.3

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

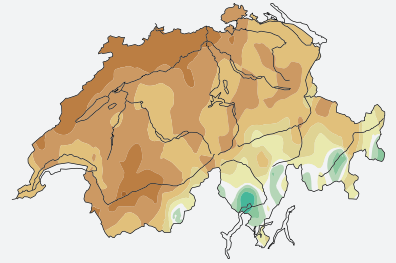
Januar 2014



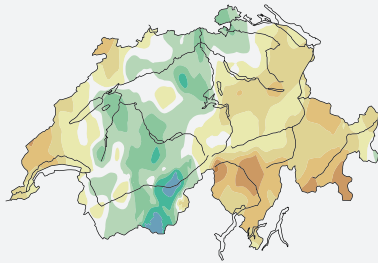
Februar 2014



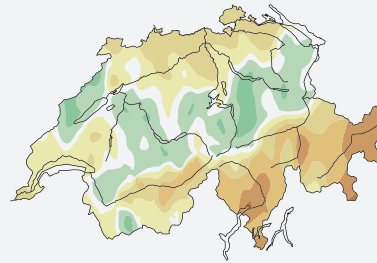
März 2014



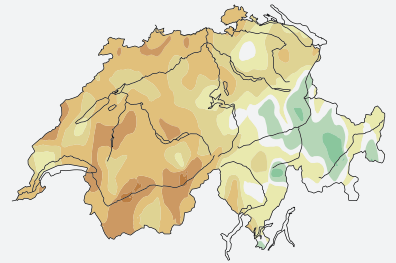
April 2014



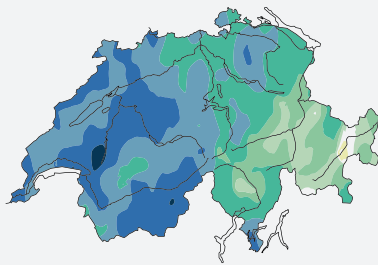
Mai 2014



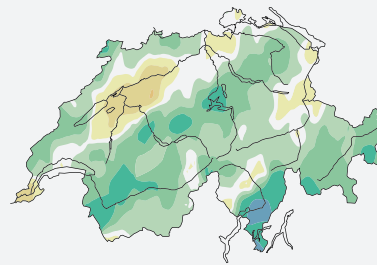
Juni 2014



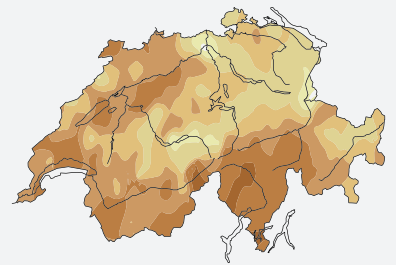
Juli 2014



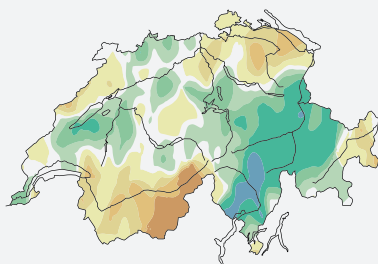
August 2014



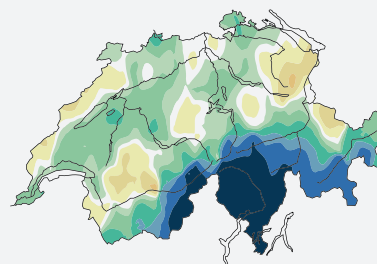
September 2014



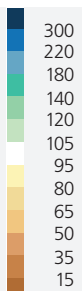
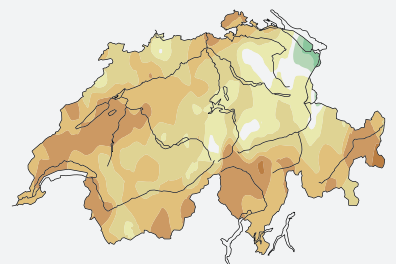
Oktober 2014



November 2014



Dezember 2014



Monatliche Sonnenscheindauer 2014 in Prozent der Norm 1981–2010

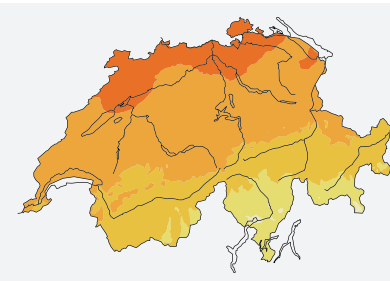
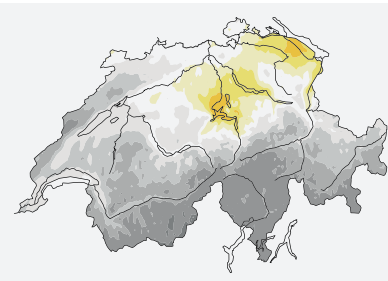
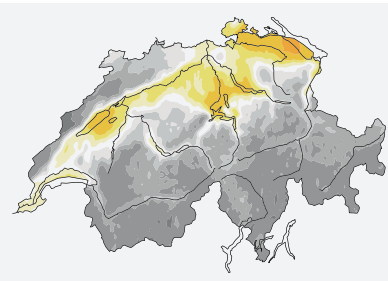
Abbildung 1.4

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

Januar 2014

Februar 2014

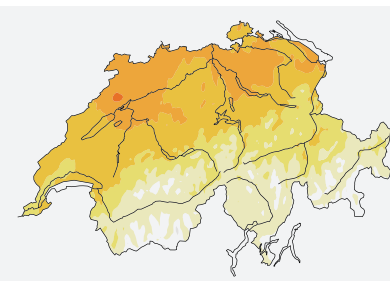
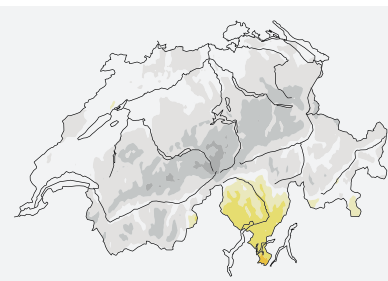
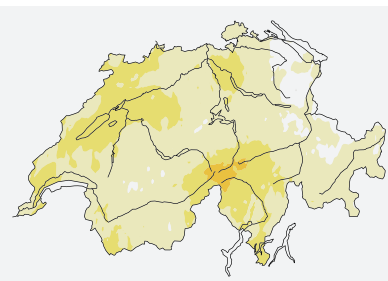
März 2014



April 2014

Mai 2014

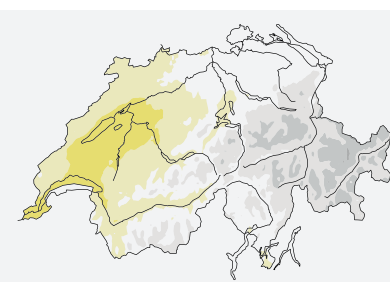
Juni 2014



Juli 2014

August 2014

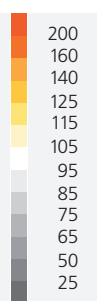
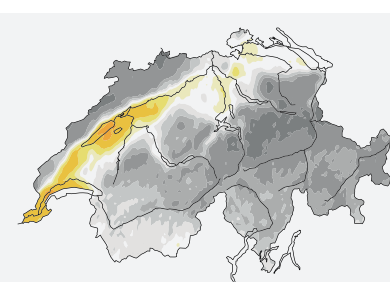
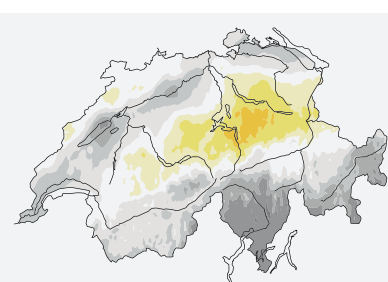
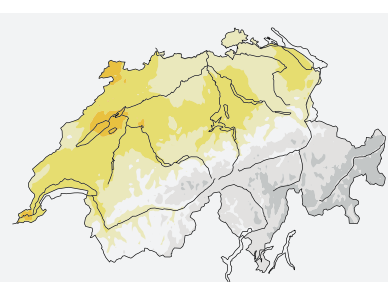
September 2014



Oktober 2014

November 2014

Dezember 2014





Stephan Siegirst beim Eisklettern.

Foto: visualimpact.ch; Thomas Senf



2 | Diagramme zum Jahresverlauf

18

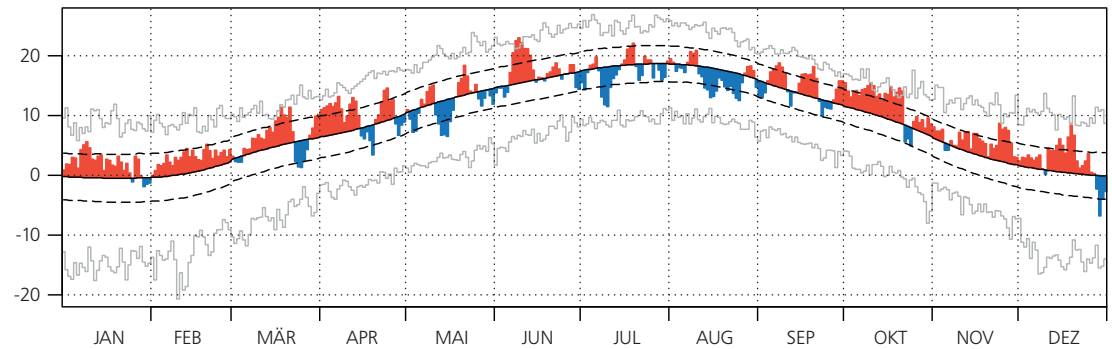
Temperatur, Sonnenscheindauer und Niederschlag

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

Bern-Zollikofen (553 m ü.M) 1.1.–31.12.2014

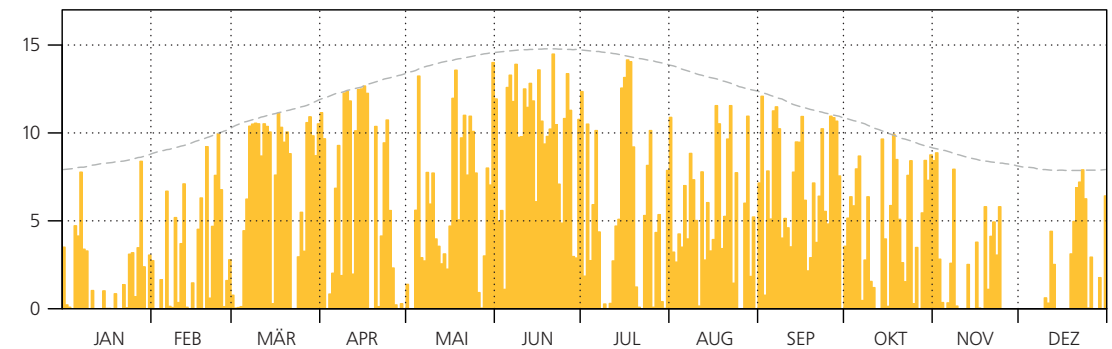
Mittlere tägliche Lufttemperaturen °C

Mittel: 10,0, Norm: 8,8



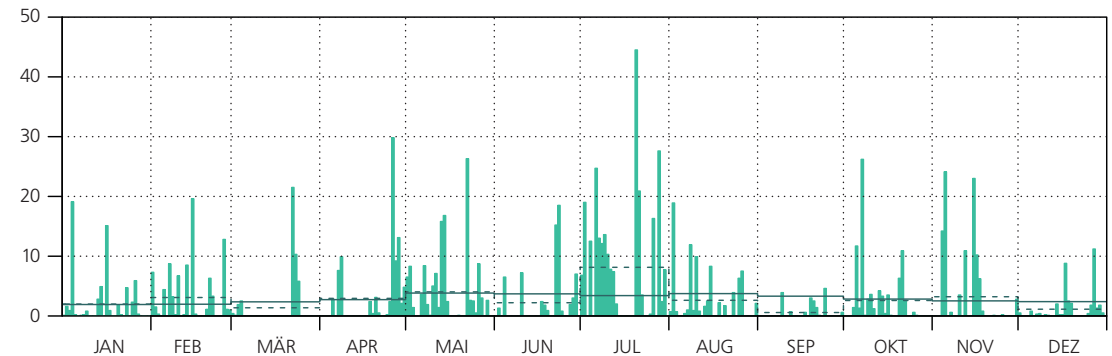
Tägliche Sonnenscheindauer h

Summe: 1822,7, Norm: 1682,1



Tägliche Niederschlagssummen mm

Summe: 1033,8, Norm: 1058,6

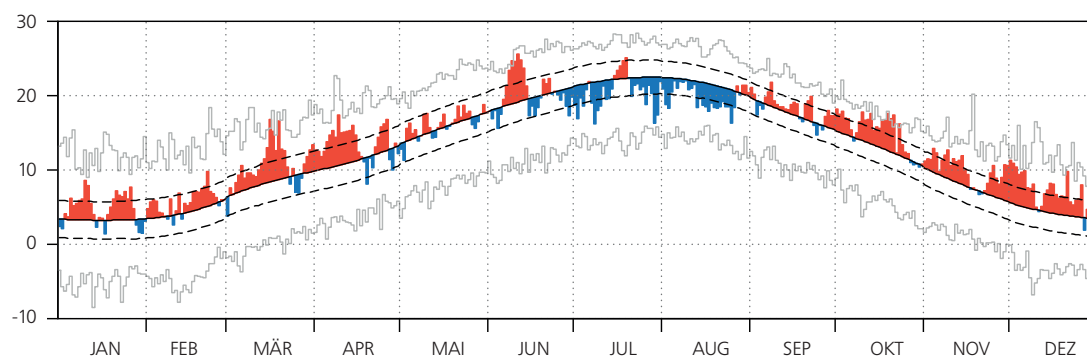


- Höchste bzw. tiefste Tagesmittel der Lufttemperatur der homogenen Datenreihe von 1864–2013
- Durchschnittliche homogene Tagesmittel der Lufttemperatur von 1981–2010 (Normwertperiode)
- - Standardabweichung der durchschnittlich homogenen Tagesmittel der Lufttemperatur von 1981–2010
- - - Tägliche, maximal 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.–31.12.2014

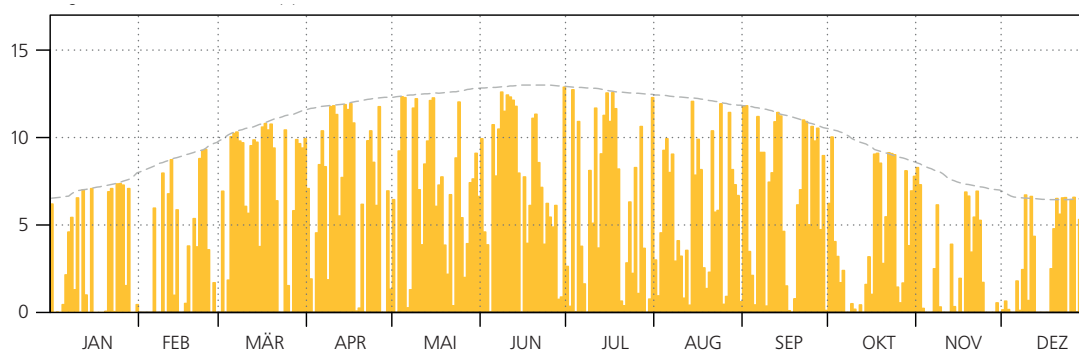
Mittlere tägliche Lufttemperaturen °C

Mittel: 13,5, Norm: 12,5



Tägliche Sonnenscheindauer h

Summe: 1874,9, Norm: 2068,9



Tägliche Niederschlagssummen mm

Summe: 2429,6, Norm: 1559,0

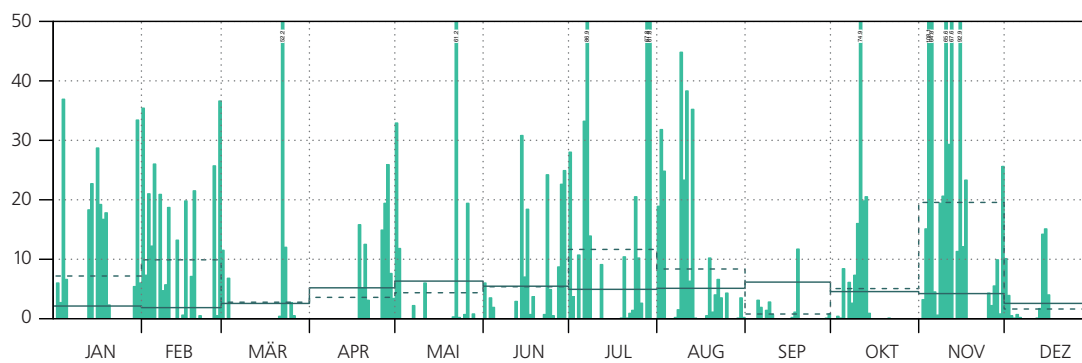


Abbildung 2.2
**Jahresverlauf der täglichen
 Temperatur, der täglichen
 Sonnenscheindauer und der
 täglichen Niederschlags-
 summen an der Messstation
 Lugano.**



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 in den Berner und Walliser Alpen 170–190 Wm^{-2} (Abbildung 2.3). Dies entspricht einer jährlich kumulierten Energie von ca. 1600 kWh m^{-2} . Das Schweizer Mittelland erhält aufgrund der winterlichen Nebelagen und einer erhöhten atmosphärischen Trübung deutlich weniger Globalstrahlung, nämlich etwa 130–150 Wm^{-2} (1200 kWh m^{-2}). Die Differenz zwischen Bergregionen und dem Flach-

land wird auch an einzelnen Stationen deutlich: Während die Station Zürich-Fluntern 135 Wm^{-2} gemessen hat erhielt die Station auf dem Jungfraujoch 181 Wm^{-2} .

Im Vergleich zum Mittel der vergangenen 10 Jahre lagen die Globalstrahlungswerte für 2014 schweizweit um etwa 1–3% tiefer. Allerdings ist diese negative Anomalie auf das Wallis, Tessin und auf das Bündnerland beschränkt. Dort wurden 3–5% weniger gemessen. Das Schweizer Mittelland erhielt 1–2% mehr Globalstrahlung. Im überaus bewölkten Juli wurden aber in der gesamten Schweiz durchwegs 30–50 Wm^{-2} weniger Globalstrahlung gemessen als normal (Abbildung 2.4).

Abbildung 2.3
Jahresmittel der Globalstrahlung für 2014 in W/m^2 hergeleitet aus Satellitendaten. Die Kreise geben die entsprechenden Messwerte der Stationsdaten an.

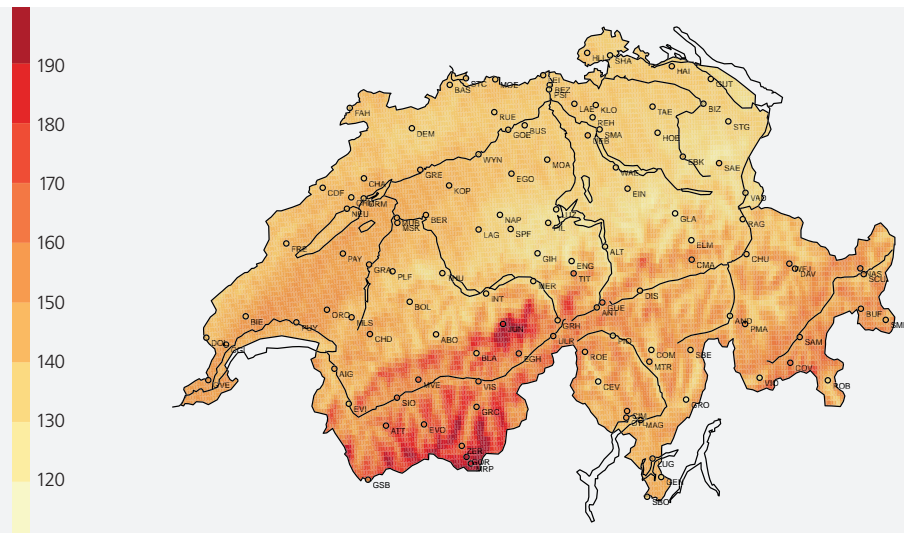
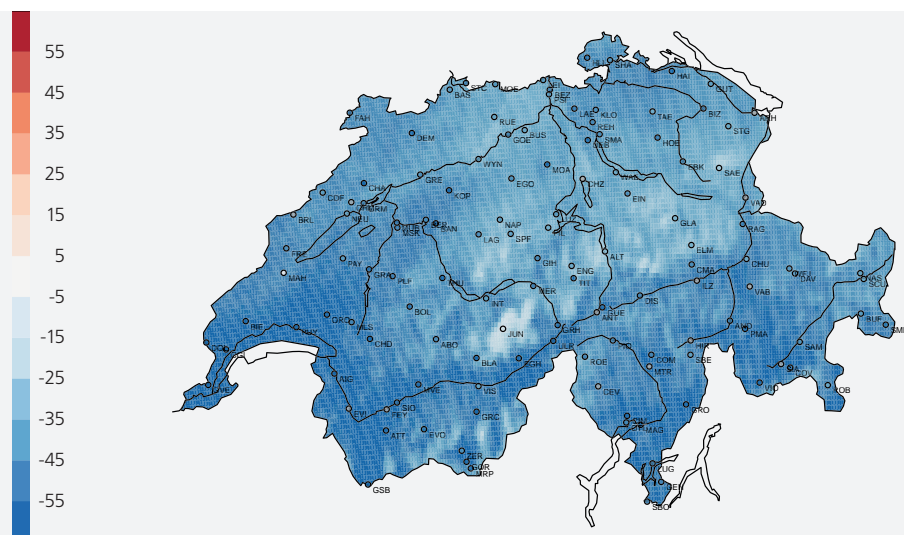
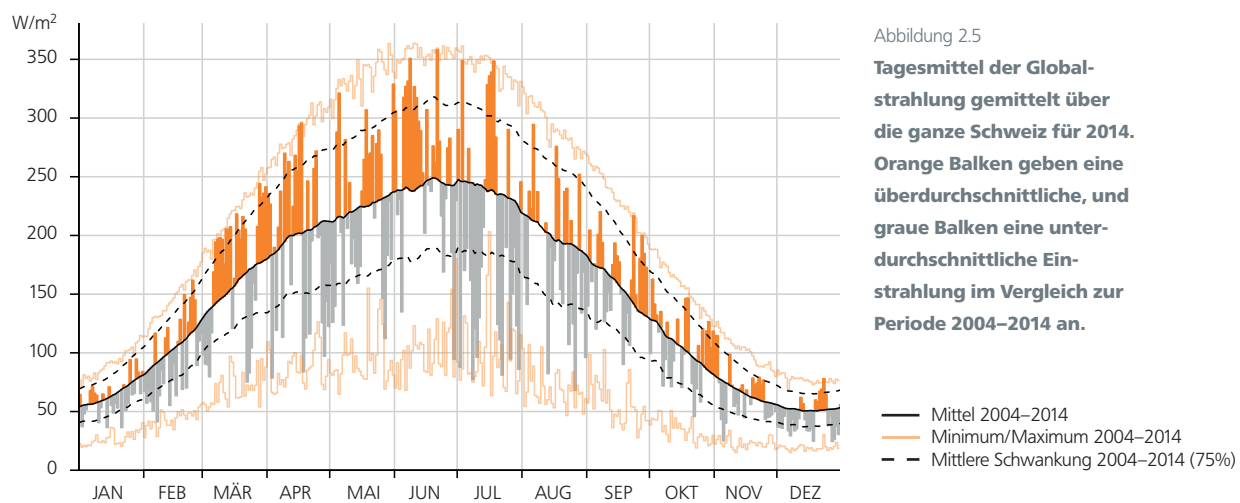


Abbildung 2.4
Monatliche Anomalie der Globalstrahlung für Juli 2014 in W/m^2 im Vergleich zu 2004–2014 hergeleitet aus Satellitendaten. Die Kreise geben die entsprechenden Messwerte der Stationsdaten an (Stationen mit grau ausgefüllten Kreisen haben nicht während der gesamten Referenzperiode gemessen).



Die Globalstrahlung besitzt in unseren Breitengraden einen ausgeprägten saisonalen Zyklus, der der Sonnenbahn folgt (Abbildung 2.5). Die Tagesmittel der Globalstrahlung schwanken aber aufgrund der täglich wechselnden Bewölkung äusserst stark.

Die dominant auftretenden grauen Balken verdeutlichen den trüben Sommer, denen ein überaus sonniger Frühling (März, April und Juni, orange Balken) vorausging. Auch die Periode von September bis Oktober war geprägt von meist schönen Tagen mit viel Sonne.



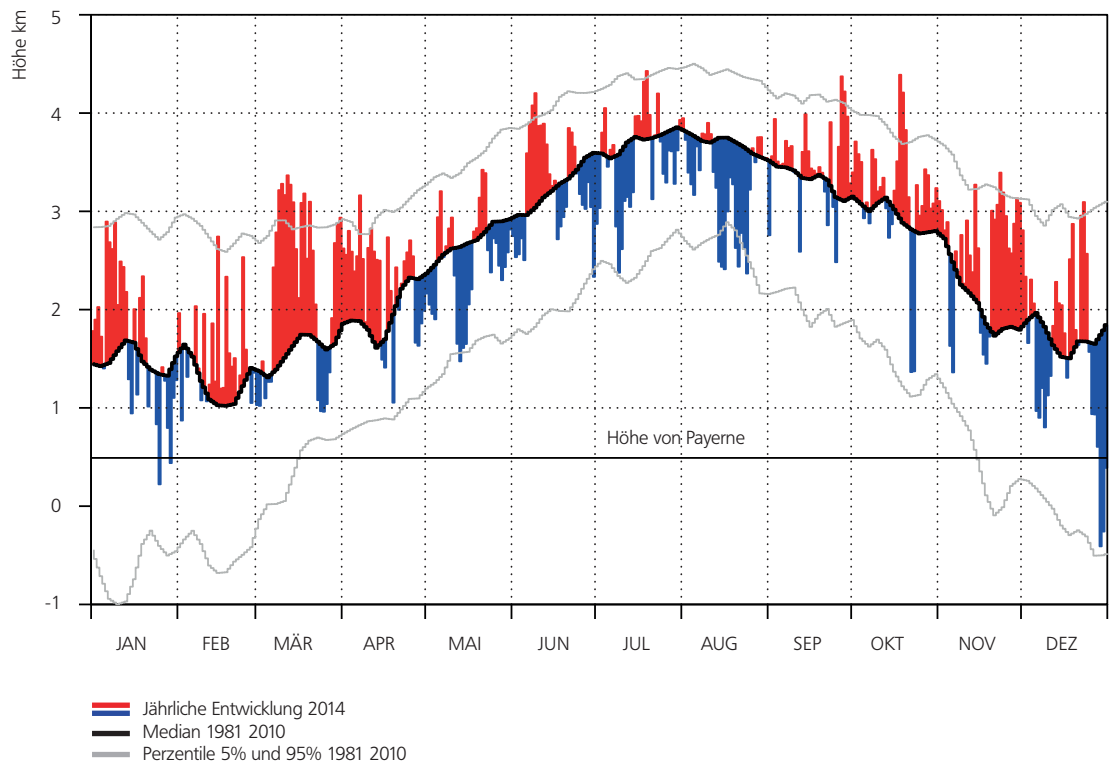
Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre

Der Verlauf der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre, ermittelt aus den täglichen Ballonsondierungen, widerspiegelt die eher hohen Temperaturen insbesondere in den ersten vier und dann wieder in den letzten vier Monaten des Jahres 2014. Von Mai bis August hingegen liegt die Nullgradgrenze tendenziell etwas tiefer im Vergleich zum Medianwert der Referenzperiode 1981-2010. Stark zum Ausdruck kommt der eher kühle Monat August mit weit unterdurchschnittlicher Nullgradgrenze. Der Medianwert der Nullgradgrenze im Jahr 2014 liegt aber um 240 Meter höher im Vergleich zum Medianwert der Referenzperiode 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.

Median 2014: 2.76 km; 1981-2010: 2.52 km

Abbildung 2.6
Tägliche Höhe der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre über Payerne im Jahr 2014, 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.



Tropopausen Höhe

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 Tropopausen Höhe wird aus den Ballonsondierungen ermittelt, welche zweimal pro Tag in Payerne gestartet werden. Die Berechnung der Tropopausen Höhe erfolgt mit einem automatischen Algorithmus entsprechend einer WMO Richtlinie.

Im Gegensatz zur Nullgradgrenze zeigt die Tropopausen Höhe im Jahr 2014 eher ausgeglichene Werte im Vergleich zum langjährigen Mittel, und auch eine ähnliche Höhe des Medianwertes wie das langjährige Mittel der Medianwerte über die Periode 1981–2010. Lediglich von Mai bis August zeigt auch die Tropopausen Höhe eher tendenziell tiefere Werte und somit eine mögliche Parallele zur tiefen Nullgradgrenze in den Sommermonaten 2014.

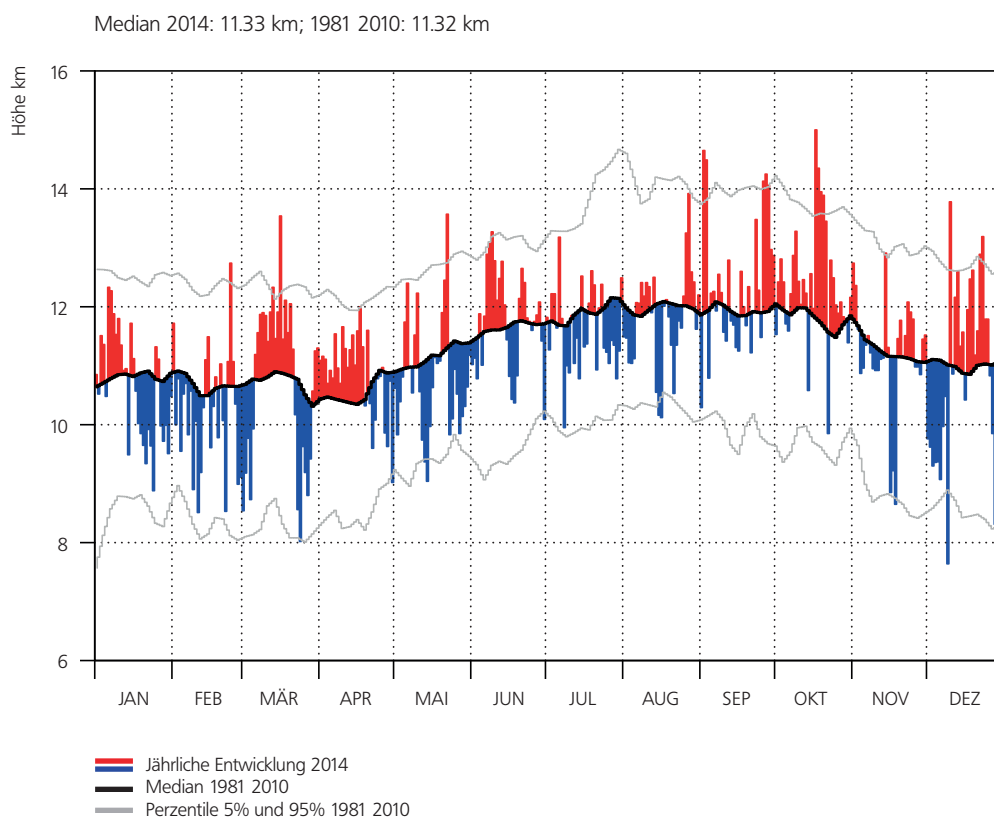


Abbildung 2.7

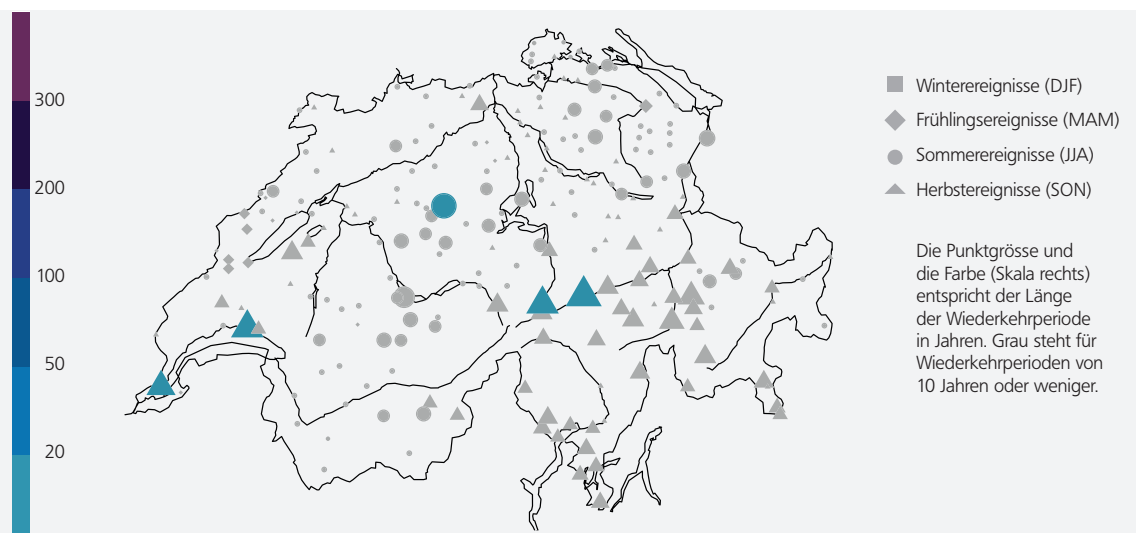
Tägliche Höhe der Tropopause über Payerne im Jahr 2014, ermittelt aus den aerologischen Radiosondenmessungen 00 UTC und 12 UTC. Der Medianwert (Referenzperiode 1981–2010) wurde mit homogenisierten Daten berechnet und mit einem numerischen Filter geglättet. Innerhalb der 5% und 95% Perzentil-Linien liegen 90% der Tagesmittelwerte.

Wiederkehrperioden der grössten 1-Tages Niederschlagssummen 2014

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

Mit diesem Verfahren (generalized extreme value analysis GEV mit Basisperiode 1961–2013) wird für jeden Niederschlags-Messstandort die höchste im Berichtsjahr erfasste 1-Tages-Niederschlagssumme beurteilt. Die Stationen mit den höchsten Wiederkehrperioden im Jahr 2014 (>10 Jahre) sind Genf (11), Göschenen (13), Luthern (13), Pully (13) und Disentis (15).

Abbildung 2.8
**Wiederkehrperioden
 (in Jahren) der grössten
 1-Tages Niederschlags-
 summen (06 Uhr bis
 06 Uhr) im Jahr 2014.**



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 öffentliche Gesundheit darstellt (Hautkrebs, Hornhautschäden usw.). Andererseits sind auch positive Effekte vorhanden, zum Beispiel bezüglich der Produktion von Vitamin D im Körper. Die UV-Messungen werden mit erythemalen UV-Biometern durchgeführt. Diese 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 seit Mai 1995 in Davos, seit November 1996 auf dem Jungfrauoch, seit November 1997 in Payerne und seit Mai 2001 in Locarno-Monti.

Der Vergleich der gleitenden Monatsmittel mit den mittleren jährlichen Verlaufswerten zeigt, dass im Jahr 2014 die UV-Strahlung an allen Messstandorten in den ersten sechs Monaten nahe der Norm verlief. Im Gegenzug dazu zeigten die beiden Monate Juli und August deutlich unterdurchschnittliche Werte. Dies ist markant am Messstandort Davos ersichtlich, etwas weniger markant am Messstandort Jungfrauoch. Verursacht wurde dieses Strahlungsdefizit durch die regnerische und ungewöhnlich trübe hochsommerliche Witterung. An trüben Tagen wird der Strahlungsfluss vor allem durch die Bewölkung und weniger durch das Ozon beeinflusst. Später im Jahr, mit wieder durchschnittlichen Bewölkungsverhältnissen, bewegte sich die UV-Strahlung wieder sehr nahe der Norm.

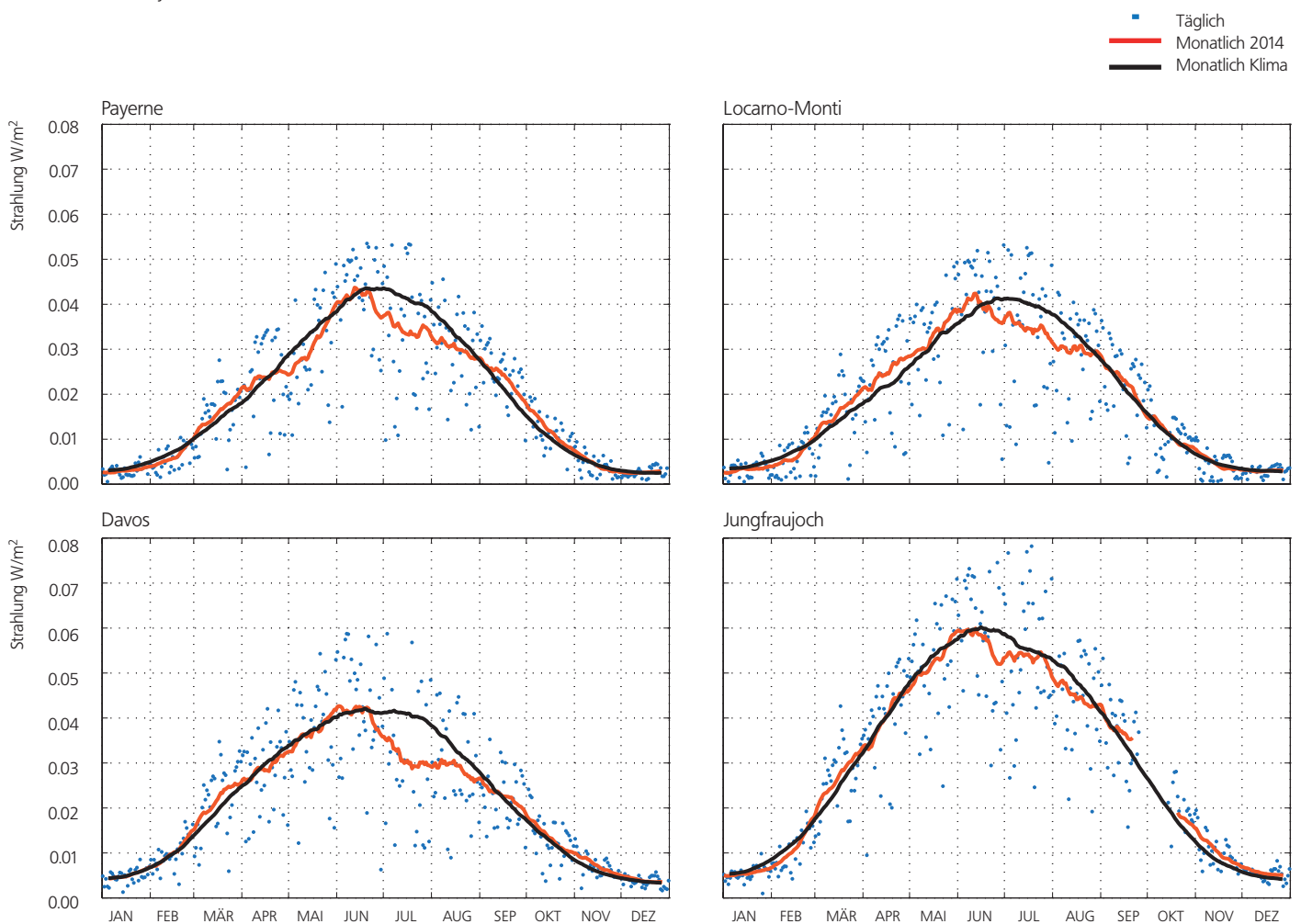


Abbildung 2.9

Tägliche Mittelwerte 2014 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 1995-2013 (Davos), 1997-2013 (Jungfrauoch), 1998-2013 (Payerne) und 2001-2013 (Locarno-Monti).

Ozommessreihe Arosa

Die Entwicklung der Gesamtozonsäule über Arosa im Jahresverlauf (Abbildung 2.10) zeigt die typische Jahresfluktuation, 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 2014 lagen die Ozonwerte unterhalb der Werte dem langjährigen Mittel 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.

Die Ozonprofile werden in Arosa seit 1956 von einem Dobson-Spektralphotometer gemessen; dadurch ist die längste Messreihe der Welt entstanden. Ozonprofile werden seit 1988 zusätzlich auch von einem Brewer-Spektralphotometer gemessen. Die jährlichen Schwankungen des Ozons in DU für das Jahr 2014, von Brewer-Spektralphotometer gemessen, sind in der folgenden Grafik (Abb. 2.11) in Farbe angegeben. Die Mittelwerte der Jahre 1970 bis 1980, von Dobson-Spektralphotometer gemessen, sind in Schwarz dargestellt (Höhenkurven für 20, 40, 60 und 80 DU). Das erlaubt, die Unterschiede in den Ozonwerten des laufenden Jahres abhängig von der Höhe und in Bezug auf die Klimawerte zu visualisieren.

Abbildung 2.10
Entwicklung der Gesamtozonsäule über Arosa im Jahresverlauf 2014.
Schwarze Kurve: täglicher Durchschnitt. Rote Kurve: monatlicher Durchschnitt.
Die blaue Kurve zeigt den durchschnittlichen Jahresverlauf im Zeitraum 1926 bis 1969, also vor Einsetzen des Problems der Ozonerstörung. 80 Prozent der langfristigen Fluktuationen innerhalb des Zeitraums 1926 bis 1969 liegen innerhalb des blauen Bereichs.

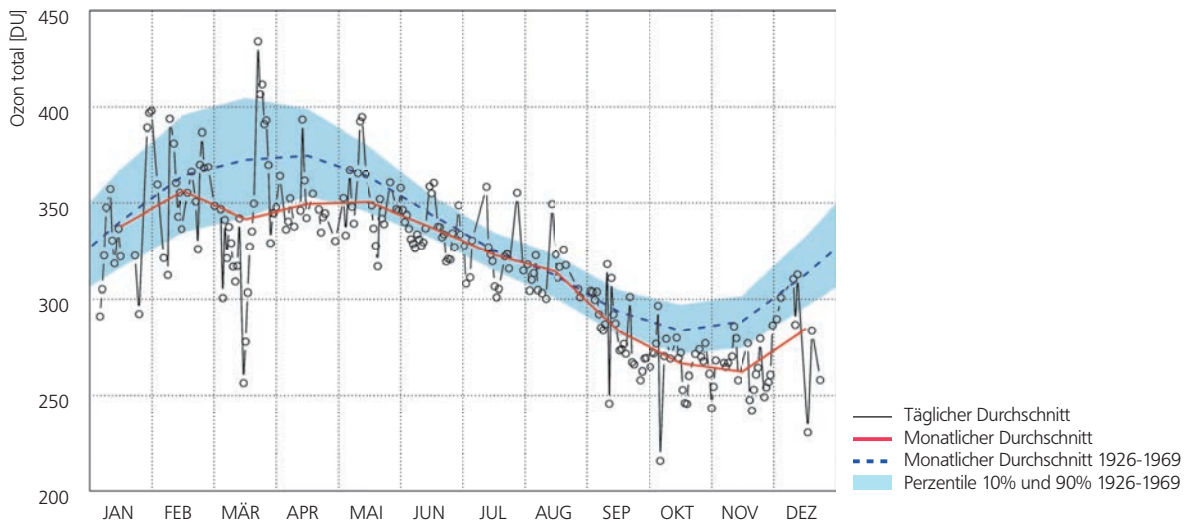
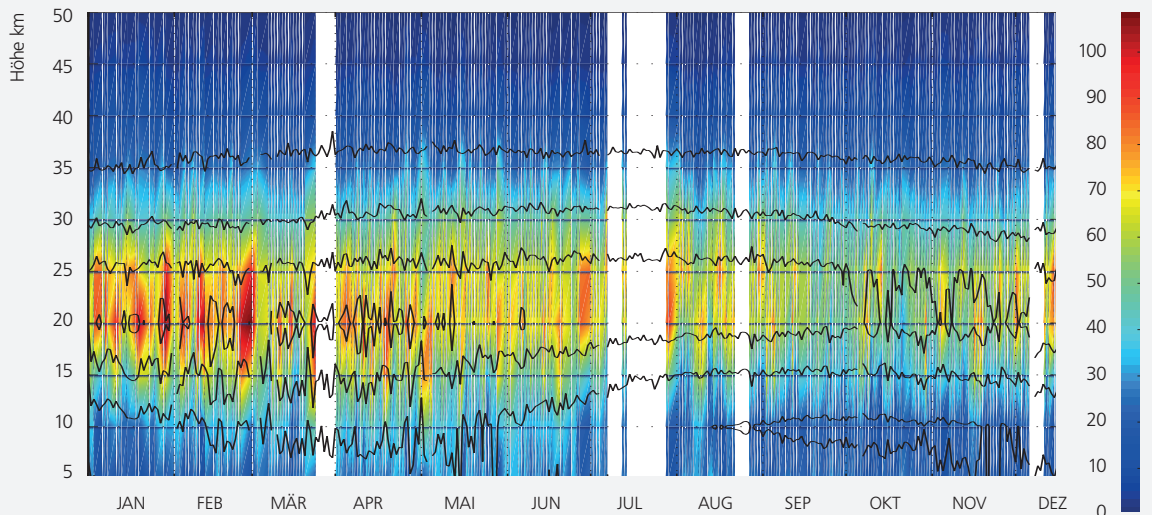


Abbildung 2.11
Die in Arosa von einem Dobson-Spektralphotometer gemessenen Ozonprofile im Jahr 2014.
Die Grafik zeigt die Ozonkonzentration in Dobson Units (DU) (Skala rechts zwischen 0 und 90 DU).
100 DU = 1 mm reines Ozon bei Normaldruck 1013 hPa und 0°C.



Ozonmessungen Payerne

Das Mikrowellen-Radiometer SOMORA misst seit 2000 die vertikale Verteilung des Ozons in Payerne mit einer zeitlichen Auflösung von 30 Minuten. Die jährliche Schwankung des Ozons in ppm ist in der folgenden Grafik (Abbildung 2.12) für 2014 mit Farbe angegeben, für 2013 in Schwarz. (Höhenkurven für 4, 6 und 8 ppm). Das erlaubt die Darstellung der unterschiedlichen Ozonwerte des laufenden Jahres abhängig von der Höhe und im Vergleich mit dem Vorjahr.

Die Jahresreihe zeigt auch an, wann im Jahresverlauf die maximalen Ozonwerte aufgetreten sind (z.B. sichtbar im Dezember 2013, aber nicht im Jahr 2014) und wann die minimalen Ozonwerte (sichtbar im Februar 2013, aber nicht im Jahr 2014).

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 (Abbildung 2.13) zeigt die Entwicklung im Detail für das Jahr 2014 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 mittleren 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.

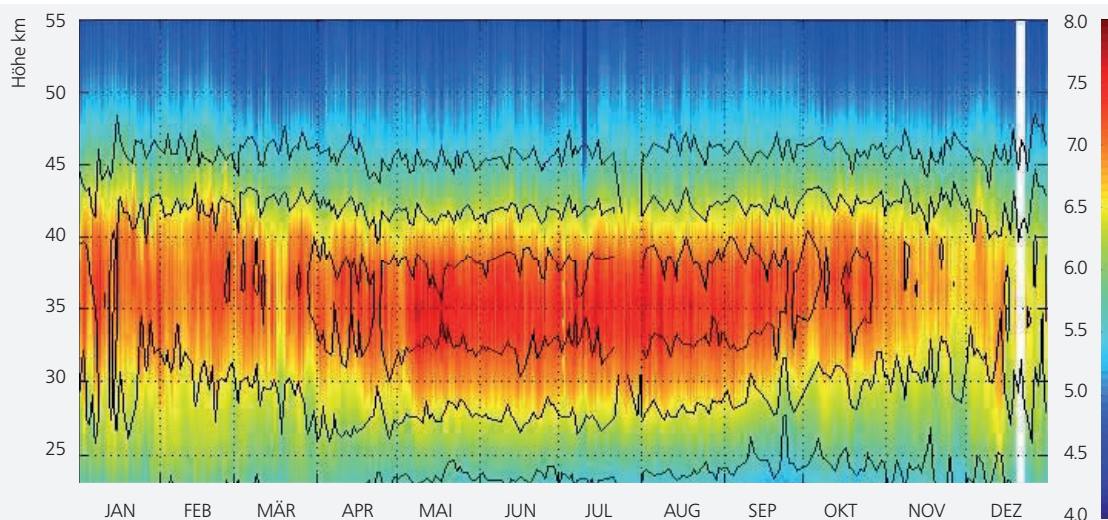
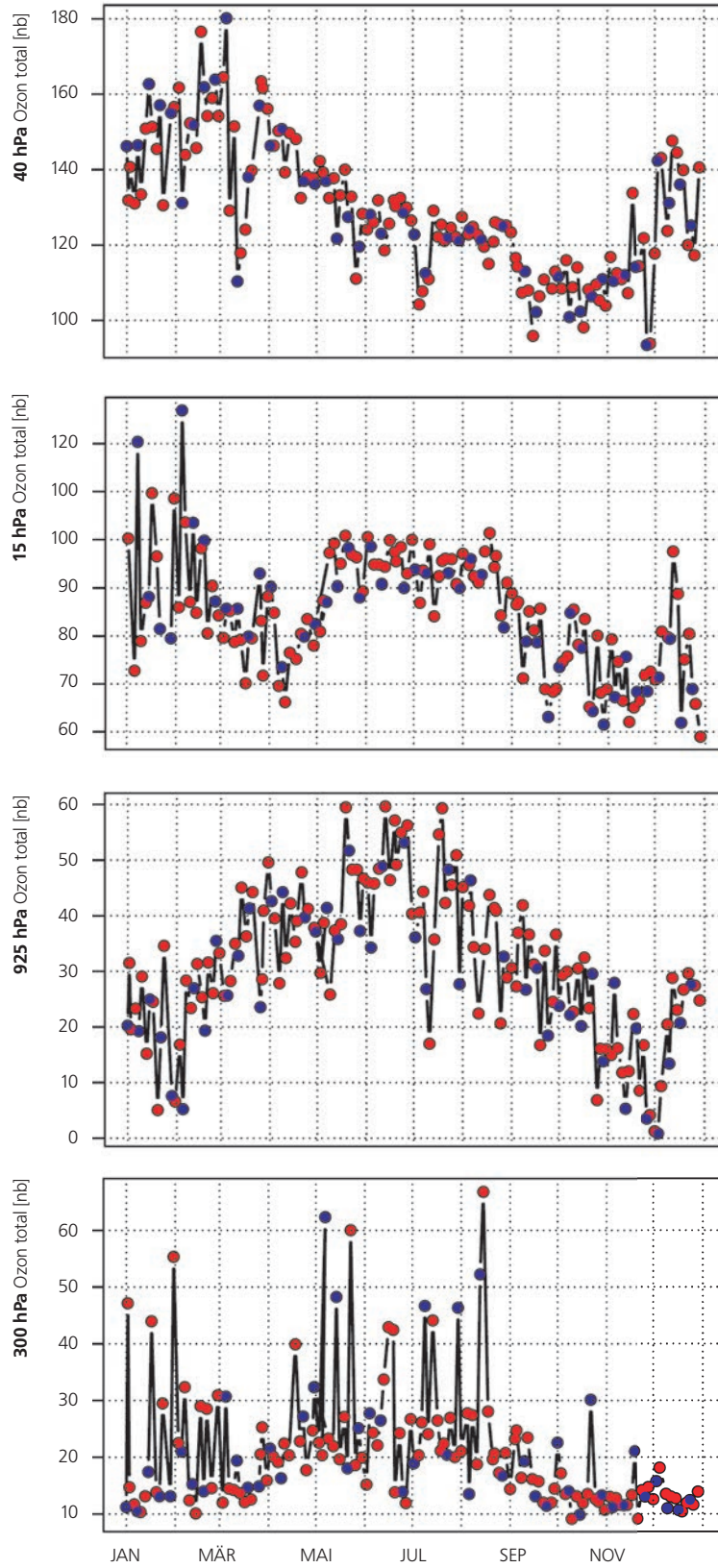


Abbildung 2.12
Durch Mikrowellenradiometer im Jahr 2014 in Payerne gemessene Ozonprofile. Die Grafik zeigt das Volumenmischungsverhältnis (VMR) des Ozons in Teilen pro Million (ppm). Rechte Skala zwischen 4 und 8 ppm.

Abbildung 2.13
Entwicklung der Ozonkonzentration (Partialdruck in Nanobar) im Jahr 2014 in verschiedenen Höhen in der Troposphäre (<10 km, bei 925 hPa und 300 hPa) und der Stratosphäre (>10 km, bei 40 hPa und 15 hPa).
 Die blauen Punkte kennzeichnen Daten, die von neuen Messsonden geliefert wurden. Die mit roten Punkten gekennzeichneten Werte stammen von wieder verwendeten Sonden.



Aerosolmessungen Jungfraujoch

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

Im Jahresverlauf der Aerosolparameter auf dem Jungfraujoch zeigen sich im Sommer maximale und in Winter minimale Werte. Die durch natürliche und anthropogene Prozesse erzeugten Aerosole sammeln sich insbesondere in der planetarischen Grenzschicht, also der untersten Schicht der Atmosphäre, in einer je nach Jahreszeit typischen Höhe zwischen 0.5 und 2 km an.

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

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

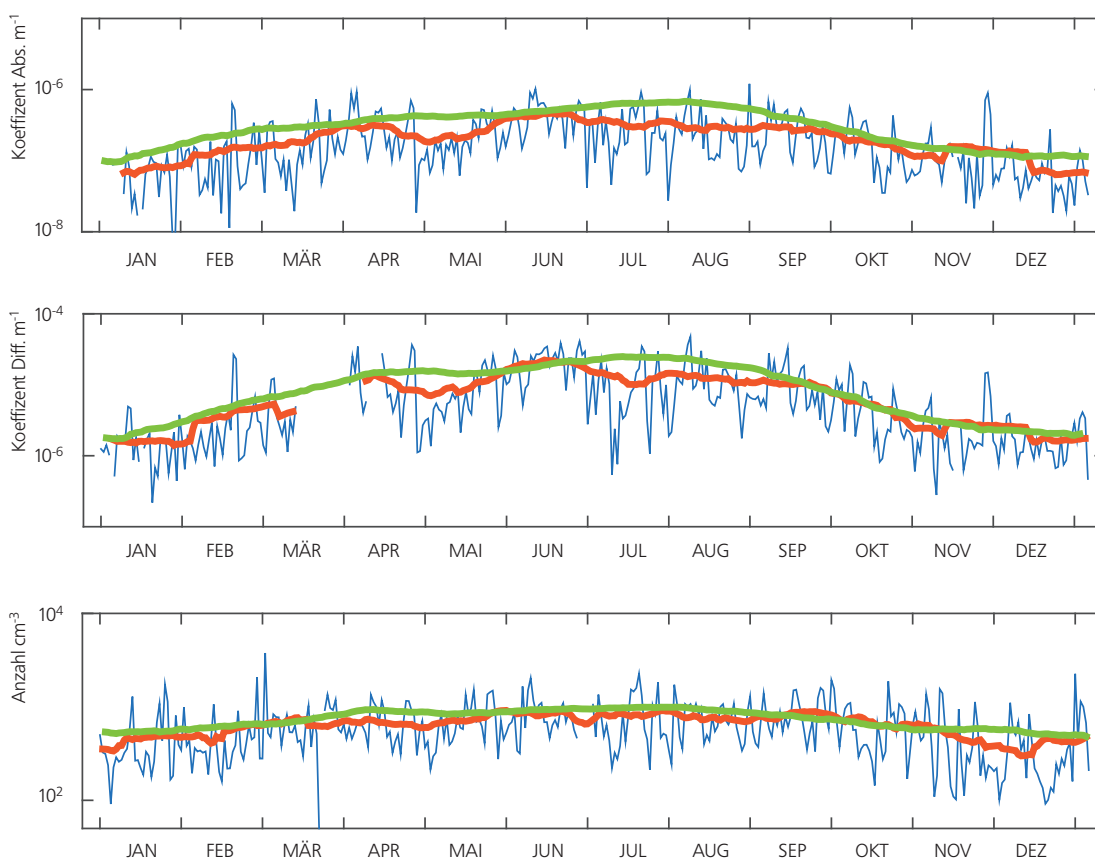


Abbildung 2.14

Entwicklung des Absorptionskoeffizienten bei 880 nm (oben), des Diffusionskoeffizienten bei 450 nm (Mitte) und der zahlenmässigen Konzentration (unten) der Aerosole im Jahr 2014 auf dem Jungfraujoch. Blaue Kurve: tägliches Mittel 2014. Rote Kurve: gleitendes monatliches Mittel 2014. Grüne Kurve: gleitendes monatliches Mittel im Zeitraum 1995 bis 2013.

Vegetationsentwicklung

Das wärmste Jahr, die drittwärmste erste Jahreshälfte und der zweitwärmste Herbst seit Messbeginn wirkten sich deutlich auf die Vegetation im Jahr 2014 aus. Die Frühlingspflanzen entwickelten sich bis Anfang Mai früh bis sehr früh im Vergleich mit der Periode 1981–2010 (Kap. 5.2 Frühlingsindex). Erst danach wurde die Vegetationsentwicklung durch kühlere Temperaturen etwas gebremst, so dass die Sommerphasen meist normal bis nur leicht zu früh auftraten. Die Blattverfärbung und der Blattfall wurden durch milde Herbsttemperaturen verzögert, und sie wurden häufig mit Verspätung auf das Mittel beobachtet. Im November und Dezember blühten sogar vereinzelt Frühlingsblumen.

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 2014 angegeben.

Frühling

Schon im Januar konnten im Flachland blühende Haselsträucher beobachtet werden. Im Februar blühten sie bereits in Höhenlagen bis gegen 1000 m. 36% der Haselbeobachtungen waren früh bis sehr früh, 58% lagen im normalen zeitlichen Rahmen der Vergleichsperiode 1981–2010. Mit der anhaltend milden Witterung vergrösserte sich der Vorsprung der Vegetation im März und April. Hufattich und Buschwindröschen wiesen im März auf der Alpennordseite einen Vorsprung von 1–3 Wochen auf das Mittel auf, im Tessin war dieser Vorsprung etwas geringer.

Ende März, Anfang April konnten blühende Kirschbäume, Löwenzahn und Wiesenschaumkraut beobachtet werden, bald gefolgt von der Blüte der Birnbäume und ab Mitte Monat auch jener der Apfelbäume. Die Vegetationsentwicklung aller Frühlingspflanzen fand in diesem Jahr früh bis sehr früh statt. Besonders deutlich war der Vorsprung der Kräuter und Obstbäume im April mit 6–18 Tagen. Die Wälder ergrünten im Lauf des Monats April zunehmend. Ab Mitte April wurde die Blattentfaltung der Buche mit 3–11 Tage Vorsprung beobachtet. Im März konnten je nach Pflanzenart 60–70% aller Beobachtungen in die Klassen sehr früh und früh eingeordnet werden, im April sogar 70 bis über 90%. Kühleres Wetter im Mai bremste die Vegetationsentwicklung leicht.

Sommer

Der Schwarze Holunder, welcher den Frühsommer einleitet, blühte in der zweiten Maihälfte mit einem Vorsprung von 2–14 Tagen. Im Verlauf des Sommers verringerte sich der Vorsprung der Vegetation aufgrund der kühlen Witterung von etwa einer Woche auf nur noch wenige Tage im Juli. Die Sommer- und Winterlinden blühten im Juni im Flachland mit einem mittleren Vorsprung von +1 bis -11 Tagen auf das Mittel. Bei der allgemeinen Blüte der Sommerlinde waren noch 49% aller Beobachtung sehr früh bis früh, bei der Winterlinde nur noch 36%. Die Vegetation bewegte sich meist im normalen zeitlichen Rahmen.

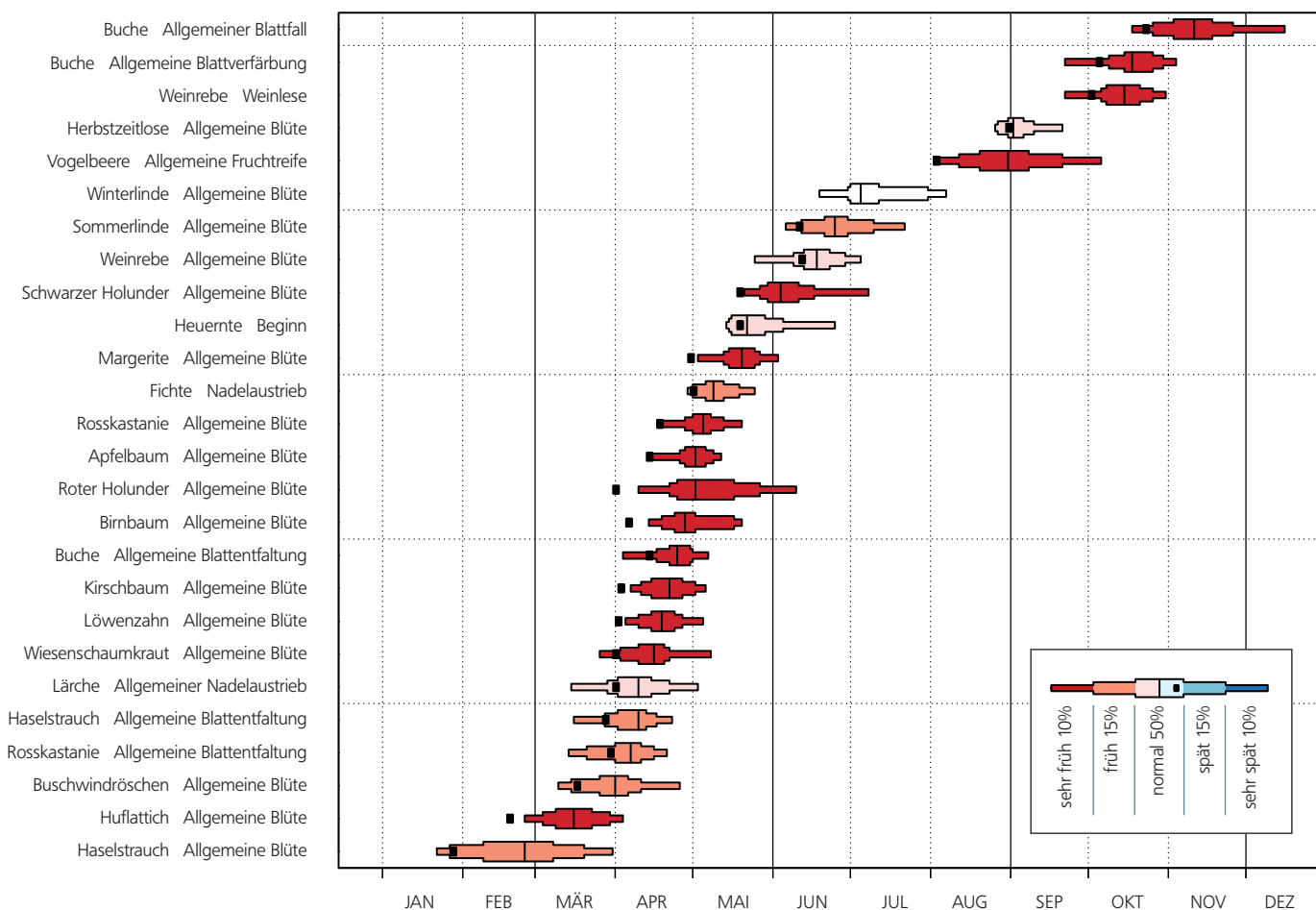
Herbst

Die Blüte der ersten Herbstboten, der Herbstzeitlosen, trat im August und September meist normal bis leicht zu früh auf. Die Blattverfärbung der Bäume wurde von September bis November beobachtet, mit einem Maximum im Oktober. Der zweitwärmste Herbst seit Messbeginn brachte uns einen eher späten phänologischen Herbst. Die Blattverfärbung der Buche war in 47% der Fälle spät bis sehr spät und in 33% der Fälle normal mit einer Abweichung von -3 bis +11 Tagen auf das Mittel 1981–2010. Der Blattfall der Buchen trat zum grössten Teil im November und vereinzelt sogar erst im Dezember auf. Es gab kaum Frostereignisse und auch Herbststürme fehlten, welche die Blätter in diesem Herbst von den Bäumen geblasen hätten.

Der Blattfall war in 51% der Fälle spät bis sehr spät, in 29% der Fälle normal, mit einer Abweichung von -4 bis +12 Tage. Räumliche und zeitliche Muster bei Blattverfärbung und -fall waren nicht zu erkennen, da die Beobachtung wie in jedem Jahr von Stationen zu Station sehr stark variierten. Die Herbstbeobachtungen waren in diesem Jahre besonders schwierig, weil viele Bäume lange noch grüne Blätter trugen, auch wenn am selben Baum schon ein beträchtliche Anteil der Blätter zu Boden gefallen war. Im November und Dezember blühten vereinzelt Frühlingsblumen: Löwenzahn, Veilchen, Buschwindröschen, Frühlingsenzian, Schlüsselblumen und Erdbeeren, die sogar reife Früchte trugen. Ähnliche Beobachtungen wurden auch im sehr milden Herbst 2006 gemacht.

Abbildung 2.15

Phänologischer Kalender 2014 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.



Pollensaison

Die Pollensaison der meisten allergenen Pflanzen begann im Jahr 2014 früh bis sehr früh, da die Temperaturen von Januar bis April deutlich zu mild waren. Intensiv war der Pollenflug von Hasel, Birken und Gräser, nur schwach wie er für die Eschen und für Ambrosia im Tessin. Die Pollensaison 2014 wird mit dem 15-jährigen Mittel 1997–2011 verglichen.

Auf der Web-Seite 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

Während den warmen Tagen vom 6.–9. Januar wurden in der ganzen Schweiz die ersten Haselpollen gemessen. Verglichen mit dem 15-jährigen Mittel von 1997–2011 gehörte dieses Datum mit einem Vorsprung von rund 10 Tagen zu den früheren Jahren. Starke Belastungen traten auf der Alpennordseite verbreitet ab dem 6. Februar auf, im Tessin hingegen schon in der letzten Januardekade; beidseits der Alpen rund eine Woche früher als im Mittel. Milde Februar- und Märztemperaturen beschleunigten die Vegetationsentwicklung, so dass die Birkenpollensaison bereits zwischen dem 17. und 20. März begann. Im Tessin waren das 7–9 Tage und auf der Alpennordseite 10–14 Tage früher als im Mittel. Das Startdatum war das zweit- bis fünftfrüheste innerhalb der Vergleichsperiode. Einen noch früheren Beginn zeigten die Jahre 1997, 2002 und vor der Vergleichsperiode auch 1990 und 1994.

Eschenpollen waren ab Mitte März in der Luft, an einigen Stationen früher, an anderen später als im Mittel. Im April begann die Buchenpollensaison 6–13 Tage und die Eichenpollensaison 11–16 Tage früher als im Mittel. Bei der Buche war es das zweitfrüheste Jahr, bei der Eiche das früheste bis zweitfrüheste Jahr nach 2011 und teilweise 2007. Sehr früh begann auch die Gräserblüte. In Locarno wurden ab Mitte März und auf der Alpennordseite ab Mitte April regelmässig Gräserpollen gemessen, wenn auch noch in geringen Konzentrationen. Im Tessin, in Basel und Luzern war dies so früh wie noch nie während der 15-jährigen Vergleichsperiode 1997–2011.

Der Grund für die sehr frühe Entwicklung der Gräser lag bei den sehr milden Temperaturen im März und April. Bereits ab dem 10. April wurden im Tessin starke Gräserpollenbelastungen gemessen, auch das rekordfrüh mit einem Vorsprung von 24–26 Tagen. Der Blühbeginn von Beifuss und Ambrosia im Sommer variiert allgemein nur wenig: ab Mitte Juli traten Beifusspollen und ab Ende der ersten Augustwoche Ambrosiapollen auf.

Dauer der Pollensaison

Aufgrund des frühen Blühbeginns dauerte die Haselpollensaison bis zu zwei Wochen länger als im Mittel der Vergleichsperiode. Der letzte Tag mit starkem Haselpollenflug wurde erst zwischen dem 6. und 15. März gemessen, wenige Tage später als im Mittel. Die Dauer der Erlenpollensaison hingegen unterschied sich kaum vom Mittel. Extrem kurz und schwach war in diesem Jahr die Eschenpollensaison. Die Birkenpollensaison war an den Westschweizer Stationen kürzer als im Mittel, sehr deutlich in Lausanne und Neuchâtel, jedoch in der Zentral- und Ostschweiz leicht länger als im Mittel. Regnerisches Wetter be-

endete die Birkenpollensaison ab dem 20. April in der Westschweiz einige Tage früher als in der Zentral- und Ostschweiz. Die Dauer der Gräserpollensaison war von Station zu Station stark unterschiedlich: lang war die Saison in Luzern, Buchs, Bern, Lugano und Visp, kürzer als im Mittel war sie in Genève, Lausanne, Neuchâtel und Münsterlingen. Dabei spielte vor allem das Enddatum (hier gewählt der letzte Tag mit mässiger Belastung) eine Rolle, das je nach Station entweder schon Mitte Juli oder erst nach Mitte August auftrat.

Intensität der Pollensaison

Sehr auffällig war in diesem Jahr die extrem schwache Eschenpollensaison. An vielen Stationen wurde das schwächste Eschenpollenjahr seit Messbeginn registriert. Dabei wiesen zehn Stationen höchstens mässige Pollenbelastungen auf. Die Gründe für diese schwache Eschenblüte war die sehr hohe Pollenproduktion im Vorjahr, so dass im aktuellen Jahr die noch vorhandenen essentiellen Nährstoffe zur Blütenreife nicht gereicht

haben. Möglicherweise spielte auch der Befall der Eschen mit dem Pilz des Eschentriebsterbens (*Chalara fraxinea*), der sich in der Schweiz seit wenigen Jahren ausbreitet, eine Rolle. Ebenfalls sehr schwach war die Pollenproduktion der Edelkastanie im Tessin mit der geringsten je gemessenen Pollenmenge. Der Grund dafür ist der starke Befall der Bäume mit der Edelkastanien-Gallwespe. Eine intensivere Pollensaison als normal wiesen Hasel-, Birken- und Gräserpollen auf; besonders stark war die Birkenpollensaison im Tessin. Gleichzeitig wie die Birken blühten die Hagebuchen sehr stark während den warmen Tagen von Ende März bis Mitte April. Die Kombination dieser beiden Arten führte zu einem häufigeren Auftreten von Pollenasthma in diesem Jahr. Die Beifusspollensaison im Wallis lag im Bereich des Mittels, während die Ambrosiapollensaison in Genf im Bereich des Mittels lag, im Tessin jedoch erneut eher schwach war. Der Grund dafür ist vermutlich wie im letzten Jahr das Vorkommen eines Käfers (*Ophraella communa*) in Norditalien und im Tessin, welcher die Ambrosiapflanzen befallt und sie stark schädigt.

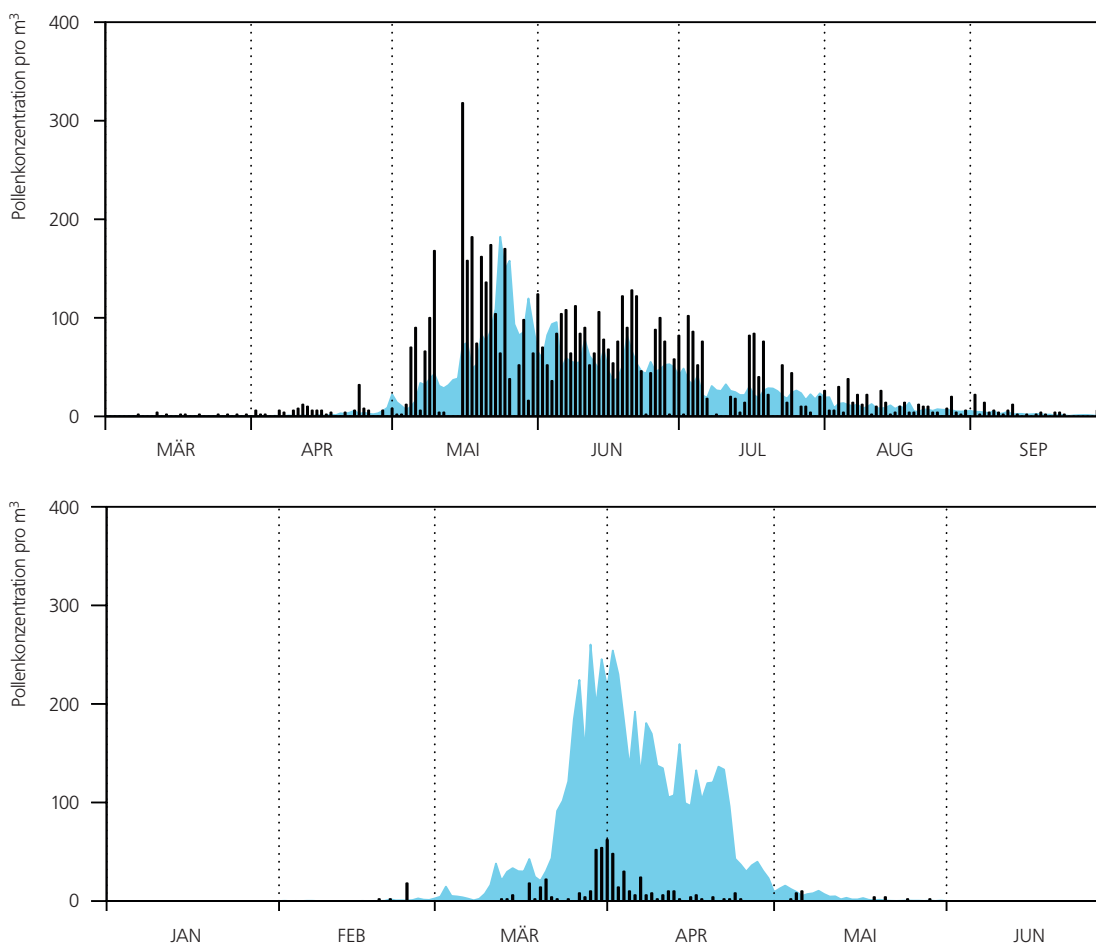


Abbildung 2.16

Verlauf der Gräserpollensaison 2014 in Luzern (oben) und der Eschenpollensaison 2014 in Genf (unten) im Vergleich zum 15-jährigen Mittel von 1997–2011 (blaue Kurve). In Luzern begann die Gräserpollensaison am 9. April so früh wie noch nie seit Messbeginn. Die Eschenpollensaison 2014 war in der ganzen Schweiz extrem schwach.

Erster Hochdrucktag nach einem Störungsdurchgang.
Tagsüber sind zahlreiche Quellwolken entstanden,
zum Sonnenuntergang trocknen diese allmählich ab.
Mittellegi-Route auf den Eiger, Berner Oberland.

Foto: visualimpact.ch; Thomas Ulrich





3 | Besonderheiten 2014

3.1 Wärmstes Jahr seit Messbeginn

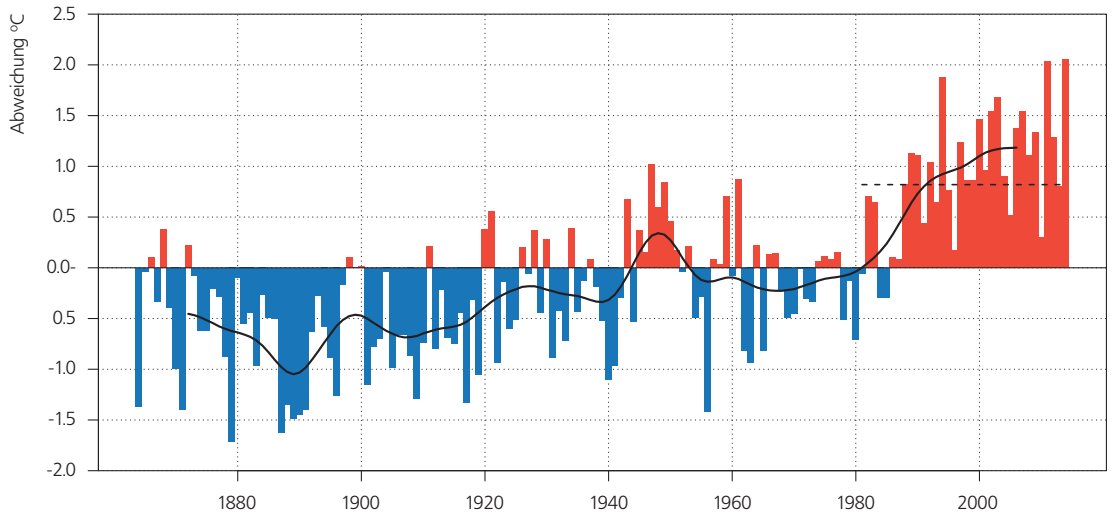
Die Jahrestemperatur 2014 lag in der Schweiz im landesweiten Mittel 2.06 Grad über der Norm 1961–1990. Damit wurde der bisherige Rekordüberschuss von 2.03 Grad aus dem Jahr 2011 minim übertroffen (Abbildung 3.1). Auf Grund des extrem geringen Unterschiedes von nur 0.03 Grad sind unter Berücksichtigung von immer vorhandenen Messungenauigkeiten die Jahre 2014 und 2011 grundsätzlich als gleich warm zu betrachten. Um auf ein ähnlich warmes Jahr zu treffen muss man 20 Jahre zurückblicken: 1994 erreichte der Jahresüberschuss 1.87 Grad im Vergleich zur Norm 1961–1990.

Zur grossen Wärme 2014 trugen elf der zwölf Monate mit überdurchschnittlichen Temperaturen bei. Nur die Augusttemperatur blieb geringfügig unter der Norm 1961–1990. Markante Wärmeeextreme im Jahresverlauf 2014 waren das drittwärmste erste Halbjahr sowie der zweitwärmste Herbst seit Messbeginn 1864.

Die Jahrestemperatur 2014 erreichte vor allem an den Messstandorten nördlich der Alpen und in den Alpen Rang 1 oder 2. Im Tessin wurde meist das zweit- bis viertwärmste Jahr verzeichnet.

Die Jahre 2014 und 2011 waren wohl die wärmsten Kalenderjahre in der Messreihe seit 1864. Objektiv betrachtet ist aber das Kalenderjahr eine zufällige Wahl einer 12-Monatsperiode. Werden alle möglichen 12-Monatsperioden betrachtet, ergeben sich deutlich höhere Jahresüberschüsse, wie dies bereits im Klimareport 2011 festgehalten wurde [30]. So brachten die Perioden von Juni 2006 bis Mai 2007 und von Juli 2006 bis Juni 2007 den bisher grössten Temperaturüberschuss von 2.8 Grad gegenüber der Norm 1961–1990. Zwischen 2002 und 2004 sowie von April 1947 bis März 1948 sind 12-Monatsperioden mit ähnlichen Temperaturüberschüssen wie 2014 und 2011 zu finden.

Abbildung 3.1
Langjähriger Verlauf der Jahres-Temperatur gemittelt über die gesamte Schweiz. Dargestellt ist die jährliche Abweichung der Temperatur von der Norm 1961-1990 (rot = positive Abweichungen, blau = negative Abweichungen). Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige, gewichtete Mittel. Die schwarze unterbrochene Linie zeigt die Norm 1981-2010, welche 0.8 Grad höher liegt als die Norm 1961-1990. Als Datenbasis dienen 12 homogenen Messreihen der Schweiz.



3.2 Enorme Neuschneesummen im Süden

Die ab Mitte Dezember 2013 häufigen Südwest- und Südlagen brachte auf der Alpensüdseite enorme Regen oder Schneemengen. Lugano verzeichnete mit Abstand den niederschlagsreichsten Winter seit Messbeginn vor 151 Jahren. Gefallen sind hier 698 mm, das ist knapp ein Drittel mehr als im bisherigen Rekordwinter 1950/1951. In Locarno-Monti fielen im aktuellen Winter sogar 754 mm Niederschlag. Der Rekordwinter 1950/1951 lieferte hier mit 722 mm etwas weniger.

Mit dem vielen Niederschlag kam in den Bergen der Alpensüdseite grosse Winter-Neuschneesummen zusammen. Am Messstandort Segl-Maria im Oberengadin waren es in den drei Monaten Dezember 2013 bis Februar 2014 rund 4 m. Das ist der zweithöchste Wert in der 151jährigen Messreihe. Der Rekordwinter 1950/1951 brachte hier allerdings mit 6.85 m eine weit grössere Neuschneemenge (Abbildung 3.2).

Mehr Neuschnee als im Oberengadin gab es diesen Winter in den Tessiner Bergen. Am Messstandort Bosco-Gurin fiel von Dezember 2013 bis Februar 2014 eine Neuschneesumme von 6.84 m. Das ist der höchste Wert in der seit 1961 verfügbaren Messreihe (Abbildung 3.3).

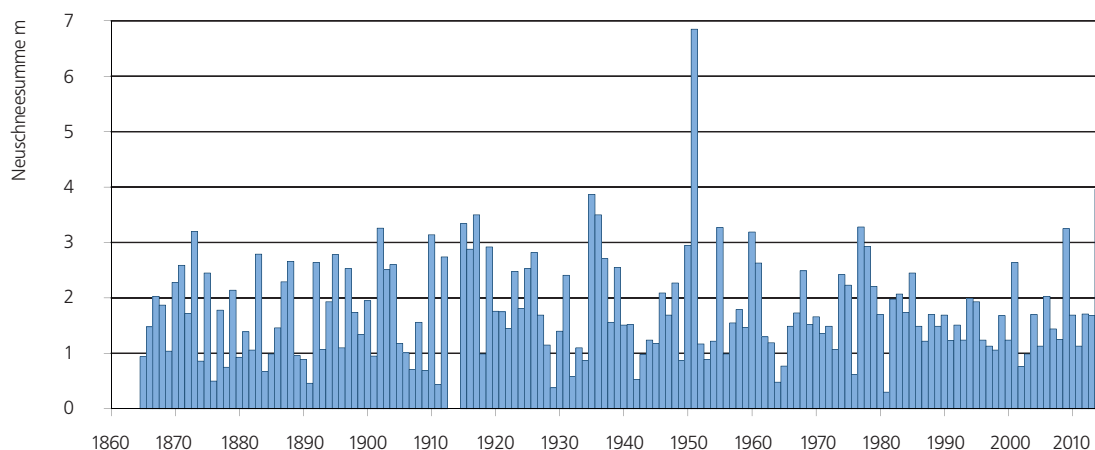


Abbildung 3.2
Neuschneesumme in den Wintermonaten Dezember bis Februar am Messstandort Segl-Maria (1804 m ü.M.) für die Messperiode 1864/65 bis 2013/14.

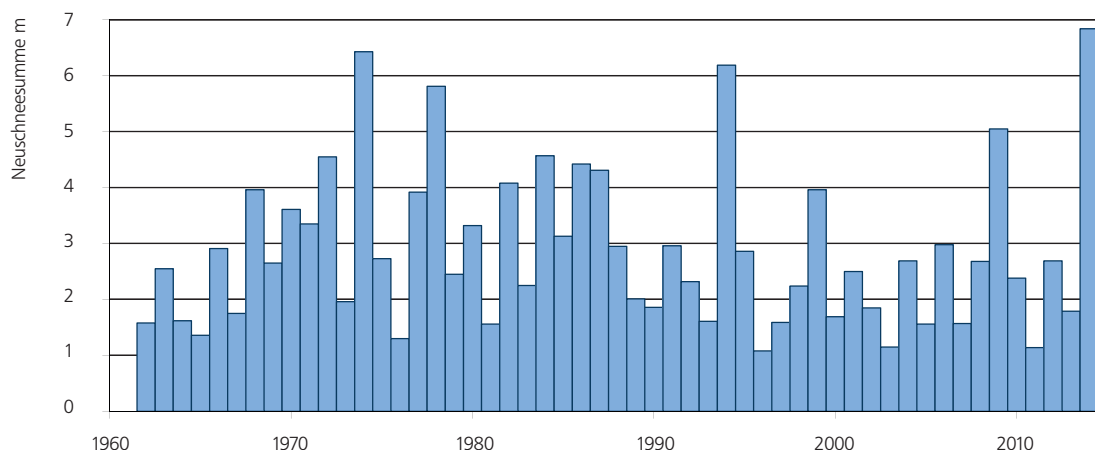


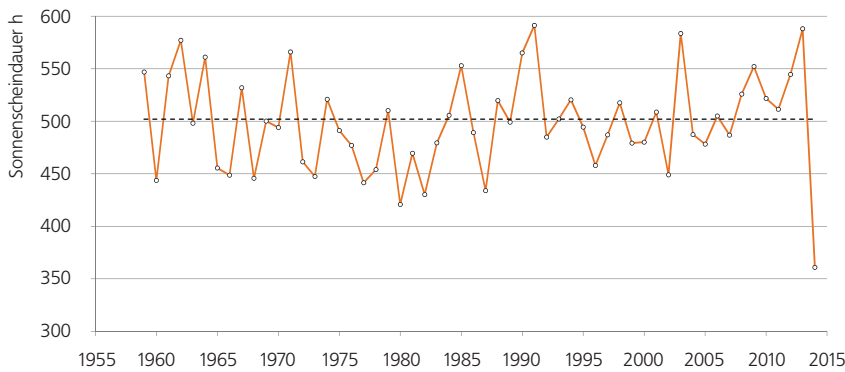
Abbildung 3.3
Neuschneesumme in den Wintermonaten Dezember bis Februar am Messstandort Bosco-Gurin (1486 m ü.M.) für die Messperiode 1961/62 bis 2013/14.

3.3 Rekord-Sonnenarmut im Hochsommer

Während der Juni in der ganzen Schweiz überdurchschnittlich viel Sonne brachte, sorgte das anhaltend regnerische Juliwetter ausgerechnet zur Hauptferienzeit in der Region Genfersee, im Wallis, im Berner Oberland, auf der Alpensüdseite und im Oberengadin für eine Rekord-Sonnenarmut.

Im August registrierte das Tessin erneut eine Rekord-Sonnenarmut. Vom Genferseegebiet über das Wallis bis ins Tessin ergab sich schliesslich für die Hochsommerperiode Juli-August mit nur gerade 360 Sonnenstunden ein massiver Sonnenarmuts-Rekord. Hier fehlten rund 140 Sonnenstunden oder zwischen ein und zwei Wochen voller Sonnenschein im Vergleich zu einer durchschnittlichen Juli-August Periode, welche in dieser Region rund 500 Sonnenstunden liefert.

Abbildung 3.4
Sonnenstunden in der Hochsommerperiode Juli-August 1959–2014 gemittelt über die Region Genfersee-Wallis-Tessin. Der Normwert 1981–2010 liegt bei 503 Sonnenstunden (schwarze unterbrochene Linie). Zur Beachtung: Die vertikale Achse beginnt bei 300.



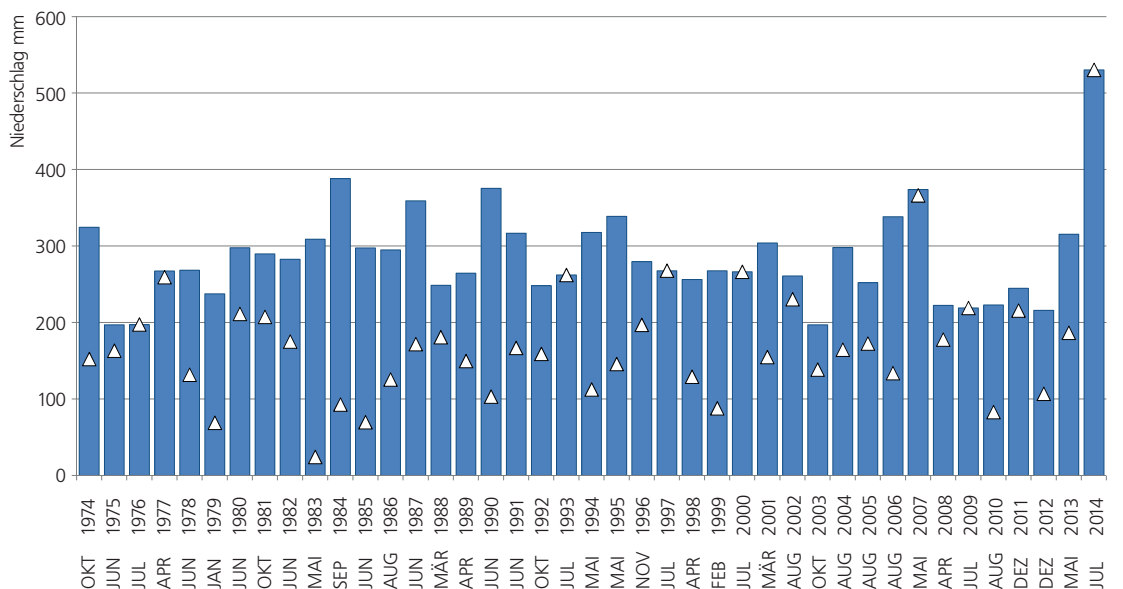
3.4 Rekordniederschlag im Juli

Der Juli 2014 zeigte sich in vielen Gebieten extrem niederschlagsreich [31]. Die Niederschlagssummen erreichten in der Westschweiz, im Wallis, am westlichen und zentralen Alpenordhang sowie im Südtessin meist zwischen 200 und 300 Prozent der Norm 1981–2010.

Insbesondere westlich der Reuss wurden an zahlreichen Messstationen neue Rekordsummen für den Monat Juli gemessen. Aber auch in der Ostschweiz gab es punktuell neue Juli-Höchstwerte. Beeindruckend ist die extreme Juli-Summe von 523 mm am Messstandort Les Avants oberhalb Montreux. Das entspricht rund dem dreifachen der normalen Julimenge. Dagegen sieht der bisherige Rekord vom Juli 2007 mit 366 mm schon fast bescheiden aus (Abbildung 3.5). Für Les Avants liegen Daten seit 1974 vor. An der Messstelle Escholzmatt im Entlebuch fielen 452 mm Regen. Der bisherige Rekord-Juli 2007 lieferte knapp 130 mm weniger. Daten sind hier seit 1959 verfügbar. Für die Messstandorte Les Avants (Abbildung 3.5) und Escholzmatt waren es zugleich die höchsten Monatssummen überhaupt, das heisst kein anderer Monat brachte hier in der verfügbaren Messperiode mehr Niederschlag. Dasselbe gilt für rund 40 Messstandorte der Schweiz. Das mag die Bedeutung der Niederschlagsmengen im Juli 2014 unterstreichen.

Am meisten Niederschlag brachte der Juli 2014 mit 555 mm am Messstandort Schwägälp am Fusse des Säntis. Der bisherige Julirekord von 1993 lag hier bei 488 mm. Bezüglich aller Monate erreicht der Juli 2014 Rang 3. Daten sind vom Messstandort Schwägälp bis 1972 zurück verfügbar.

Abbildung 3.5
Höchste Monatsniederschlagssumme pro Jahr (blaue Säulen) und jährliche Juli-Summe (weisse Dreiecke) in der 40jährigen Messreihe Les Avants oberhalb Montreux. Die Monatssumme vom Juli 2014 liegt mit 523 mm weit über der bisher höchsten Monatssumme von 388 mm, welche im September 1984 fiel.



3.5 November-Hochwasser im Tessin

Das November-Hochwasser im Tessin folgte auf einige Monate mit sehr ungewöhnlicher Witterung und machte das Jahr 2014 zu einer Ausnahmereignung in den über 150 Jahren der meteorologischen Aufzeichnungen in der Region. Seit mehr als zehn Jahren war es im Tessin nicht mehr zu Überschwemmungen und Hochwassern dieses Ausmasses gekommen. Trotz der lokal gemessenen Spitzenniederschlagsmengen gehörte das Hochwasser am Lago Maggiore jedoch nicht zu den stärksten, die je aufgezeichnet wurden.

Die Niederschlagsperiode hielt beinahe ohne Unterbrechung 16 Tage an – vom 2. bis zum 17. November. Die Niederschläge dauerten, je nach Messstation, 14–15 Tage und sorgten für insgesamt 200–240 Stunden Regen. Die höchsten Regenmengen pro Stunde erreichten 8–9 mm am Alpenrand und 10–12 mm im mittleren und südlichen Tessin. Der Maximalwert von 15–17 mm wurde am Nachmittag des 5. November in der Region um Lugano und im Malcantone erreicht. Während die drei Hauptstörungsgebiete die Alpen überquerten, konnten drei Niederschlagsippen festgestellt werden: am 4.–5., 10.–12. und am 15. November. In der ersten Phase wurden die Niederschläge vor allem im Sottoceneri von anhaltenden Schirokko-Winden begleitet (mit Höchstgeschwindigkeiten von 68 km/h in Lugano). Die Schneefallgrenze blieb selbst bei den stärksten Niederschlägen mit 1000 m im nördlichen Tessin und 2000 m im Zentrum und im Süden relativ hoch.

Der niederschlagreiche November folgte auf einen bereits stark verregneten Oktober. Die Gesamtmenge der beiden Monate stellt den höchsten jemals gemessenen Wert für Locarno-Monti (1059 mm) dar und den zweithöchsten in der Wetterstation von Lugano (743 mm, nach den 920 mm aus dem Jahr 1896). Diese beiden Messstationen verfügen über homogenisierte Datenreihen, die in Locarno-Monti bis ins Jahr 1883 und in Lugano bis 1864 zurückreichen. Auch Camedo, das sich in der regenreichsten Region des Tessins befindet, zeigt interessante Messdaten im Hinblick auf Starkregenereignisse – auch wenn diese Datenreihen nur bis 1901 zurückreichen und nicht homogenisiert sind. Auch dort wurde mit 1617 mm ein neuer Höchstwert erreicht (immer bezogen auf die beiden Monate Oktober/November). Weitere Jahre, in denen diese beiden Monate extrem regenreich waren, sind 1935, 1926, 2000 und 2002. Absolut gesehen sind dies keine Spitzenwerte für die monatlichen oder zweimonatigen Niederschlagsmengen. Laut dem von Zeller et al. 1980 erstellten Diagramm ist die im November in Lugano gemessene Niederschlagsmenge von 587 mm etwa alle 35–40 Jahre zu erwarten. Die Stationen von Camedo und Mosogno registrierten (am 4. November) Tageshöchstniederschlagsmengen von 257 bzw. 229 mm, während an den anderen Messstationen

Höchstwerte zwischen 100 und 200 mm festgestellt wurden. Diese Werte werden etwa alle 5 bis 10 Jahre erreicht.

Die stärksten Niederschläge traten am Nordufer des Lago Maggiore, im Centovalli und in den Tälern von Onsernone, Maggia und Verzasca auf, während das Blenio-Tal und der Bezirk Moesa deutlich weniger Regen abbekamen. In einem Zeitraum von 16 Tagen wurden auch in der Vergangenheit selten solch grosse Niederschlagsmengen festgestellt: In den weniger stark betroffenen Gebieten fielen ca. 450 mm Regen, während die Messstation Camedo sogar über 1000 mm aufzeichnete. Diese Werte entsprechen der drei- bis fünffachen Regenmenge, die normalerweise für den Monat November üblich ist. Die 538 mm von Lugano stellen den höchsten jemals gemessenen Wert in einem vergleichbaren Zeitraum dar, während die 1080 mm von Camedo bereits 1993 (1202 mm) und 2002 (1139 mm) überschritten wurden.

Das Hochwasser vom November wies eine ähnliche meteorologische Typologie wie die vorherigen grösseren Überschwemmungen aus den Jahren 1993, 2000 und 2002 auf, obschon die Auswirkungen auf die Landschaft jedes Mal unterschiedlich waren. Mit 271,76 m ü. d. M. blieb der Luganer See nur 10 cm unter dem Höchststand von 2002, während das Hochwasser am Lago Maggiore sich alles in allem in Grenzen hielt. Statistisch gesehen tritt ein Wasserstand von 196,42 m ü. d. M. wie der vom 16. November oder höher durchschnittlich alle zehn Jahre auf. Dagegen war der Zeitraum seit der vorletzten Überschwemmung ungewöhnlich lang: Seit 2004 hatte der Lago Maggiore den Höchststand von 195,50 m ü. d. M. nicht mehr überschritten. In der etwa 160 Jahre währenden Statistik mit verlässlichen Messdaten gab es nur einmal einen Zeitraum von 9 Jahren ohne Hochwasser, nämlich zwischen 1908 und 1916. In den (bekanntermassen trockenen) 1940er Jahren dagegen lagen nur 8 Jahre zwischen zwei Hochwasserereignissen.

Abbildung 3.6

Die Brissago-Inseln am 13. November 2014: Der See überflutete die niedrig gelegenen Bereiche des botanischen Gartens. Der Wasserstand lag mit 196,38 m ü. d. M. nur wenige Zentimeter unter dem drei Tage später erreichten Höchststand.



Foto: Marco Omini

Bei unsicherer Wetterlage besteigen Stephan Siegrist
und Dani Arnold das Nesthorn, Wallis, 3822 m ü.M.

Foto: visualimpact.ch; Thomas Senf





4| Globales Klima und Wetterereignisse

42

Weltweit war das Jahr 2014 das wärmste seit Messbeginn 1850. Überdurchschnittliche Jahresmitteltemperaturen wurden auf dem grössten Teil der Land- und Wasserflächen gemessen. Grössere Gebiete mit unterdurchschnittlichen Jahresmitteltemperaturen waren vor allem im zentralen Nordamerika, im zentralen Nordatlantik und Nordpazifik sowie regional 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 Globale Rekordwärme

Mit einem globalen Rekordüberschuss von 0.57 Grad [32] fügt sich das Jahr 2014 nahtlos in die ununterbrochene Serie sehr warmer Jahre seit Ende des 20. Jahrhunderts ein. Knapp dahinter reihen sich das Jahr 2010 mit einem Überschuss von 0.55 Grad sowie die Jahre 2005 und 1998 mit je einem Überschuss von 0.54 Grad ein. Alle erwähnten Temperaturabweichungen beziehen sich auf die Norm 1961–1990.

Die grössten regionalen positiven Abweichungen (2 bis 5 Grad im Vergleich zur Norm 1961–1990) zeigt ein grosses Gebiet vom nördlichen Afrika über den Nahen und Mittleren Osten und Europa bis in den Nordatlantik, sowie ein weiteres Gebiet von Ostchina über Ostrussland bis nach Alaska und den Nordostpazifik.

Die grössten negativen Abweichungen (-0.5 bis -2 Grad im Vergleich zur Norm 1961–1990) wurde in der Region von den Grossen Seen bis nach Zentralkanada sowie in einzelnen Meeresregionen rund um die Antarktis beobachtet [25]. Auffallend ist einmal mehr, dass die Nordhemisphäre von der überdurchschnittlichen Wärme 2014 deutlich stärker betroffen war als die Südhemisphäre.

Die Trends der globalen Jahrestemperatur zeigt Tabelle 4.1. Die Gesamtänderung der globalen Temperatur (Land und Wasser) von 1864–2014 beträgt +0.80 Grad. Die globale Durchschnittstemperatur liegt bei rund 14 Grad. 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.

Abbildung 4.1

Langjähriger Verlauf der globalen Mitteltemperatur (Land- und Wasserflächen). Dargestellt ist die jährliche Abweichung der Temperatur von der Norm 1961–1990 (rot = positive Abweichungen, blau = negative Abweichungen). Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige, gewichtete Mittel. Daten: University of East Anglia, 2015 [14], neuer Datensatz HadCRUT4-gl.

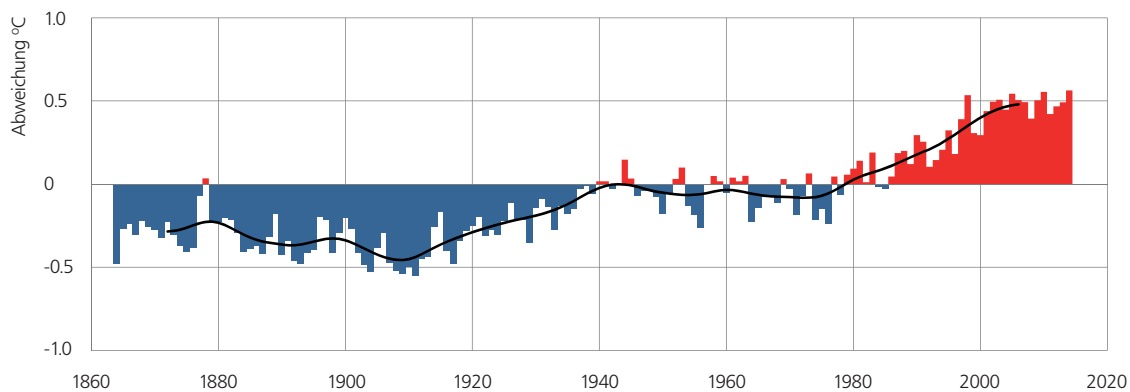


Tabelle 4.1

Trends der globalen Jahrestemperatur in den Perioden 1864–2014, 1900–2014 und 1961–2014, berechnet für die Land- und Wasseroberflächen insgesamt. Daten: University of East Anglia, 2015 [14], neuer Datensatz HadCRUT4-gl.

Periode	°C/10 Jahre	°C/100 Jahre
1864–2014	+0.05	+0.53
1901–2014	+0.08	+0.77
1961–2014	+0.14	

4.2 El Niño und La Niña

Ab April 2014 wechselte die Situation im äquatorialen Pazifik von schwachen La Niña Bedingungen (kalte Klimaanomalie) zu einem mässig starken El Niño Ereignis (warme Klimaanomalie) [26]. Ähnliche moderate El Niño Ereignisse sind in den letzten 15 Jahren mehrmals aufgetreten.

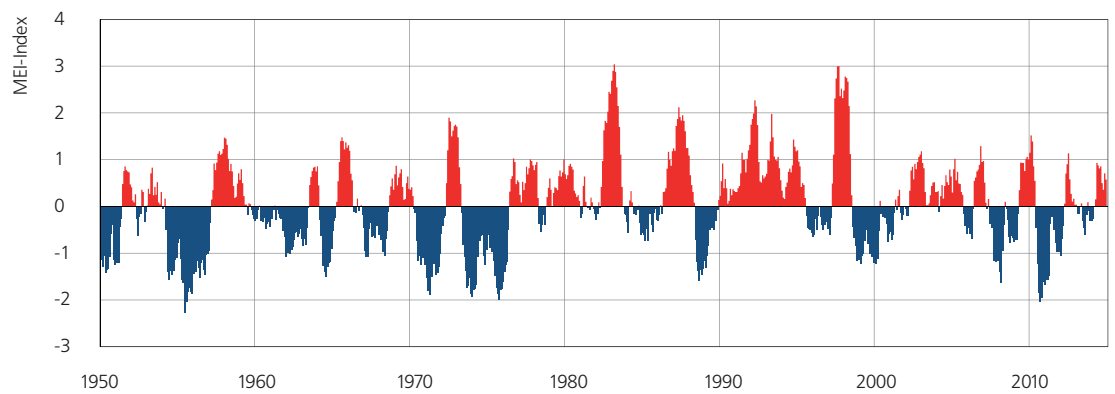


Abbildung 4.2

Multivariater El Niño Southern Oscillation Index (MEI) 1950–2014. Rot sind die Indexwerte der El Niño Phase (Warmphase), blau die Indexwerte der La Niña Phase (Kaltphase) dargestellt. Der MEI setzt sich zusammen aus dem Bodendruck, der ost-west- und nord-süd-Komponenten des Bodenwindes, der Meeresoberflächentemperatur, der Lufttemperatur auf Meereshöhe sowie des Bewölkungsgrades. Die Messungen erfolgen im äquatorialen Pazifik. Die Daten sind verfügbar unter [26].

4.3 Besondere Ereignisse

In Europa zeigten die ersten zehn Monate des Jahres 2014 verbreitet überdurchschnittliche Temperaturen. Zum Teil lagen die Monatstemperaturen mehr als 2 Grad über der Norm 1961–1990. Die Januar-September Periode war in Europa vielerorts die wärmste seit Messbeginn. Die anhaltend überdurchschnittlichen Temperaturen führten in mehreren Europäischen Ländern schliesslich zum wärmsten Jahr seit Messbeginn. In Südamerika war es regional die zweitwärmste, in Australien die fünftwärmste Januar-Oktober Periode.

In Nordamerika hingegen lag die Januar-Oktober Temperatur verbreitet unter dem Durchschnitt. Im Mittleren Westen und im Mississippi Gebiet war es eine der zehn kältesten Januar-Oktober Perioden seit Messbeginn. Eine anhaltende winterliche Kaltphase führte Anfang März zur zweitgrössten Eisfläche auf den Grossen Seen seit Messbeginn vor 40 Jahren. Kalifornien auf der pazifischen Seite des Nordamerikanischen Kontinents erlebte demgegenüber die wärmste Januar-Oktober Periode seit Messbeginn.

In der Region Hongkong wurde der wärmste Juni und der wärmste Juli seit Messbeginn registriert. Die Messreihen gehen hier bis 1884 zurück. Eine Hitzewelle erfasste Südamerika im Oktober. Betroffen waren vor allem Argentinien, Brasilien, Bolivien und Paraguay. In diesen Gebieten war es der wärmste Oktober in den verfügbaren Messreihen.

Die nordatlantische tropische Wirbelsturmaktivität lag unter der Norm 1981–2010. Erstmals seit August 2012 wurde die US-Küste wieder von einem tropischen Wirbelsturm getroffen. Im Ostpazifik lag die tropische Wirbelsturmaktivität über der Norm, im Westpazifik leicht unter der Norm 1981–2010. Im August wurde Hawaii im Ostpazifik erstmals seit dem Jahr 1992 wieder von einem tropischen Sturm getroffen. Die indischen und australischen Wirbelsturmregionen zeigten 2014 leicht unterdurchschnittliche Aktivitäten.

4.4 Arktisches und antarktisches Meereis

Die Fläche des arktischen Meereises schrumpfte während der sommerlichen Schmelzperiode 2014 auf die sechst geringste Ausdehnung in der verfügbaren Satelliten-Messreihe seit 1979. Die sommerliche Minimalausdehnung von 5.02 Mio km² war praktisch identisch wie im Vorjahr 2013 mit 5.10 Mio km². Das sommerliche Minimum 2014 wurde kurz nach Mitte September 2014 erreicht und kam nur auf 80% der Norm 1981-2010. Während des winterlichen Maximums von 14.91 Mio km² im März 2014 erreichte die arktische Eisfläche 96 Prozent der Norm 1981–2010.

Rund um die Antarktis wurde im September 2014 mit 20.11 Mio km² bereits im dritten Jahr in Folge eine rekordgrosse winterliche Meereisfläche beobachtet. Dies, nachdem auch die sommerliche antarktische Meereisfläche 2013/2014 erneut eine Rekordgrösse erreichte. Auch für die Region Antarktis sind Satelliten-Messdaten seit 1979 verfügbar.



Herbstliche Hochdrucklage; von einer über Nordeuropa ziehenden Warmfront werden ein paar Schleierwolken zu den Alpen geführt. Stephan Siegrist am Niederhorn-Gemmenalphorn, Berner Oberland.

Foto: visualimpact.ch; Thomas Senf



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 relevan-
 ten 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 (Bereich Atmosphäre, bodennah). Zusätzlich werden hier weitere für die Schweiz spezifische Klimaindikatoren diskutiert, unter anderem

die für ein Alpenland wichtige Schneebedeckung (Bereich Landoberfläche). Gemäss Empfehlung der WMO ist bei Analysen zur Klimaentwicklung die Normperiode 1961–1990 zu verwenden [4], [28]. In diesem Kapitel wird diese Empfehlung entsprechend umgesetzt.

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).

Temperatur

Die Jahrestemperatur 2014 lag in der Schweiz im landesweiten Mittel 2.06 Grad über der Norm 1961–1990. Damit wurde der bisherige Rekordüberschuss von 2.03 Grad aus dem Jahr 2011 minim übertriffen (Abbildung 5.1, Abbildung 5.3). Der Winter 2013/14 erreichte mit einem Überschuss von 2.3 Grad Rang 3, der Frühling mit 2.2 Grad über der Norm Rang 6 in der 151jährigen Messreihe. Zur Abwechslung wenig spektakulär zeigte sich der Sommer mit einem schon fast bescheiden anmutenden Temperaturüberschuss von 0.8 Grad. Die Herbsttemperatur schliesslich bewegte sich mit 2.6 Grad über der Norm 1961–1990 und Rang 2 erneut in Rekordnähe (Abbildung 5.2).

Auf der Monatsbasis ergaben sich die folgenden Besonderheiten: Die Monate März, April, Juni und Dezember lagen bezüglich Wärme zwischen Rang 8 und 11. Der Oktober war der viertwärmste, der November der zweitwärmste in der Messreihe seit 1864.

Der langjährige gesamtschweizerische Trend der Jahrestemperatur liegt bei $+1.2^{\circ}\text{C}/100$ Jahre ($+0.12^{\circ}\text{C}/10$ Jahre), was einer Gesamtänderung von $+1.8$ Grad entspricht (1864 bis 2014). Die saisonalen Trends liegen im Bereich von $+1.1^{\circ}\text{C}/100$ Jahre und $+1.3^{\circ}\text{C}/100$ Jahre. Eine Gesamtübersicht zu den Temperaturtrends gibt Tabelle 5.3.

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

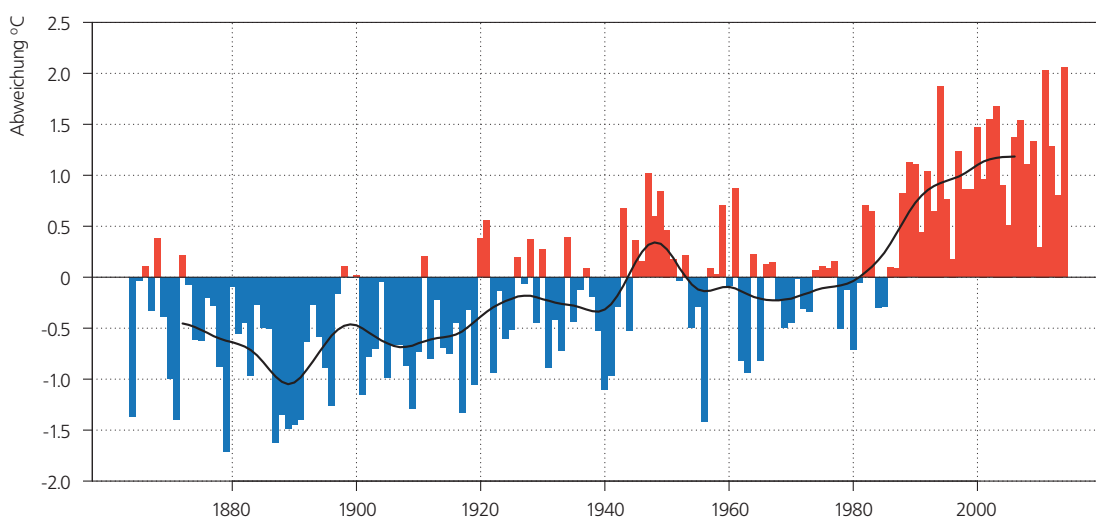
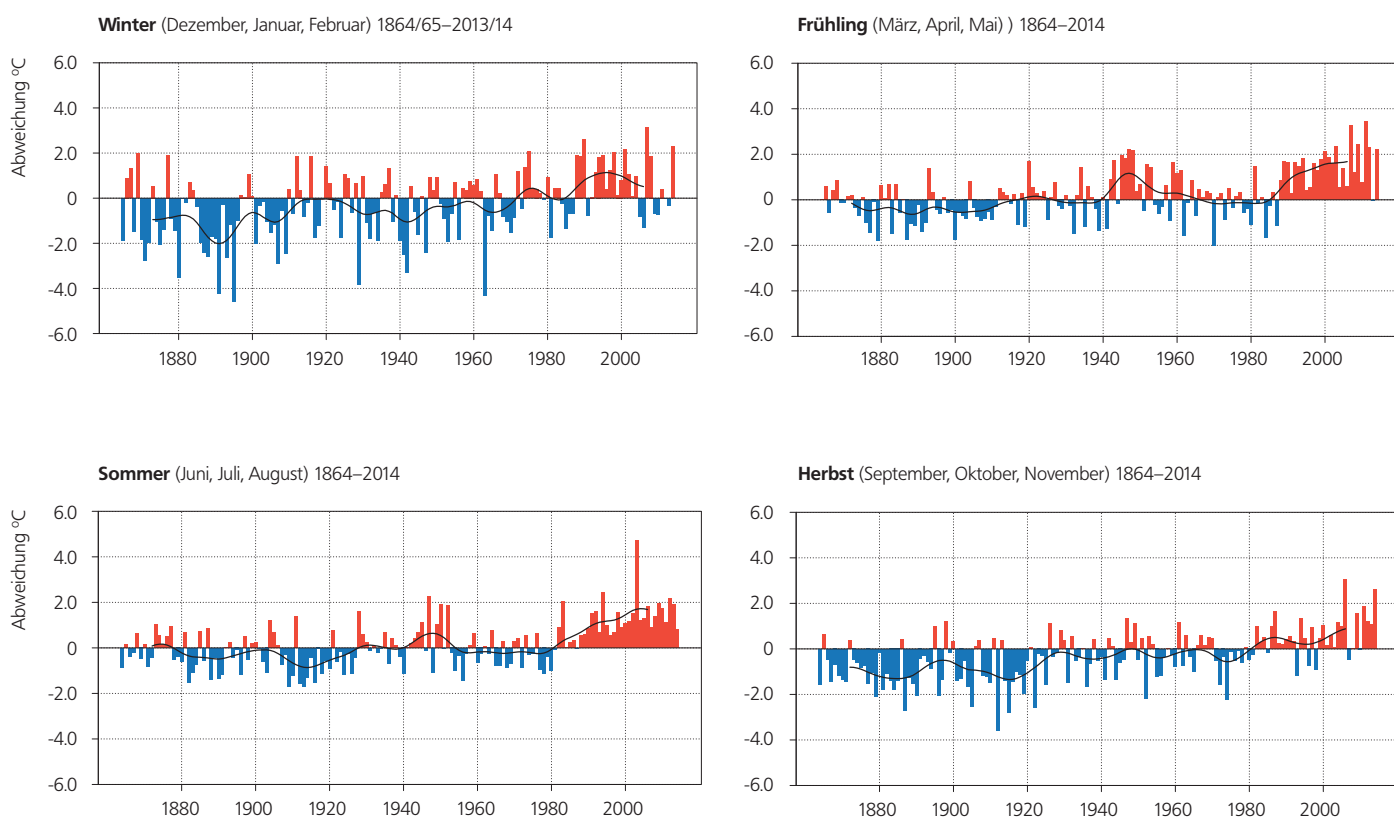


Abbildung 5.2

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



Auf der Web-Seite der MeteoSchweiz finden sich zusätzliche Informationen zu Klimaindikatoren:
www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/gegenwart/klima-indikatoren.html

Tabelle 5.3

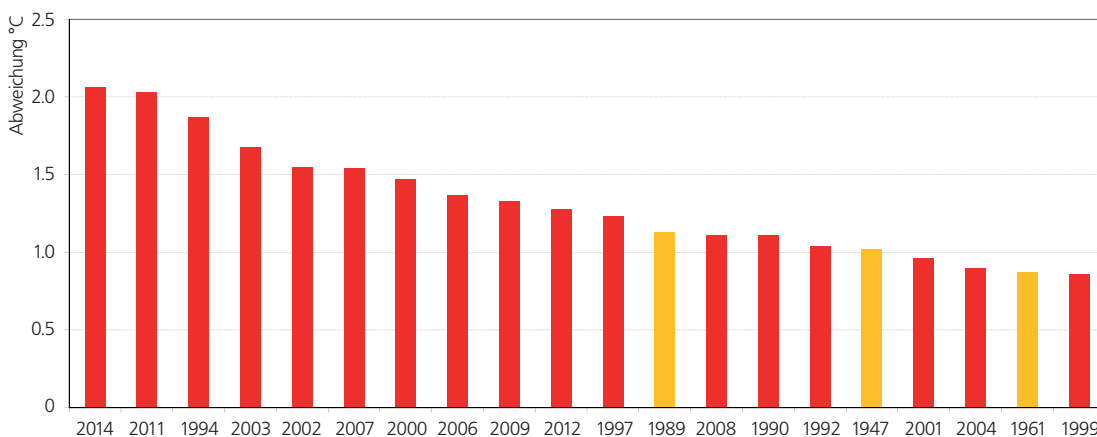
Saisonale und jährliche Temperaturtrends in Grad Celsius pro 10 Jahre in den Perioden 1864–2014, 1901–2014 und 1961–2014, berechnet jeweils für die ganze Schweiz. Die Signifikants-Angaben werden im Abschnitt Temperatur unter 5.3 Datengrundlagen und Methoden erläutert.

Periode	Frühling März–Mai °C	Sommer Juni–August °C	Herbst September–November °C	Winter Dezember–Februar °C	Jahr Januar–Dezember °C
1864–2014	+0.12 stark signifikant	+0.11 stark signifikant	+0.13 stark signifikant	+0.13 stark signifikant	+0.12 stark signifikant
1901–2014	+0.15 stark signifikant	+0.18 stark signifikant	+0.18 stark signifikant	+0.14 stark signifikant	+0.17 stark signifikant
1961–2014	+0.48 stark signifikant	+0.47 stark signifikant	+0.28 stark signifikant	+0.30 signifikant	+0.37 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 17 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 gemäss aktuellen Klimaszenarien bis 2050 eine weitere deutliche Erwärmung erwartet. Bis 2099 soll die Zunahme der jahreszeitlichen Mitteltemperatur, 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:
www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/gegenwart/klima-trends.html
www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/gegenwart/klima-trends/trends-an-stationen.html

Frosttage

Als Folge der ausgesprochen milden Wintermonate lag die Anzahl Frosttage 2014 an allen hier aufgeführten Messstandorten deutlich unter dem Durchschnitt. In Bern im nördlichen Flachland waren es 74 (Norm 115), in Sion im Wallis 54 (Norm 97), in Davos in den Ostalpen 171 (Norm 203) und in Lugano in der Südschweiz 6 (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 fünf Frosttage weniger verzeichnet.

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 [33].

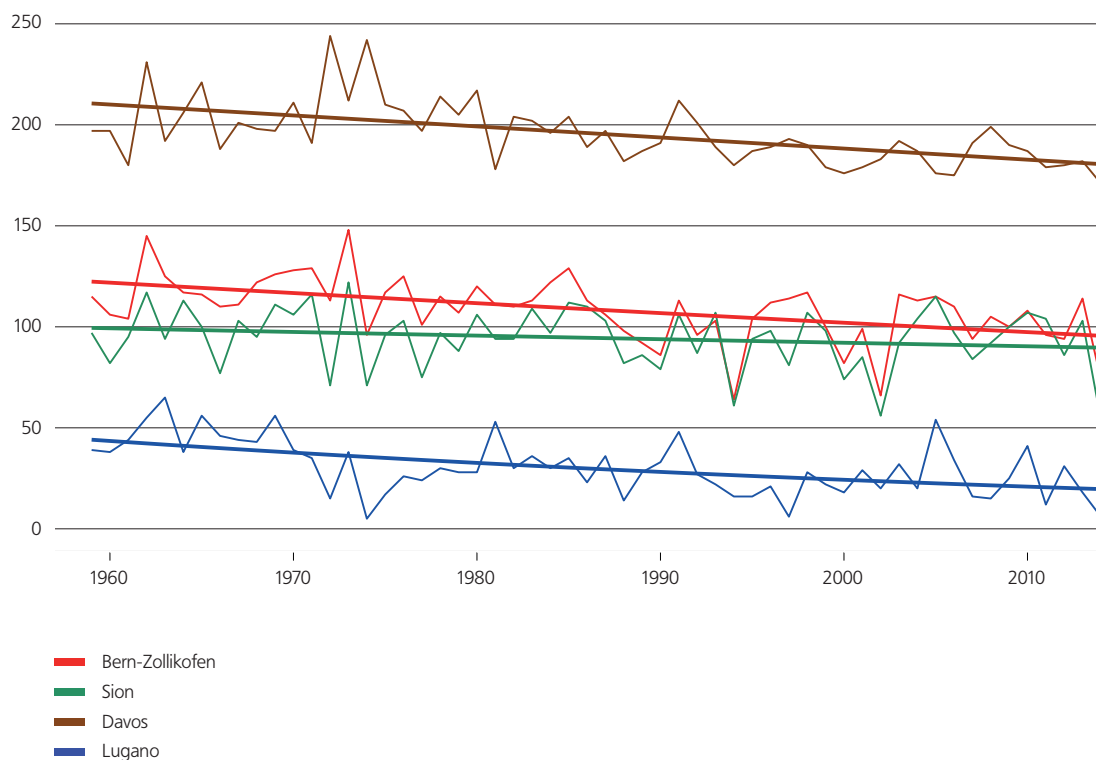


Abbildung 5.4
Zeitlicher Verlauf der Frosttage (Tage des Kalenderjahres mit minimaler Temperatur <0°C) für die Stationen Bern, Sion, Davos und Lugano.

Sommertage

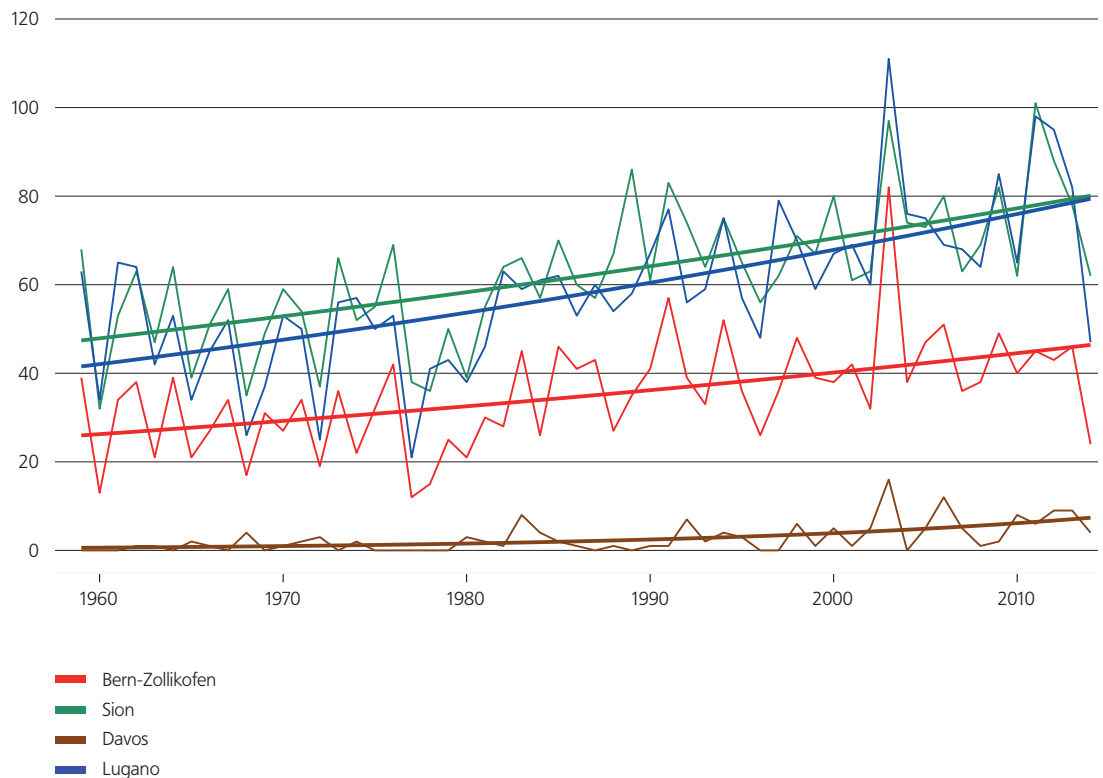
Die beiden regnerischen und ungewöhnlich trüben Hochsommer-Monate Juli und August 2014 führten regional zu einer entsprechend geringen Anzahl Sommertage. In Bern im nördlichen Flachland waren es 24 (Norm 30), in Davos in den Ostalpen 1 (Norm 4) und in Lugano in der Südschweiz 47 (Norm 50). In Sion im Wallis gab es mit 62 (Norm 55) trotz des auch hier ausgesprochen trüben Hochsommers eine etwas überdurchschnittliche Anzahl Sommertage.

Die kräftige Sommererwärmung seit Ende der 1980er Jahre hat vor allem den tieferen Lagen der Schweiz merklich mehr Sommertage beschert. Deshalb liegt die diesjährige Anzahl Sommertage vor allem im Vergleich mit den letzten beiden Jahrzehnten auffallend tief. Ein ähnlich geringer Wert wurde letztmals 1996 verzeichnet.

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

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 [33].

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.



Nullgradgrenze

Die klimatologische Nullgradgrenze (hier bestimmt aus Bodenmessstationen als Mittel für die ganze Schweiz, siehe Anhang) liegt im Durchschnitt der Jahre 1961 bis 2014 im Winter (Dezember bis Februar) bei rund 775 m ü.M., im Frühling (März bis Mai) bei um 1960 m ü.M., im Sommer (Juni bis August) bei etwa 3360 m ü.M. und im Herbst (September bis November) bei etwas über 2450 m ü.M.

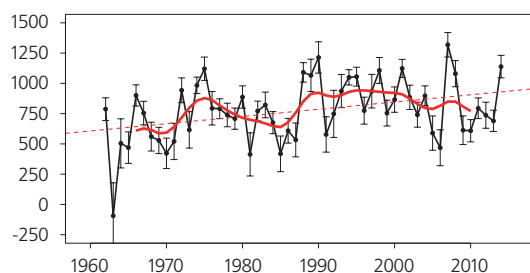
Die Nullgradgrenze steigt inzwischen in allen Jahreszeiten für den Zeitraum 1961–2014 signifikant an (p -Werte <0.05). Der Anstieg bewegt sich je nach Jahreszeit zwischen knapp 40 (Herbst) und knapp 75 m (Frühling) pro 10 Jahre.

Allgemein entsprechen diese Werte einem Anstieg der Nullgradgrenze von rund 150 bis 200 m pro Grad Erwärmung.

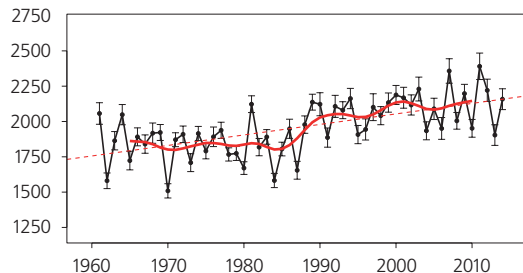
Im Winter 2013/2014 lag die Nullgradgrenze mit rund 1150 m ü.M. und Rang 3 in der Datenreihe seit 1961 sehr deutlich über der durchschnittlichen Höhe wie auch über dem Erwartungswert des linearen Trends. Im Frühling 2014 erreichte sie mit rund 2150 m ü.M. eine deutlich überdurchschnittliche Höhe, die recht genau der Erwartung des langfristigen linearen Trends entsprach. Im Sommer 2014 war sie mit rund 3350 m ü.M. etwa im Durchschnitt der Jahre 1961–2014 aber deutlich unter dem Erwartungswert des langfristigen linearen Trends.

Im Herbst 2014 schliesslich lag die Nullgradgrenze mit etwas über 2800 m ü.M. und vermutlich Rang 3 seit 1961 sehr deutlich über dem Durchschnitt und dem Erwartungswert des langfristigen Trends. Die jahreszeitliche Höhenlage der Nullgradgrenze zeichnet also recht gut die Temperatur der Jahreszeiten nach (drittwärmster Winter seit 1864, milder Frühling (unter den 10 wärmsten schweizweit), kühler Sommer und zweitwärmster Herbst seit 1864).

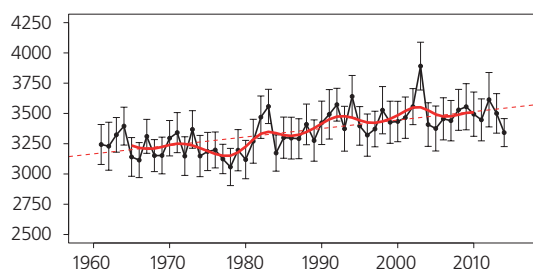
Winter Anstieg 59.8 m/10 Jahre; p -Wert: 0.008



Frühling Anstieg 74.4 m/10 Jahre; p -Wert: <0.001



Sommer Anstieg 69.7 m/10 Jahre; p -Wert: <0.001



Herbst Anstieg 38.1 m/10 Jahre; p -Wert: 0.030

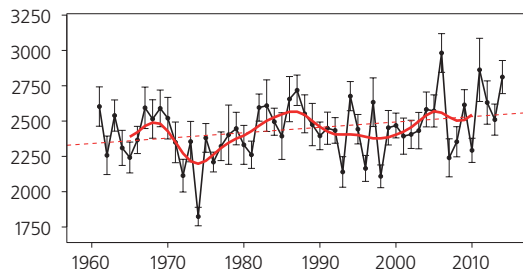


Abbildung 5.6

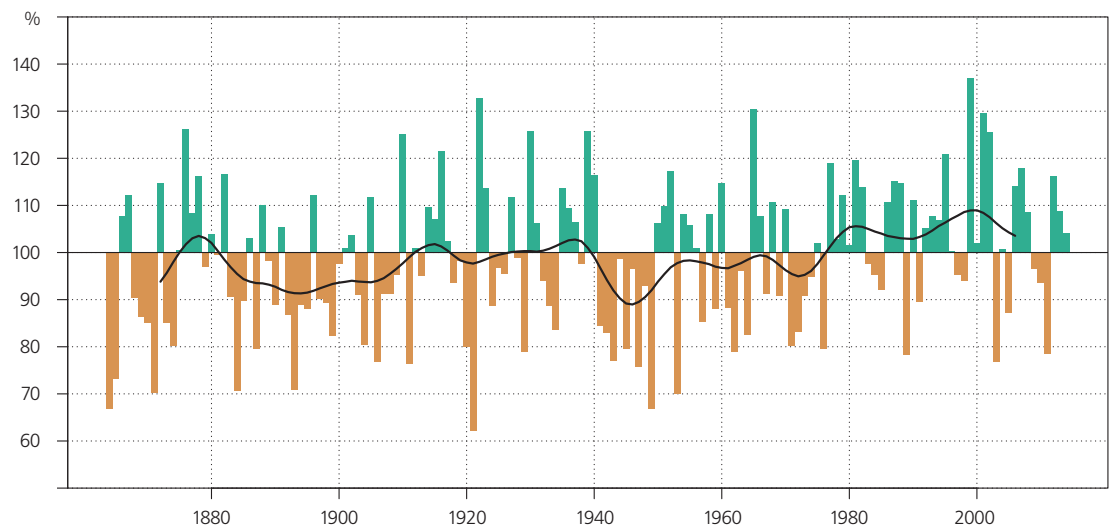
Verlauf der saisonalen Nullgradgrenze als Mittel für die ganze Schweiz (schwarze Linie in m ü.M.) mit linearem Trend (rot gestrichelt), 20jährigem gewichtetem Mittel (rote Kurve) und den Daten zum Trend (Änderung und Signifikanz). Die vertikalen grauen Linien zeigen die Fehlerbalken der Bestimmung der Nullgradgrenze für jedes einzelne Jahr.

Im Jahr 2014 fielen im nördlichen Flachland (Mittelland) leicht überdurchschnittliche Niederschlagsmengen (Abbildung 5.7). Reichlich Niederschlag brachte hier vor allem der Sommer, wobei dies weitgehend auf den sehr nassen Juli zurückzuführen ist. Etwas zu nass zeigte sich auch der Winter. Der Frühling lieferte im nördlichen Flachland unterdurchschnittliche Mengen und der Herbstniederschlag lag nahe der Norm (Abbildung 5.8).

Die Südschweiz erlebte das dritt nasseste Jahr seit Messbeginn 1864 (Abbildung 5.9). Dazu trugen vor allem der Winter mit Rekordniederschlag sowie der sehr niederschlagsreiche Herbst bei (Abbildung 5.10). Regional weit überdurchschnittliche Mengen lieferte hier auch der Sommer, während im Frühling der Niederschlag unterdurchschnittlich blieb.

Im Mittelland ist ein langfristiger Niederschlagstrend (1864–2014) von +78%/100 Jahre zu beobachten (+0.8%/10 Jahre). Saisonal zeigt sich jedoch nur im Winter ein signifikanter Trend (+21%/100 Jahre bzw. +2.1%/10 Jahre). In den Jahreszeiten Frühling, Sommer und Herbst sind keine langfristigen Trends (1864–2014) 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. Als Datenbasis dienen die homogenen Messreihen Genf, Basel, Bern und Zürich. Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige gewichtete Mittel.



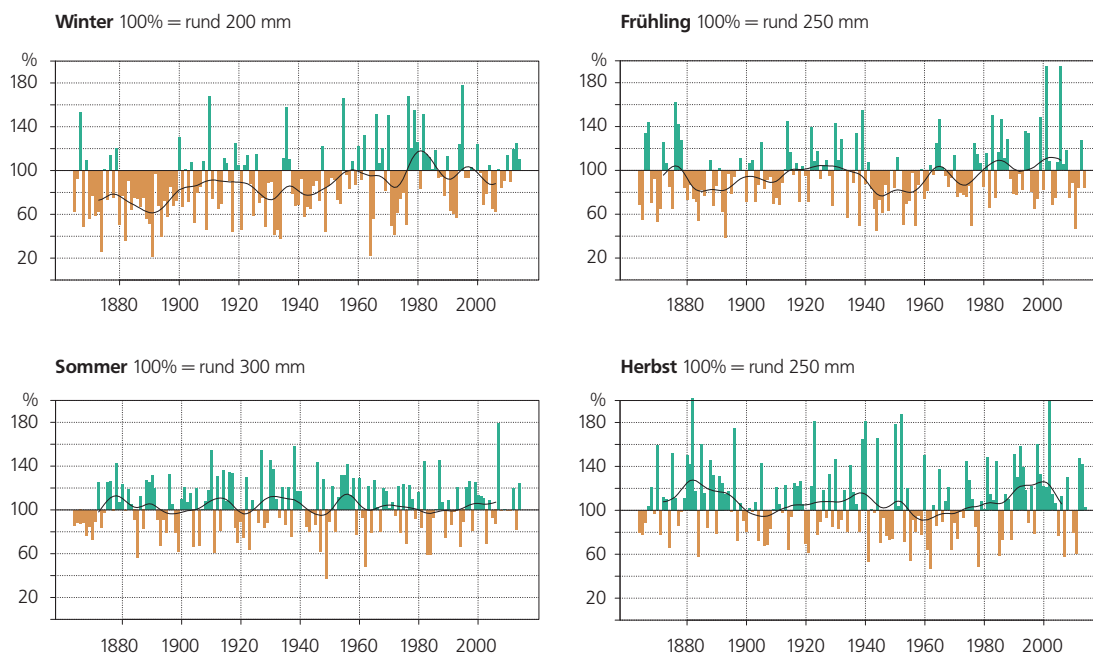


Abbildung 5.8

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 Genf, Basel, Bern und Zürich. Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige gewichtete Mittel. Man beachte, dass die Sommer 2008 bis 2011 100% Niederschlag lieferten, was in der Grafik als «fehlende» Säulen zum Ausdruck kommt.

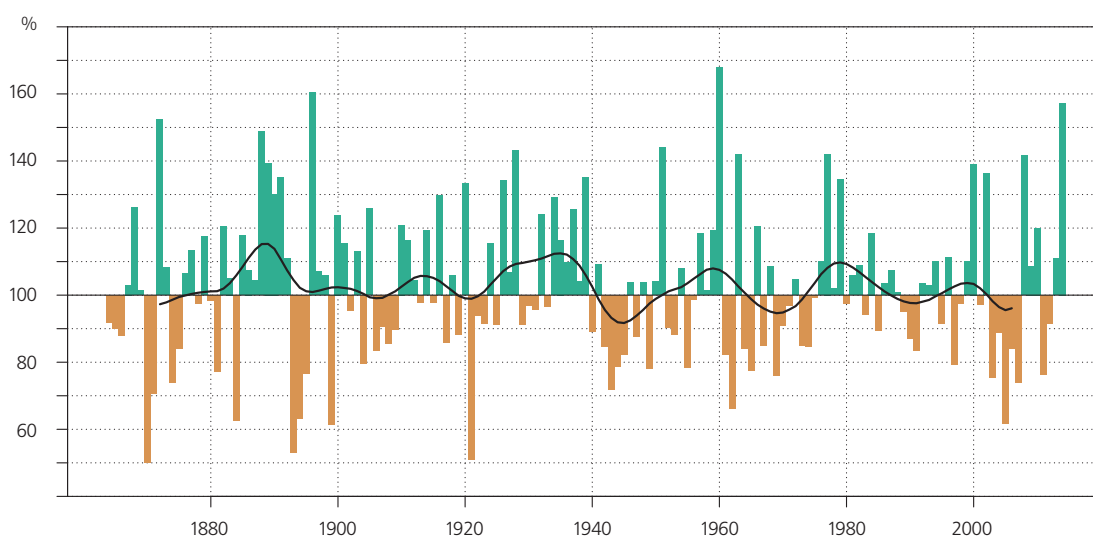


Abbildung 5.9

Langjähriger Verlauf der Jahres- Niederschlagssummen Lugano (Südschweiz). Dargestellt ist das Verhältnis der Jahres-Niederschlagssummen zur Norm 1961–1990. Als Datenbasis dient die homogene Messreihe Lugano. Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige gewichtete Mittel.

Abbildung 5.10

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

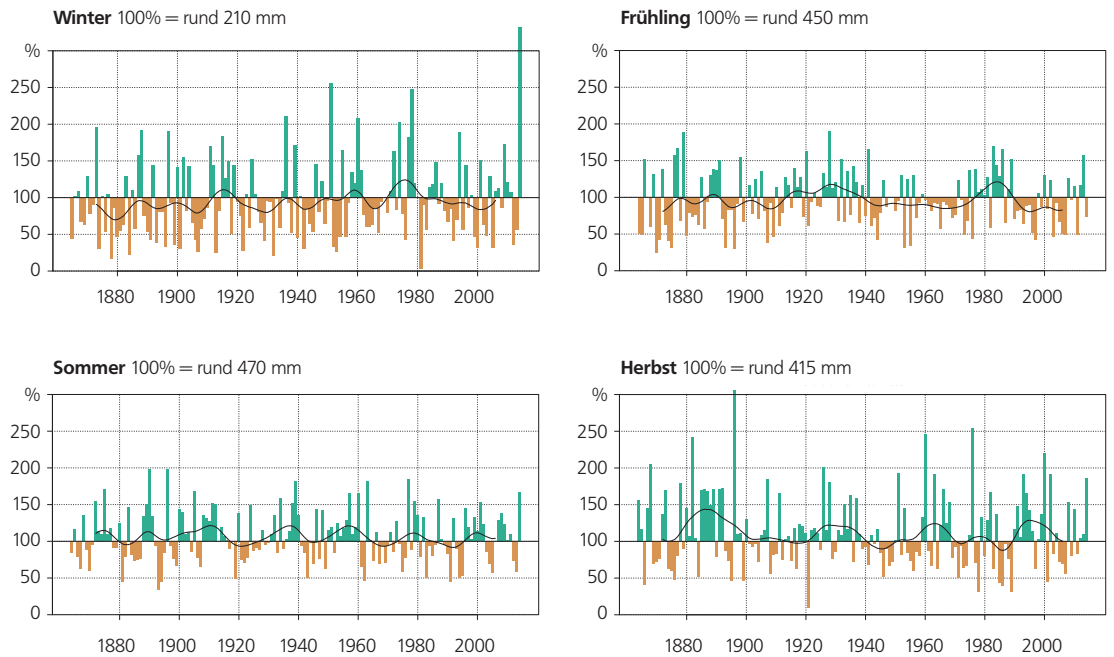


Tabelle 5.4

Saisonale und jährliche Niederschlagstrends in Prozent pro 10 Jahre in den Perioden 1864–2014, 1901–2014 und 1961–2014, 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 %
1864–2014	+0.7 nicht signifikant	+0.2 nicht signifikant	+0.1 nicht signifikant	+2.2 stark signifikant	+0.8 stark signifikant
1901–2014	+0.2 nicht signifikant	-0.4 nicht signifikant	+1.1 nicht signifikant	+1.8 signifikant	+0.8 nicht signifikant
1961–2014	-0.6 nicht signifikant	+0.9 nicht signifikant	+4.9 nicht signifikant	+0.7 nicht signifikant	+2.1 nicht signifikant

Tabelle 5.5

Saisonale und jährliche Niederschlagstrends in Prozent pro 10 Jahre in den Perioden 1864–2014, 1901–2014 und 1961–2014, 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 %
1864–2014	+0.3 nicht signifikant	0.0 nicht signifikant	-0.6 nicht signifikant	+1.1 nicht signifikant	-0.1 nicht signifikant
1901–2014	-0.9 nicht signifikant	-0.8 nicht signifikant	0.0 nicht signifikant	+1.0 nicht signifikant	-0.2 nicht signifikant
1961–2014	-0.4 nicht signifikant	+3.5 nicht signifikant	+3.3 nicht signifikant	+0.9 nicht signifikant	+1.7 nicht signifikant

Ohne global wirksame Interventionsmassnahmen wird für die Schweiz gemäss aktuellen Klimaszenarien ab 2050 im Sommer eine deutliche Niederschlagsabnahme erwartet. Bis Ende dieses Jahrhunderts soll diese, 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 Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag lag an den Messstandorten Bern, Sion und Davos im Bereich der Norm (Bern 10/Norm 10; Sion 4/Norm 5; Davos 11/Norm 10). Am Messstandort Lugano zeigte sich das auf der Alpensüdseite sehr niederschlagsreiche Jahr auch in der ungewöhnlich hohen Anzahl von 42 Tagen mit starkem Niederschlag (Norm 26).

Wie beim Niederschlagsregime generell (Ausnahme Winter Mittelland, vgl. Tabelle 5.4) sind bezüglich der Tage mit starkem Niederschlag an den hier aufgeführten Messstandorten keine signifikanten Trends feststellbar.

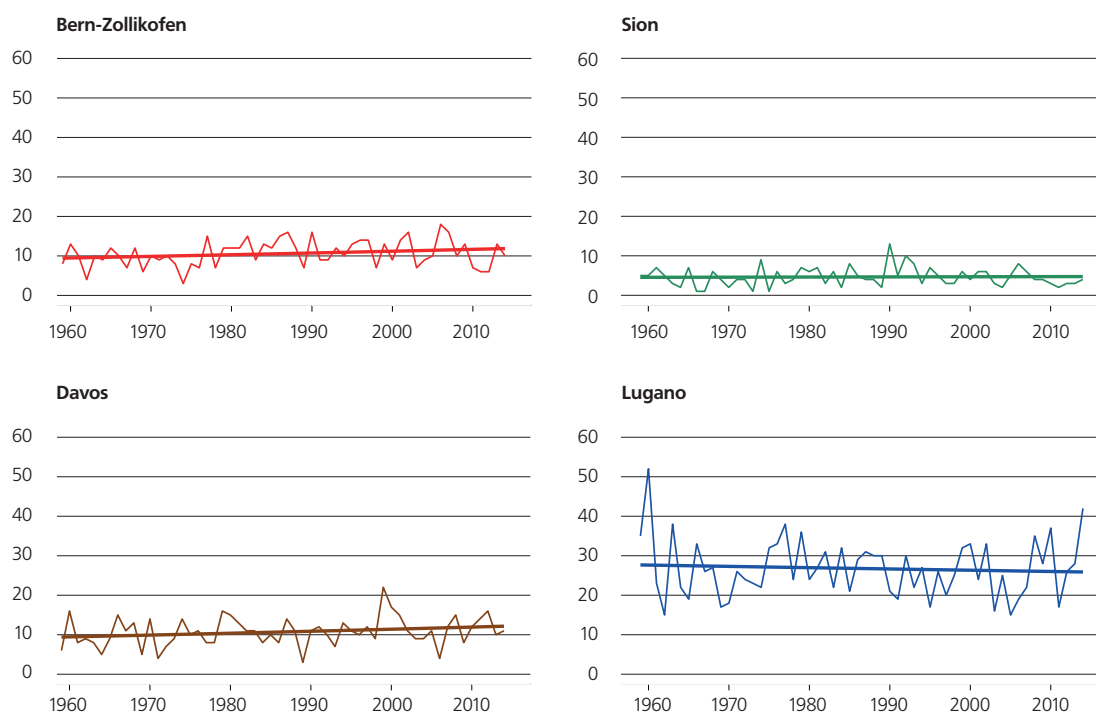


Abbildung 5.11
Anzahl Tage mit Niederschlag ≥ 20 mm im Kalenderjahr für die Stationen Bern, Sion, Davos und Lugano.



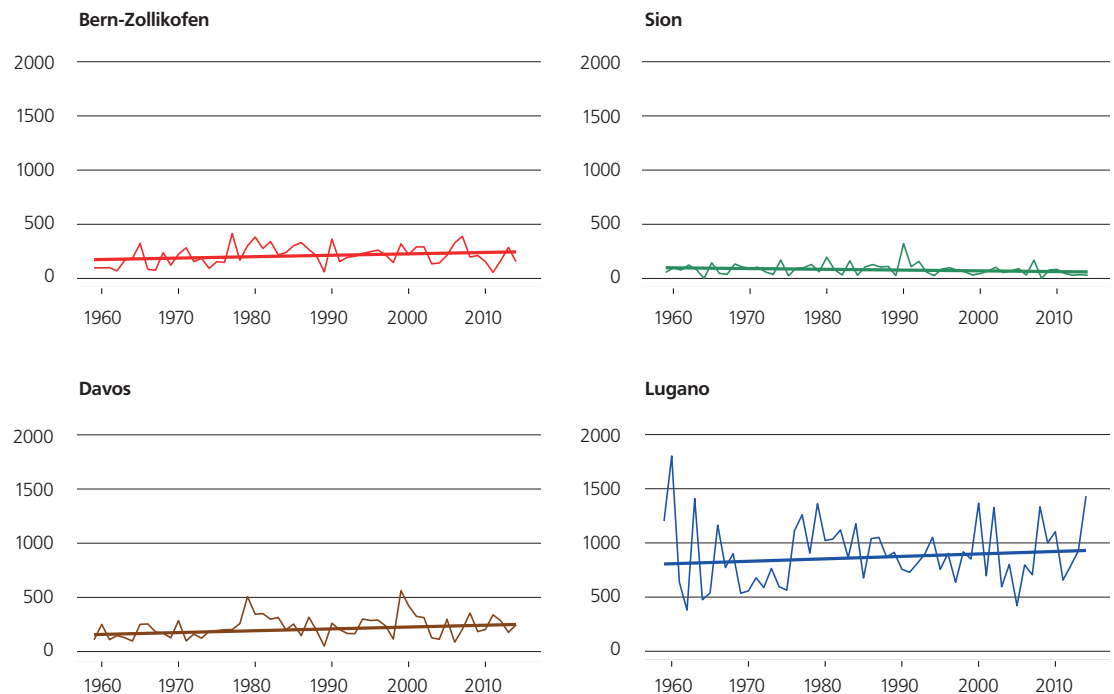
Auf der Web-Seite der MeteoSchweiz finden sich zusätzliche Informationen zur Niederschlagsentwicklung in der Schweiz:
www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/gegenwart/klima-trends.html
www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/gegenwart/klima-trends/trends-an-stationen.html

Niederschlag der sehr nassen Tage

Die Niederschlagssumme der sehr nassen Tage im Jahr 2014 lag an den Messstandorten Bern und Sion deutlich unter der Norm (Bern 154mm/Norm 216 mm; Sion 30mm/Norm 98mm). Am Messstandort Davos erreichte sie einen leicht überdurchschnittlichen Wert (247mm/Norm 214mm). In Lugano übertraf die Niederschlagssumme der sehr nassen Tage die Norm massiv (1432mm/Norm 858mm).

Es war der zweithöchste Wert in der hier aufgeführten Messreihe ab 1959. Im langfristigen Verlauf zeigt von den genannten Messreihen nur diejenige von Davos einen signifikanten Trend.

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 Tagesnieder-
 schlagssumme zu den 5%
 der höchsten Tagesnieder-
 schläge gehören. Als Re-
 ferenzperiode gelten die
 Jahre 1961–1990.



Trockenperioden

Das Jahr 2014 brachte wie bereits die beiden davor liegenden Jahre keine speziell lange Trockenperiode im Vergleich zur Norm 1961–1990. Die längsten Trockenperioden lagen an den hier aufgeführten Messstandorten unter der Norm (Bern 17 Tage/Norm 22 Tage; Sion 26 Tage/Norm 30 Tage; Davos 14 Tage/Norm 22 Tage; Lugano 23 Tage/Norm 33 Tage).

Im langfristigen Verlauf zeigt keine der genannten Messreihen einen signifikanten Trend zu längeren oder kürzeren Trockenperioden.

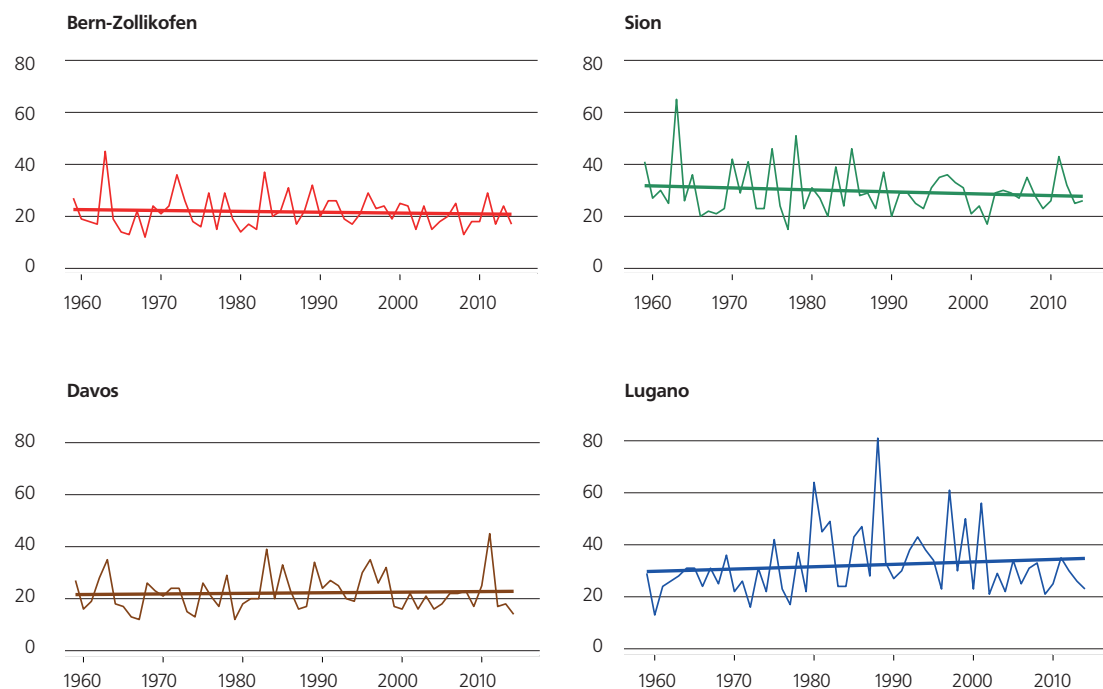


Abbildung 5.13

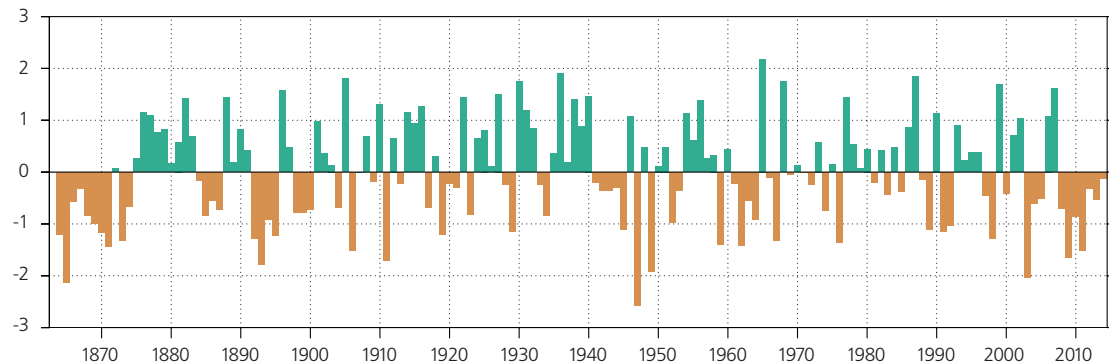
Dauer (Anzahl Tage) der längsten Trockenperiode pro Kalenderjahr für die Stationen Bern, Sion, Davos und Lugano.

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 aktuellen Daten der Station Bern/Zollikofen zeigen, dass die letzten Jahre über die gesamte Vegetationsperiode allesamt trockener waren als im langjährigen Mittel, wobei das Jahr 2014 sehr nahe an diesem Mittelwert lag. Die niedrigsten SPEI-Werte in dieser Reihe (1947, 1865, 2003, 1949, 1893, 1911) entsprechen genau denjenigen Jahren, in welchen grosse landwirtschaftliche 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 bis Sep-
 tember) an der Messsta-
 tion Bern. Positive Werte
 bedeuten feuchtere und
 negative Werte trockenere
 Bedingungen als im Mittel
 (1864–2014).**



Nullgradgrenze

Der Jahresmedian der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre, ermittelt aus den täglichen Ballonsondierungen, erreichte 2014 mit 2760 m ü.M. den zweithöchsten Wert der Messreihe seit 1959. Nur das Jahr 2011 war höher, unmittelbar nach dem sehr tiefen Wert im Jahr 2010 in dem die Nullgradgrenze mehr als 400 Meter tiefer lag und somit die grosse Variabilität von Jahr zu Jahr aufzeigt.

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 1959–2014 mit 69 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).

Tropopausen Höhe

Der Jahresmedian der Tropopausen Höhe erreichte 2014 mit 11 330 m ü.M. einen Wert, der über dem Mittelwert der Messreihe seit 1959 liegt. Der Wechsel von der ausgesprochen tiefen Lage im Jahr 2010 zur sehr hohen Lage im darauffolgenden Jahr zeigt die grosse Variabilität von Jahr zu Jahr, sehr ähnlich wie bei der Nullgradgrenze. Der Jahresmedianwert der Tropopausen Höhe steigt in der Periode 1959–2014 mit 53 Meter pro 10 Jahre signifikant an. Dies steht in guter Übereinstimmung mit dem langjährigen Trend der Nullgradgrenze.

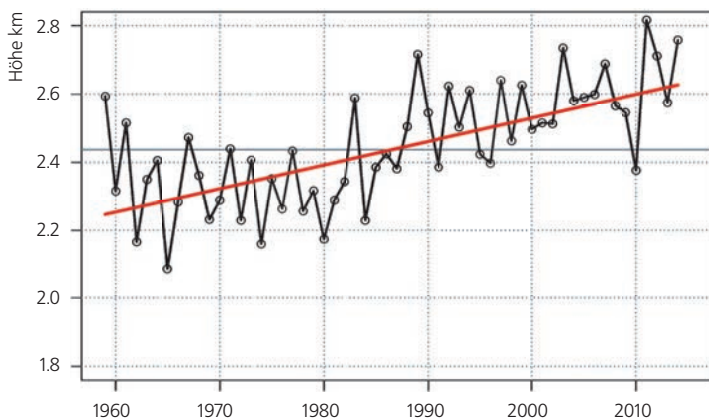


Abbildung 5.15

Jahresmedianwerte der Nullgradgrenze 1959–2014 ermittelt aus den täglichen Ballonsondierungen der Aerologischen Station Payerne. Die graue Linie zeigt den Mittelwert 1959–2014.

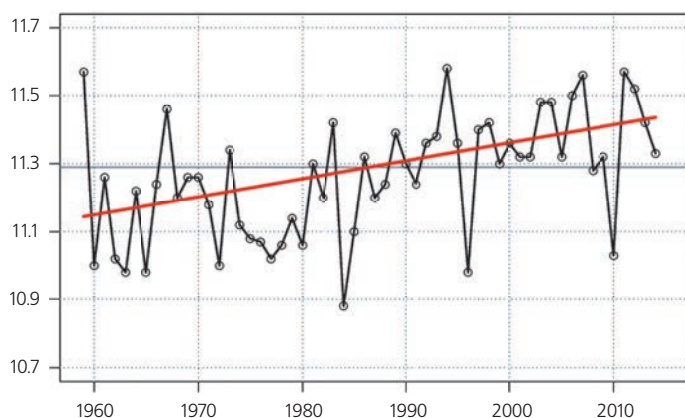


Abbildung 5.16

Jahresmedianwerte der Tropopausen Höhe 1959–2014, bestimmt aus den täglichen Ballonsondierungen der Aerologischen Station Payerne. Die graue Linie zeigt den Mittelwert 1959–2014.

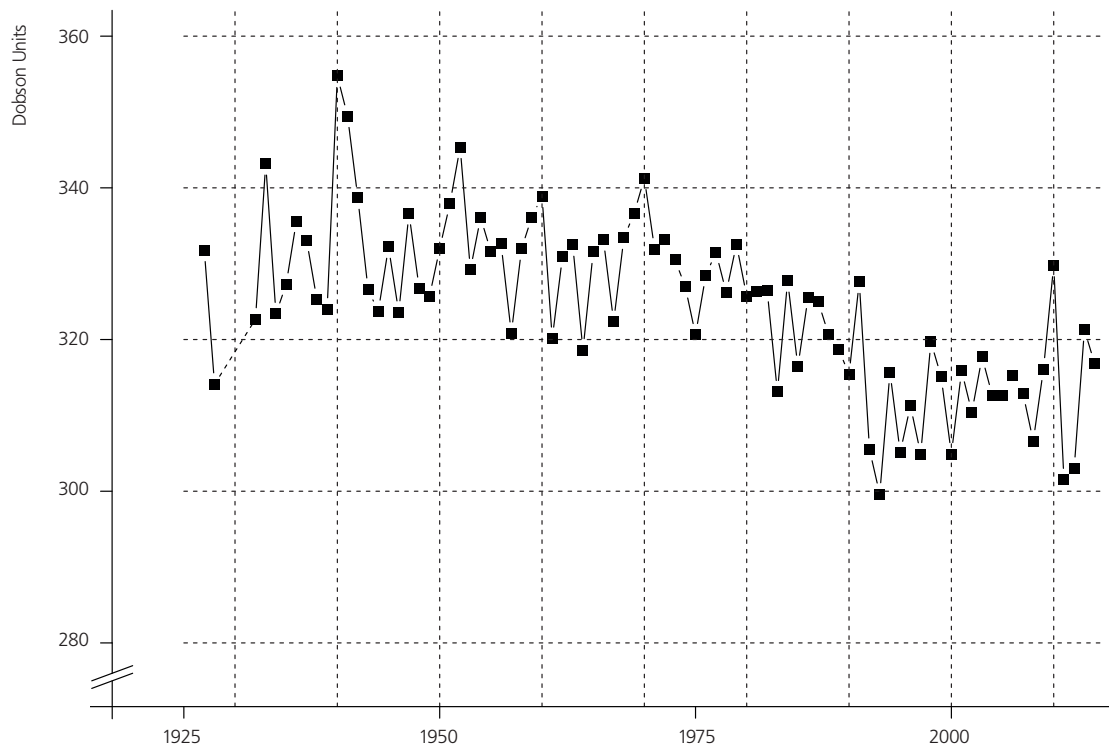
Zusammensetzung der Atmosphäre

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 [8] zu beobachten, 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 2014.
100 Dobson-Einheiten
(Dobson Units) = 1 mm
reines Ozon bei 1013 hPa
und 0°C.



Ozommessungen Payerne

Seit 1968 wird die Ozonkonzentration mit Ballonsonden von der Aerologischen Station von MétéoSuisse in Payerne aus gemessen. Die älteren Messungen (1966–1968) stammen von der ETH in Zürich. Dank dieser unterbrechungsfreien Messreihe ist es möglich, die zeitliche Entwicklung des Ozongehalts verschiedener Schichten der Atmosphäre zu bestimmen. Auf 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 2000er Jahren nicht mehr signifikant verändert. Für die Jahre vor 2000 lässt sich eine Abnahme des Ozons in der Stratosphäre beobachten (veranschaulicht durch die Höhen 22 und 27 km), hingegen eine Zunahme des Ozons in der Troposphäre (hier durch die Höhe 3 km veranschaulicht).

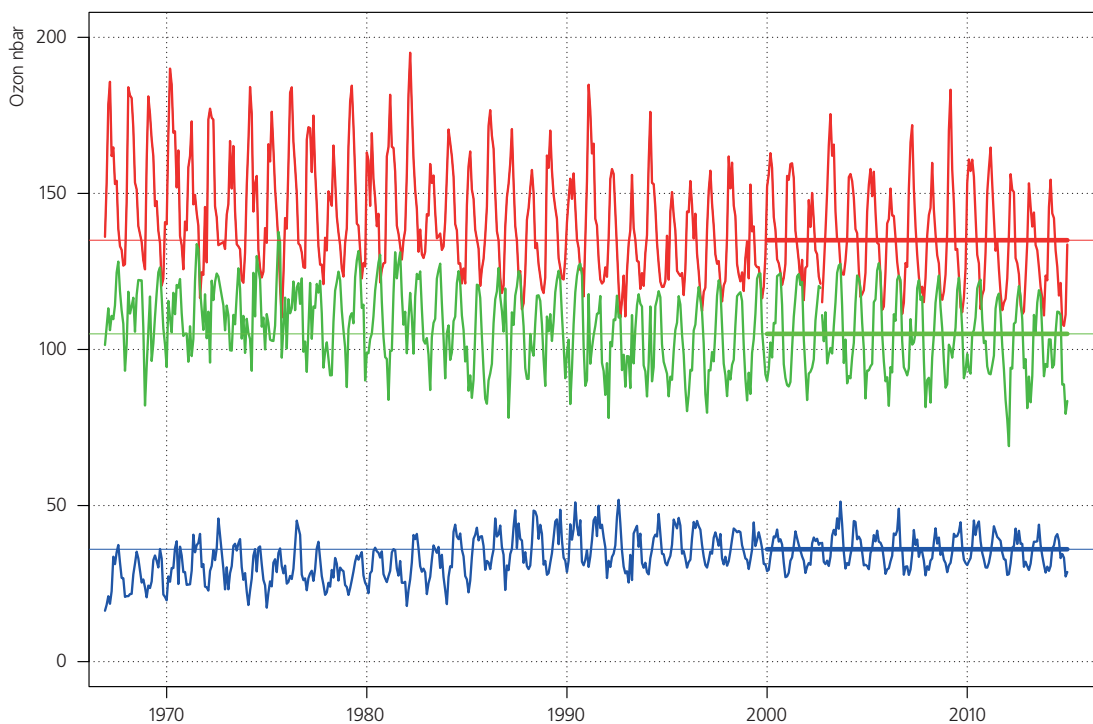


Abbildung 5.18

Monatliche Ozonkonzentration auf drei verschiedenen Höhen für die Periode 1967–2014. Blau: 3 km, rot: 22 km, grün: 27 km. Die Ozonkonzentration ist als Partialdruck in nanobar (nbar) angegeben.





Viel Feuchtigkeit in den unteren Luftschichten,
die höheren Gipfel sind wolkenfrei. Stephan
Siegrist mit Dani Arnold am Nesthorn, Wallis.

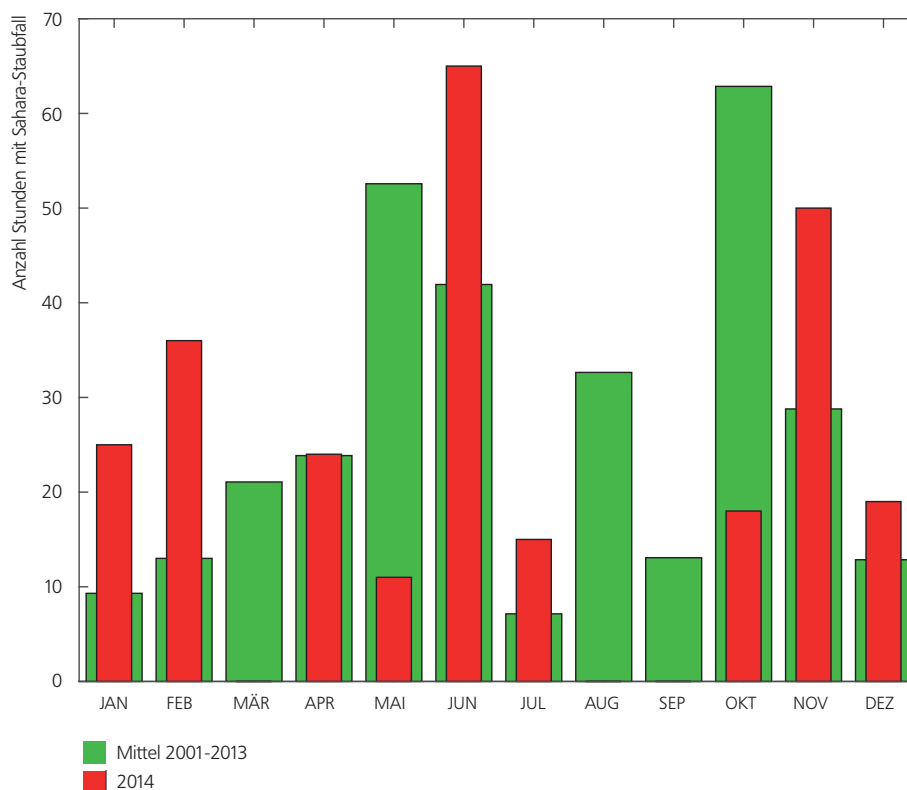
Foto: visualimpact.ch; Thomas Senf

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.

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

Abbildung 5.19
Anzahl Stunden pro Monat mit Mineralstaubeintrag aus der Sahara an der Messstation Jungfraujoch. Die grünen Säulen zeigen den Mittelwert über die Periode 2001–2013. Die monatlichen Werte des Jahres 2014 sind als rote Säulen dargestellt. 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.

Das Pollenjahr 2014 gehörte bei der Birke und den Gräsern zu den stärkeren Blühjahren (siehe Kapitel 2). Die Birkenpollensaison war vor allem in Tessin und an einigen Messstationen der Zentral- und Ostschweiz intensiv. Die Gräserpollensaison war in der ganzen Schweiz ebenfalls etwas stärker als im Mittel. Im Tessin zeigt sich in den letzten Jahren eine Tendenz zu zunehmendem Gräserpollenflug, auch wenn die absoluten Werte deutlich tiefer sind als auf der Alpennordseite.

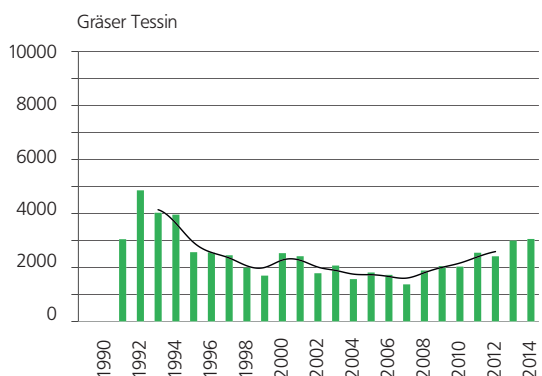
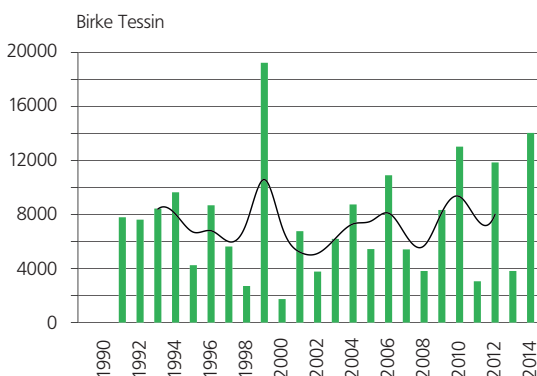
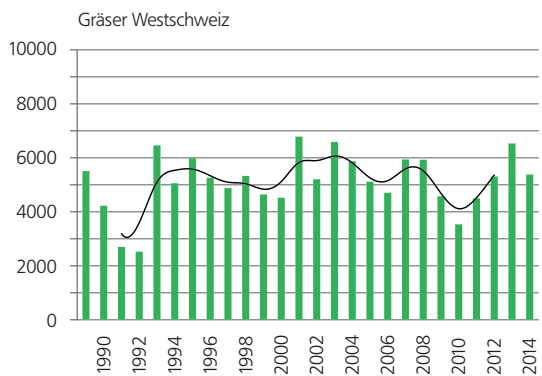
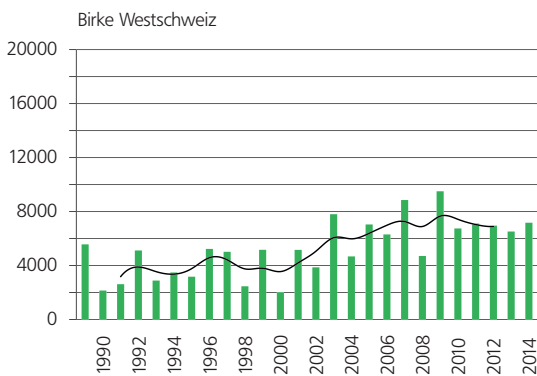
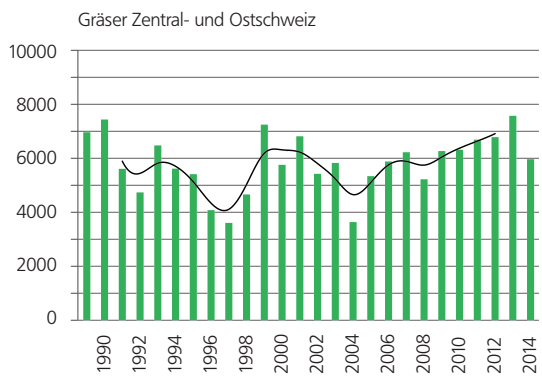
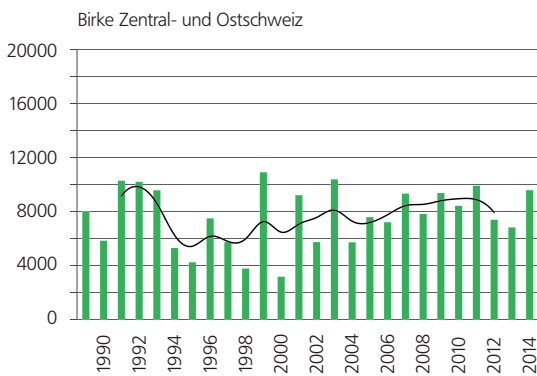


Abbildung 5.20
Intensität des Pollenflugs der Birken (links) und der Gräser (rechts) in den Regionen der Alpennordseite von 1989–2014 und im Tessin von 1991–2014. Der saisonale Pollen Index ist die Summe der täglichen Pollenkonzentrationen. Die schwarze Linie zeigt das 5jährige gewichtete Mittel.

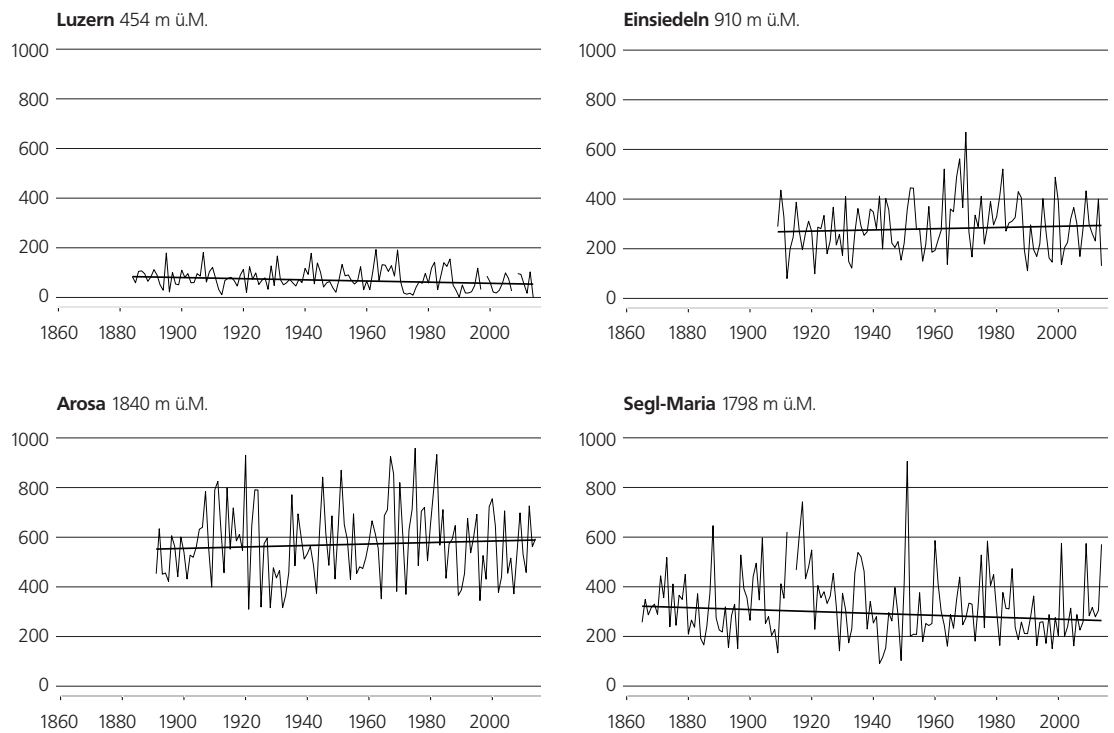
5.2 Landoberfläche

Neuschneesummen

Der milde Winter 2013/14, dominiert durch Südwest- und Südströmungen, brachte im Süden enorme Schneemengen (Kap. 3.2). Am Messstandort Segl-Maria im Oberengadin erreichte die Neuschneesumme im Winterhalbjahr Oktober bis März 5.71 m (Norm 3.12 m). Im nördlichen Flachland hingegen fiel regional gar kein Neuschnee, wie im hier aufgeführten Beispiel von Luzern (Norm 83 cm). Auch am Alpennordhang blieben die Neuschneemengen des Winterhalbjahres zum Teil deutlich unter der Norm. In Einsiedeln waren es 1.31 m (Norm 3.41 m), am hoch gelegenen Standort Arosa 5.94 m (Norm 6.31 m).

Bei den Neuschneesummen im Winterhalbjahr ist an den Messstandorten Arosa, Einsiedeln und Segl-Maria kein signifikanter Trend feststellbar. Am Messstandort Luzern ist eine signifikante Abnahme von 2.3 cm/10 Jahre 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 2014
an den Messstationen
Luzern, Einsiedeln, Arosa
und Segl-Maria.**



Tage mit Neuschnee

Die Anzahl Tage mit messbarem Neuschnee war an den tiefer gelegenen Messstandorten unterdurchschnittlich (Luzern 0 Tage/Norm 18 Tage; Einsiedeln 31 Tage/Norm 45 Tage). An den höher gelegenen Messstandorten lag die Anzahl Tage mit messbarem Neuschnee im Bereich der Norm (Arosa 74 Tage/Norm 71 Tage; Segl-Maria 41 Tage/Norm 42 Tage).

Einen signifikanten Trend zu mehr Tagen mit Neuschnee zeigen die Messreihen von Arosa (+1.8 Tage/10 Jahre) und Einsiedeln (+0.7 Tage/10 Jahre). Kein signifikanter Trend ist an den beiden Messstandorten Luzern und Segl-Maria zu beobachten. Auch hier ist darauf hinzuweisen, dass die täglichen und monatlichen Schneeaufzeichnungen nicht in Form homogener Daten verfügbar sind.

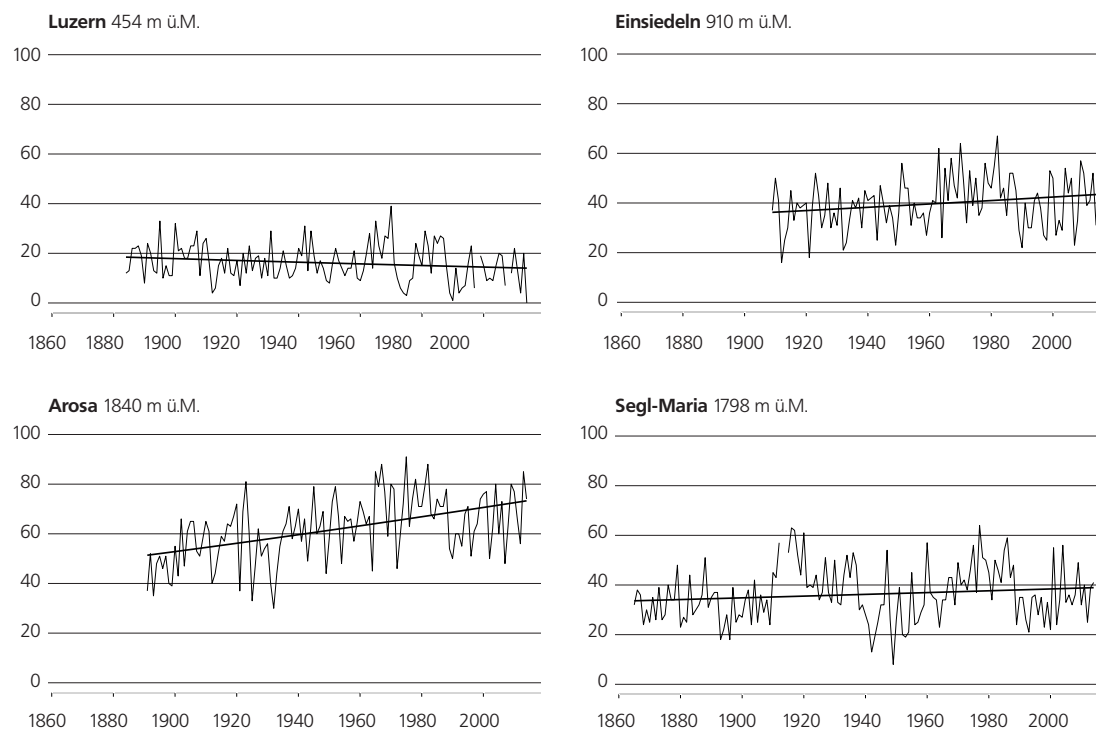


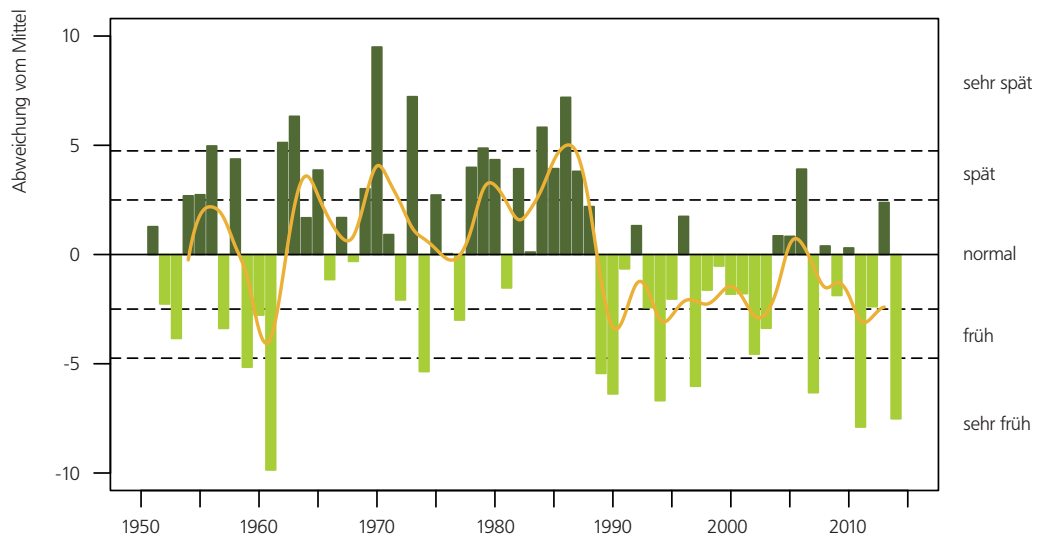
Abbildung 5.22
Anzahl Tage mit Neuschnee
im Winterhalbjahr ab
Messbeginn bis 2014 an
den Messstationen Luzern,
Einsiedeln, Arosa und
Segl-Maria.

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]. Die Vegetationsentwicklung war im Frühling 2014 deutlich früher als im Mittel 1981–2010 und lässt sich als sehr früh klassieren. Eine frühere Entwicklung zeigten nur die Jahre 1961 und 2011. Die Vegetation hatte vor allem im März und April einen Vorsprung von 1 bis 3 Wochen auf das Mittel.

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 sprungartige Verschiebung zu einer früheren Vegetationsentwicklung im Frühling.

Abbildung 5.23
Jährlicher Stand der gesamt-schweizerischen Vegetationsentwicklung (Frühlingsindex) 1951–2014 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 werden bei der ländlichen Station Liestal die Eintrittsdaten der Blüte der Kirschbäume registriert. In der Messreihe lässt sich ab etwa 1990 ein Trend zu früheren Eintrittsterminen feststellen. Der Eintrittstermin am 25. März 2014 ist der achtfrüheste der gesamten Messreihe.

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 2014 fand der Blattausbruch der Rosskastanien am 5. 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.

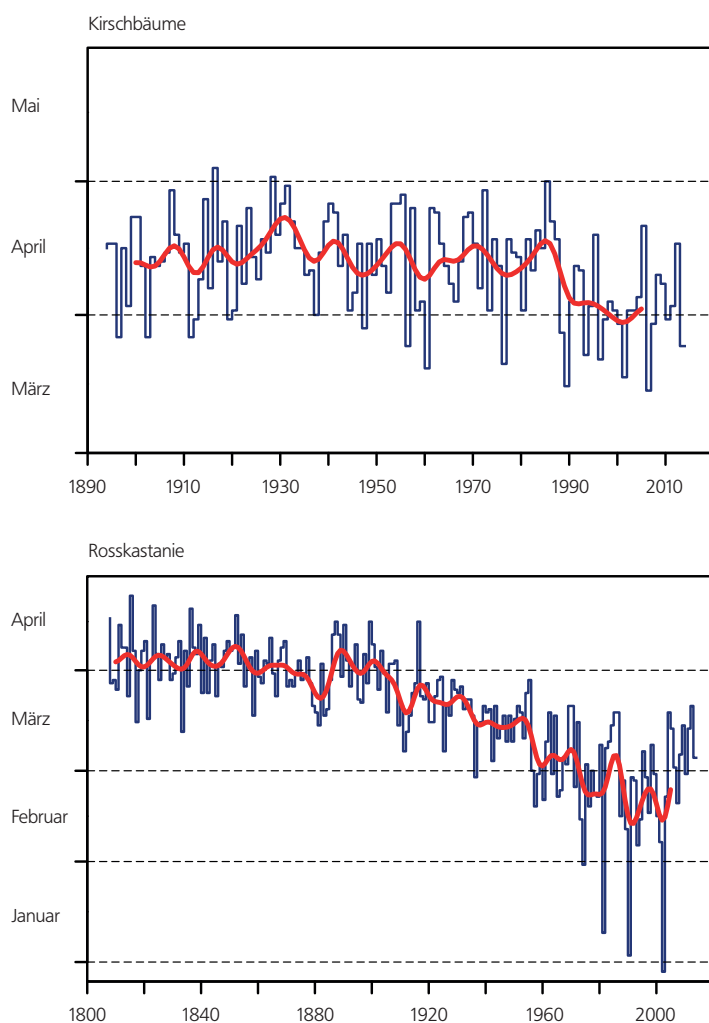


Abbildung 5.24

Blüte der Kirschbäume bei Liestal 1894–2014 (oben) und Blattausbruch der Rosskastanie in Genf 1808–2014 (unten).

Bei strahlendem Hochdruckwetter und Nebelmeer führt Stephan Siegrist einen Gast über den Mittellegigrat am Eiger, Berner Oberland.

Foto: visualimpact.ch; Thomas Ulrich.





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]. Eingangsgrößen 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 12 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 12 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].

Niederschlag der sehr nassen Tage

Ein Tag gilt als sehr nass, wenn seine Niederschlagssumme grösser ist als die im langjährigen Durchschnitt 18 (5%) nassesten 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 feuch-

tere und negative Werte trockenere Bedingungen als im Mittel. Der SPI (standardized precipitation index, [20]) ist ein Mass für die Niederschlagsanomalie über eine bestimmte Zeitbasis (typischerweise 1 bis 48 Monate) und wird aus monatlichen Niederschlagssummen berechnet. Die kumulierten Niederschläge der vergangenen (1 bis 48) Monate werden dabei mit den entsprechenden Niederschlagssummen zum gleichen Zeitpunkt in der Vergangenheit verglichen. Dafür wird die Verteilung dieser Niederschlagssummen in eine Standardnormalverteilung um Null transformiert. Der so transformierte Wert einer bestimmten Niederschlagssumme ist der SPI-Wert.

Der SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index, [21]) wird analog zum SPI berechnet, anstelle der Niederschlagssummen über eine bestimmte Zeitdauer wird aber die klimatische Wasserbilanz benutzt. Die klimatische Wasserbilanz entspricht dem Niederschlag abzüglich der potenziellen Evapotranspiration. Der SPEI ist also die auf Standardnormalverteilung transformierte Wasserbilanz.

Entsprechend der Definition der Standardnormalverteilung entsprechen Bedingungen mit einem SPI/SPEI von weniger als -1 einer Häufigkeit von gut 15%, solche mit einem Wert unter -2 einer von gut 2%. Entsprechend kann die Trockenheit oder der Wasserüberschuss mit den Indizes in folgende Klassen eingeteilt werden:

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

Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre

Unter normalen atmosphärischen Bedingungen nimmt die Lufttemperatur von der Erdoberfläche aus mit zunehmender Höhe ab. Ist die Temperatur am Boden positiv, so befindet sich in der Höhe eine Fläche, auf welcher die Temperatur 0 Grad beträgt. Über dieser Fläche nimmt die Temperatur negative Werte an. Die jeweilige Höhe, auf welcher sich die Grenze zwischen positiven und negativen Temperaturen befindet, nennen wir die Höhe der Nullgradgrenze. Bei Inversionen bei denen die Nullgradgrenze zweimal oder gar dreimal durchschnitten wird, wird laut WMO Richtlinien in der Regel der oberste Schnittpunkt als effektive Höhe der Nullgradgrenze genommen. Um auch bei negativen Temperaturen am Boden vergleichbare Zahlen über die Höhe der Nullgradgrenze zu erhalten, wird bei solchen Wetterlagen ein theoretischer Wert ermittelt. Von der in der Sondierung angegebenen Bodentemperatur wird eine fiktive unter der Erdoberfläche gelegene Höhe, beziehungsweise Tiefe der Nullgradgrenze errechnet, indem ein mittlerer vertikaler Temperaturgradient von 0.5°C pro 100 Meter angenommen wird. Auf diese Weise ergeben sich Nullgradgrenzen, welche unter der Oberfläche, bei Bodentemperaturen von -2.5°C

oder tiefer, sogar unter dem Meeres Niveau liegen und somit negativ sind [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.

Dargestellt werden für die Alpennordseite Daten seit 1989 (Ausnahme Bern: Daten ab 1993) und für das Tessin Daten seit 1991.

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 80 Stationen verteilt über die ganze Schweiz durchgeführt.

Der hier verwendete Frühlingsindex wird auf der Basis der zehn folgenden phänologischen Phasen gebildet: Blüte des Haselstrauchs, Blüte des Huflattichs, Blüte des Buschwindröschens, Blattentfaltung der Rosskastanie, Blüte des Kirschbaumes, Blattentfaltung des Haselstrauchs, Nadelaustrieb der Lärche, Blüte des Wiesenschaukrautes, 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] www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/CA_3.php
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 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: 10.2929/2004GL020255.
- [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, 2015: Temperature anomaly (from the base period 1961-90) datasets HadCRUT4. 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., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V. and Midgley P.M. (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., Molenaar 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. 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. 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. 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 2014: WMO Statement on the status of the global climate in 2014 (Draft). http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/documents/1009_Draft_Statement_2014.pdf
- [26] MEI-Daten unter: 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. www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/GCDS_1.php
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, 2015: 2014 Tag für Tag. Temperatur, Niederschlag, Sonnenscheindauer. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich. Faltblatt 6 pp.
- [32] WMO 2015: Warming Trend Continues in 2014. WMO Press Release N° 1, 2 February 2015.
- [33] 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.

printed in
switzerland



Swiss Climate
**Klimaneutral
gedruckt**
SC2015051301 • www.swissclimate.ch

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