



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

MeteoSchweiz

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Klimareport 2023



Klimareport 2023

Herausgeber

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

✉ kundendienst@meteoschweiz.ch

🔗 meteoschweiz.ch

Redaktion

Elias Zubler, Stephan Bader, Thomas Schlegel, Julien Anet

Autoren

Julien Anet, Stephan Bader, Simone Bircher, Martine Collaud Coen, Anke Duguay-Tetzlaff, Christoph Frei, Sophie Fukutome, Regula Gehrig, Eliane Maillard Barras, Giovanni Martucci, Gonzague Romanens, Rolf Rüfenacht, Christoph Spirig, Laurent Vuilleumier, Elias Zubler

Vertrieb

Bundespublikationen BBL
CH-3003 Bern

🔗 bundespublikationen.admin.ch

Artikelnummer: 313.001.d

ISSN: 2296-1488

Druck

CO₂-neutral (SC202390501) in der Schweiz gedruckt

🔗 swissclimate.ch

Bitte zitieren Sie diesen Bericht folgendermassen:

MeteoSchweiz 2024: Klimareport 2023. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich. 100 S.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Summary	7
1 Verlauf der Jahreswitterung 2023	8
Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer im Jahr 2023	13
Monatstemperatur 2023, Abweichung zur Norm 1991–2020	14
Monatsniederschlag 2023 in % der Norm 1991–2020	15
Monatliche Sonnenscheindauer 2023 in % der Norm 1991–2020	16
2 Diagramme zum Jahresverlauf	18
Temperatur, Sonnenscheindauer und Niederschlag Bern-Zollikofen	18
Temperatur, Sonnenscheindauer und Niederschlag Lugano	19
Jahresverlauf der Globalstrahlung	20
Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre	22
Tropopausenhöhe	23
Aussergewöhnliche Starkniederschläge	24
Jahresverlauf der UV-Strahlung	25
Ozonmessreihe Arosa und Davos	26
Ozonmessungen Payerne	28
Aerosolmessungen Jungfrauoch	30
Saharastaubereignisse	31
Vegetationsentwicklung	32
Frühling	32
Sommer	33
Herbst	34
Pollensaison	35
3 Besonderheiten 2023	42
3.1 Extremer Gewittersturm im Jura	43
3.2 Hitzewelle im August	44
3.3 Starkniederschläge im der zweiten Jahreshälfte	45
3.4 Polare Stratosphärenwolken in der Südschweiz	46
4 Globales Klima und Wetterereignisse	48
4.1 Weltweit aussergewöhnlich warmes Jahr	48
4.2 El Niño und La Niña	50
4.3 Besondere Ereignisse weltweit	51
5 Langjährige Klimaentwicklung	54
5.1 Atmosphäre	56
5.1.1 Bodennahe Beobachtungen	56
5.1.2 Freie Atmosphäre	72
5.1.3 Zusammensetzung der Atmosphäre	78
5.2 Landoberfläche	82
5.3 Datengrundlagen und Methoden	88
Referenzen	92

Zusammenfassung

4

Die gemittelte Jahrestemperatur der Schweiz erreichte 2023 mit 7,2 °C (1,4 °C über der Norm 1991–2020) nach 2022 den zweithöchsten Wert seit Messbeginn 1864. An einigen Standorten war 2023 gar das wärmste Jahr seit Messbeginn. Damit setzt das Jahr 2023 den klaren Erwärmungstrend der letzten Jahrzehnte fort.

Der Winter 2022/2023 gehörte regional zu den drei bis fünf wärmsten seit Beginn der Aufzeichnungen. Im ganzen Land fiel über den Winter weniger Niederschlag als in der Norm. Vor allem in den Süd- und Südöstlichen Landesteilen war der Winter mit 40–65 % der Norm 1991–2020 sehr niederschlagsarm. Entsprechend litt auch die Schneedecke.

Auf den milden und trockenen Winter folgte erst ein weitgehend im Bereich der Norm temperierter und regional nasser Frühling und daraufhin der fünftwärmste Sommer seit Messbeginn 1864. Die Sommertemperatur lag im schweizweiten Mittel 1,6 °C über der Norm 1991–2020. Nach einem niederschlagsarmen Juni wechselten sich in den Monaten Juli und August Hitzeperioden, Starkniederschläge und Gewitterstürme ab.

Der Herbst 2023 erreichte regional neue Rekordtemperaturen. Im landesweiten Mittel war es mit 2,2 °C über der Norm der zweitwärmste Herbst seit Messbeginn 1864. September und Oktober zeigten sehr ähnliche Verläufe mit viel Sonne und Wärme in der ersten Hälfte und einer niederschlagsreichen Phase in der zweiten Monatshälfte. Schlussendlich zählten die beiden letzten Monate des Jahres 2023, November und Dezember, zu den nassesten seit Messbeginn.

Weltweit war das Jahr 2023 das mit grossem Abstand wärmste Jahr seit Messbeginn 1850. Es lag 1,1 °C über der Norm 1961–1990. Als einer der Gründe für die rekordhohen Temperaturen wird der Wechsel von La Niña auf El-Niño-Bedingungen im Frühjahr genannt. Dabei dominierte auf allen Kontinenten die Wärme. Die letzten neun Jahre seit 2015 waren die wärmsten seit Messbeginn.

In der langjährigen Schweizer Temperaturentwicklung 1864–2023 zeigt sich ein klares Signal des menschengemachten, globalen Klimawandels. Die langfristige Temperaturzunahme in der Schweiz von der vorindustriellen Referenzperiode 1871–1900 bis heute beträgt 2,8 °C. Die letzte Dekade (2014–2023) war die wärmste seit Messbeginn. Die Temperatur nimmt in allen Jahreszeiten zu. In Übereinstimmung mit der allgemeinen Temperaturzunahme in der Schweiz ist die Anzahl der Sommertage deutlich angestiegen, die Anzahl der Frosttage hingegen

zurückgegangen. Im Gleichschritt mit der Temperatur ist ein Anstieg der Nullgradgrenze zu beobachten. Die allgemeine Erwärmung drückt sich auch in einer früheren Vegetationsentwicklung aus.

Die Niederschlagsentwicklung im Zeitraum 1864–2023 ist sowohl im Mittelland als auch auf der Alpensüdseite von dekadischen und Jahr-zu-Jahr-Schwankungen dominiert. Im Winter ist eine langfristige Zunahme der Niederschläge festzustellen. In den übrigen Jahreszeiten gibt es keine langfristige Änderung in den Niederschlagssummen. Allerdings zeigen Untersuchungen, dass die Häufigkeit und die Intensität der täglichen Starkniederschläge zugenommen hat. Betrachtet man die letzten 40 Jahre, sind die Schweizer Sommer jedoch im Mittel trockener geworden. Neben leichten Abnahmen der Niederschläge hat die zunehmende Verdunstung zu den trockeneren Bedingungen beigetragen.

Beim Neuschnee und bei der Schneehöhe ist in den letzten 50–60 Jahren ein deutlicher Rückgang im Alpenraum und festzustellen.

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





Summary

The mean annual temperature in Switzerland reached 7.2°C in 2023 (1.4°C above the 1991–2020 norm). It was the second-highest value since measurements began in 1864, after 2022. At some locations, 2023 was even the warmest year since measurements began. Therefore, 2023 is clearly in line with the warming trend seen over recent decades.

Regionally, the winter of 2022/2023 was one of the three to five warmest since records began. The entire country experienced a lack of precipitation during the winter. Particularly in the southern parts of the country, the precipitation sums in winter were low, reaching only 40–65 % of the 1991–2020 norm in some areas. As a consequence, snow cover was also low.

The mild and dry winter was followed by a spring with temperatures largely within the normal range and regionally wet conditions, followed by the fifth warmest summer since measurements began in 1864. The average summer temperature across Switzerland was 1.6°C above the 1991–2020 norm. After June with little precipitation, July and August saw alternating periods of heat, heavy precipitation and thunderstorms.

In autumn 2023, new regional record temperatures were reached. With a national average of 2.2°C above the norm, it was the second warmest autumn since measurements began in 1864. September and October showed very similar patterns with plenty of sunshine and warmth in the first half of the month and a period of heavy precipitation in the second half. Finally, the last two months of 2023, November and December, were among the wettest since measurements began.

Globally, 2023 was by far the warmest year since measurements began in 1850, exceeding the 1961–1990 norm by 1.1°C. One reason for the record-high temperatures was the change from La Niña to El Niño conditions in spring. Warmth dominated on all continents. The last nine years since 2015 have been the warmest since records began.

A clear sign of man-made global climate change is reflected in the long-term temperature trend in Switzerland from 1864 to 2023. The temperature increase in Switzerland from the pre-industrial reference period 1871–1900 to the present day amounts to 2.8°C. The last decade (2014–2023) was the warmest since measurements began. The temperature is increasing in all seasons. In line with the general temperature increase in Switzerland, the number of summer days has risen significantly, while

the number of frost days has decreased. A rise of the zero degree level can be observed in agreement with the temperature increase. The general warming is also reflected in an earlier vegetation development.

Precipitation development in the period 1864–2023 is dominated by decadal and year-to-year fluctuations both on the Swiss Plateau and on the southern side of the Alps. A long-term increase in precipitation can be observed in winter. In the other seasons, there is no long-term change in precipitation sums. However, studies show that the frequency and intensity of daily heavy precipitation has increased. On the other hand, looking at the last 40 years, Swiss summers have become drier on average. In addition to slight decreases in precipitation, increasing evaporation has contributed to the drier conditions.

There has been a clear decline in snowfall and snow depth in the Alpine region over the last 50–60 years.

The ozone situation in the higher atmosphere above Switzerland has remained stable in recent years. This follows a decrease in total ozone of around 6% between 1970 and 1995.

1 Verlauf der Jahreswitterung 2023

8

In der Schweiz startete das Jahr 2023 ausserordentlich mild. Im Frühling konnte lokal eine Rekordnässe beobachtet werden. Der Juni hingegen war regional sehr niederschlagsarm. Im Juli und August folgten Hitzewellen und Starkniederschläge in der Süd- und Ostschweiz. Sehr ähnlich zeigten sich September und Oktober mit Rekordwärme in der ersten Monatshälfte und starken Niederschlägen in der Süd- und Westschweiz während der zweiten Hälfte. Nördlich der Alpen war es auch im November und Dezember sehr nass.

Zweitwärmstes Jahr seit Messbeginn

Die landesweit gemittelte Jahrestemperatur 2023 erreichte 7,2°C. Das liegt 1,4°C über der Norm 1991–2020. Geringfügig wärmer zeigte sich bisher nur das Vorjahr 2022 mit 7,4°C (1,6°C über der Norm 1991–2020). An den Messstandorten Basel-Binningen, Bern-Zollikofen, Samedan und Segl-Maria war 2023 das wärmste Jahr seit Messbeginn 1864. Samedan und Segl-Maria verzeichneten einen deutlichen Rekord. In St. Gallen und Luzern sowie im Mittel der Nordschweiz unter 1000 m war das Jahr 2023 ebenso warm wie das Rekordjahr 2022.

Das Jahr 2023 setzt damit in der Schweiz den kräftigen Erwärmungstrend der letzten Jahre fort. Von der vorindustriellen Periode 1871–1900 bis aktuell stieg die Schweizer Jahrestemperatur um 2,8°C an.

Milder Winter

Der Winter 2022/2023 verlief mild mit 1,3°C über der Norm 1991–2020. Im landesweiten Mittel lag er auf Rang 8 seit Messbeginn 1864. Auf der Alpensüdseite und im Engadin erreichte die Wintertemperatur Rang 3 bis 5. Nördlich der Alpen war es lokal der viert- oder fünftmildeste Winter seit Messbeginn vor 160 Jahren.

Extrem milder Jahreswechsel

Am Jahresende 2022 brachte warme Subtropikluft nördlich der Alpen lokal Höchstwerte von 19 bis knapp 21°C. Die Wärme hielt auch in den ersten Januartagen an. Am 1. Januar wurden in Delémont 20,2°C und in Vaduz 20,0°C registriert. Für die Alpennordseite waren das die höchsten gemessenen Januar-Tagesmaxima seit Messbeginn.

Regional wenig Winterniederschlag

Die winterlichen Niederschlagssummen erreichten auf der Alpensüdseite, im Engadin sowie in Nord- und Mittelbünden zwischen 40 und 65 % der Norm 1991–2020. Es war die Fortsetzung einer ausgeprägten Niederschlagsarmut, die im Süden seit zwei Jahren anhält. Die letzte Periode mit häufig überdurchschnittlichen Monatssummen endete auf der Alpensüdseite im Februar 2021. In den übrigen Gebieten brachte der Winter 2022/2023 meist Niederschlagssummen zwischen 70 und 90 % der Norm 1991–2020.

Wenig Schnee

Die milden Verhältnisse und die geringen Niederschlagsmengen waren ungünstig für die alpine Schneedecke. In Arosa auf rund 1880 m Höhe erreichte die mittlere Schneehöhe von Dezember bis Februar nur 30 cm. Letztmals einen ebenso tiefen Wert gab es in Arosa im Winter 2016/2017.

Sonniges Winterende

Auf der Alpensüdseite, im Engadin und im Wallis lachte die Sonne vom 1. bis am 21. Februar fast ohne Unterbruch. Auf der Alpennordseite gab es vom 7. bis am 21. Februar viel Sonnenschein. In der Westschweiz erreichte die Sonnenscheindauer lokal über 180 % der Norm 1991–2020. In Genf war es mit 191 % der Norm der sonnigste Februar seit Messbeginn 1897.

Frühlingstemperatur im Bereich der Norm

Die Frühlingstemperatur lag im landesweiten Mittel 0,2°C über der Norm 1991–2020. In üblicherweise kalten Tälern, wie zum Beispiel in Andermatt oder in Samedan und Segl-Maria, stieg die Frühlingstemperatur hingegen 0,9 bis 1°C über die Norm. In diesen Gebieten war es einer der zehn mildesten Frühlinge seit Messbeginn im Jahr 1864.

Nach einem milden März blieb die Apriltemperatur verbreitet unterdurchschnittlich. Der April 2023 war der erste Monat seit einem halben Jahr mit landesweit unterdurchschnittlicher Temperatur im Vergleich zur Norm 1991–2020. Letztmals leicht unterdurchschnittlich zeigte sich der September 2022. Die Maitemperatur 2023 lag im landesweiten Mittel etwas über dem Durchschnitt.

Regional nasser Frühling

Ein niederschlagsreicher März und April führten in den Alpen und in der Nordostschweiz regional zu deutlich überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen im Frühling. Vaduz im Fürstentum Liechtenstein registrierte mit 430 mm den weitaus nassesten Frühling seit Messbeginn 1961. Der Säntis verzeichnete mit 1077 mm den drittnassesten Frühling seit Beginn der Messreihe im Jahr 1883. In der West- und Südschweiz blieben die Frühlingssummen hingegen gebietsweise unterdurchschnittlich.

Fünftwärmster Sommer

Die Sommertemperatur lag im schweizweiten Mittel 1,6°C über der Norm 1991–2020. Das entspricht dem fünftwärmsten Sommer in der Schweiz seit Messbeginn 1864. Allerdings waren der dritt- und viertwärmste Sommer vergleichbar warm (2015: 1,8°C über der Norm; 2019: 1,7°C über der Norm). Mehr als 2°C über der Norm brachten nur der Sommer 2022 und der Sommer 2003.

Hitzeperioden

Vom 9. bis 11. Juli erfasste eine erste Hitzeperiode die ganze Schweiz mit Tageshöchstwerten von 33 bis 36°C. Einzelne Messstandorte registrierten das höchste Tagesmaximum für den Monat Juli seit Messbeginn. Die Alpensüdseite verzeichnete zwischen dem 15. und 20. Juli eine zweite Hitzeperiode. Die Höchstwerte erreichten nochmals 32 bis etwas über 33°C.

Ab dem 12. August wurde die Schweiz von einer weiteren Hitzeperiode erfasst, die sich nach dem 18. August intensivierte. In der Schweiz gab es zu dieser Jahreszeit noch nie eine so lange und intensive Hitzeperiode, weder auf der Alpennordseite noch auf der Alpensüdseite. An 27 Messstandorten mit längeren Messreihen gab es neue Augustrekorde der Tagesmaximumtemperatur. Genf meldete den schweizweiten Höchstwert von 39,3°C. Es war die höchste Temperatur, die je in einem August auf der Alpennordseite und im Wallis gemessen wurde.

In der Nacht vom 20. auf den 21. August 2023 erreichte die Nullgradgrenze über der Schweiz die Rekordhöhe von 5298 m. Der bisherige Rekord von 5184 m vom 25. Juli 2022 wurde damit deutlich übertroffen.

Extremer Gewittersturm im Jura

Am 24. Juli wurden während eines Gewittersturms in La Chaux-de-Fonds extreme Windgeschwindigkeiten gemessen. Die maximale Böe lag über 200 km/h. Der Sturm forderte ein Menschenleben und 40 Verletzte. Zahlreiche Gebäude und Fahrzeuge sowie Teile der Bahninfrastruktur wurden beschädigt. Viele Bäume brachen oder wurden entwurzelt.

Regenarmer Juni, regenreicher August

Die sommerlichen Niederschlagssummen von Juni bis August blieben vor allem in der westlichen Hälfte der Schweiz unterdurchschnittlich. Grosse Teile des Wallis, der Alpensüdseite und der Ostschweiz erhielten Sommersummen im Bereich der Norm 1991–2020 oder etwas darüber.

In der ersten Junihälfte brachte anhaltendes Hochdruckwetter vor allem auf der Alpennordseite viel Sonnenschein. In der Nordschweiz führte dies lokal zum sonnigsten Juni seit Messbeginn. Als Kehrseite der sonnigen Witterung blieben die Niederschlagssummen im Juni vielerorts unter 50%, regional auch unter 30% der Norm 1991–2020. An 85 Standorten mit langen Messreihen war es der niederschlagsärmste Juni seit Messbeginn. Davon haben elf Standorte Messreihen von mehr als 100 Jahren.

Im Juli lagen die Monatssummen in weiten Gebieten der Schweiz deutlich über dem Durchschnitt. In der Westschweiz blieben die Werte hingegen weit unterdurchschnittlich. Am 17. Juli 2023 brach im Oberwallis ein Waldbrand aus, der sich schnell auf eine grosse Fläche ausdehnte. Die Löscharbeiten mit Einsatz von Helikoptern dauerten mehrere Tage.

Der August brachte gegen Monatsende eine Unwetterperiode mit grossen Niederschlagsmengen auf der Alpensüdseite und in Teilen der Ostschweiz. Dadurch stiegen die Augustsummen gebietsweise weit über die Norm 1991–2020. An einigen Messstandorten mit längeren Messreihen war es der nasseste August seit Messbeginn. In der westlichen Hälfte der Schweiz blieben die Augustsummen hingegen verbreitet unter der Norm.

Rekordregen

Während des Unwetters vom 26. bis am 29. August fielen im Tessin und im Misox gebietsweise 3-Tagessummen von 200 bis 300 mm. Den höchsten Wert meldete Biasca mit 387 mm. In den angrenzenden Gebieten Nord- und Mittelbündens erreichten die 3-Tagessummen regional 170 bis 270 mm. Im Alpsteingebiet in der Ostschweiz registrierten mehrere Messstandorte 3-Tagessummen über 200 mm. An vier Messstandorten mit mehr als 100-jährige Messreihen und an vier Messstandorten mit mehr als 60-jährige Messreihen war es die höchste 3-Tagessumme seit Messbeginn.

Den starken Regenfällen gingen heftige Gewitter voraus. Insbesondere am Abend des 25. August verursachte ein sehr intensives Gewitter in der Region Locarno einen schweren Hagelsturm mit Hagelkörnern von vier bis sieben cm Durchmesser. Solche Hagelkorngrossen sind hier nur alle 30 bis 50 Jahre oder seltener zu erwarten.

Regional wärmster Herbst seit Messbeginn

Nördlich der Alpen verzeichneten mehrere Messstandorte den wärmsten Herbst seit Messbeginn 1864. In Genf lag der Herbst 2,4 °C über der Norm 1991–2020. Der bisher wärmste Herbst 2006 brachte hier 2 °C über der Norm. Auf der Alpensüdseite registrierte Locarno Monti 1,7 °C über der Norm. Vergleichbar warm zeigte sich hier der Rekordherbst 2018 mit 1,8 °C über der Norm 1991–2020.

Im landesweiten Mittel war es mit 2,2 °C über der Norm der zweitwärmste Herbst seit Messbeginn 1864. Ähnlich mild zeigte sich der Rekordherbst 2006 mit einem landesweiten Mittel von 2,5 °C über der Norm 1991–2020.

Extreme Wärme mit viel Sonnenschein

Eine anhaltend sehr milde und sonnige Periode in der ersten September- und in der ersten Oktoberhälfte führte zum wärmsten September und zum zweitwärmsten Oktober seit Messbeginn. Gebietsweise wurde die deutlich wärmste 14-Tagesperiode sowohl für den Monat September als auch für den Monat Oktober registriert. Lokal lagen die Werte rund 2 °C über den bisherigen Höchstwerten. Im September erreichte die Nullgradgrenze mit 5253 m den zweithöchsten je gemessenen Wert.

Dank anhaltend sonnigem Wetter in der ersten September- und in der ersten Oktoberhälfte registrierten nördlich der Alpen mehrere Messstandorte mit über 100-jährigen Messreihen einen der sonnigsten Herbste seit Messbeginn. Luzern verzeichnete mit 440 Sonnenstunden den deutlich sonnigsten Herbst. Alle bisher gemessenen Herbstwerte lagen unter 400 Stunden. Einen knappen neuen Herbstrekord registrierten Genf mit 481 und Neuchâtel mit 479 Sonnenstunden. Der bisherige Rekord lag bei beiden Standorten bei rund 470 Sonnenstunden.

Reichlich Niederschlag

Auch beim Niederschlagsverlauf zeigten die beiden Herbstmonate September und Oktober ein ähnliches Muster. In der zweiten Monatshälfte fielen jeweils regional kräftige Niederschläge. Im September waren vor allem die Alpensüdseite und die angrenzenden Gebiete des Kantons Graubünden davon betroffen. In der zweiten Oktoberhälfte brachte eine feuchte Südwestströmung auf der Alpensüdseite und in der Westschweiz eine dreitägige Starkniederschlags-Periode.

Im November führte anhaltend nasse Witterung auf der Alpennordseite und im Wallis zu weit überdurchschnittlichen Niederschlagssummen. In der Nord- und Nordostschweiz wurde lokal der deutlich nasseste November seit Messbeginn verzeichnet.

Die drei Herbstmonate zusammen brachten verbreitet überdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Gebietsweise fielen 150 bis 180 % der Norm 1991–2020. Ganz lokal war es einer der nassesten Herbste seit Messbeginn. Elm registrierte mit 700 mm den zweitnassesten Herbst seit Messbeginn 1878. Der Rekordherbst 2002 brachte hier knapp 730 mm.

Erster Schnee in tiefen Lagen

Vom 29. auf den 30. November sorgte ein Wintereinbruch für Schneefall bis in tiefe Lagen der Alpennordseite. Verbreitet konnte eine erste Schneedecke von 2 bis 5 cm gemessen werden. Bereits am 2. Dezember überzog sich das nördliche Flachland erneut mit einer Schneedecke. Die Neuschneemengen waren lokal aussergewöhnlich. In Zürich-Fluntern fielen innert Tagesfrist 26 cm. Es war die grösste Neuschneemenge in 24 Stunden an diesem Standort im Zeitraum zwischen Mitte November und Mitte Dezember.

In den östlichen Alpen gab es zwischen dem 1. und 3. Dezember lokal grosse Neuschneemengen innerhalb eines Tages. In St. Gallen wurden 30 cm, in Scuol 47 cm, in Elm 48 cm und in Arosa 65 cm gemessen.

Hochwasser

Vom 8. bis 15. Dezember führte eine West- bis Nordwestströmung feuchtmilde Luft zu den Alpen. Zwischen dem 9. und 13. Dezember fielen in weiten Teilen der West- und Zentralschweiz erhebliche Niederschlagsmengen. Lokal gab es in den vier Tagen so viel Niederschlag, wie sonst in einem durchschnittlichen Dezember zu erwarten ist.

In der milden Luft stieg die Schneefallgrenze tageweise auf 1500 bis 2200 m Höhe. Das löste neben den teils starken Niederschlägen eine kräftige Schneeschmelze aus. Die grossen Abflussmengen führten regional zu Hochwasser in Flüssen und Seen.

Nasser Dezember

Kurz vor Weihnachten erhielt die Alpennordseite erneut grössere Niederschlagsmengen. Die niederschlagsreiche Dezemberwitterung führte schliesslich regional zu hohen Monatssummen. In den Ostalpen erreichten sie lokal knapp 300 % der Norm 1991–2020. An mehreren Messstandorten wurde einer der drei nassesten Dezember seit Messbeginn registriert. Elm meldete mit 287 mm, Thun mit 137 mm den nassesten Dezember seit Beginn der Messungen vor über 140 Jahren.

Temperaturrekorde im Süden

Während auf der Alpennordseite im Dezember die Nässe dominierte, brachte der Nordföhn auf der Alpensüdseite Temperaturen über 20°C. Extrem mild zeigte sich der 23. Dezember. In Locarno Monti stieg die Tagesmaximumtemperatur auf den Dezemberrekord von 22,3°C. Gleichzeitig erreichte auch das Tagesminimum von 12,6°C einen Dezemberrekord. Neben Locarno Monti gab es auch an weiteren Messstandorten einen Dezemberrekord bei der Tagesmaximumtemperatur.

Jahresbilanz

Die Jahrestemperatur 2023 lag in vielen Gebieten der Schweiz 1,3 bis 1,7°C über der Norm 1991–2020. Im Wallis, auf der Alpensüdseite und im Engadin bewegten sich die Werte meist zwischen 1,0 und 1,5°C über der Norm. Im landesweiten Mittel stieg die Jahrestemperatur 1,4°C über die Norm 1991–2020.

Die Niederschläge 2023 erreichten verbreitet 90 bis 120% der Norm 1991–2020. Am östlichen Alpennordhang und im Wallis gab es lokal Werte über 130% der Norm. In Elm war 2023 am Ende mit 2122 mm das nasseste Jahr seit Messbeginn 1879, und auch in Sion gehörte das Jahr mit 822 mm zu den zehn nassesten (Messbeginn 1865). Vaduz registrierte mit rund 170% der Norm das deutlich nasseste Jahr in der rund 60-jährigen Messreihe.

Die Jahressumme 2023 der Sonnenscheindauer lag verbreitet zwischen 90 und 120% der Norm 1991–2020.

Die Zahlen zur Jahresbilanz für einige Messstandorte sind in Tabelle 1.1 zu finden. Die räumlichen Muster von Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer sind in Abbildung 1.1 bis Abbildung 1.4 dargestellt.

Tabelle 1.1
Ausgewählte Jahreswerte 2023 im Vergleich zur Norm 1991–2020.

Station	Höhe	Temperatur [°C]			Sonnenscheindauer [h]			Niederschlag [mm]		
	m ü. M.	Mittel	Norm ¹	Abw. ²	Summe	Norm	% ³	Summe	Norm	% ³
Bern	553	11.1	9.3	1.8	1993	1797	111	1080	1022	106
Zürich	556	11.4	9.8	1.6	1812	1694	107	1160	1108	105
Genf	420	12.7	11.0	1.7	2059	1887	109	1016	946	107
Basel	316	12.7	11.0	1.7	1789	1687	106	775	842	92
Engelberg	1036	8.3	6.8	1.5	1407	1380	102	1834	1568	117
Sion	482	11.8	10.7	1.1	2182	2158	100	822	583	141
Lugano	273	14.3	13.0	1.3	2309	2120	109	1462	1567	93
Samedan	1709	3.8	2.4	1.4	1745	1767	99	872	710	123

¹ Langjähriger Durchschnitt 1991–2020

² Abweichung der Temperatur zur Norm 1991–2020

³ Verhältnis zu Norm 1991–2020 (Norm = 100%)

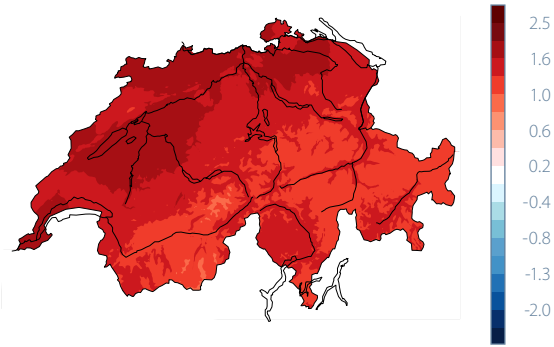
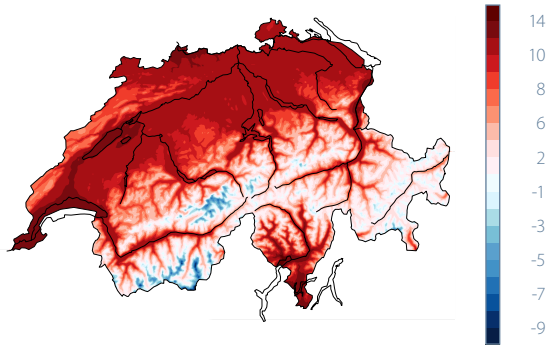
Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer im Jahr 2023

Messwerte 2023

Abweichungen zur Norm 1991–2020

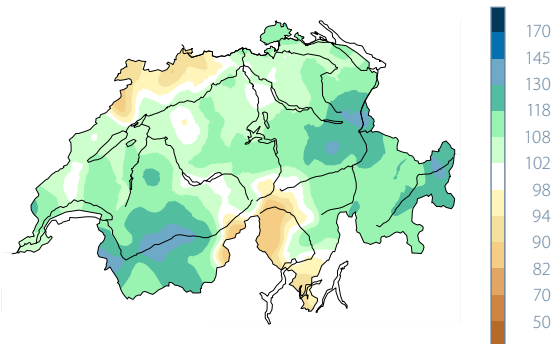
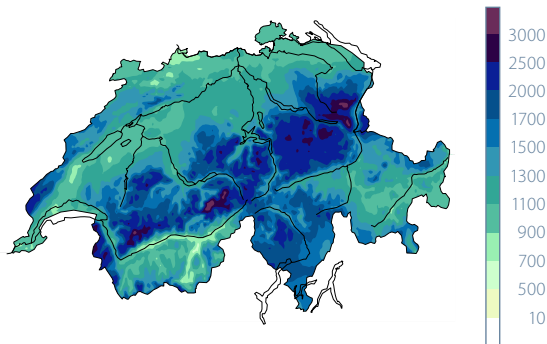
Jahresmitteltemperaturen in °C

Abweichung der Jahresmitteltemperatur in °C



Jahres-Niederschlagssumme in mm

Jahres-Niederschlagssumme in % der Norm



Anteil der maximal möglichen jährlichen Sonnenscheindauer in %

Jährliche Sonnenscheindauer in % der Norm

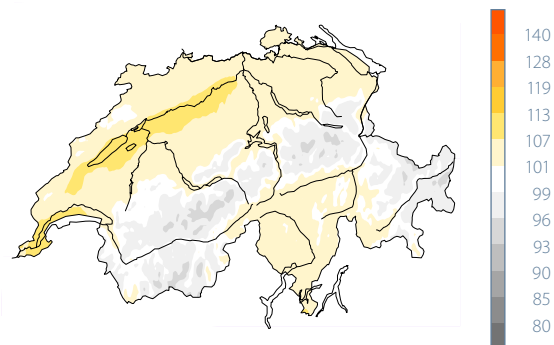
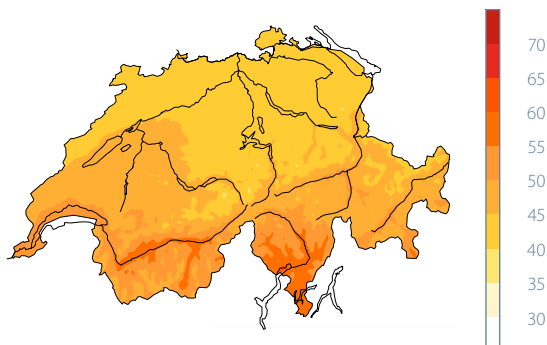
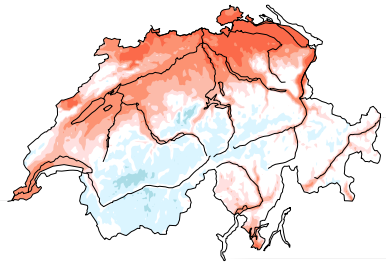


Abbildung 1.1

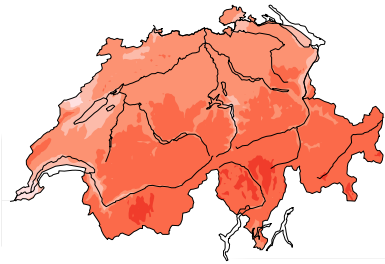
Räumliche Verteilung von Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer im Jahr 2023. Dargestellt sind Messwerte (links) und die Abweichungen zur Norm 1991–2020 (rechts).

Monatstemperatur 2023 Abweichungen zur Norm 1991–2020

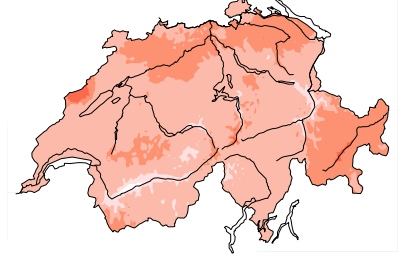
Januar 2023



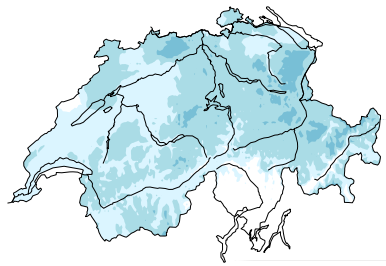
Februar 2023



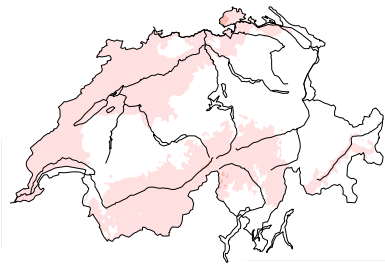
März 2023



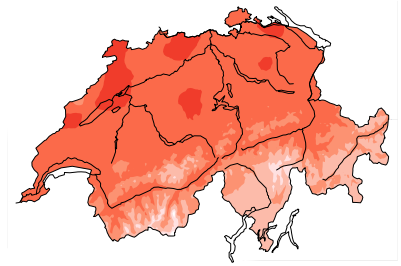
April 2023



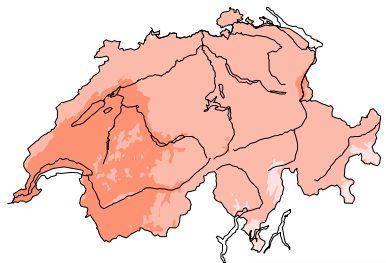
Mai 2023



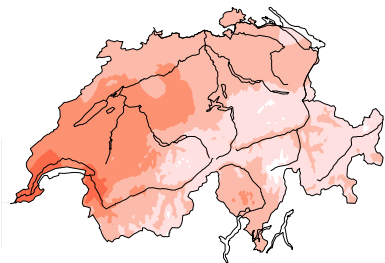
Juni 2023



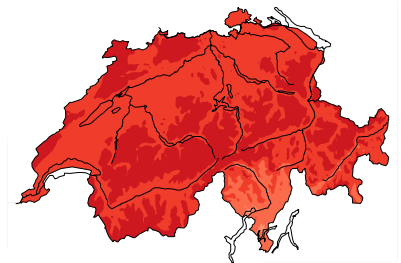
Juli 2023



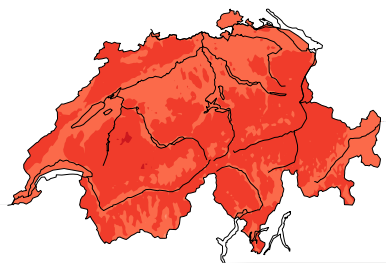
August 2023



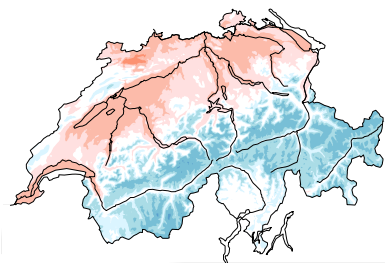
September 2023



Oktober 2023



November 2023



Dezember 2023

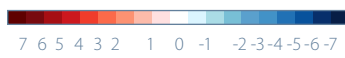
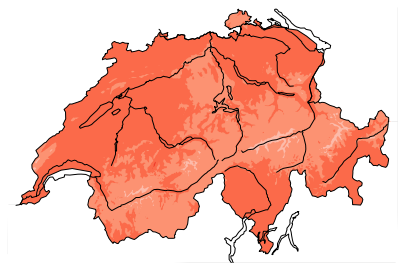
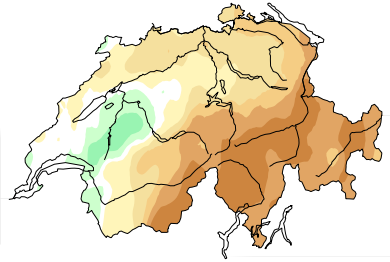


Abbildung 1.2

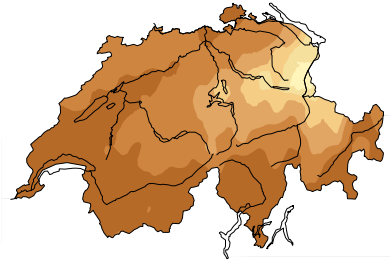
Räumliche Verteilung der Monatstemperatur als Abweichung zur Norm 1991–2020 in °C.

Monatsniederschlag 2023 in % der Norm 1991–2020

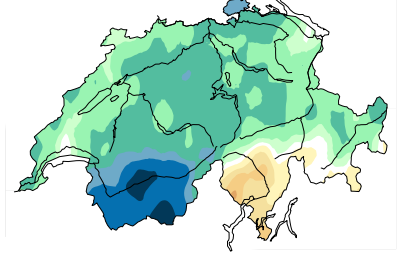
Januar 2023



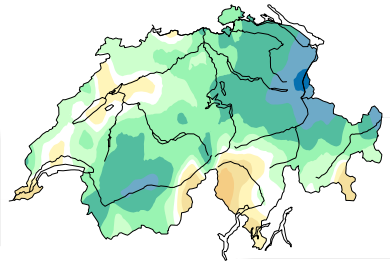
Februar 2023



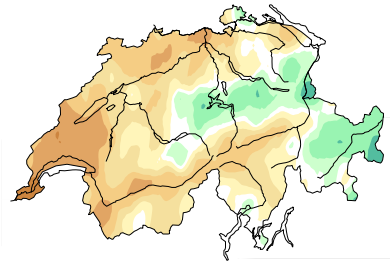
März 2023



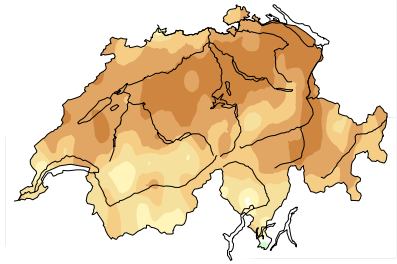
April 2023



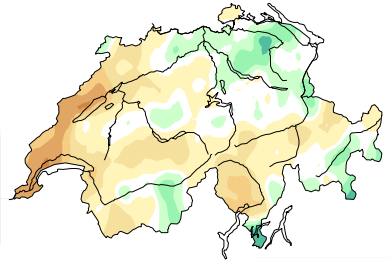
Mai 2023



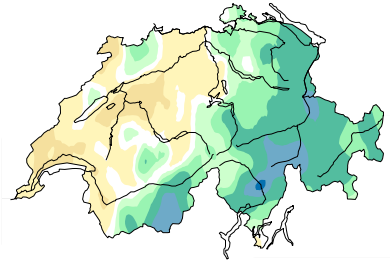
Juni 2023



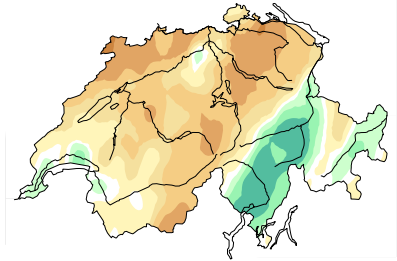
Juli 2023



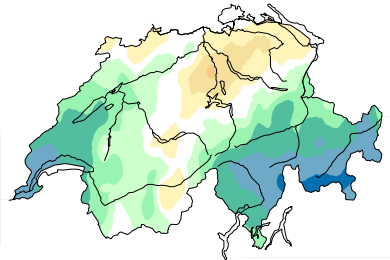
August 2023



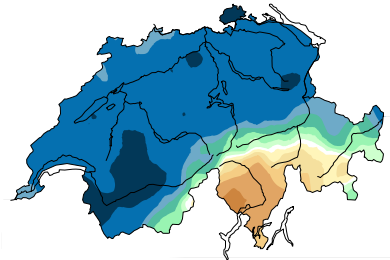
September 2023



Oktober 2023



November 2023



Dezember 2023

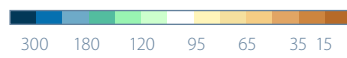
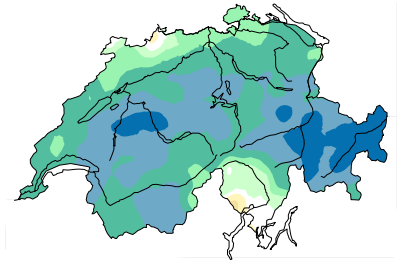
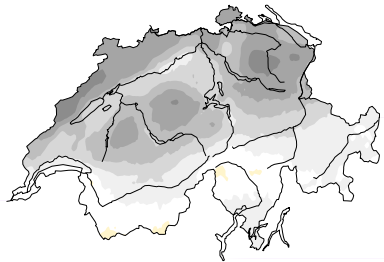


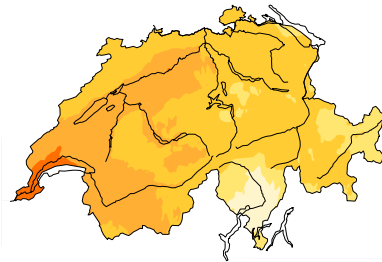
Abbildung 1.3
Räumliche Verteilung der Monatsniederschläge in % der Norm 1991–2020.

Monatliche Sonnenscheindauer 2023 in % der Norm 1991–2020

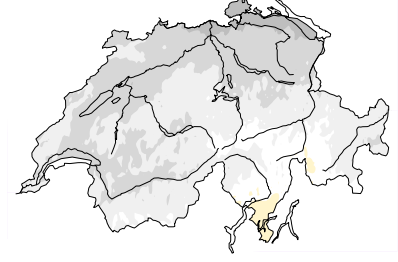
Januar 2023



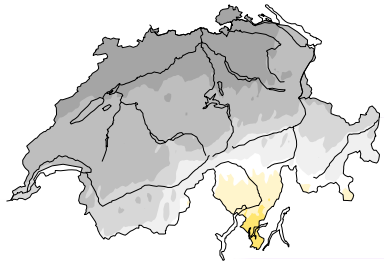
Februar 2023



März 2023



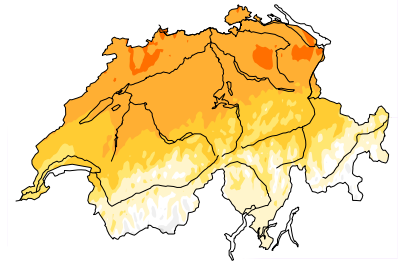
April 2023



Mai 2023



Juni 2023



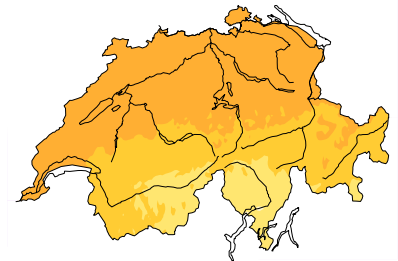
Juli 2023



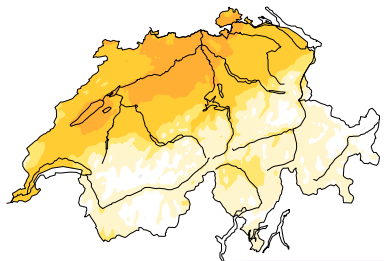
August 2023



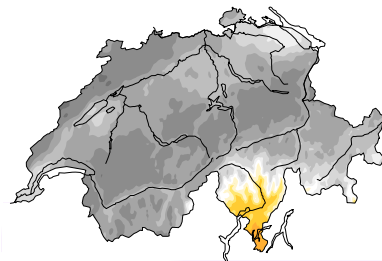
September 2023



Oktober 2023



November 2023



Dezember 2023

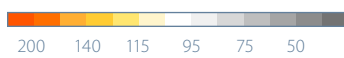
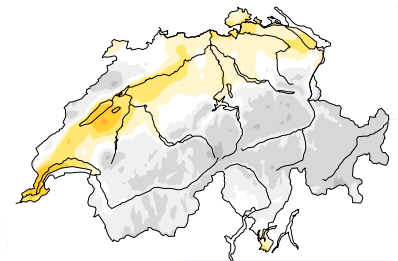


Abbildung 1.4

Räumliche Verteilung der monatlichen Sonnenscheindauer in % der Norm 1991–2020.



2 Diagramme zum Jahresverlauf

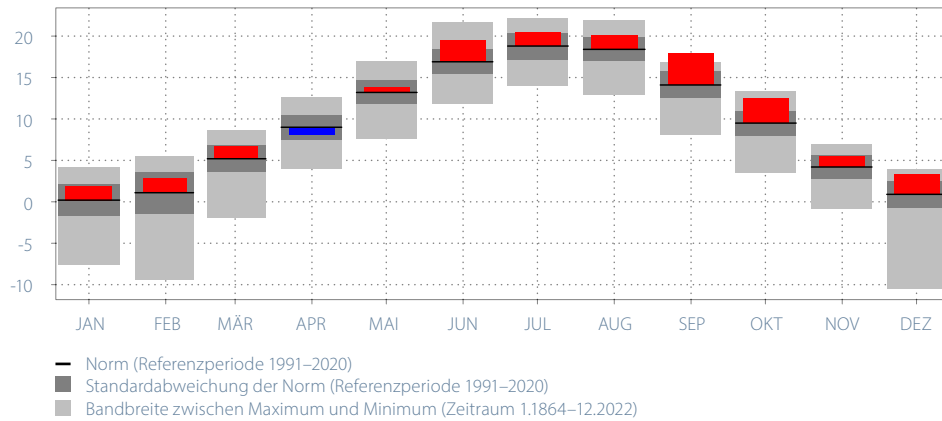
Temperatur, Sonnenscheindauer, Niederschlag

Bern-Zollikofen (553 m ü. M.) 1.1.–31.12.2023

Abbildung 2.1
Jahresverlauf der Monatsmitteltemperatur, der monatlichen Sonnenscheindauer und der monatlichen Niederschlagssummen an der Messstation Bern-Zollikofen.

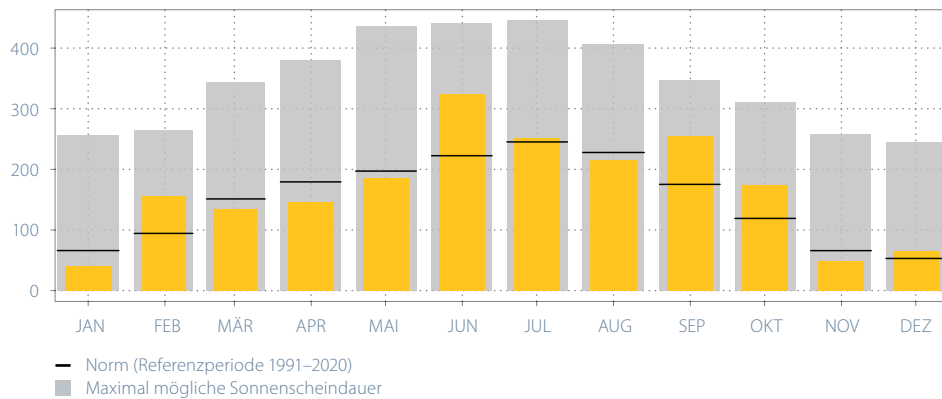
Monatsmittel der Lufttemperatur in °C

Mittel: 11,1; Norm: 9,3



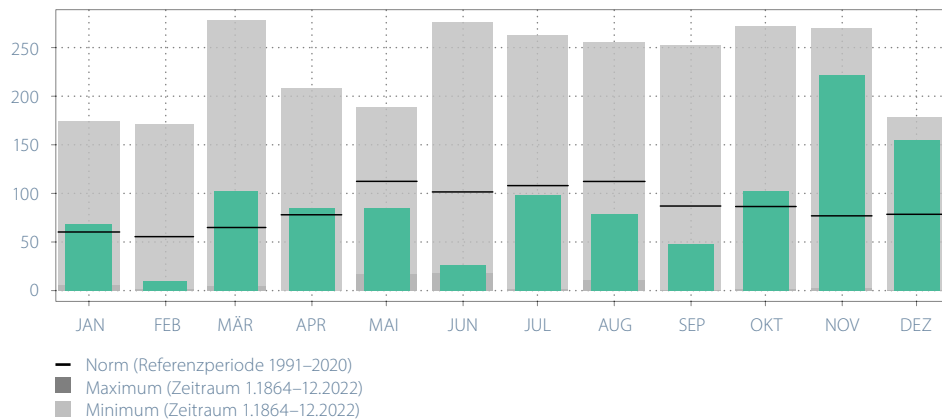
Monatliche Sonnenscheindauer in h

Summe: 1993,3; Norm: 1797,1



Monatliche Niederschlagssummen in mm

Summe: 1079,9; Norm: 1021,8



Temperatur, Sonnenscheindauer, Niederschlag

Lugano (273 m ü. M.) 1.1.–31.12.2023

Monatsmittel der Lufttemperatur in °C
Mittel: 14,2; Norm: 13,0

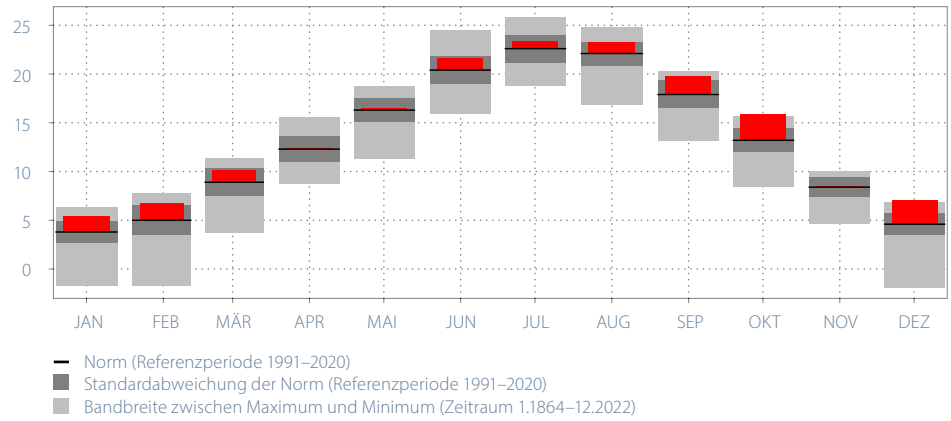
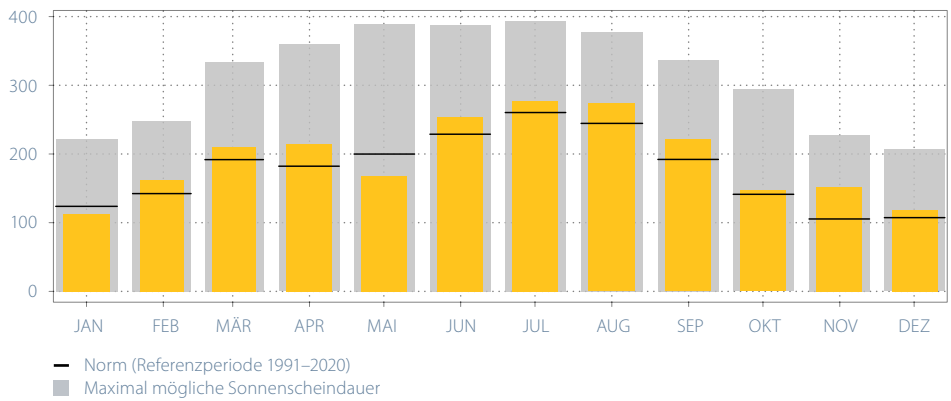


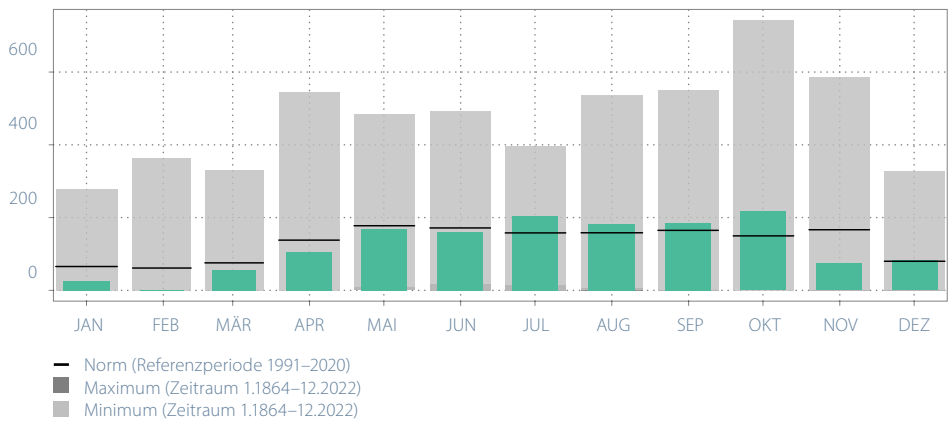
Abbildung 2.2

Jahresverlauf der Monatsmitteltemperatur, der monatlichen Sonnenscheindauer und der monatlichen Niederschlagssummen an der Messstation Lugano.

Monatliche Sonnenscheindauer in h
Summe: 2309,0; Norm: 2119,8



Monatliche Niederschlagssummen in mm
Summe: 1461,8; Norm: 1566,6



Jahresverlauf der Globalstrahlung

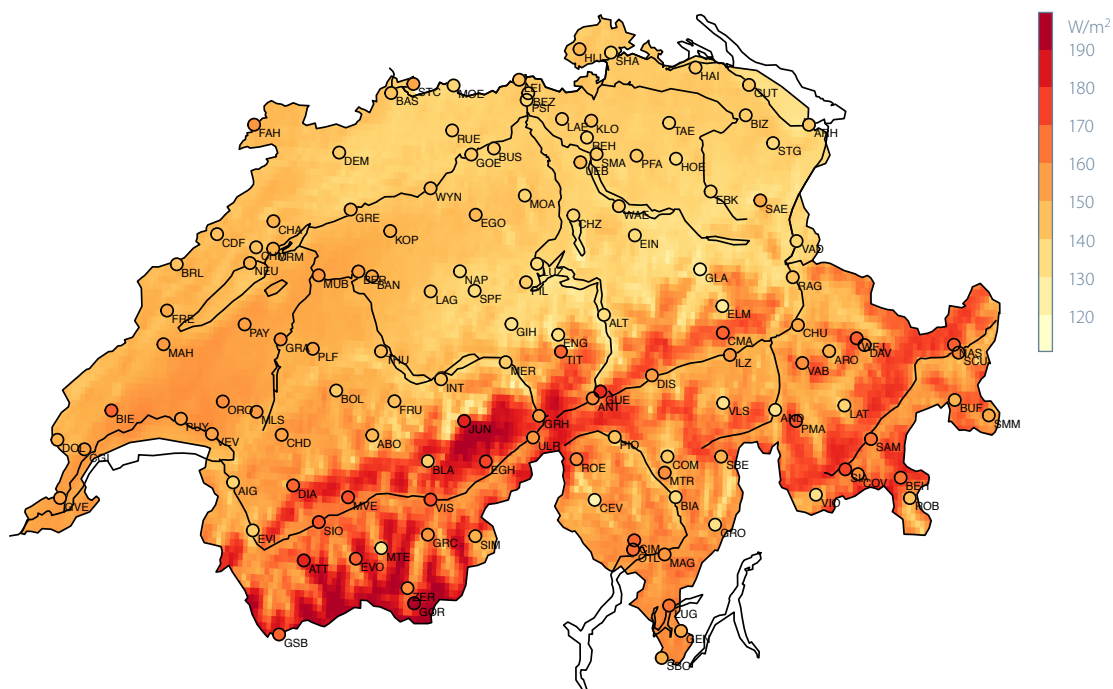
Unter Globalstrahlung versteht man die gesamte an der Erdoberfläche auf eine horizontale Fläche auftreffende kurzwellige Solarstrahlung. Die Globalstrahlung hat vor allem im Zusammenhang mit der Energiegewinnung eine besondere Bedeutung.

Die jährlich gemittelte Globalstrahlung erreichte 2023 Spitzenwerte von bis zu 185 W/m^2 (Abbildung 2.3). Die höchsten Werte wurden auch 2023 am Alpenhauptkamm gemessen. Im Mittelland und im Tessin gab es im Vergleich zum Vorjahr mit $140\text{--}165 \text{ W/m}^2$ deutlich weniger Solarstrahlung. Die Werte lagen aber im Bereich des Mittels der Vergleichsperiode 2004–2022.

Die niedrigsten Solarstrahlungswerte wurden im Mittelland in der Region um den Bodensee mit 140 W/m^2 registriert. In der äussersten Westschweiz, im Raum um Genf, wurden mit 154 W/m^2 deutlich höhere Solarstrahlungswerte verzeichnet. Die Solarstrahlung in den Berggebieten hob sich deutlich vom Rest der Schweiz ab: Während in Lugano im Tessin 164 W/m^2 aufgezeichnet wurden, lag die jährliche Solarstrahlung am Jungfrauoch bei 179 W/m^2 .

Abbildung 2.3

Jahresmittel der Globalstrahlung für 2023 in W/m^2 hergeleitet aus Satellitendaten. Die Kreise geben die entsprechenden Messwerte der Stationsdaten an. Die Solarstrahlung ist ein sehr lokaler Parameter. Da Satelliten im $2 \times 2 \text{ km}$ Gitter, Bodenstationen an einem Punkt messen, ergeben sich hier Unterschiede auf Grund von lokalen Verschattungen, lokalen Nebelfeldern und unterschiedlichen Höhenlagen.



2023 war im Vergleich zum Mittel 2004–2022 ein Jahr mit durchschnittlicher Solarstrahlung. In der Nordschweiz wurden stellenweise 5–7 W/m² höhere Werte gemessen, in den tiefen Lagen der Südschweiz lagen die Werte im Durchschnitt. In den Berggebieten traten stellenweise 5–7 W/m² niedrigere Werte auf.

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

Das Jahr 2023 war in Bezug auf die Globalstrahlung äusserst wechselhaft. Januar und Februar lagen in fast der ganzen Schweiz im Bereich der Norm mit einem Wechsel von sonnigen und trüben Perioden. Lediglich in der Westschweiz wurden im Februar deutlich höhere Werte registriert. Der März war in der gesamten Schweiz sehr trüb. Der April war in der Nordschweiz trüber als der Durchschnitt. Im Mai lag die Globalstrahlung im Durchschnitt. Im Juni war es in der Schweiz fast ohne Unterbrechungen ausgesprochen sonnig. Auf einen durchschnittlichen Juli und August folgte in der ersten Septemberhälfte und im Oktober eine lange Periode mit sehr sonnigen Tagen. Der Rest des Jahres war trüb, wie zu dieser Jahreszeit üblich.

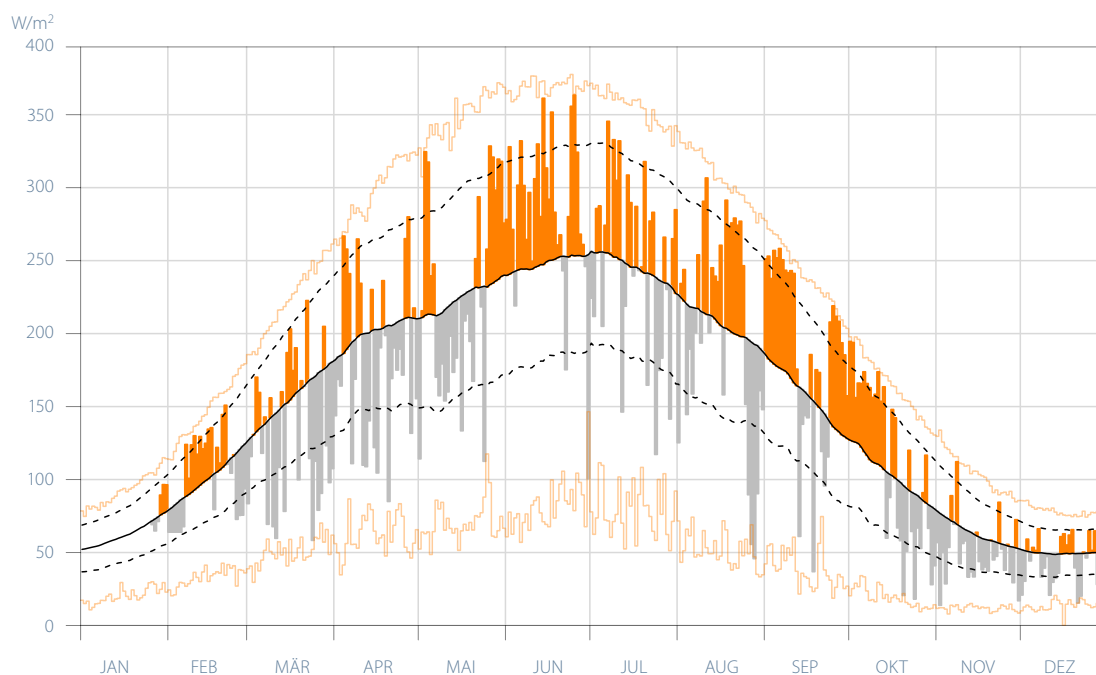


Abbildung 2.4

Tagesmittel der Globalstrahlung gemittelt über die ganze Schweiz für 2023. Orange Balken geben eine überdurchschnittliche, und graue Balken eine unterdurchschnittliche Einstrahlung im Vergleich zur Periode 2004–2022 an.

Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre

Der Verlauf der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre wird aus Ballonsondierungen in Payerne bestimmt, die zweimal täglich um 11 Uhr und 23 Uhr UTC durchgeführt werden. Die Höhe der Nullgradgrenze ist mit der Ballonsondierung nicht immer eindeutig bestimmbar. Bei Inversionslagen können mehrere Nullgradgrenzen im gleichen Vertikalprofil auftreten. In solchen Fällen wird jeweils der höchste Wert verwendet. Wenn zum Zeitpunkt der Radiosondierung die gemessene Temperatur am Boden unter 0°C liegt, wird eine fiktive Nullgradgrenze berechnet, indem die Bodentemperatur pro 100 m nach unten um 0,5°C angehoben wird. Da die Station Payerne auf einer Höhe von 491 m ü. M. liegt, ergibt die Anwendung dieser Formel an Tagen mit Bodentemperaturen von -2,5°C oder tiefer eine Nullgradgrenze unterhalb des Meeresspiegels.

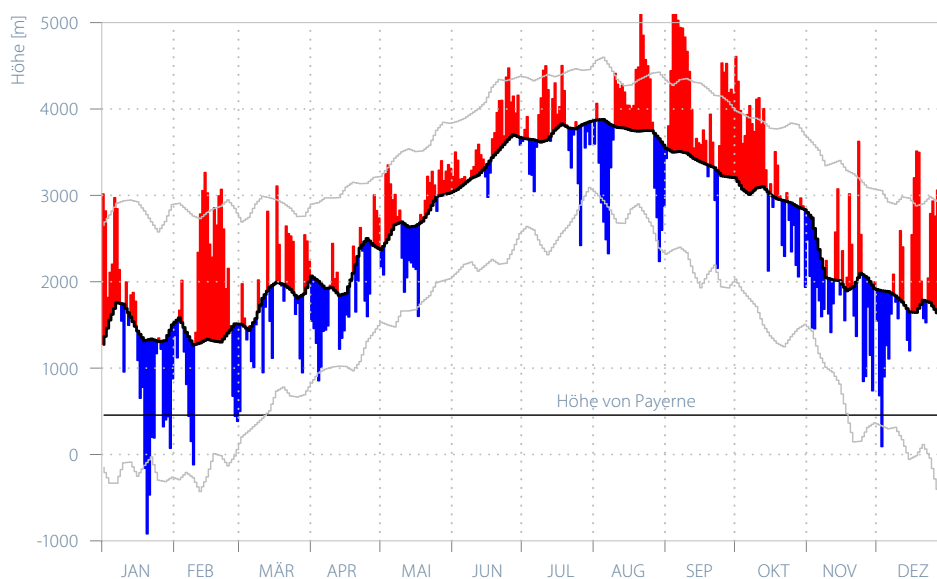
Abbildung 2.5 zeigt die täglichen Veränderungen der Nullgradgrenze im Jahr 2023. Die Werte sind sowohl absolut (in m ü. M.) als auch im Verhältnis zu den täglichen Referenzwerten der Periode 1991–2020 (schwarze Kurve) dargestellt. Die blauen und roten Balken in der Grafik zeigen die Abweichungen zur Norm. Der Median für den Zeitraum 1991–2020 entspricht 2605 m. Der Jahresmedian der Nullgradgrenze im Jahr 2023 betrug 2715 m, 110 m über dem Median der Norm und 115 m tiefer als der Vorjahreswert. Der Prozentsatz negativer Anomalien im Jahr 2023 lag bei 43,3%. Im Jahr 2022 betrug der Anteil negativer Anomalien 36,4%. Entsprechend ist der Prozentsatz der positiven Anomalien (in rot) im Jahr 2023 im Vergleich zum Vorjahr von 63,6% auf 56,7% gesunken.

Der Höchstwert der Jahresreihe wurde am 21. August 2023 mit 5152 m Höhe gemessen, 433 m über dem Maximum aus dem Jahr 2022. Dies war zugleich die höchste je registrierte Position der Nullgradgrenze seit Beginn der Ballonsondierungen im Jahr 1954. Die am 20. Januar 2023 berechnete Höhe von -919 m stellte das Minimum der Jahresreihe dar, 380 m tiefer als der niedrigste Wert im Jahr 2022. In den Monaten Januar, Februar und Dezember gab es einige Tageswerte unterhalb der Bodenhöhe von Payerne. Einzelne dieser Tageswerte unterschritten auch das 5%-Perzentil (blaue Balken, die bis unter die untere graue Linie reichen). Insgesamt wurde der Schwellenwert des 5. Perzentils der Abweichungen zum Median der Referenzperiode an 3,3% der Tage unterschritten. Im Gegensatz dazu wurde im Jahr 2023 das 95%-Perzentil an 14,2% aller Tage übertroffen (rote Balken, die die obere graue Kurve überschreiten).

Im Jahresverlauf 2023 gab es immer wieder länger anhaltende Phasen mit vergleichsweise hoher Nullgradgrenze, besonders im Sommerhalbjahr und im Dezember. Diese Phasen sind ein weiterer deutlicher Indikator für die aussergewöhnliche Wärme, die sich nach dem Vorjahr wiederholte. Dies zeigt auch, dass oft nicht nur tiefe, sondern auch hohe Lagen vom Wärmeüberschuss betroffen waren. Ganz allgemein passt der Jahresmedian der Nullgrenze 2023 sehr gut zu dem seit Mitte der 1980er Jahre klar ersichtlichen Anstieg der Nullgradgrenze (siehe Kapitel 5.1.2).

Abbildung 2.5
Tägliche Höhe der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre über Payerne im Jahr 2023, ermittelt aus den aerologischen Radiosondierungen um 23 Uhr und 11 Uhr UTC. Der Medianwert (Norm 1991–2020) wurde mit homogenisierten Daten berechnet und mit einem numerischen Filter geglättet. Innerhalb der 5% und 95% Perzentil-Linien (grau) liegen 90% der Tagesmittelwerte.

Median 2023: 2715 m; Norm 1991–2020: 2605 m



Tropopausenhöhe

Die Tropopause trennt die vom Wetter geprägte Troposphäre von der darüber liegenden, eher stabil geschichteten und sehr trockenen Stratosphäre. Die Tropopause ist immer durch eine deutliche Änderung des Temperaturprofils gekennzeichnet und entspricht oft der tiefsten Temperatur zwischen diesen beiden Schichten. Wie die Nullgradgrenze, wird auch die Tropopausenhöhe zweimal täglich um 11 Uhr und 23 Uhr UTC in Payerne aus den Ballonsondierungen ermittelt. Die Berechnung der Tropopausenhöhe erfolgt mit einem automatischen Algorithmus entsprechend einer WMO-Richtlinie (siehe Kapitel 5.3, Datengrundlagen und Methoden).

Abbildung 2.6 zeigt den täglichen Verlauf der Tropopausenhöhe im Jahr 2023. Eine höhere Temperatur in der Luftsäule führt zu einer höheren Tropopause. Deshalb hat der Median der Normperiode 1991–2020 (schwarze Linie) einen ausgeprägten Jahresgang mit höheren Werten im Sommer und tieferen Werten im Winterhalbjahr. Die Tropopausenhöhen sind absolut (in m ü. M.) als auch im Vergleich zur Referenzperiode 1991–2020 dargestellt. Die blauen und roten Balken in der Grafik zeigen die Abweichungen zur Norm. Der Zufluss polarer (oder arktischer) Luftmassen in der Atmosphäre über die Schweiz führt zu einer Absenkung der Tropopause und damit oft zu Werten unterhalb der Referenzlinie. Im Gegensatz dazu nimmt bei der Ankunft einer warmen Luftmasse tropischen Ursprungs (maritim oder kontinental) die Höhe der Tropopause im Vergleich zu den Normwerten über der Schweiz zu. Der Median der Tropopausenhöhe für das

Jahr 2023 betrug 11'722 m und war damit 467 m höher als der Referenzmedian. Dieser liegt auf 11'255 m. Die täglichen Medianwerte waren in 43,3% aller Fälle niedriger als die Norm. Im Gegensatz dazu lagen die Tageswerte während 56,7% der Zeit im Jahr 2023 über der Norm. Die Messwerte waren zwischen Mitte Mai und der ersten Oktoberhälfte weitgehend über dem Referenzwert, mit wenigen Ausbrüchen nach unten. Die beiden längsten ununterbrochenen Phasen mit negativen Anomalien wurden in der zweiten Januarhälfte und zwischen Mitte Oktober und Mitte November gemessen.

Im Vergleich zum Vorjahr waren 2023 mehr warme Extreme zu beobachten. Insgesamt schossen 12,1% der positiven Abweichungen zur Norm über das 95. Perzentil hinaus und nur 5,8% der negativen Anomalien blieben unter dem 5. Perzentil. Der Höchstwert für das Jahr 2023 wurde am 3. August mit einer Tropopause auf 15'584 m Höhe gemessen. Am 21. Januar wurde das Minimum der Tropopausenhöhe von 7897 m registriert.

Die zunehmende Anzahl der Überschreitungen des 95. Perzentils der Tropopausenhöhe resp. die abnehmende Anzahl an Werten unterhalb des 5. Perzentils (graue Kurven) sind weitere Indikatoren für die Erwärmung der letzten Jahrzehnte. Mit fortschreitendem Klimawandel ist zu erwarten, dass die Anzahl positiver Anomalien und die Zahl der Überschreitungen des 95. Perzentils der Normperiode 1991–2020 weiter zunehmen.

Median 2023: 11'722 m; Norm 1991–2020: 11'255 m

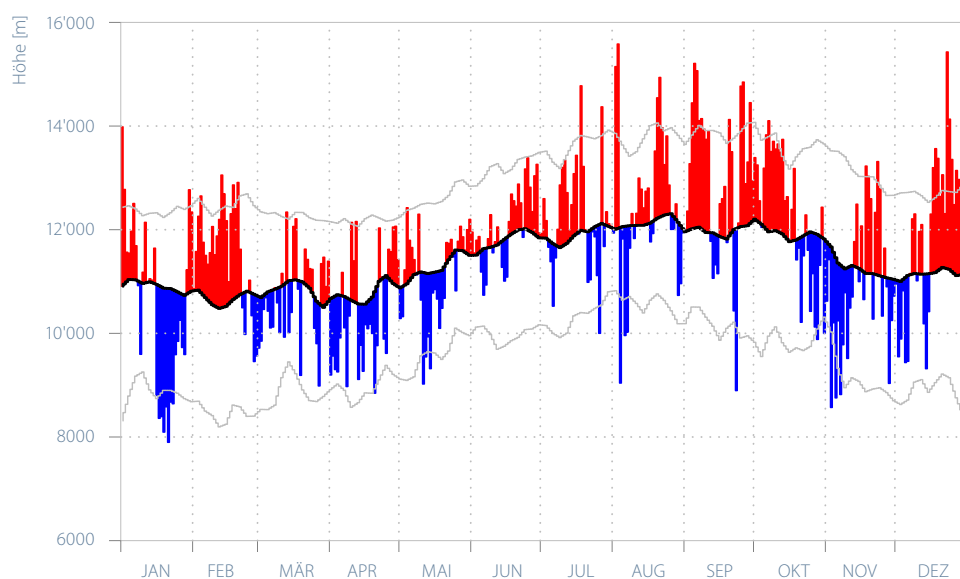


Abbildung 2.6

Tägliche Höhe der Tropopause über Payerne im Jahr 2023, ermittelt aus den aerologischen Radiosondenmessungen 23 UTC und 11 UTC. Der Medianwert (Referenzperiode 1991–2020) wurde mit homogenisierten Daten berechnet und mit einem numerischen Filter geglättet. Innerhalb der 5% und 95% Perzentil-Linien (grau) liegen 90% der Tagesmittelwerte.

Aussergewöhnliche Starkniederschläge

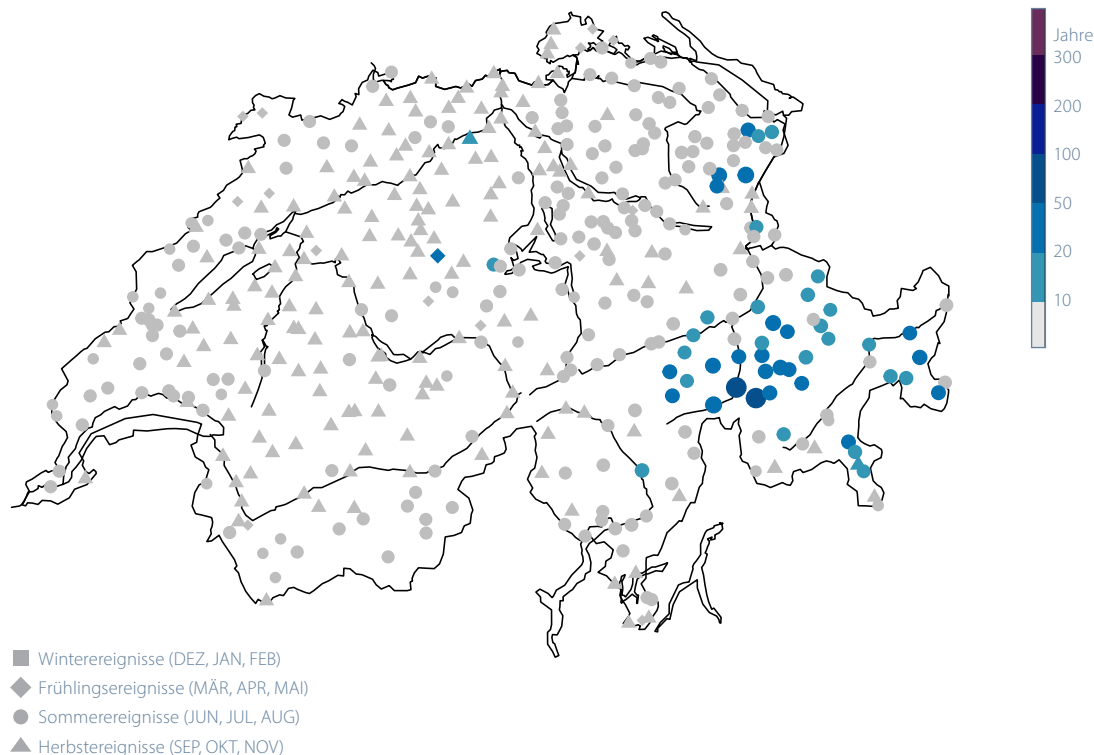
Um zu beurteilen, ob ein aussergewöhnliches Witterungsereignis aufgetreten ist, werden Häufigkeitsanalysen (oder Extremwert-Analysen) durchgeführt. Häufigkeitsanalysen geben Auskunft darüber, wie oft im langjährigen Durchschnitt das Überschreiten einer bestimmten Ereignisgrösse zu erwarten ist, z.B. alle zehn Jahre oder alle 20 Jahre. Diese Häufigkeitsangabe wird als Wiederkehrperiode bezeichnet. Mit einem statistischen Verfahren (räumliche Extremwertanalyse mit Basisperiode 1961–2020) wird für jeden Niederschlags-Messstandort die höchste im Berichtsjahr erfasste 1-Tages-Niederschlagssumme beurteilt. Die Schätzung von Wiederkehrperioden ist besonders bei seltenen Ereignissen mit grossen Unsicherheiten verbunden.

Die extremsten Tagesniederschläge im Jahr 2023 traten im Zusammenhang mit dem Tiefdruckgebiet «Rea» auf (siehe Kapitel 1 und 3). Es sorgte vom 26. August bis am 29. August im Tessin und in den angrenzenden Gebieten Nord- und Mittelbündens für extrem hohe Ein- und Mehrtagessummen. Am 26. August 2023 kamen in Biasca 192 mm Niederschlag zusammen. Ein solcher Wert wird an diesem Standort etwa alle 20 Jahre überschritten. Am

Folgetag verlagerten sich die extremsten Niederschläge in das Gebiet des Hinterrheins. So fielen an den Messstationen Innerferrera und Splügen innerhalb von 24 Stunden 165 mm, resp. 158 mm Niederschlag. In Innerferrera war dies die höchste Tagesniederschlagssumme, die an diesem Messstandort je erreicht wurde, mit einer geschätzten Wiederkehrperiode von gut 100 Jahren. An den übrigen Stationen in diesem Gebiet (Andeer, Piz Martegnas) gab es am gleichen Tag Niederschlagssummen von 130 mm und mehr. Die entsprechenden Wiederkehrperioden lagen im Bereich von 50 bis 90 Jahren. In den übrigen Teilen Mittelbündens gab es zwischen 70 und 100 mm Niederschlag am 27. August mit Wiederkehrperioden von zehn bis 25 Jahren. Auch am 28. August wurden noch einmal aussergewöhnliche Niederschlagsmengen aufgezeichnet, diesmal an den Messstandorten Brülisau (134 mm, Wiederkehrperiode ca. 45 Jahre) und Kronberg (131 mm, Wiederkehrperiode ca. 35 Jahre).

Im Rest des Landes gab es 2023 nur vereinzelt Tagesniederschläge mit Wiederkehrperioden von mehr als zehn Jahren (Abbildung 2.7).

Abbildung 2.7
**Wiederkehrperioden
 (in Jahren) der grössten
 1-Tages Niederschlags-
 summen (6 Uhr bis 6 Uhr),
 unterschieden nach
 Saison, im Jahr 2023.**



Die Punktgrösse und die Farbe entspricht der Länge der Wiederkehrperiode in Jahren. Grau steht für Wiederkehrperioden von zehn Jahren oder weniger.

Jahresverlauf der UV-Strahlung

Dem UV-B-Bereich des solaren Spektrums kommt besondere Bedeutung zu, da sich diese Strahlungskomponente signifikant auf Lebewesen auswirkt und in bestimmten Fällen ein Problem für die Gesundheit darstellt (Hautkrebs, Hornhautschäden, usw.). Andererseits sind auch positive Effekte vorhanden, z.B. bezüglich der Produktion von Vitamin D im Körper. Die verwendeten UV-Messgeräte registrieren die Intensität der ultravioletten Strahlung durch einen so genannten Erythemfilter, dessen Verhalten die Empfindlichkeit der Haut, insbesondere für UV-B mit einem kleinen Anteil UV-A, nachbildet. Meteo-Schweiz misst die UV-B Strahlung in Davos seit Mai 1995, auf dem Jungfrauoch seit November 1996, in Payerne seit November 1997 und in Locarno-Monti seit Mai 2001.

Im Vergleich mit dem durchschnittlichen Jahreszyklus war das gleitende Mittel der UV-Strahlung im Jahr 2023 an allen Messstationen mehrheitlich während des gesamten Jahres höher (Abbildung 2.8).

Der Vergleich der monatlichen gleitenden Mittelwerte mit den durchschnittlichen Jahreszyklen zeigt, dass die UV-Strahlung im Februar und im Spätsommer und Herbst 2023 an allen Stationen höher war als im durchschnittlichen Jahreszyklus.

Für den Rest des Jahres sind Unterschiede zwischen den Stationen erkennbar. In Locarno-Monti und Payerne traten hohe Werte der UV-Strahlung Ende Mai und im Juni auf, während dies in Davos im Juni und Juli und auf dem Jungfrauoch von Mitte April bis Mitte Juni der Fall war. Ausserdem lag die UV-Strahlung auf dem Jungfrauoch im Juli deutlich unter dem mittleren Jahreszyklus, während dies bei den anderen Stationen nicht der Fall war.

Abgesehen von den Faktoren Sonnenstand und Höhenlage, die sich von Jahr zu Jahr nicht verändern, beeinflussen vor allem die Bewölkung und der Ozongehalt der Atmosphäre (hauptsächlich in der Ozonschicht) die Intensität der UV-Strahlung. Im Vergleich zu den Vorjahren gab es im Februar und in der zweiten Dezemberhälfte ein Ozondefizit in der Atmosphäre, nicht aber im Rest des Jahres. Die im Februar beobachteten überdurchschnittlich hohen UV-Strahlungswerte sind daher zum Teil auf die geringe Ozonmenge in der Atmosphäre zu diesem Zeitpunkt zurückzuführen, während für den Rest des Jahres die Schwankungen der Sonneneinstrahlung für die beobachteten Unterschiede verantwortlich sind.

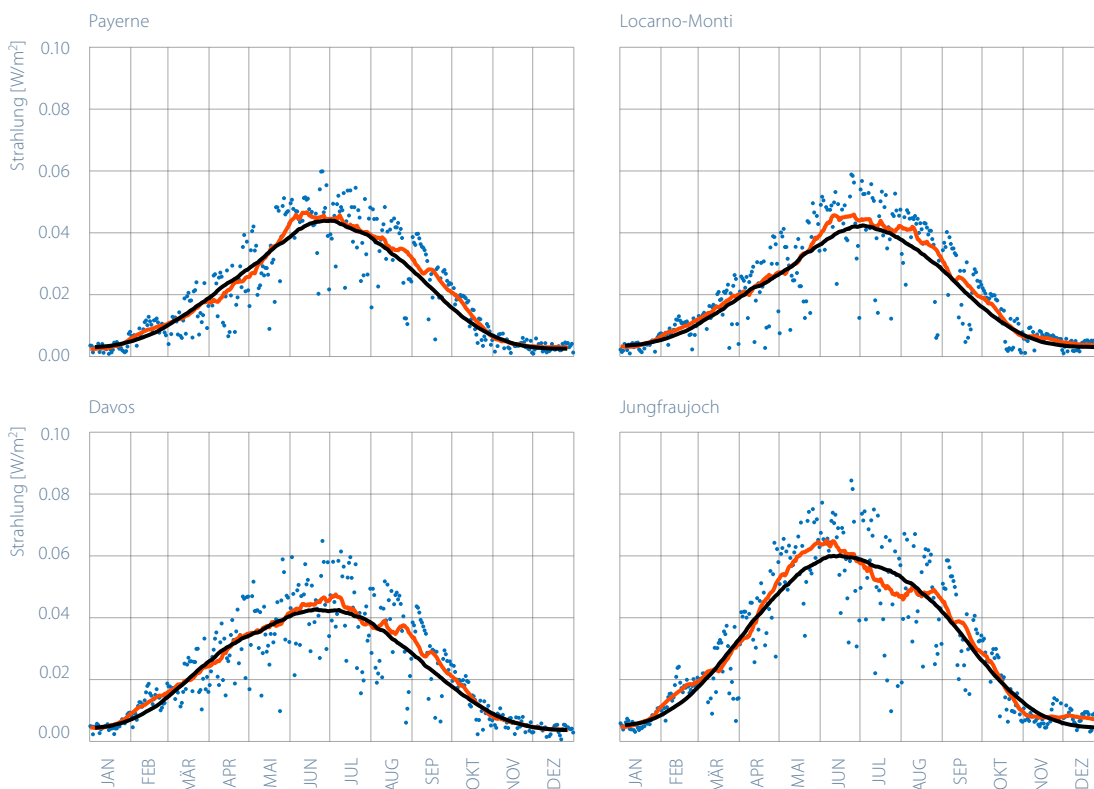


Abbildung 2.8

Tägliche Mittelwerte 2023 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 langjährigen Aufzeichnungen 1995–2021 (Davos), 1997–2021 (Jungfrauoch), 1998–2021 (Payerne) und 2001–2021 (Locarno-Monti).

• Täglich
— Monatlich 2023
— Monatlich Klima

Ozonmessreihe Arosa und Davos

Die Messungen der Gesamtozonsäule wurden ab 1926 in Arosa und ab 2018 in Davos durchgeführt. Für das Jahr 2023 zeigt die Entwicklung der Gesamtozonsäule über Davos (Abbildung 2.9) den typischen Jahresverlauf mit hohen Werten im Winter und Frühling und niedrigeren Werten im Herbst. Der Jahresverlauf der Gesamtozonsäule wird massgeblich durch den Transport von Ozon innerhalb der Stratosphäre aus den Nordpolarregionen nach Süden bestimmt, wo das Ozonmaximum am Ende der Polarnacht erreicht wird, das heisst zu Beginn des Frühlings.

Der Referenzzeitraum 1926–1970 entspricht dem Zustand der Ozonschicht vor dem menschlichen Ausstoss von FCKWs. Die kontinuierliche Abnahme der früher in Arosa gemessenen Gesamtozonsäule begann um 1970, einer Zeit, als der weltweite Ausstoss von ozonschädigenden Substanzen stark anstieg. Seit den 2000er Jahren ist eine Stabilisierung der Ozonsäule über der Schweiz zu beobachten.

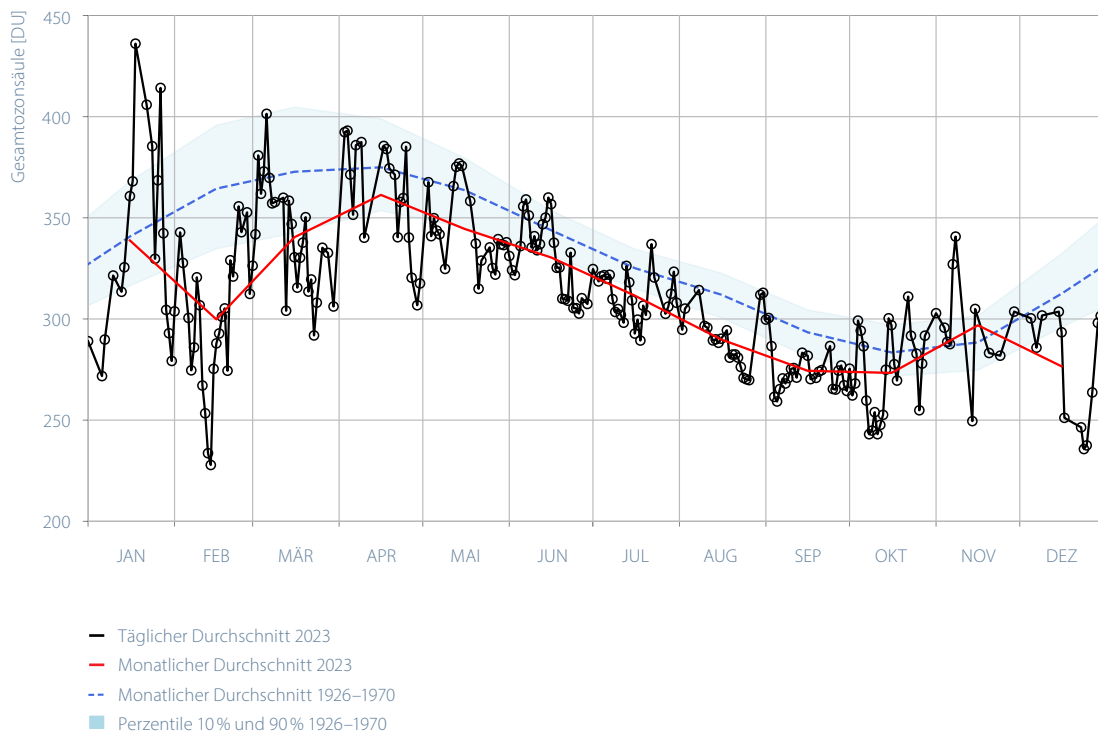
Im Februar und Dezember 2023 führte eine Verschiebung des Polarwirbels dazu, dass die Ozonwerte in diesen Monaten signifikant unter den Werten der Referenzperiode lagen. In der übrigen Zeit des Jahres blieben die Werte leicht unterdurchschnittlich.

Abbildung 2.9

Entwicklung der Gesamtozonsäule über Arosa im Jahresverlauf 2023.

Die Grafik zeigt die Ozonkonzentration in Dobson Units (DU). 100 DU = 1 mm reines Ozon bei Normaldruck 1013 hPa und 0 °C. Schwarze Kurve: täglicher Durchschnitt. Rote Kurve: monatlicher Durchschnitt.

Die blaue Kurve zeigt den durchschnittlichen Jahresverlauf im Zeitraum 1926–1970, also vor Einsetzen des Problems der stratosphärischen Ozonzerstörung.



Die Ozonprofile wurden von 1956 bis Oktober 2018 in Arosa und werden seither in Davos von einem Dobson-Spektralphotometer gemessen. Es ist die längste Ozon-Messreihe der Welt. Für das Jahr 2023 sind die Schwankungen des Ozons über alle Höhenstufen in Abbildung 2.10 in Farbe angegeben. Die Mittelwerte der Jahre 1970–1980 sind schwarz dargestellt (Konturen für 20, 40, 60 und 80 DU). Das erlaubt es, die Abweichungen der Ozonwerte zum klimatologischen Mittel im Verlauf des Jahres in Abhängigkeit der Höhe zu visualisieren.

Die stratosphärischen Ozonprofile für das Jahr 2023 wiesen zwischen dem 10. und 15. Februar Werte unterhalb des klimatologischen Mittels auf, als sich der Polarwirbel infolge einer plötzlichen Erwärmung der Stratosphäre (Sudden Stratospheric Warming¹) in unsere Breiten verlagerte.

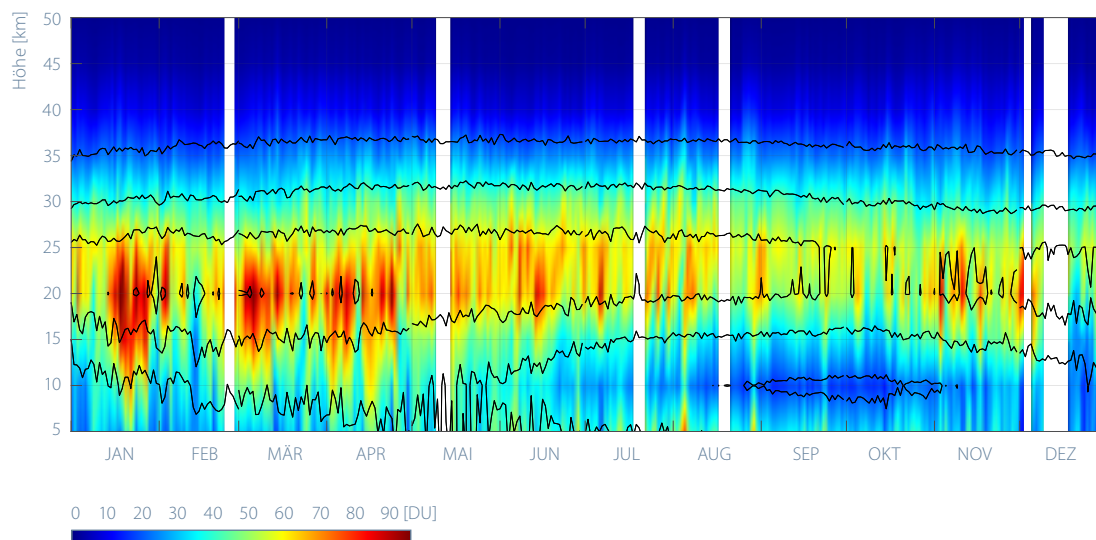


Abbildung 2.10

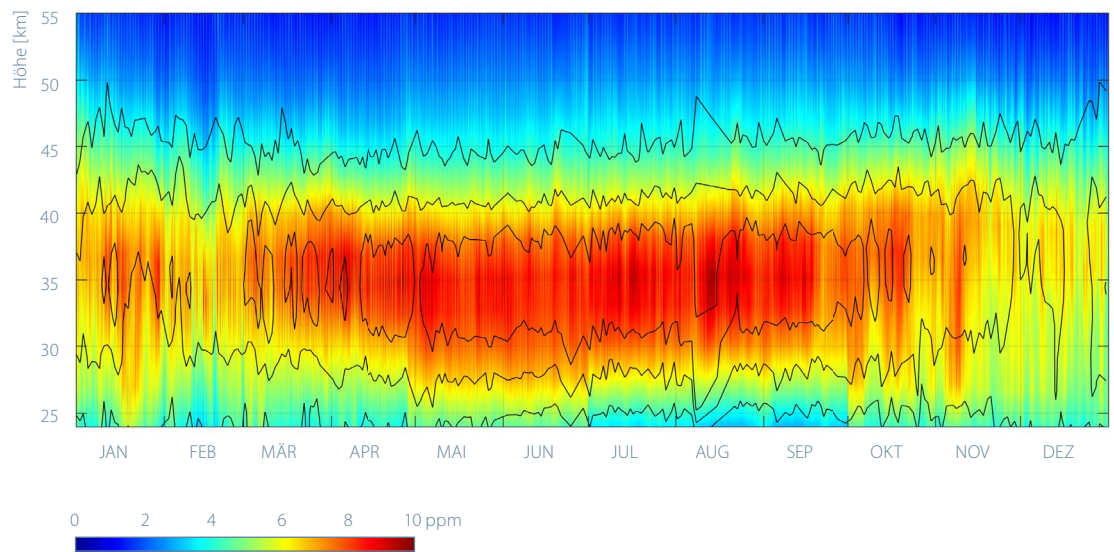
Die in Davos von einem Dobson-Spektralphotometer gemessenen Ozonprofile im Jahr 2023. Die Grafik zeigt die Ozonkonzentration in Dobson Units (DU) (Skala rechts zwischen 0 und 90 DU). 100 DU = 1 mm reines Ozon bei Normaldruck 1013 hPa und 0°C.

¹ Plötzliche Erwärmungen der Stratosphäre sind eine Folge der Abschwächung oder gar Umkehrung des polaren Jetstreams und können mehrere Tage dauern [43].

Ozonmessungen Payerne

Das Mikrowellen-Radiometer SOMORA misst seit 2000 die vertikale Verteilung des Ozons in Payerne mit einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde. Die Schwankung des Ozons im Jahresverlauf 2023 ist in Abbildung 2.11 mit Farbe, für das Jahr 2022 in Schwarz angegeben (Konturen für 4, 6 und 8 ppm). Das erlaubt die unterschiedlichen Ozonwerte im Verlauf des Jahres abhängig von der Höhe und im Vergleich zum Vorjahr darzustellen.

Abbildung 2.11
Durch Mikrowellenradiometer im Jahr 2023 in Payerne gemessene Ozonprofile. Die Grafik zeigt das Volumenmischungsverhältnis (VMR) des Ozons in Teilen pro Million (ppm).



Die Messungen der vertikalen Verteilung des Ozons in der Atmosphäre bis ungefähr 30 km Höhe werden ausserdem im Rahmen von Ballonsondierungen vorgenommen. Die gewonnenen Daten erlauben es, die zeitliche Entwicklung der Ozonmenge in den verschiedenen Schichten der Atmosphäre zu bestimmen. Abbildung 2.12 zeigt die Entwicklung im Detail für das Jahr 2023 für vier verschiedene Höhenlagen:

- In grösseren Höhen (15 hPa = ~28 km) führt die starke Sonneneinstrahlung zu einem Ozonmaximum im Sommer, wenn die Sonne hoch am Himmel steht.
- In der unteren Stratosphäre (Stufe 40 hPa = ~22 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 den höheren Lagen der freien Atmosphäre, wo sich die meisten Wetterphänomene abspielen (Stufe 300 hPa = ~9000 m), ist das sommerliche Ozonmaximum 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) oder auf eine vorübergehende Absenkung der Tropopause unterhalb von 300 hPa.
- 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).

Abbildung 2.12



Verlauf der Ozonkonzentration (Partialdruck in Nanobar) im Jahr 2023 für zwei Niveaus in der Troposphäre (925 hPa-Niveau ~ 800 m und 300 hPa-Niveau ~ 9000 m) und zwei Niveaus in der Stratosphäre (40 hPa-Niveau ~ 22'000 m und 15 hPa-Niveau ~ 28'000 m). Die Farben zeigen, wie gut die Ballonsondendaten von Payerne mit der unabhängigen Ozonmessung von Davos übereinstimmen: blau = sehr gute Übereinstimmung, grün = gute Übereinstimmung, rot = signifikanter Unterschied.

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 des globalen Klimas auswirken bleibt eine der grossen Unsicherheiten der Klimamodelle [2]. Die auf dem Jungfraujoch seit 1995 vorgenommenen Aerosolmessungen sind Teil der weltweit längsten Messreihen [3].

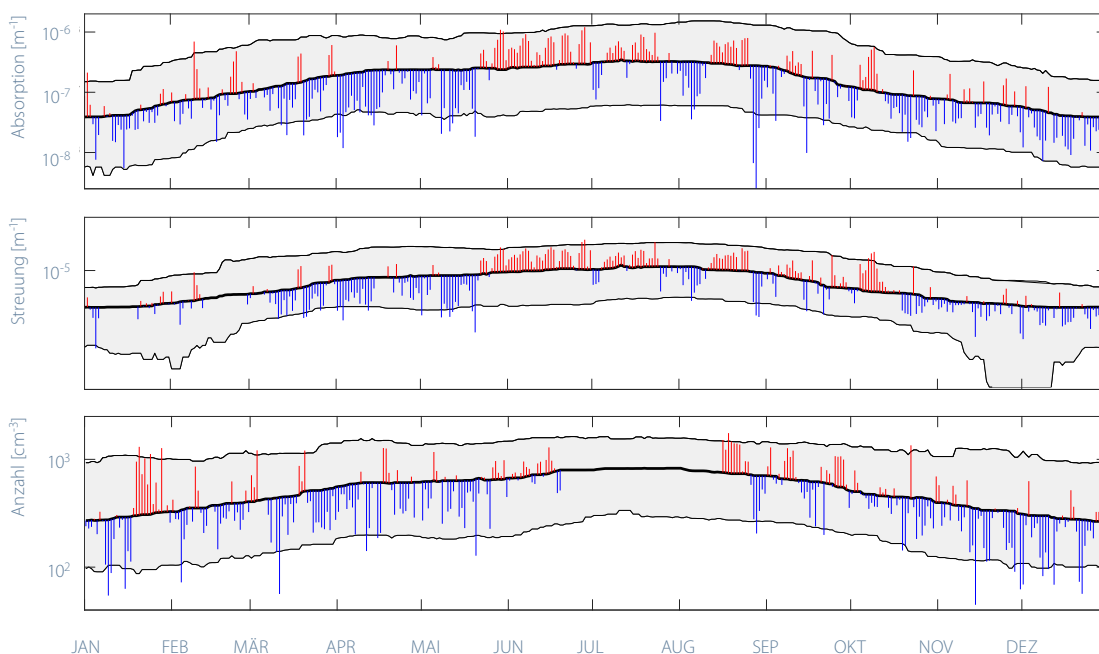
Im Jahresverlauf der Aerosolparameter auf dem Jungfraujoch zeigen sich im Sommer maximale und im Winter minimale Werte. Die natürlichen und menschgemachten Aerosole sammeln sich insbesondere in der planetaren Grenzschicht, also der untersten Schicht der Atmosphäre, welche je nach Wetterlage und Jahreszeit eine Mächtigkeit von 500 m bis einige km aufweist.

Im Sommer sorgt die Erwärmung des Bodens für aufsteigende Luftströmungen, die die Aerosole in grössere Höhen verfrachten. Das Jungfraujoch befindet sich dann verstärkt im Einflussbereich der planetaren Grenzschicht. Im Winter befindet sich das Jungfraujoch die meiste Zeit

in der freien Troposphäre [4] und eignet sich daher gut für die Messung der optischen Eigenschaften und der Konzentration von Aerosolen in weiter Entfernung von den Verschmutzungsquellen.

Im Jahr 2023 war die Belastung mit Staub aus der Sahara moderat (Abbildung 2.13). Langfristige Trends zeigen eine Abnahme der Aerosolkonzentration auf dem Jungfraujoch, die dem jährlichen Zyklus überlagert ist. Die Parameter neigen daher dazu, unter der Referenz 1995–2022 zu liegen. Perioden mit Temperatur und Sonneneinstrahlung über der Referenz (Juni bis Oktober) fallen jedoch mit einer Aerosolkonzentration zusammen, die ebenfalls über der Referenz liegt.

Abbildung 2.13
Entwicklung des Absorptionskoeffizienten bei 880 nm (oben), des Streukoeffizienten bei 550 nm (Mitte) und der Anzahlkonzentration (unten) der Aerosole im Jahr 2023 auf dem Jungfraujoch. Die schwarze Kurve zeigt das Mittel der Periode 1995–2022, die grauen Linien den Bereich zwischen dem 5%- und 95%-Perzentil.



Saharastaubereignisse

Mineralstaub trägt wesentlich zu den atmosphärischen Aerosolen bei, wobei die Sahara die wichtigste Quelle ist. Das Vorhandensein von Mineralstaub in der Luft wurde in der Vergangenheit durch die Analyse von Niederschlägen oder Ablagerungen in Schnee und Eis bestimmt. Seit 2001 werden an der alpinen Forschungsstation Jungfrauoch auf einer Höhe von 3580 m ü. M. kontinuierliche Messungen durchgeführt. Diese Messungen haben es ermöglicht, eine neue operationelle Methode zur stündlichen Bestimmung von Saharastaubereignissen über der Schweiz zu entwickeln. Damit kann die Häufigkeit von Saharastaubereignissen in den Alpen untersucht werden.

Während 17 Jahren (2001–2017) wurde eine Klimatologie der Saharastaubereignisse erstellt (Abbildung 2.14). Dabei waren immer die gleichen Messinstrumente im Einsatz. In diesem Zeitraum wurden jedes Jahr zwischen zehn und 50 Saharastaubereignisse identifiziert, was einem Saharastaubeintrag während 200–700 Stunden pro Jahr entspricht. Typischerweise trägt Mineralstaub aus der Sahara im Frühjahr (März bis Juni) sowie im Oktober und November erheblich zur Aerosolbelastung in den Alpen

bei. Im Sommer sind solche Ereignisse seltener, können aber manchmal lange andauern, während sie im Winter im Allgemeinen sehr kurz sind. Die meisten Ereignisse (~50%) dauern nur wenige Stunden, während 25% davon mehr als einen Tag dauern.

Wegen eines Instrumentenwechsels berücksichtigt die aktuelle Klimatologie daher nur die letzten Jahre seit 2015. Im Herbst 2023 gab es zahlreiche Saharastaubeinträge, wobei ein besonders langes Ereignis zwischen dem 6. und dem 13. Oktober 2023 stattfand.

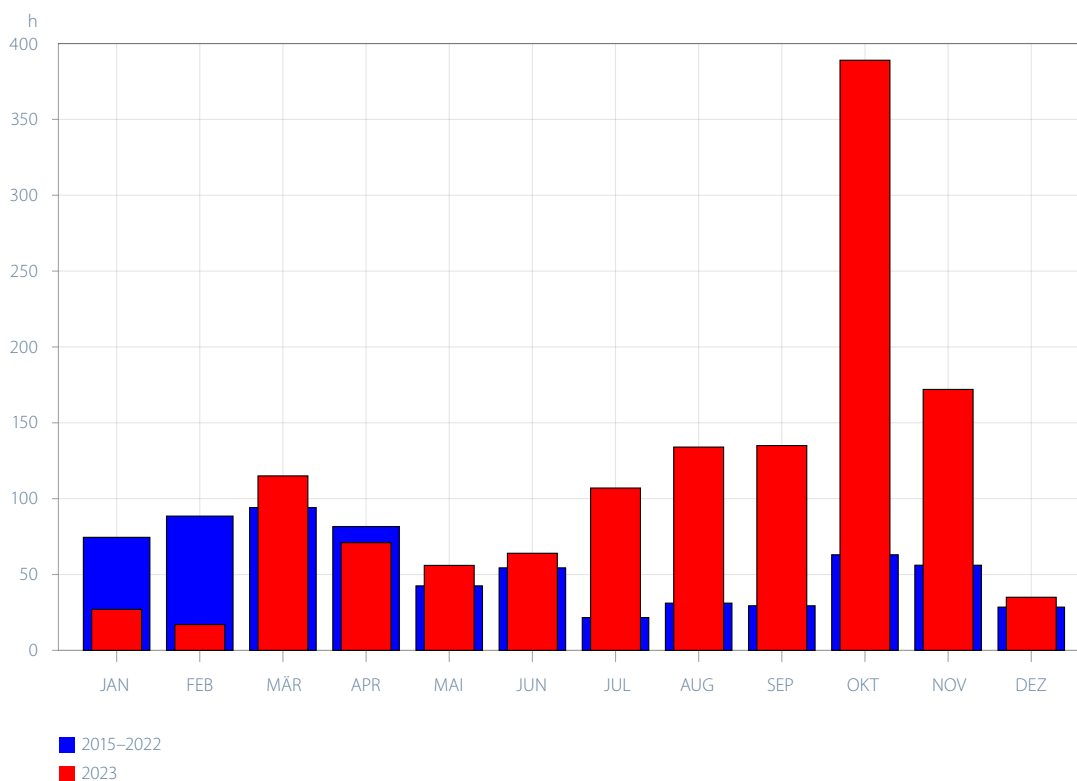


Abbildung 2.14

Anzahl Stunden pro Monat mit Mineralstaubeintrag von mindestens sechs Stunden Dauer an der Messstation Jungfrauoch für den Zeitraum 2015–2022 und für 2023.

Vegetationsentwicklung

Das phänologische Jahr 2023 begann mit der frühesten Blüte der Haselsträucher seit dem Beginn der Beobachtung im Jahr 1953 und endete mit einer der spätesten Blattverfärbungen der Buche seit 1951 und der spätesten Blattverfärbung von mehreren Baumarten, die seit 1996 beobachtet werden (Abbildung 2.15). Dazwischen entwickelte sich die Frühlingsvegetation in einem normalen zeitlichen Rahmen. Ab Juni verfrühte sich die Vegetationsentwicklung. Die Linden blühten fünf Tage früher als im Mittel 1991–2020 und bei der Fruchtreife des Schwarzen Holunders und der Weinlese betrug der Vorsprung schon 11–13 Tage. Die sehr warmen Monate September und Oktober führten zu dieser sehr späten Blattverfärbung.

Das aktuelle Jahr wird mit der Periode 1991–2020 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 2023 angegeben (d.h. für das 25% und das 75% Quantil) oder für den Median aller Stationen. Einige phänologische Phasen werden erst seit 1996 beobachtet, für diese Phasen wird die Abweichung von der Periode 1996–2020 angegeben. Die phänologischen Beobachtungen begannen 1951–1953.

Frühling

Die Blüte der Haselsträucher war die früheste seit dem Beginn ihrer Beobachtung im Jahr 1953 und hatte gemittelt über alle Beobachtungsstationen der Schweiz einen Vorsprung von 22 Tagen auf das Mittel der Vergleichsperiode 1991–2020. Fast gleich früh fand die Haselblüte im Jahr 2020 statt. Der Blühbeginn wurde auf der Alpennordseite ab dem 26. Dezember beobachtet und die allgemeine Blüte ab dem 2. Januar. Interessant ist, dass die erste Beobachtung aus dem Tessin erst später, am 5. Januar gemacht wurde. Das wird auch durch die Messung des Haselpollenflugs unterstützt, bei der die Konzentrationen auf der Alpennordseite früher anstiegen als im Tessin. Der Grund dafür ist, dass die Temperatur während der sehr milden Phase ab dem 20. Dezember auf der Alpennordseite teilweise höher war als im Tessin.

Nachdem in der ersten Hälfte des Monats Januar viele Haselsträucher im Flachland blühten, wurde ihr weiteres Aufblühen ab Mitte Januar durch tiefe Temperaturen unterbrochen. Erst ab Ende Januar und Anfang Februar konnten die Haselsträucher wieder blühen. Mit dem sonnigen und warmen Wetter ab Mitte Februar nahmen die Beobachtungen von blühenden Haselsträuchern zu. Aus dem Flachland verlagerte sich die Blüte nun in Höhenlagen zwischen 600 und 1100 m. Insgesamt wurden über 70% der Beobachtungen als «sehr früh» und «früh» klassiert.

Blühender Huflattich wurde ab Mitte Februar beobachtet. Im März blühte er im Flachland und in den Bergen. In Pontresina wurde seine Blüte zum Beispiel am 20. März beobachtet, drei Wochen früher als normal. Schneearmut und frühe Ausaperung waren die Ursache dafür. Über alle Stationen betrachtet hatte die Blüte des Huflattichs einen Vorsprung von zehn Tagen auf das Mittel.

Das Buschwindröschen blühte ab Mitte März mit einem Vorsprung von sieben Tagen auf das Mittel. Löwenzahn und Wiesenschaumkraut blühten ab Ende März, mit einem Vorsprung von drei bis sechs Tagen.

Der kühle April bremste die weitere Vegetationsentwicklung, so dass die Blüte der Obstbäume ab Anfang April und die Blattentfaltung der Bäume ab Mitte April etwa zu einem mittleren Zeitpunkt stattfanden. Unterhalb von 600 m blühten die Kirschbäume im Mittel am 12. April, die Birnbäume am 19. April und die Apfelbäume am 26. April. Um 70% aller Meldungen liessen sich in die

Sommer

Klasse «normal» einordnen. Wenn Obstbäume zu einem normalen Zeitpunkt blühen, ist das Risiko für Spätfrostschäden geringer als bei einer sehr frühen Blütezeit.

Die Blattentfaltung der Laubbäume begann im Tessin ab der letzten Märzdekade und auf der Alpennordseite ab Anfang April. Grüne Buchenblätter wurden im Flachland verstärkt ab Mitte April beobachtet. Unterhalb von 600 m lag das mittlere Datum am 24. April, von 600–1000 m am 2. Mai und oberhalb von 1000 m am 7. Mai.

Die Blattentfaltung von Birken, Haseln, Vogelbeeren, Buchen und der Nadelaustrieb der Lärchen fand zu einem mittleren Zeitpunkt statt, mit -1 bis +2 Tagen Unterschied zum Mittel. Der etwas später austreibende Bergahorn und die Sommer- und Winterlinden waren um drei bis fünf Tage verspätet. Unterhalb von 600 m öffneten die Sommerlinden ihre Blätter im Mittel am 24. April und die Winterlinden und der Bergahorn am 29. April.

Im Mai trieben die Lärchennadeln in Höhenlagen oberhalb von 1000 m aus und bis Ende Monat konnten grüne Lärchen bis 1900 m beobachtet werden. Der Nadelaustrieb der Fichte begann Ende April im Flachland und wanderte im Mai bis gegen 1600 m. Insgesamt trieben die Fichtennadeln zwei Tage später aus als im Mittel.

Ab Ende April, Anfang Mai begannen die Margeriten zu blühen. Unterhalb von 600 m hatten die Margeriten einen Vorsprung von zwei Tagen auf das Mittel, oberhalb von 1000 m jedoch von sieben Tagen, da die Temperatur im Mai wieder leicht über jener der Normperiode 1991–2020 lag. Im Mittel blühten die Margeriten oberhalb von 1000 m am 30. Mai.

Die vielen Niederschlagstage im Mai machten die Heuernte schwierig. Im Flachland wurde das Heu etwas häufiger ab Mitte Mai und dann besonders ab dem 18. Mai geerntet, zwei bis fünf Tage später als im Mittel. Oberhalb von 1000 m lagen die Heutermine hauptsächlich in der ersten Junihälfte bei mehrheitlich sonnigem und trockenem Wetter sieben bis neun Tage früher als im Mittel.

Die Vegetation reagierte sehr schnell auf die hohen Sommertemperaturen (vgl. Kapitel 1 und 5). Die Blüte des Schwarzen Holunders fand immer noch zu einem normalen Zeitpunkt statt, aber sie wies schon eine leichte Verfrühung von drei Tagen auf das Mittel auf. Anfang Mai blühte der Holunder im Tessin und ab etwa Mitte Mai im Flachland der Alpennordseite. Mit zunehmender Höhe über Meer profitierte der Schwarze Holunder von den hohen Temperaturen, wo er oberhalb von rund 800 m im Juni mit einem Vorsprung von einer Woche auf das Mittel blühte.

Die Sommer- und die Winterlinden blühten mit einem Vorsprung von fünf Tagen, wobei die Einordnung in die Klasse «normal» immer noch dominierte. Die ersten Sommerlinden blühten ab Ende Mai. Die Mehrheit der Beobachtungen lag in der Zeit vom 8.–23. Juni bei fast durchgehend sonnigem Wetter mit hohen Temperaturen. Ab diesem Zeitpunkt blühten die Sommerlinden vor allem oberhalb von 800 bis 1000 m. Die Winterlinden blühten rund eine Woche später als die Sommerlinden.

Die Fruchtreife von Rotem Holunder (im Mittel aller Stationen am 4. Juli), der Vogelbeere (11. August) und des Schwarzen Holunders (16. August) war um drei bis elf Tage verfrüht. Die Fruchtreife der beiden Holunderarten wird seit 1996 beobachtet. Die diesjährige Fruchtreife war beim Roten Holunder die viertfrüheste und beim Schwarzen Holunder die drittfriheste seit Beobachtungsbeginn.

Die Weinlese wurde im aktuellen Jahr an 39 Stationen beobachtet. Im Mittel fand sie am 22. September statt mit einem Vorsprung von zwei Wochen auf das Mittel der Periode 1991–2020. Damit fand die Weinlese eine Woche später statt als im letzten Jahr, in welchem die früheste Weinlese seit Beobachtungsbeginn festgestellt wurde.

Bei der Blattverfärbung gab es in diesem Jahr nur ganz vereinzelte Meldungen zu sehr frühen Terminen im August, die vor allem in sehr trockenen, heißen Sommern häufig zu beobachten sind. Die herbstliche Blattverfärbung wurde viel mehr durch die hohen Temperaturen im September und Oktober deutlich verzögert und die Bäume blieben sehr lange grün.

Bei den Bäumen, deren Blattverfärbung seit 1996 beobachtet wird, war es die späteste Blattverfärbung seit dem Beginn der Beobachtungsreihe. Bei der Buche, die seit 1951 beobachtet wird, fand sie fast gleich spät statt wie 1980, der bisher spätesten Blattverfärbung seit Beobachtungsbeginn. Die Blattverfärbung fand bei der Buche um zehn Tage später statt als im Mittel und bei den anderen Baumarten um acht bis zwölf Tage. An 63–76% der Standorte wurde die Blattverfärbung in die Klassen «spät» und sehr spät» eingeordnet und dabei 48–60% in die Klasse «sehr spät». Die Blattverfärbung begann um den 20. September bei den Vogelbeeren und ab Ende September bei den Buchen.

Erst Anfang Oktober setzte sie bei der Hängebirke, dem Bergahorn und den Linden ein. Am häufigsten verfärbten sich die Buchenblätter zwischen Mitte und Ende Oktober. In tieferen Lagen wurde sie auch erst in der ersten

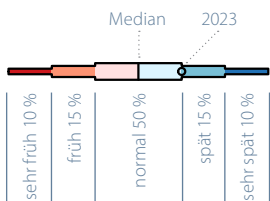
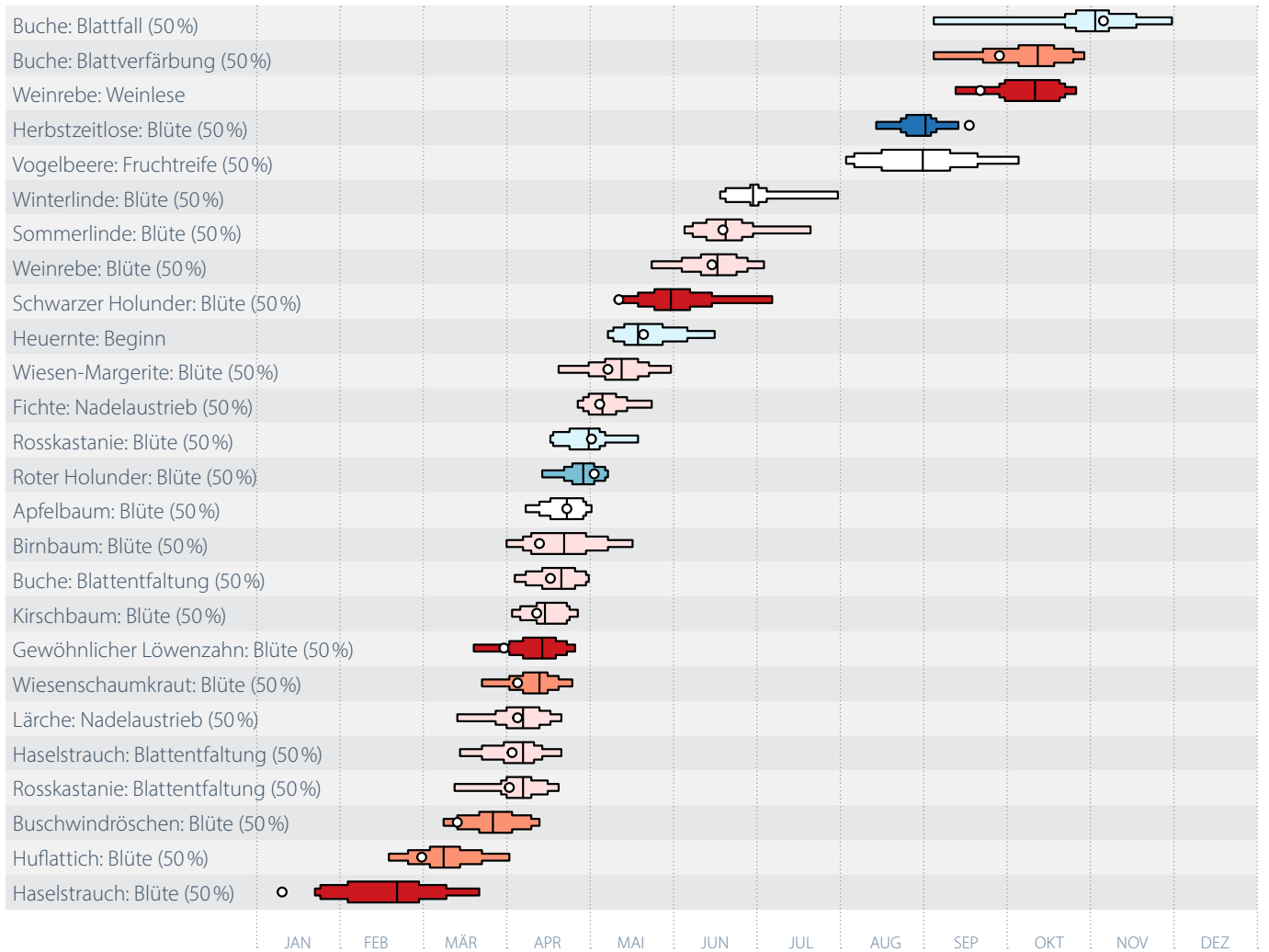
Novemberhälfte beobachtet. Besonders bei den Linden wurde eine solch späte Verfärbung im November häufig beobachtet.

Die Lärchen verfärbten sich ebenfalls um zehn Tage später als im Mittel, so spät wie noch nie seit dem Beginn der Beobachtung 1996. Ihre Verfärbung begann vereinzelt ab Mitte Oktober in den Bergen, und wurde ab dem 20. Oktober häufiger beobachtet, so zum Beispiel im Engadin. Im Flachland fand sie erst im November statt, mit einem Maximum um die Mitte des Monats.

Der Blattfall begann an wenigen Standorten ab Mitte Oktober und verstärkte sich ab Ende Oktober. Während den Herbststürmen Anfang November und Mitte November verloren viele Bäume ihre Blätter, fünf bis acht Tage später als im Mittel. Der Nadelfall der Lärchen begann ab Ende Oktober, Anfang November in den Bergen und ab Mitte November in tieferen Lagen, wo er bis Mitte Dezember andauerte. Insgesamt fand er neun Tage später statt als im Mittel und war der späteste seit Beobachtungsbeginn.

Abbildung 2.15


Phänologischer Kalender 2023 von Rafz. Die Verteilung zeigt die Vergleichsperiode 1991–2020. Das Datum des aktuellen Jahres wird als weisser Kreis dargestellt und je nach zeitlicher Einordnung von sehr früh bis sehr spät wird die Vergleichsperiode eingefärbt. Fehlt die Beobachtung im Jahr 2023 oder liegt sie präzis beim Median, bleibt die Vergleichsperiode weiss.



Pollensaison

Das Pollenjahr 2023 begann Ende Dezember mit der Blüte der Haselsträucher und mit einem grossen Vorsprung von drei bis vier Wochen auf das Mittel von 1991–2020. Im Frühling betrug der Vorsprung der Eschen-, Birken- und Gräserpollensaison nur wenige Tage. Eine Ausnahme war der frühe Beginn der Gräserpollensaison Ende März im Tessin. Die Gräserpollensaison war besonders intensiv. Sie erreichte vom 21. Mai bis Ende Juni fast durchgehend hohe Belastungen. Im Spätsommer war der Pollenflug von Beifuss eher schwach, während in der Westschweiz deutlich mehr Ambrosiapollen gemessen wurden als im Mittel. Der grösste Teil dieser Pollen stammte jedoch aus Fernflug von Frankreich. Die Pollensaison 2023 wird im Folgenden mit dem 30-jährigen Mittel 1991–2020 verglichen.

Auf der Webseite der MeteoSchweiz zeigen Jahresgrafiken die mittlere tägliche Pollenbelastung der 14 wichtigsten allergenen Arten für die Stationen des Schweizer Pollenmessnetzes.

 meteoschweiz.admin.ch/service-und-publicationen/applikationen/ext/climate-poll-seasonclim.html

Automatisierung des Pollenmessnetzes ab 1.1.23

Der Wechsel von der manuellen zur automatischen Pollenmessung ab 1. Januar 2023 führte zu Unterschieden in den Messresultaten der täglichen Pollenkonzentration. Deshalb ist momentan der Vergleich der Stärke des aktuellen Pollenflugs mit vergangenen Jahren nur bedingt möglich. Der Verlauf der Pollensaison ist jedoch mit beiden Messmethoden gut vergleichbar. Der Fokus des Vergleichs mit der langfristigen Entwicklung liegt deshalb vor allem beim Zeitpunkt der Pollensaison und nicht bei der Intensität. Zudem werden die Grafiken der langfristigen Entwicklung der Pollenintensität in Kapitel 5 nicht mehr erstellt, bis der Übergang zur automatischen Messung in den Datenreihen homogenisiert worden ist.

Die Hasel- und Erlenpollensaison

Die Blüte der Haselsträucher startete auf der Alpennordseite ab Ende Dezember und gehörte damit zu den frühesten der gesamten Pollenmessreihe. Die Haselpollensaison begann mit drei bis vier Wochen Vorsprung auf das Mittel von 1991–2020. Aussergewöhnlich im Vergleich mit den Vorjahren war, dass während der ganzen ersten Januarhälfte mässig bis starker Haselpollenflug gemessen wurde. Der Grund für diese sehr frühe Blüte lag an den sehr milden Temperaturen vom 20. Dezember bis zum 15. Januar. Im Tessin war der Wärmeüberschuss im Dezember nicht ganz so gross wie auf der Alpennordseite, weshalb für einmal die Haselblüte im Tessin leicht später begann als auf der Alpennordseite. Ab Mitte Januar wurde die Haselpollensaison vor allem auf der Alpennordseite durch eine markante Abkühlung mit Schnee bis in tiefe Lagen unterbrochen. Erst ab Mitte Februar kam es zu einer zweiten Phase mit starkem Haselpollenflug, die bis gegen Ende Februar dauerte. In dieser Phase blühten die Haselsträucher vom Flachland bis auf über 1000 m und die Konzentrationen waren deutlich höher als während der ersten Januarhälfte.

Die ersten Erlenpollen traten gleichzeitig mit den Haselpollen Ende Dezember auf der Alpennordseite auf. Der erste Tag mit starken Belastungen durch Erlenpollen wurde im Tessin aber erst am 3. Februar registriert und auf der Alpennordseite am 18. Februar, kurz nachdem die Tagesmaximumtemperatur mehr als 10°C erreichte.

Im Tessin lag dieses Datum eine knappe Woche früher als im Mittel der 30-jährigen Vergleichsperiode, auf der Alpennordseite lag es etwa im Mittel. Die Hauptsaison konzentrierte sich auf die milden Tage in der zweiten Februarhälfte. Anfang März wurden nur noch an wenigen Stationen einzelne Tage mit starkem Pollenflug gemessen.

Die Eschen- und Birkenpollensaison

Die Birkenpollensaison begann wenige Tage früher als im Mittel. Im Tessin begann sie am 20.–23. März mit einem raschen Anstieg auf starke Belastungen. Auf der Alpennordseite startete die Pollensaison zwischen dem 25. und 30. März, wobei ab Ende März die ersten Tage mit starkem Pollenflug registriert wurden. Das kühle und regenreiche Wetter im April war für Personen mit einer Pollenallergie sicher willkommen. Auf der Alpennordseite wurden Birkenpollen regelmässig durch die Niederschläge aus der Luft ausgewaschen, so dass die Konzentrationen jeweils nach 2–3 Tagen mit starkem Pollenflug wieder auf schwache bis mässige Werte zurückgingen. Zudem wurden nur wenige Tage mit sehr starken Belastungen gemessen. Auf der Alpensüdseite und im Wallis hingegen war der Birkenpollenflug bis gegen Ende April an vielen Tagen stark. Bis Ende April, Anfang Mai konnten Tage mit starkem Pollenflug gemessen werden. Das Saisonale Pollenintegral (die Summe der täglichen Pollenkonzentrationen) war tiefer als normal. Das wurde erwartet, da die Bäume nach der sehr starken Blüte im Vorjahr deutlich weniger Blütenkätzchen bildeten.

Im Tessin begann die Eschenpollensaison am 10.–12. März, wenige Tage vor dem Mittel der Normperiode 1991–2020. Auf der Alpennordseite begann die Saison zwischen dem 17. und 23. März, je nach Messstation drei bis neun Tage früher als im Mittel. Der Start der Saison fiel in eine milde und meist trockene Phase im März. Vor der lokalen Blüte der Eschen konnten einzelne Tage mit schwachen und teilweise mässigen Konzentrationen von Eschenpollen gemessen werden, die mit Südwestwinden über grössere Distanzen in die Schweiz transportiert wurden. Die Eschenpollensaison war etwas schwächer als im Mittel. Auf der Alpennordseite wurde der Pollenflug durch Niederschläge immer wieder unterbrochen. Am stärksten war die Pollenbelastung Ende März und um die Ostage vom 9.–11. April.

Die Gräserpollensaison

Die Gräserpollensaison begann im Tessin schon Ende März. Ein früher Beginn mit einem Vorsprung von 2–3 Wochen auf das Mittel wurde in den letzten Jahren häufiger beobachtet. Ab der zweiten Aprilhälfte stieg der Pollenflug im Tessin auf starke Belastungen an. Auf der Alpennordseite traten Gräserpollen regelmässig gegen Ende April auf, nur wenige Tage vor dem Mittel. Da es im Mai immer wieder regnete, blieben die Konzentrationen bis zur Monatsmitte mit wenigen Ausnahmen nur mässig.

Mit dem Einsetzen der sommerlichen Temperaturen und viel Sonnenschein ab dem 21. Mai explodierten die Gräserpollenkonzentrationen. Die Wiesen waren wegen der ausreichenden Bodenfeuchte gut entwickelt und standen überall in Vollblüte. Sie konnten wegen dem nassen Wetter vorher nicht gemäht werden. Zudem verbreitete die Bise die Pollenkörner sehr effizient. Es begann eine sehr lange Phase bis Ende Juni mit fast durchgehend starker und sehr starker Belastung, welche bei den betroffenen Personen zu ausgesprochen starken Allergiereaktionen führte. Die Anzahl der Tage mit starkem Pollenflug war bei den meisten Messstationen der Alpennordseite sehr hoch.

Ab Juli nahmen die Pollenkonzentrationen ab, obwohl der Schwellenwert zur starken Belastung an einzelnen Tagen bis Ende Monat weiterhin überschritten wurde. Auch wenn sich die Intensität der Pollensaison nicht eindeutig mit den manuellen Messungen vergleichen lässt, gibt es Hinweise, dass die Gräserpollensaison auf der Alpennordseite zu den stärksten der Vergangenheit gehörte.

Die Beifuss- und Ambrosiapollensaison

Mit der automatischen Messmethode können Beifuss- und Ambrosiapollen noch nicht bestimmt werden. Die Auswertung wurde deshalb mit Daten der manuellen Pollenmessung gemacht, die im Jahr 2023 als Parallelmessung weiterhin in Betrieb war.

An der Messstation Visp wurden zwischen dem 24. Juli und 4. September insgesamt 19 Tage mit starkem Pollenflug gemessen. Das sind sechs Tage weniger als im Durchschnitt der 30-jährigen Vergleichsperiode von 1991–2020. An allen anderen Messstationen wurden höchstens null bis drei Tage mit mässigem Pollenflug gemessen. Die Belastung war damit vor allem in der Westschweiz und im Tessin schwächer als normal. In der Deutschschweiz bewegte sich der Pollenflug bei sehr tiefen Konzentrationen etwa im normalen Rahmen.

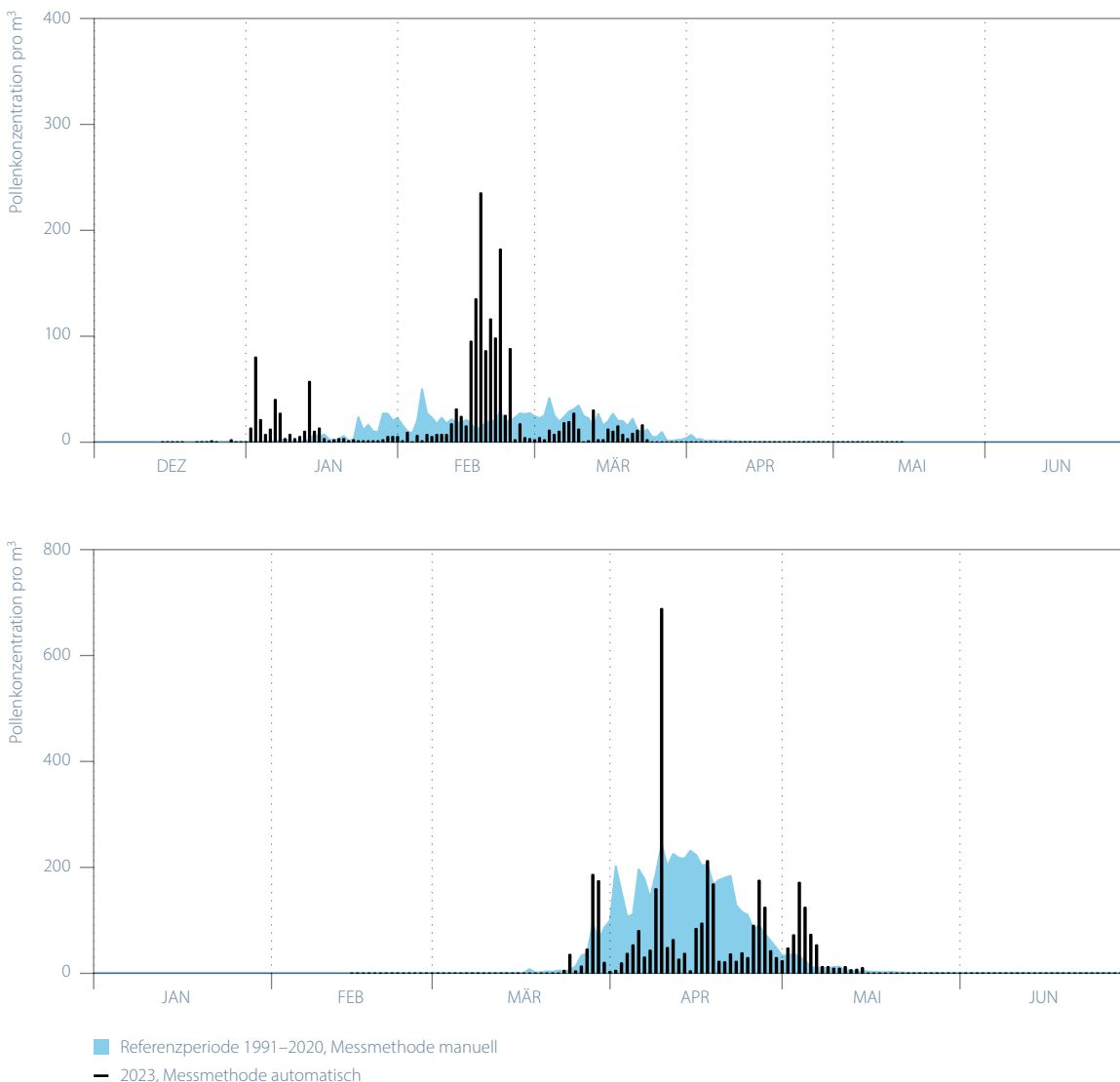
In der Westschweiz war der Ambrosiapollenflug stärker als im Mittel der 30-jährigen Vergleichsperiode 1991–2020. In Genève wurden zwölf Tage mit starkem Pollenflug gemessen (sieben Tage mehr als im Mittel), in Lausanne und Neuchâtel drei Tage und an der Zusatzstation Meyrin zehn Tage. Dabei handelte es sich meist um Ambrosiapollen aus Frankreich, die mit Südwestwinden in die Schweiz transportiert wurden. Sehr schön lässt sich das in La Chaux-de-Fonds zeigen, wo Ambrosiapflanzen aufgrund der Höhenlage nicht wachsen können und deshalb alle Pollen aus Fernflug stammen. In La Chaux-de-Fonds wurden sechs Tage mit starkem Pollenflug registriert, fünf Tage mehr als im Mittel. Das Saisonale Pollenintegral (SPIn, die Summe der täglichen Pollenkonzentrationen) lag in La Chaux-de-Fonds bei 159 und war das höchste seit Messbeginn im Jahr 1987. Das SPIn in Genève war mit 348 das dritthöchste seit Messbeginn 1979 und in Meyrin mit 378 ebenfalls das dritthöchste seit Messbeginn 2001. Obwohl der grösste Teil der Pollen aus Frankreich stammte, kann nicht ausgeschlossen werden, dass im Raum Genève auch lokale Pflanzen zum Pollenflug beitrugen.

In der Deutschschweiz waren die Konzentrationen deutlich tiefer. Mehrere Stationen wiesen einen Tag mit starkem Pollenflug auf, am 12. September einem Tag mit hohen Temperaturen und Südwestwind. Am häufigsten wurden Ambrosiapollen auf der Alpennordseite vom 14. August bis zum 12. September gemessen.

Seit 2013 ging die Pollenbelastung in Norditalien und im Tessin aufgrund des Befalls der Pflanzen durch den Ambrosiablattkäfer stark zurück. In Lugano und Locarno wurden in diesem Jahr fünf Tage mit starkem Pollenflug gemessen. Damit war der Pollenflug schwächer als im langjährigen Mittel, aber vergleichbar mit den Belastungen seit 2013. An der Zusatzstation für Ambrosiapollen in Mezzana im Südtessin wurden 18 Tage mit starkem Pollenflug registriert, meist transportierte Pollen aus Italien. Dabei wurde aber der Schwellenwert der starken Belastung jeweils nur um wenige Pollen übertroffen und es wurden kaum sehr starken Konzentrationen erreicht.

Abbildung 2.16

Verlauf der automatisch gemessenen Haselpollensaison 2023 in Buchs SG (oben) und der Birkenpollensaison 2023 in Lausanne (unten) im Vergleich zum 30-jährigen Mittel von 1991–2020 der manuellen Messung (blaue Kurve). In Buchs SG war der Haselpollenflug in der ersten Januarhälfte mässig bis stark. Nach einem Kälteeinbruch kam es ab Mitte Februar zu einer zweiten Belastungswelle mit Haselpollen. In Lausanne zeigt sich deutlich, wie die Birkenpollensaison durch kühles und regnerisches Wetter immer wieder unterbrochen wurde. Die Pollenbelastung der Birke war dadurch unterdurchschnittlich. Die Achsen der Pollenkonzentration wurden in der Höhe auf 400 bzw. 800 Pollen/m³ beschränkt, damit auch die für Allergien wichtigen tiefen Werte sichtbar sind.







3 Besonderheiten 2023

42



Abbildung 3.1

Vom Gewittersturm geknickter Strommast in La Chaux-de-Fonds.

3.1 Extremer Gewittersturm im Jura

Beim Durchzug eines heftigen Gewitters am 24. Juli 2023 gegen Mittag wurden in La Chaux-de-Fonds extreme Windgeschwindigkeiten gemessen. An der MeteoSchweiz Messstation beim Flugplatz lag die höchste 1-Sekunden-Böe bei 217 km/h [44]. Eine Messstation des Flugplatz-Betreibers etwas ausserhalb der Stadt (Mont Cornu) meldete als höchste 3-Sekunden-Böe 165 km/h.

Grosse Schäden

Der Sturm, vermutlich ein sogenannter «Down-Burst», forderte ein Menschenleben und 40 Verletzte. Zahlreiche Gebäude wurde beschädigt, einige auch massiv. Bäume brachen oder wurden entwurzelt. An vielen Fahrzeuge gab es Schäden durch umstürzende Bäume oder herunterfallende Gebäudeteile. Der Sturm warf einen Baukran um und knickte den Masten einer Hochspannungseileitung (Abbildung 3.1). Schwer getroffen wurde auch die Bahn-Infrastruktur. Der Zugsverkehr war unterbrochen.

Beurteilung der extremen Böenspitze

Mit den 217 km/h wurde der vom Hersteller des Messinstruments angegebene Anwendungsbereich knapp überschritten. Das Gesamtbild aus Wetterlage, Ereignisablauf, Aufstellung und Unterhalt der Messstation, operationeller Datenqualitätsprüfung sowie die Vergleiche mit den nahe gelegenen Messungen auf dem Flugplatz und das Schadensbild vor Ort lassen den Messwert jedoch plausibel erscheinen.

Auf Grund der technischen Auslegung des Messinstruments ist der Messwert aber mit einer Unsicherheit verbunden. Diese Unsicherheit dürfte mindestens im Bereich von 10% liegen. Es ist die von der Weltmeteorologie Organisation (WMO) für Böenspitzen angegebene «achievable measurement uncertainty».

Nicht das erste Mal so heftig

Am Nachmittag des 12. Juni 1926 zog unweit der Stadt La Chaux-de-Fonds ein extrem heftiger Gewittersturm vorbei. Sein Pfad zeigte eine charakteristische fast schnurgerade SW-NE Ausrichtung, was auf einen Tornado schliessen lässt. Der Tornado legte eine Strecke von 22 Kilometern zurück. Ein achtjähriger Junge, zusammen mit seiner Mutter unterwegs, wurde vom Sturm derart heftig durch die Luft geschleudert, dass er an den dabei erlittenen Verletzungen erlag. Seine Mutter und mehrere weitere Personen wurden schwer verletzt. Der Sturm hinterliess zerstörte Wohnhäuser und kahlgeschlagene Waldpartien.

Der Jura wurde schon mehrmals von massiven Tornados heimgesucht. Das wohl am besten dokumentierte Ereignis war jenes vom 26. August 1971 über der Vallée de Joux [5]. Der Tornado hinterliess eine schnurgerade und praktisch durchgehende Waldschneise von etwa 20 Kilometern. Die Luftbilder der Schäden zeigen eindrücklich die in wirbelförmiger Anordnung am Boden liegenden Baumstämme. Der Tornado zog insgesamt 79 Gebäude in Mitleidenschaft, 18 davon schwer. Einzelne Gebäude wurden vollständig zerstört. Beim Überqueren eines Campingplatzes schleuderte der Tornado einen Wohnwagen über die Wipfel ausgewachsener Tannen hinweg 30 Meter ins freie Gelände. Mehrere Autos, welche sich auf seinem Pfad befanden, liess er zermalmt und zum Teil in ihre Einzelteile zerlegt zurück. Zum Ereignis gibt es eindrückliche Bilder.

Mit dem Tornado von 1971 wiederholte sich das Ereignis vom 19. August 1890 in praktisch identischer Weise. Beide Tornados nahmen den absolut gleichen Pfad. Fotografien zerstörter Gebäude und Wälder aus dem Jahre 1890 dokumentieren, dass das Vallée de Joux 1890 und 1971 mit ungefähr derselben Wucht getroffen wurde.

3.2 Hitzewelle im August

Mit der Umstellung auf sonniges Hochdruckwetter stiegen die Tageshöchstwerte ab dem 11. August 2023 beidseits der Alpen zunächst gebietsweise auf 30°C und mehr. Ab dem 14. August wurde die 30°C Marke verbreitet erreicht oder überschritten. Vom 19. bis am 23. August gab es beidseits der Alpen regional Tageshöchstwerte von 35 bis 37°C. In der Schweiz gab es zu dieser Jahreszeit noch nie eine so lange und intensive Hitzeperiode, weder auf der Alpennordseite noch auf der Alpensüdseite.

Das Hitzemaximum

Die Hitze erreichte ihr Maximum am 24. August. Die Tageshöchstwerte erreichten vielerorts 35°C oder mehr, in der Westschweiz lokal 38 bis über 39°C. An 27 Messstandorten mit längeren Messreihen gab es neue Augustrekorde. An acht Messstandorten mit längeren Messreihen wurde die absolut höchste Temperatur seit Messbeginn registriert.

Am höchsten stieg die Temperatur in Genf-Cointrin mit 39,3°C. Es war die höchste Temperatur, die je in einem August auf der Alpennordseite und im Wallis gemessen wurde. Etwas heisser wurde es am Messstandort Genf-Cointrin nur am 7. Juli 2015 mit 39,7°C. Das war der zweithöchste Schweizer Temperaturwert. Den Schweizer Rekord hält Grono mit 40,5°C am 11. August 2003.

Extreme 14-Tagesperiode

Genf und Sion verzeichneten die zweitintensivste 14-Tageshitze (Abbildung 3.2). In Genf stieg das 14-Tagesmittel der Tagesmaximum-Temperatur auf 34,8°C, in Sion auf 34,1°C. Heisser über 14 Tage hinweg wurde es an beiden Messstandorten nur im legendären Hitzesommer 2003 mit 35,2°C in Genf und 35,0°C in Sion.

Hitzetage in den Bergen

Die Hitzewelle brachte bis in mittlere Berglagen Hitzetage mit 30°C oder mehr. Disentis im Kanton Graubünden auf 1197 m Höhe registrierte 5 Hitzetage in Folge. Am 24. August stieg das Tagesmaximum auf 33,5°C. Es war die höchste Temperatur in Disentis seit Messbeginn 1959.

Montana im Wallis auf 1423 m Höhe verzeichnete am 24. August 31,5°C. Damit wurde der erst im Juli 2023 erreichte Stationsrekord von 31,2°C bereits wieder gebrochen.

Abbildung 3.2
Die intensivsten 14-tägigen Hitzeperioden (mittleres Tagesmaximum) pro Jahr in Genf seit Messbeginn 1864. Die 14-Tagesperiode vom August 2023 erreichte 34,8°C (Rang 2 seit Messbeginn).

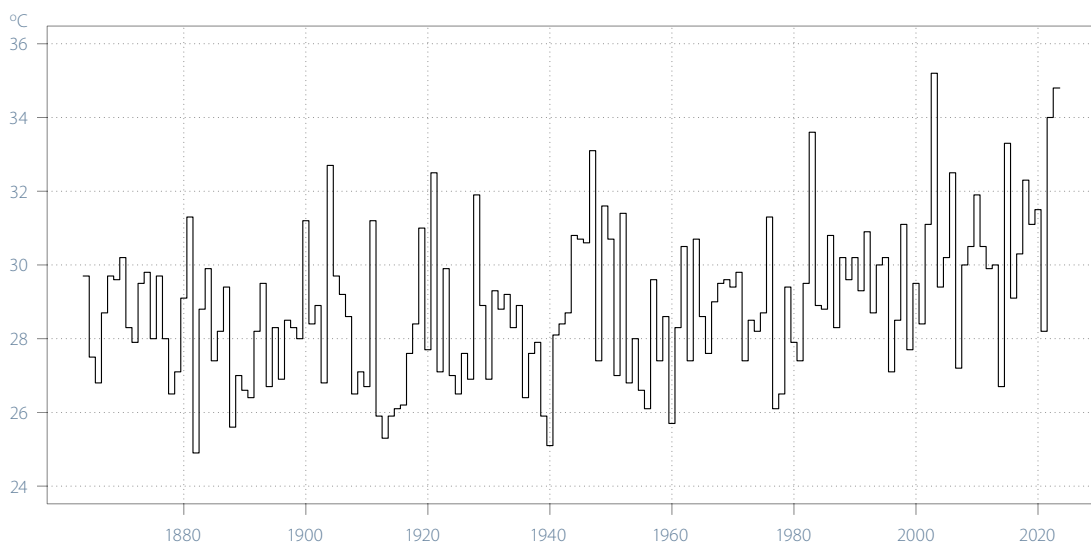




Abbildung 3.3

**Hoher Wasserstand
in Domat/Ems am
27. August 2023.**

Foto: MeteoMeldungen, MeteoSchweiz-App

Im August, September und Dezember fielen drei Starkniederschlagsereignisse mit eindrücklichen 1–3 Tagessummen auf. Im August und September waren die Ostschweiz, Graubünden und das Tessin betroffen. Im Dezember lag der Schwerpunkt der Starkniederschläge eher in der West- und Zentralschweiz.

12-Stunden Spitzenwerte von 300 bis 350 mm gemessen wurden. Im angrenzenden Bündnerland, und später auch im Alpsteingebiet fielen insbesondere am 22. September weitverbreitet 70 bis 100 mm. Damit wurden an vielen Stationen statistische Wiederkehrwerte von 3–8 Jahren, lokal auch von 8–15 Jahren erreicht.

Im August weitverbreitet Rekordwerte

Nach der spätsommerlichen Hitzewelle (19.–24.8.) flossen ab dem 25.8. aus Südwesten feuchtwarme und labile Luftmassen gegen die Schweiz. Dies führte vor allem in der Südschweiz am 25.8. zu starken Gewittern mit heftigem Hagelschlag, der in der Region Locarno grosse Schäden verursachte. Ab dem 26.8. bis am 29.8. fielen zuerst im Tessin, dann auch in Graubünden und in der Ostschweiz sehr grosse Niederschlagsmengen (Abbildung 3.3). Die 3-Tages-Niederschlagssummen erreichten verbreitet Werte von über 200 mm. In Biasca, Safien-Platz, Innerferera, Brülisau und Eggersriet erreichten die 3-Tages-Niederschlagssummen Werte, wie sie nur ein- bis zweimal, in Vaduz und Kronberg sogar weniger als einmal pro Jahrhundert zu erwarten sind.

Nasser September im Tessin und in der Ostschweiz

In der zweiten Monatshälfte fiel im Tessin, in Graubünden bis hin zum unteren Rheintal viel Niederschlag. Zwischen dem 21. und 22. September sorgte eine stationäre Starkniederschlagslinie vom Centovalli bis in die Leventina für Tagessummen von 150 bis 250 mm, wobei lokal auch

Im Dezember besonders im Westen nass

Im Dezember waren zwei Starkniederschlagsperioden erwähnenswert. Das erste Starkniederschlagsereignis fand zwischen dem 8. und 15. Dezember statt. Die Schweiz lag im Einflussbereich einer westlichen bis nordwestlichen Strömung, welche für eine kontinuierliche Zufuhr milder und feuchter Luftmassen sorgte. Dies führte in der West- und Zentralschweiz zu grossen Niederschlagsmengen, welche zwischen dem 9. und 13. Dezember fielen. In diesen 4 Tagen wurden verbreitet Niederschlagssummen von 100 bis 120 mm gemessen. An vielen Stationen erreichten die 4-Tages-Summen Werte, welche statistisch nur alle 5–10 Jahre erreicht werden. In Adelboden wurden 120,7 mm gemessen, was einem Ereignis entspricht, das nur alle 10–25 Jahre zu erwarten ist.

Zwischen dem 21. und 23. Dezember sorgte eine kräftige Nordströmung für grössere Niederschlagssummen mit Schwerpunkt in der Ostschweiz und in Nordbünden. Allerdings wurden nur lokal mehr als 50 mm gemessen, womit die Niederschlagsmengen statistisch nicht als aussergewöhnlich bezeichnet werden können.

3.4 Polare Stratosphärenwolken in der Südschweiz

Die eben erwähnte vorherrschende Nordwestströmung zwischen dem 21. und 23. Dezember führte nicht nur zu Niederschlägen nördlich des Alpenhauptkammes, sondern auch zu Leewellen über und südlich der Alpen. Zusammen mit einer deutlich kühleren unteren Stratosphäre als üblich, führte dies zu einem in unseren Breiten eher seltenen Phänomen.

Kühle untere Stratosphäre

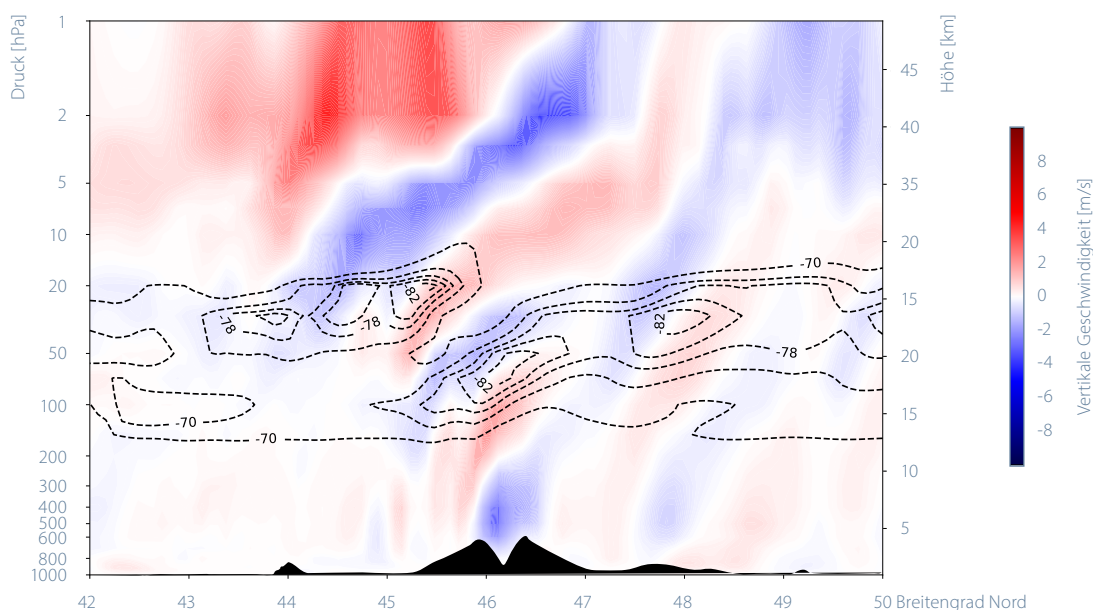
Im Winter bildet sich in der Stratosphäre jeweils eine stabile Westwindzone: der Polarwirbel. Im langjährigen Wintermittel ist dieser meist über dem Nordpol zentriert und verhindert so die Vermischung kalter arktischer Luftmassen mit wärmeren, die weiter südlich anzutreffen wären. Im Dezember 2023 war der Wirbel jedoch asymmetrischer als üblich: Über Ostsibirien und Westalaska war der Polarwirbel schwächer ausgeprägt als über dem Nordatlantik und Skandinavien [6]. Damit verbunden war eine starke Temperaturanomalie: Zwischen dem 8. und 22. Dezember war es in etwa 24 km Höhe (30 hPa) über der Beaufortsee im Mittel 11–13 °C wärmer als im langjährigen Mittel (1991–2020), während über dem Nordatlantik 9–11 °C weniger registriert wurden. Diese negative Temperaturanomalie erreichte ihren Höhepunkt am 22. Dezember über einem Gebiet, das sich von Island bis zur Bretagne erstreckte, mit Werten von fast 20 °C unter dem langjährigen Mittel.

Nordföhn und Jetstream sorgt für Wellenbildung

Zu dieser Zeit sorgte mehr als 10 km tiefer in unserer Atmosphäre die Position des Jetstreams, welcher beinahe rechtwinklig über den Alpenbogen blies, und ein starkes Nord-Süd-Druckgefälle für eine Nordföhnwetterlage. Wie häufig an anderen Föhntagen beobachtet, bildeten sich aufgrund der Leewellen auch am 22. Dezember im Tessin Linsenwolken. Diese waren insbesondere am Tag durch deren irisierende Erscheinung besonders gut zu sehen (Abbildung 3.5). Nach Sonnenuntergang blieben allerdings gewisse Leewellenwolken länger sichtbar, was die Vermutung aufkommen liess, dass sich lokal auch deutlich höher gelegene Wolken bilden konnten.

Am 22. Dezember breiteten sich die Leewellen aufgrund verschiedener Faktoren weit in die Stratosphäre aus. Im Zusammenspiel mit der oben beschriebenen negativen Temperaturanomalie entstanden so in den Aufwindbereichen der Leewellen lokale «Kaltluftlinsen», die in Abbildung 3.4 dargestellt sind. Diese entstanden dadurch, dass in den Aufwindzonen (blau hinterlegte Bereiche) die bereits sehr kühlen Luftmassen diabatisch weiter abgekühlt wurden und somit Temperaturen erreichten, die in den Modellanalysen deutlich unter -80 °C lagen. Dies bestätigte auch die Temperatursonde von Payerne vom 22. Dezember um 23 Uhr UTC, welche in 24 km Höhe teilweise Werte unter -88 °C registrierte (aufgrund der Nordwestströmung wurden diese Werte im Raum Mailand gemessen).

Abbildung 3.4
ECMWF Analysefelder
vom 22. Dezember
2023, 18 UTC entlang
des 8. Längengrades
von 42 °N bis 50 °N.
Rot/Blau: Vertikalwind.
Gestrichelte Kontour-
linien: Absolute Tem-
peratur in °C. Schwarze
Fläche in unteren Teil
der Grafik: Topographie
entlang des Profils.



Trockene Stratosphäre

Aus verschiedenen Gründen ist der Wasserdampfgehalt in der Stratosphäre äusserst gering, womit in diesen Höhen die Bildung von Wolken nur unter sehr speziellen Bedingungen möglich ist. Bei genügend tiefen Temperaturen kondensiert nicht nur der spärlich vorhandene Wasserdampf, sondern auch eine Reihe weiterer Substanzen, welche in der Stratosphäre normalerweise gasförmig vorhanden sind. Darunter zählt zum Beispiel Salpetersäure. Bei Temperaturen unter -78°C kristallisiert dabei ein Molekül Salpetersäure jeweils mit drei Molekülen Wasser zu sogenanntem Salpetersäure Trihydrat, auf Englisch abgekürzt «NAT». Mit der Zeit entsteht immer mehr NAT, was zur Bildung von schleierwolkenähnlichen polaren stratosphärischen Wolken (PSW) führt. Steigt die Temperatur wieder über -78°C lösen sich diese stratosphärischen Wolken wieder rasch auf. Sinkt die Temperatur allerdings weiter und erreicht Werte von unter -85°C , dann können sich auch reine Eiskristallwolken bilden [7]. Da sie aus relativ grossen sphärischen Eiskristallen (um 10 Millionsten Meter) bestehen, brechen sie das einfallende Sonnenlicht, was zu einem spektakulären Perlmutterchein führt. Solche PSW sind insbesondere in den frühen Morgen- und Abendstunden gut zu sehen.

Ausserordentliche Sichtungen

Aufgrund der extremen Bedingungen, die für die Bildung von PSW notwendig sind, sind Beobachtungen von PSW in mittleren Breiten auch im Winter selten ([8], [9]). Die deutlich unterdurchschnittlichen Temperaturen in der unteren Stratosphäre, die stark ausgeprägten stratosphärischen Leewellenstrukturen sowie der stratosphärische Wasserdampfeintrag durch die Eruption des Vulkans Hunga Tonga-Hunga Ha'apai im Januar 2022 [10] brachten jedoch potentiell optimale Bedingungen für die Bildung von PSWs über der norditalienischen Region. Die Analyse von Modelldaten (Abbildung 3.4), Ballonsondierungen sowie Triangulationsberechnungen basierend auf Webcambildern legen daher die Vermutung nahe, dass es sich bei den Beobachtungen im nordwestlichen Piemont tatsächlich um polare Stratosphärenwolken handelte.



Quelle: MeteoMeldungen, MeteoSchweiz-App

Abbildung 3.5

Irisierende Wolken am Abendhimmel vom 23. Dezember im Tessin.

4 Globales Klima und Wetterereignisse

48

Das Jahr 2023 war im globalen Mittel das mit Abstand wärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen 1850. Mit einer Abweichung von +1,1 °C zur Norm 1961–1990 im HadCRUT5-Datensatz war das vergangene Jahr fast 0,2 °C wärmer als das bisherige Rekordjahr 2016. Nachdem in den beiden Vorjahren 2021 und 2022 ausgeprägte La-Niña-Bedingungen herrschten, kehrte die Situation im äquatorialen Pazifik im Laufe des Jahres 2023 um. Die warmen Ozeantemperaturen trugen auch zu den weltweit hohen Lufttemperaturen bei. Die folgende Zusammenstellung basiert hauptsächlich auf dem jährlichen Klimastatus-Bericht der Welt Meteorologie Organisation (WMO) [11], den Global Climate Highlights 2023 von Copernicus/ECMWF [12] und dem Global Climate Report der National Oceanic and Atmospheric Association (NOAA) [13] und Quellen darin.

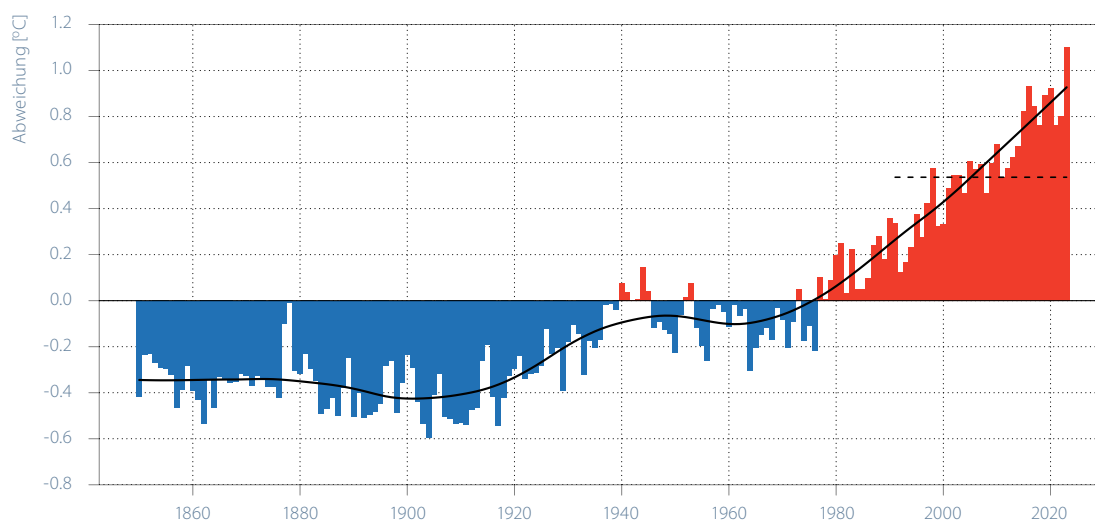
4.1 Weltweit aussergewöhnlich warmes Jahr

Die globale Jahresmitteltemperatur von 2023 wies gemäss dem HadCRUT5-Datensatz der englischen University of East Anglia eine Abweichung von +1,1 °C zur Norm 1961–1990 (+0,6 °C zur Norm 1991–2020) auf und erreichte damit einen im Messzeitraum ab 1850 noch nie dagewesenen Höchstwert (Abbildung 4.1). Die letzten neun Jahre seit 2015 waren die wärmsten seit Messbeginn.

Fast auf dem gesamten Globus wurden Temperaturen weit über dem Durchschnitt 1961–1990 registriert. Nordamerika verzeichnete das wärmste Jahr seit Messbeginn. In der östlichen Hälfte der Vereinigten Staaten wurden Abweichungen von 1,5–3 °C zur Norm 1961–1990 erreicht. Im Süden Kanadas waren es verbreitet 2–3 °C, im Norden gar mehr als 3 °C. Auch in Südamerika und Afrika wurde das wärmste Jahr seit Messbeginn aufgezeichnet.

Grosse Wärme registrierten auch Mitteleuropa und weite Teile Asiens mit Abweichungen 2–3 °C in den meisten Gebieten, im Norden Sibiriens gar über 3 °C. Diese beiden Kontinente meldeten das zweitwärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen. Etwas weniger extrem, aber dennoch überdurchschnittlich, waren die Jahrestemperaturen in Ozeanien und in der Antarktis. Nur in Feuerland und westlich davon im Südpazifik, an der West- und Südküste Australiens und in Teilen der Antarktis wurden leicht unterdurchschnittliche Temperaturen gemessen.

Die globale Jahrestemperatur (Land und Wasser) im Datensatz der University of East Anglia [14] ist zwischen der vorindustriellen Referenzperiode 1871–1900 und dem aktuellen Klimamittel (basierend auf lokaler linearer Regression) um 1,3 °C angestiegen und liegt damit nur noch zwei Zehntel-Grad unter dem Klimaziel des Pariser Übereinkommens von 2015. Gemäss WMO lag die Mitteltemperatur der vergangenen Dekade 2014–2023 in sechs globalen Datensätzen 1,2 °C über dem Durchschnitt 1850–1900. Die weltweite Durchschnittstemperatur liegt bei rund 15 °C. Das übergeordnete Muster in der langjährigen globalen Temperaturentwicklung mit der Häufung sehr warmer Jahre in jüngster Zeit findet sich auch in der Temperaturreihe der Schweiz (Abbildung 5.1).



Daten: University of East Anglia, 2024 [14], Datensatz HadCRUT5.

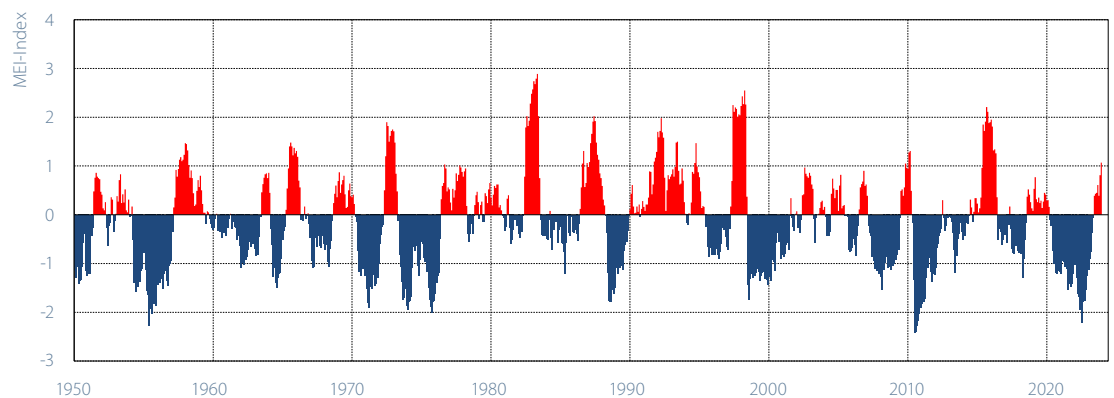
Abbildung 4.1

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 30-jährige geglättete Mittel (lokale lineare Regression LOESS). Die gestrichelte Linie entspricht der Norm 1991–2020.

4.2 El Niño und La Niña

Die El Niño Southern Oscillation (ENSO) beschreibt die natürlich auftretende Schwankung des gekoppelten Systems zwischen der Ozeanoberfläche und der Atmosphäre im tropischen Pazifik. Während eines El Niño befindet sich dieses System in einer Warmphase: Die Oberflächentemperatur des Pazifiks und jene der darüberliegenden Atmosphäre sind überdurchschnittlich warm. Während einer La-Niña-Phase herrscht im Gegenzug eine Kaltanomalie über dem äquatorialen Pazifik. El Niño und La Niña wechseln sich mit einer durchschnittlichen Periodizität von ungefähr vier bis sieben Jahren ab. Die El Niño Southern Oscillation (ENSO) ist bei starker Ausprägung einer der Hauptfaktoren, welcher die jährlichen Schwankungen der globalen Temperatur erklärt. Dabei sind Jahre mit El-Niño-Bedingungen global oft wärmer, Jahre mit La Niña tendenziell kühler.

Im Zeitraum von 2017 bis 2022 gab es keine besonders ausgeprägten El-Niño-Phasen. In den Jahren 2020–2022 herrschte gar durchwegs eine kräftige La Niña-Phase. Ab 2023 begannen sich die Bedingungen im äquatorialen Südpazifik wieder langsam in Richtung eines El Niño zu entwickeln. Etwa ab April wies der MEI-Index positive Werte auf. Dieser Wechsel erklärt sicher zu einem Teil die weltweit hohen Ozean- und Lufttemperaturen im Jahr 2023.



Die Daten sind verfügbar unter [15]

Abbildung 4.2

Multivariater El Niño Southern Oscillation Index (MEI) 1950–2023. Rot sind die Indexwerte der El Niño Phase (Warmphase), blau die Indexwerte der La Niña Phase (Kaltphase) dargestellt. Der MEI setzt sich zusammen aus dem Bodendruck, der Ost-West-, Nord- und Süd-Komponenten des Bodenwindes, der Meeresoberflächentemperatur, der Lufttemperatur auf Meereshöhe sowie des Bewölkungsgrades. Die Messungen erfolgen im äquatorialen Pazifik.

Hitze und Dürre

Eine der markantesten Hitzewellen ereignete sich in der zweiten Julihälfte im Mittelmeerraum. Am 24. Juli 2023 wurden auf Sardinien 48,2°C erreicht. Dieser Wert lag nur 0,6°C unter dem Europarekord von Sizilien aus dem Jahr 2021. Im gleichen Zeitraum wurden in Algier (Algerien) 49,2°C, Tunis (Tunesien) 49,0°C, Agadir (Marokko) 50,4°C und in Tirana (Albanien) 43,0°C gemessen. Im August gab es in Südosteuropa und in West- und Mitteleuropa weitere überregionale Hitzewellen.

In Griechenland wüteten zwischen Ende August und Anfang September Waldbrände, die sich später als das grossflächigste Feuer in der EU seit Beginn der Aufzeichnungen erwies. Auch in Kanada war die Waldbrandsaison weit heftiger als frühere. Sie begann im April und dauerte bis in den frühen Herbst hinein. Die dabei verbrannte Fläche war mehr als sechs Mal grösser als im zehnjährigen Mittel 2013–2022. Die kanadischen Feuer sorgten im Juni auch für enorme Luftverschmutzung bis in die nordöstlichen Bundesstaaten der USA. Am meisten Todesopfer zu beklagen gab es bei einem heftigen Brand auf Hawaii.

In Nordwest-Afrika, auf der iberischen Halbinsel und in Teilen Zentral- und Südwestasiens dauerten die dort seit langem anhaltenden Dürreperioden auch im Jahr 2023 weiter an. In Mittelamerika, im Norden Südamerikas und im Süden der USA intensivierten sich die regionalen Dürren sogar. Im subtropischen Teil Südamerikas lagen die Niederschläge von Januar bis August regional 20 bis 50% unter dem Durchschnitt, wobei einige Regionen das vierte Jahr in Folge deutlich unterdurchschnittliche Niederschläge verzeichneten.

Am gesamten Horn von Afrika wurden durch die Wetterereignisse Dürre und die darauffolgenden Starkniederschläge während der Regenzeit Millionen von Menschen vertrieben. Die Dürre verringerte die Fähigkeit des Bodens, Wasser aufzunehmen. Dadurch stieg das Überschwemmungsrisiko, als die Regenfälle im April und Mai eintrafen. Am stärksten betroffen war die Region von Somalia über Äthiopien und Kenia. Während der Regenzeit (Oktober und November) fielen in dieser Region weithin 100–200 mm, ein Vielfaches der langjährigen Durchschnittswerte. In der Folge wurden mehrere Hundert Todesfälle in den drei Ländern gemeldet.

Starkniederschläge und Überschwemmungen

Ein im Bezug auf die Zahl der Todesopfer besonders heftiger Sturm ereignete sich im Mittelmeerraum im September 2023. Der sogenannte Medicane brachte extreme Niederschlagsmengen in Griechenland, Süd-Bulgarien und in Teilen der Türkei mit sich. Nördlich von Athen, an der Messstation Zagora Pelion, wurden alleine am 5. September 759,6 mm und über fünf Tage vom 4. bis 8. September insgesamt 1096,2 mm Niederschlag registriert. Der Medicane bewegte sich in der Folge langsam in Richtung Libyen und sorgte vom 10. auf den 11. September für insgesamt 414,1 mm Niederschlag in 24 Stunden. Der intensive Niederschlag löste extreme Überschwemmungen aus, denen viele Tausende Menschen zum Opfer fielen.

Auch einige tropische Wirbelstürme verursachten im Jahr 2023 enorme Schäden. Der Tropensturm Freddy gehörte dabei zu den langlebigsten Wirbelstürmen überhaupt. Er bildete sich am 6. Februar an der Westküste Australiens und traf am 11. März in Moçambique auf Land. Malawi und Moçambique hatten als Folge der extremen Niederschläge viele Todesopfer und Vertriebene zu beklagen.

Ein tropischer Wirbelsturm traf Bangladesch und Myanmar heftig. Auch Neuseeland hatte 2023 mit enormen Starkniederschlägen von 500 mm infolge eines Sturmtiefs zu kämpfen.

Hohe Ozeantemperaturen

Die Meeresoberflächentemperaturen waren während des ganzen Jahres 2023 aussergewöhnlich hoch und ab April 2023 – mit dem Einsetzen von El Niño im tropischen Pazifik – jeweils in jedem Monat höher als je zuvor in den entsprechenden Monaten. Hohe Temperaturen in den meisten Meeresbecken, insbesondere im Nordatlantik, spielten eine wichtige Rolle bei den rekordverdächtigen globalen Meeresoberflächentemperaturen. Die beispiellosen Werte waren mit Hitzewellen auf der ganzen Welt verbunden, unter anderem in Teilen des Mittelmeers, im Golf von Mexiko und in der Karibik, im Indischen Ozean und im Nordpazifik sowie in grossen Teilen des Nordatlantiks.

Meereis

Satelliten zeichnen den kontinuierlichen Rückgang der Ausdehnung des arktischen Meereises seit 1979 auf. In der 45-jährigen Messreihe war das jährliche Maximum der Ausdehnung das fünftniedrigste mit einer Fläche von 14,62 Millionen Quadratkilometern am 6. März 2023. Das jährliche Minimum von 4,23 Millionen Quadratkilometern wurde am 19. September erreicht. Es war das sechsniedrigste seit Beginn der Aufzeichnungen in der Satelliten-Ära.

Das antarktische Meereis erreichte am 21. Februar 2023 nach dem Rekord von 2022 erneut ein Allzeit-Minimum mit 1,79 Millionen Quadratkilometern. Die Meereisausdehnung blieb zu Beginn der Wachstumssaison unter dem Durchschnitt und erreichte im Mai ein Rekordtief. Das langsame Wachstum setzte sich mit aussergewöhnlich niedrigen Ausdehnungen zwischen Juli und Oktober fort. Die maximale antarktische Meereisausdehnung für 2023 betrug am 10. September 16,96 Millionen Quadratkilometer, etwa eine Million Quadratkilometer unter dem bisherigen Rekordtief von 1986.



5 Langjährige Klimaentwicklung

Dieses Kapitel gibt einen Überblick zur vergangenen Klimaentwicklung in der Schweiz, mit Bezug zum aktuellen Berichtsjahr. Für die primären Messgrössen 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 den essenziellen Klimavariablen des globalen Klima-Beobachtungssystems GCOS (Global Climate Observing System) [16]. Daraus werden die Bereiche Atmosphäre und Landoberfläche behandelt, mit dem Schwerpunkt auf den bodennahen

Beobachtungen (Tabelle 5.1). Es handelt sich dabei um die klassischen Messreihen von Temperatur und Niederschlag und daraus abgeleitete Parameter. Die Datengrundlagen und Methoden werden im Abschnitt 5.3 beschrieben.

Tabelle 5.1
Essenzielle Klimavariablen gemäss GCOS Second Adequacy Report [16], ergänzt mit den für die Schweiz zusätzlich relevanten Variablen.

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

Mit dem Ziel, die Entwicklung des Temperatur- und Niederschlagsregimes detailliert und global einheitlich zu erfassen, hat die Welt-Meteorologie-Organisation (WMO; World Meteorological Organization) aus der Temperatur und dem Niederschlag ein Set von spezifisch definierten

Klimaindikatoren abgeleitet [17]. Zusätzlich werden hier weitere für die Schweiz spezifische Klimaindikatoren diskutiert. Gemäss einer Empfehlung der WMO für Analysen zur Klimaentwicklung wird in diesem Kapitel die Normperiode 1961–1990 verwendet [18], [19].

Tabelle 5.2

Bezeichnung	Definition	Bedeutung/Charakteristik
Temperatur	Tagesmitteltemperatur konventionell (Morgen bis Morgen) aggregiert auf Monats- und Jahrestemperatur	Hauptindikator für die Veränderungen des Klimas und essentielle Klimavariablen [20].
Frosttage (WMO)	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)	Tage des Kalenderjahres mit maximaler Temperatur $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ (Definition gemäss Deutschem Wetterdienst [21])	Die Anzahl Sommertage hauptsächlich ist von der Höhenlage der Station abhängig. Als guter Klimaindikator vor allem in tiefen Lagen verwendbar.
Nullgradgrenze	Höhenkote mit der Temperatur 0°C , bestimmt auf der Basis von Messwerten mit Ballonsondierungen	Die Höhenlage der Nullgradgrenze ist ein Mass für den Wärmehalt der Atmosphäre im Höhenprofil.
Niederschlag	Tagessumme konventionell (Morgen bis Morgen) aggregiert auf Monats- und Jahressummen	Hauptindikator für die Veränderungen des Klimas und essentielle Klimavariablen [20].
Tage mit starkem Niederschlag (WMO)	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)	Niederschlagssumme der Tage im Kalenderjahr, an welchen der Tagesniederschlag $P > 95$ tes Perzentil der Tagesniederschläge erreicht (Referenz: 1961–1990)	Ein Tag gilt als sehr nass, wenn seine Niederschlags-summe grösser ist als die im langjährigen Durchschnitt 18 nassesten Tage im Jahr.
Max. Anzahl zusammenhängender Trockentage (WMO)	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	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	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 [22], [23], [24], [25].
Tage mit Neuschnee	Anzahl Tage mit messbarem Neuschnee der Monate Oktober bis März (Winterhalbjahr)	

Benutzte Klimaindikatoren aus den behandelten Bereichen Atmosphäre und Landoberfläche. Die WMO-Indikatoren sind definiert in WMO/ETCCDI [17].

5.1 Atmosphäre

5.1.1 Bodennahe Beobachtungen

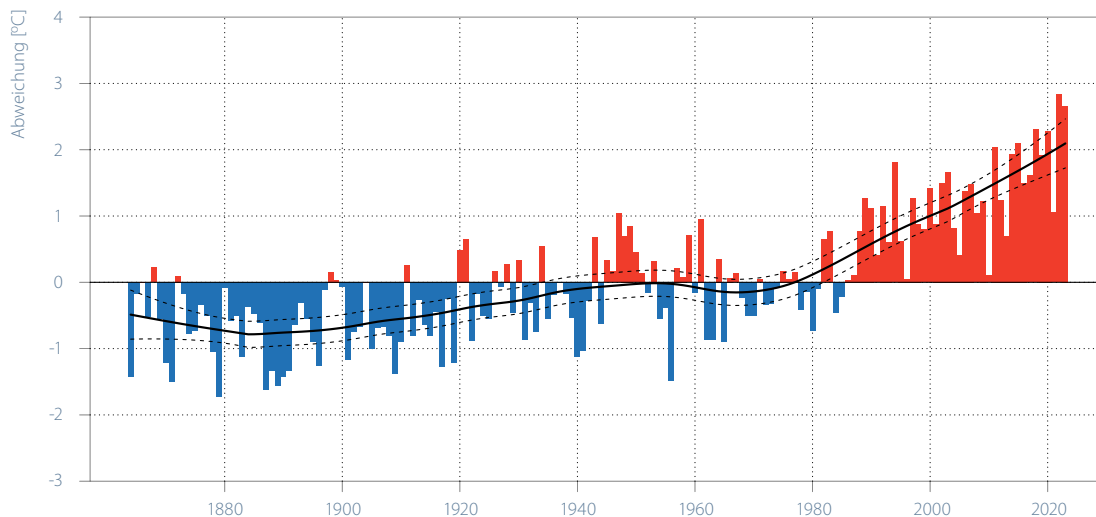
Die hier verwendeten Klimaindikatoren nach WMO (Tabelle 5.2) werden überwiegend exemplarisch anhand der Messreihen der Stationen Bern (nordalpines Flachland), Sion (inneralpines Tal), Davos (alpine Lage) und Lugano (Südschweiz) dargestellt. Berechnet werden sie als Jahreswerte, das heisst z.B. Anzahl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

Temperatur

Im Jahr 2023 erreichte die Schweizer Mitteltemperatur den zweithöchsten Wert seit Messbeginn 1864. Sie betrug $7,2^{\circ}\text{C}$. Das sind $2,7^{\circ}\text{C}$ mehr als in der Norm 1961–1990 und $+3,4^{\circ}\text{C}$ gegenüber der vorindustriellen Referenzperiode 1871–1900. Nur das Vorjahr 2022 war mit $7,4^{\circ}\text{C}$ leicht wärmer. Das Jahr 2023 setzt damit in der Schweiz den kräftigen Erwärmungstrend der letzten Jahre fort. Von der vorindustriellen Periode 1871–1900 bis aktuell stieg die Schweizer Jahrestemperatur um $2,8^{\circ}\text{C}$ an (vgl. [26]). Dies entspricht der Differenz des aktuellen Klimamittels, also der Temperatur, die man unter den heutigen Klimabedingungen im Jahresmittel erwarten würde, zum Mittel des vorindustriellen Referenzzeitraums.

Abbildung 5.1

Langjähriger Verlauf der jahreszeitlichen Temperatur, gemittelt über die gesamte Schweiz. Dargestellt ist die jährliche Abweichung der saisonalen Temperatur von der Norm 1961–1990 (rot = positive Abweichungen, blau = negative Abweichungen). Die schwarze Kurve zeigt das 30-jährige geglättete Mittel (lokale lineare Regression LOESS). Die gestrichelten Linien geben den Unsicherheitsbereich dieses Mittels an (95%-Konfidenzintervall).



Zusätzliche Informationen zu Klimaindikatoren:

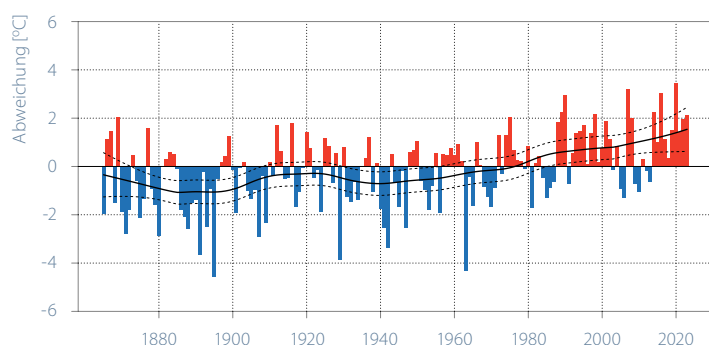
www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klimawandel/hitze-trockenheit-kaelte-und-schnee/klima-indikatoren.html

Der Winter 2022/2023 erreichte mit einer Abweichung von +2,1 °C zur Norm 1961–1990 den achten Rang seit Messbeginn 1864. Mit +1,9 °C zur Norm 1961–1990 gehörte der Frühling 2023 knapp zu den zwanzig wärmsten in der 160-jährigen Zeitreihe der Schweizer Mitteltemperatur. Auf den im Vergleich zum aktuellen Klimamittel leicht zu kühlen Frühling folgte ein etwas wärmerer Sommer. Die landesweite Durchschnittstemperatur im Sommer belegte denn auch den fünften Rang seit Messbeginn mit einer Abweichung von +3,4 °C zur Norm 1961–1990. Die weit überdurchschnittlich temperierten Monate September und Oktober sorgten letztlich dafür, dass der Herbst 2023 mit einer Temperaturabweichung von +2,9 °C

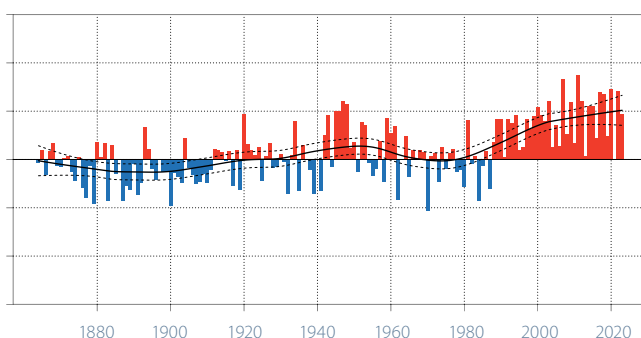
gegenüber dem Durchschnitt von 1961–1990 den zweiten Rang seit Beginn der systematischen Aufzeichnungen belegte. Der wärmste Herbst mit einer Abweichung von +3,1 °C zur Norm 1961–1990 stammt aus dem Jahr 2006.

Der Erwärmungstrend ist in allen Jahreszeiten signifikant. Winter und Frühling sind im aktuellen Klimamittel der jeweiligen Saison im Vergleich zur vorindustriellen Referenzperiode 1871–1900 um 2,6 °C wärmer. Die Sommermonate (Juni, Juli und August) sind im Mittel 3,3 °C wärmer geworden. Im Herbst ist die Erwärmung aktuell identisch zur Entwicklung im Jahresmittel (+2,8 °C gegenüber der vorindustriellen Zeit).

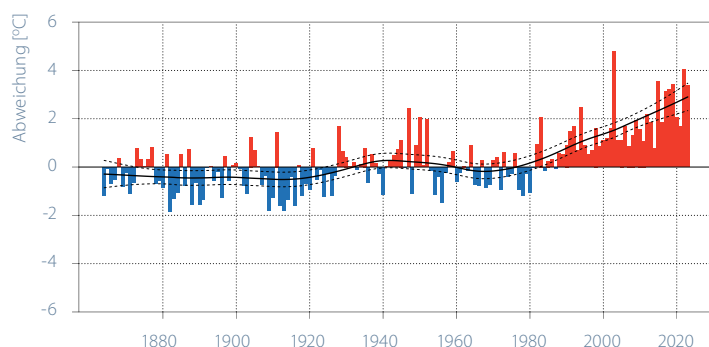
Winter (DEZ, JAN, FEB) 1864/65–2022/2023



Frühling (MÄR, APR, MAI) 1864–2023



Sommer (JUN, JUL, AUG) 1864–2023



Herbst (SEP, OKT, NOV) 1864–2023

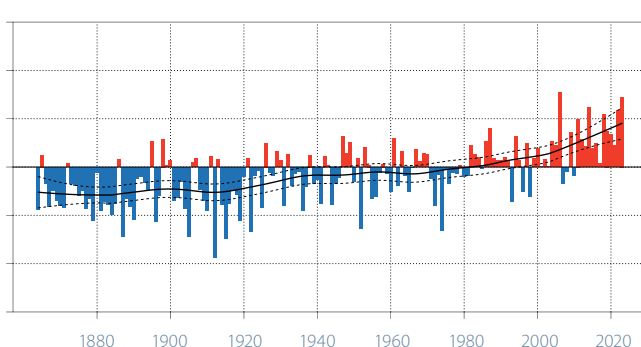


Abbildung 5.2

Langjähriger Verlauf der jahreszeitlichen Temperatur, gemittelt über die gesamte Schweiz. Dargestellt ist die jährliche Abweichung der saisonalen Temperatur von der Norm 1961–1990 (rot = positive Abweichungen, blau = negative Abweichungen). Die schwarze Kurve zeigt das 30-jährige geglättete Mittel (lokale lineare Regression LOESS). Die gestrichelten Linien geben den Unsicherheitsbereich dieses Mittels an (95 %-Konfidenzintervall).

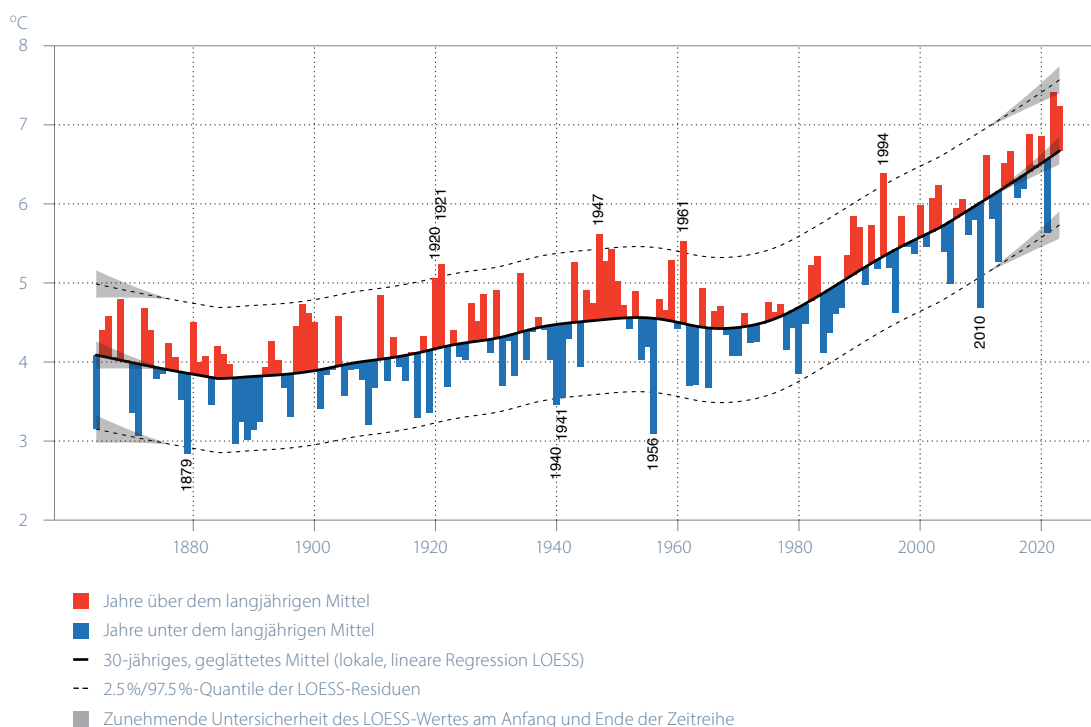
Das aktuelle Klimamittel für das Kalenderjahr 2023 liegt bei 6,7°C und ist damit 2,1°C (+/-0,4°C) über der Norm 1961–1990. Die Erwärmung des Schweizer Klimas hat sich etwa seit 1970 deutlich beschleunigt (Abbildung 5.3). Das Jahr 2023 lag 0,5°C über der Klima-Trendlinie, die für jedes Jahr das entsprechende aktuelle Klimamittel anzeigt, und war somit wärmer, als es im aktuellen Klima zu erwarten wäre. Gleiches gilt für das Vorjahr 2022. Im Gegensatz dazu war 2021 im Vergleich zum damals aktuellen Klima deutlich kühler.

Die grössten positiven Abweichungen zum damals geltenden Klimamittel zeigen Jahre wie 1994, 1961, 1947 und die aufeinanderfolgenden Jahre 1920/1921. All diese Jahre liegen ausserhalb des 95%-Schwankungsbereichs des

damals herrschenden Klimas und waren somit für die damaligen Bedingungen aussergewöhnlich warm. Bemerkenswert kalte Jahre für die zu der Zeit vorliegenden Klimabedingungen waren 2010, 1956, 1940 und 1941, sowie 1879. Die Mitteltemperaturen dieser Jahre lagen alle unterhalb des 95%-Schwankungsbereichs im damals aktuellen Klima.

Diese Darstellung zeigt sehr eindrücklich, dass ein im Vergleich zur gesamten Messperiode aussergewöhnlich warmes Jahr wie 2023 (Rang 2) durchaus im Bereich der Erwartungen des aktuellen Klimas liegen kann, oder dass ein Jahr wie 2021, das momentan unter den 25 wärmsten Jahren seit Messbeginn liegt, ein kühles Jahr im aktuellen Klima repräsentiert.

Abbildung 5.3
Langjähriger Verlauf der absoluten Jahrestemperatur, dargestellt als Abweichungen vom 30-jährigen geglätteten Mittel (lokale lineare Regression LOESS, schwarze Linie). Rote Balken zeigen Jahre mit Temperaturen über dem geglätteten Mittel, blaue Balken entsprechen Jahren mit Temperaturen unterhalb des geglätteten Mittels. Die gestrichelten Linien geben an, in welchem Wertebereich sich 95% der Jahreswerte um die Klima-Trendlinie herum bewegen.



Die rasante Erwärmung in der Schweiz führt dazu, dass die Jahre mit den höchsten Temperaturen gehäuft in den letzten Jahrzehnten zu finden sind. Die Jahre 2022 und 2023 liegen mit deutlichem Abstand vor allen übrigen Jahren. Unter den dreissig wärmsten Jahren seit Messbeginn 1864 liegen nur einzelne Vertreter aus der Zeit vor 1990. Die acht Spitzenreiter sind allesamt nach 2010 aufgetreten (Abbildung 5.4). Nur die Jahre 2010 und 2013 zählen in der Schweiz nicht zu den dreissig wärmsten Jahren. 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).

Ohne global wirksame Klimaschutzmassnahmen wird für die Schweiz eine weitere deutliche Erwärmung aufgrund des anthropogenen Klimawandels erwartet. Bis Ende des 21. Jahrhunderts soll die Zunahme der Jahresdurchschnittstemperatur laut den aktuellen Klimaszenarien CH2018, ausgehend vom Mittel 1981–2010, rund 3,3–5,4°C betragen. Die stärkste jahreszeitliche Erwärmung von 4,1–7,2°C wird für den Sommer berechnet für den Fall, dass die globalen Treibhausgasemissionen weitergehen wie bisher [27].

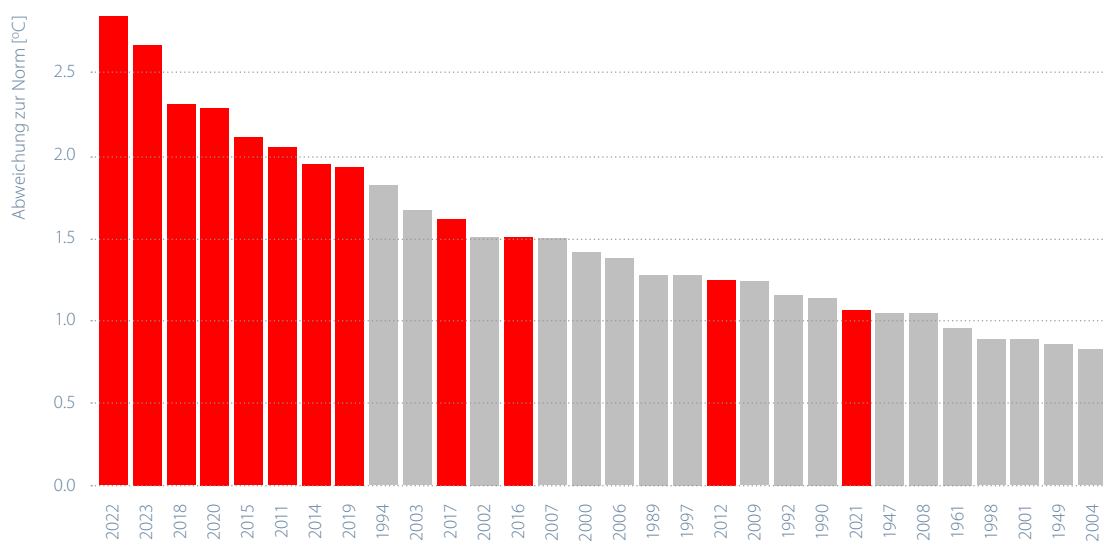


Abbildung 5.4

Rangliste der 30 wärmsten Jahre seit 1864. Die Balken zeigen die Abweichung der mittleren Schweizer Jahrestemperatur zur Norm 1961–1990. Die Jahre ab 2010 sind rot dargestellt.

Zusätzliche Informationen zur Temperaturentwicklung in der Schweiz:

www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klimawandel/entwicklung-temperatur-niederschlag-sonnenschein.html

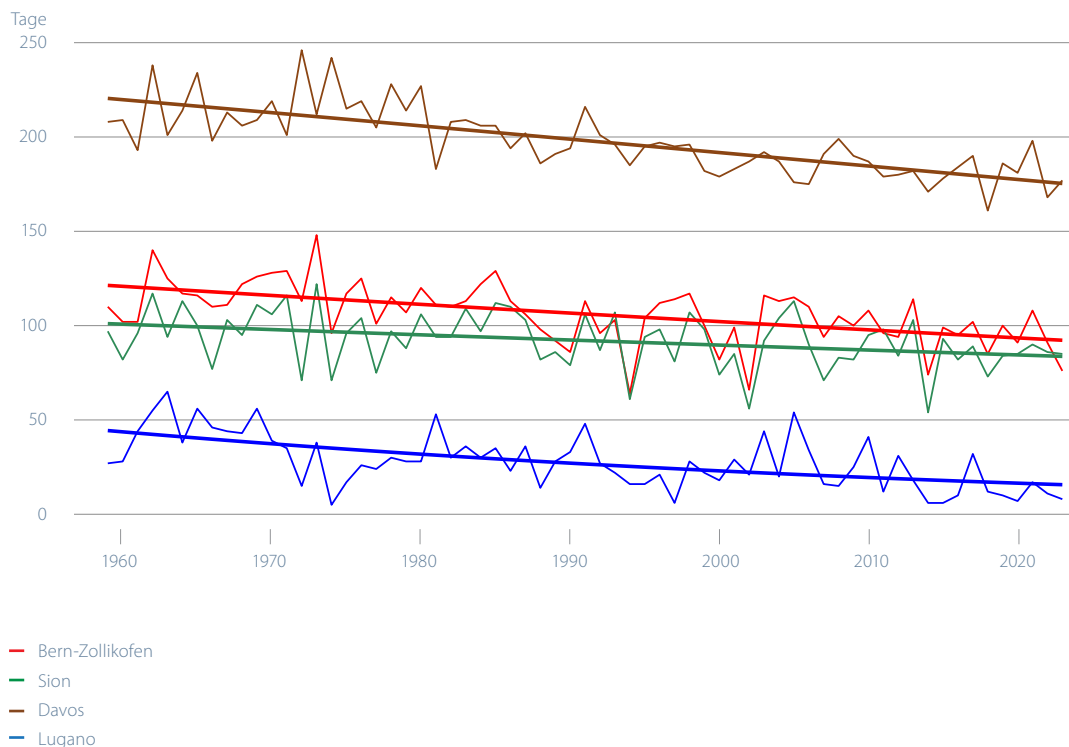
www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klimawandel/schweizer-klimaszenarien.html

Frosttage

Aufgrund der weit überdurchschnittlichen Temperaturen im Frühling, Herbst und Winter lag die Anzahl Frosttage 2023 an allen hier aufgeführten Messstandorten deutlich unter dem Durchschnitt der Periode 1961–1990. Nur gerade acht Tage wiesen in Lugano eine Minimumtemperatur unter 0°C auf. Das sind an diesem Standort weniger als ein Viertel der Normperiode 1961–1990 (35 Tage). Gut einen Drittel weniger Frosttage hatte der Messstandort Bern/Zollikofen zu verzeichnen. Dort gab es 76 Frosttage (Normwert: 115). An der höchstgelegenen der hier gezeigten Messstationen in Davos wurden über das vergangene Kalenderjahr 177 Frosttage gezählt. Das sind rund 15% weniger als in der Norm 1961–1990 (210). Auch in Sion wurden mit 85 Frosttagen im letzten Jahr, statt 98 Tagen wie in der Norm, etwa 15% weniger Tage mit Temperaturen unter 0°C registriert.

Mit der kräftigen Wintererwärmung der letzten Jahrzehnte ist in allen Messreihen von Bern, Davos, Sion und Lugano ein signifikanter Rückgang der Anzahl Frosttage festzustellen. Pro Jahrzehnt werden hier rund zwei bis sieben Frosttage weniger verzeichnet.

Abbildung 5.5
Zeitlicher Verlauf der Frosttage (Tage des Kalenderjahres mit minimaler Temperatur <0°C) für die Stationen Bern, Sion, Davos und Lugano.



Gemäss den Klimaszenarien CH2018 [27] dürfte die Anzahl Frosttage in Lugano bis 2060 auf 5–14 Tage pro Jahr sinken, wenn der Treibhausgasausstoss unvermindert weitergeht. In Bern wäre noch mit etwa 50–70 Frosttagen pro Jahr zu rechnen.

Sommertage

Der fünftwärmste Sommer seit Messbeginn 1864 hinterliess seine Spuren auch in Form vieler Tage mit Maximaltemperaturen von 25 °C und mehr. Von den vier hier gezeigten Messstandorten erreichte Sion mit 103 Sommertagen die grösste Anzahl im Jahr 2023. Dies entspricht nicht ganz der doppelten Menge an Sommertagen der Norm 1961–1990 (56 Sommertage). Ähnlich viele Sommertage wiesen die Stationen Bern/Zollikofen (83 Sommertage) und Lugano (88 Sommertage) auf. In Bern wurde der bisherige Höchstwert aus dem Rekordsommer 2003 egalisiert. Im Durchschnitt der Normperiode 1961–1990 waren es in Bern jedoch nur etwa 31 Tage pro Jahr, wohingegen damals in Lugano 50 Sommertage pro Jahr erreicht wurden. Davos zählte trotz seiner Höhe 17 Tage mit 25 °C und mehr. In der Normperiode 1961–1990 wurde dort durchschnittlich gerademal ein Sommertag pro Jahr

registriert. Sommertage kommen also auch in höheren Lagen im heutigen Klima zunehmend vor.

In allen der vier dargestellten Messreihen ist der Trend hin zu immer mehr Sommertagen signifikant. Pro Jahrzehnt werden in Bern ungefähr fünf, in Sion sechs und in Lugano acht Sommertage mehr verzeichnet. In Davos, auf 1600 m ü. M., entspricht der Anstieg gut zwei zusätzlichen Sommertagen mehr pro Jahrzehnt.

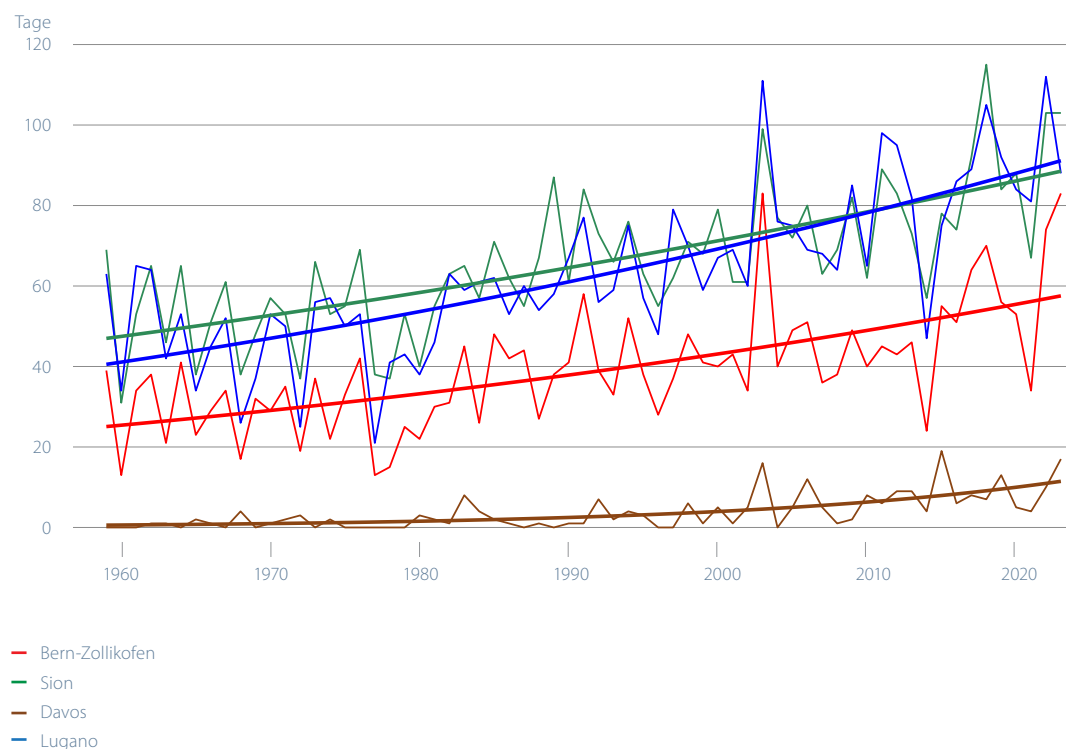


Abbildung 5.6

Zeitlicher Verlauf der Sommertage (Tage des Kalenderjahres mit maximaler Temperatur ≥ 25 °C) für die Stationen Bern, Sion, Davos und Lugano.

Hält die zunehmende Entwicklung der globalen Treibhausgaskonzentrationen wie bisher an, dürfte sich die Zahl der Sommertage in einem durchschnittlichen Jahr bis 2060 in den tieferliegenden Regionen des Landes mehr als verdoppeln gegenüber der Norm 1961–1990.

Für Bern könnten etwa 70–90 Sommertage zur Regel werden, für Davos 15–40 Sommertage, was etwa dem Schwankungsbereich während der Normperiode am Messstandort in Bern entspricht [27].

Niederschlag

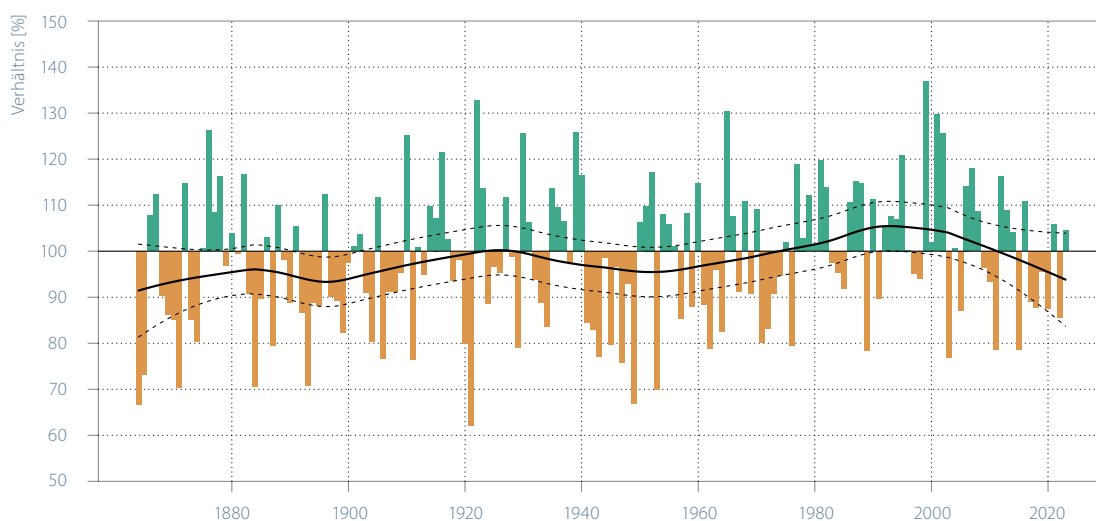
Im Jahresmittel 2023 lagen die Niederschlagsmengen nördlich der Alpen mit 105 % im Bereich der Norm 1961–1990 (Abbildung 5.7). Zwischen den einzelnen Jahreszeiten zeigten sich grosse Unterschiede. Der Winter war im Mittelland mit 78 % der Norm verhältnismässig trocken (Abbildung 5.8). Der Frühlingsniederschlag entsprach fast exakt der Norm (99%), der Sommer hingegen fiel mit 81 % wieder etwas trockener aus als in der Norm 1961–1990. Der Herbst auf der Alpennordseite zählte mit 153 % der Norm zu den 15 nassesten seit Messbeginn 1864.

Auf der Alpensüdseite waren die Jahresniederschlagsmengen ebenfalls im Normbereich (Abbildung 5.9). Dort wurden über die gesamten zwölf Monate 95 % des Normniederschlags 1961–1990 erreicht. Im Winter fiel mit 47 % nicht einmal die Hälfte eines Normniederschlags für

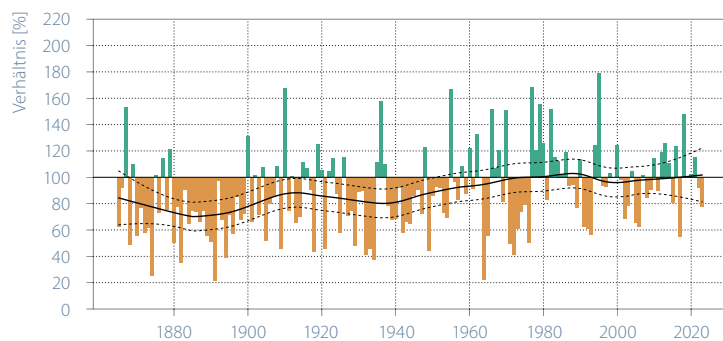
die Periode 1961–1990 (Abbildung 5.10). Etwas weniger trocken war der Frühling in der Südschweiz. Dort wurden 73 % der normalen Niederschläge registriert. Sommer und Herbst boten auf der Alpensüdseite dann leicht überdurchschnittliche Niederschlagsmengen, nämlich 116 % resp. 115 %.

Die Niederschlagsentwicklung im Zeitraum 1864–2023 im Mittelland und auf der Alpensüdseite zeigt starke Schwankungen von Jahr zu Jahr und über mehrere Jahre, sowohl im Jahresmittel als auch in allen Jahreszeiten. Einzig im Winter ist bis heute im Mittelland eine signifikante Zunahme der mittleren Niederschläge um mehr als 40% gegenüber der vorindustriellen Referenzperiode festzustellen. In den übrigen Jahreszeiten gibt es keinen klaren Trend für eine Zu- oder Abnahme der Niederschlagssummen.

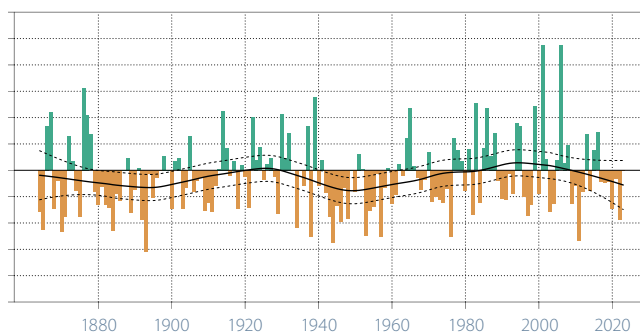
Abbildung 5.7
Langjähriger Verlauf der Jahres-Niederschlagssummen für das Mittelland. Dargestellt ist das Verhältnis der Jahres-Niederschlagssummen zur Norm 1961–1990 (grün = positive Abweichungen, braun = negative Abweichungen). Die schwarze Kurve zeigt das 30-jährige geglättete Mittel (lokale lineare Regression LOESS). Die gestrichelten Linien geben den Unsicherheitsbereich dieses Mittels an (95%-Konfidenzintervall).



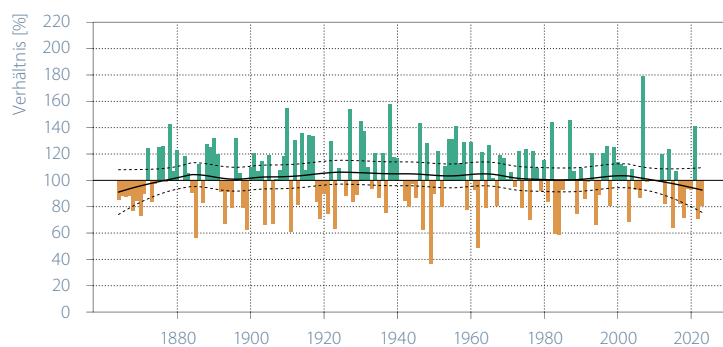
Winter (DEZ, JAN, FEB) 100% = rund 200 mm



Frühling (MÄR, APR, MAI) 100% = rund 250 mm



Sommer (JUN, JUL, AUG) 100% = rund 300 mm



Herbst (SEP, OKT, NOV) 100% = rund 250 mm

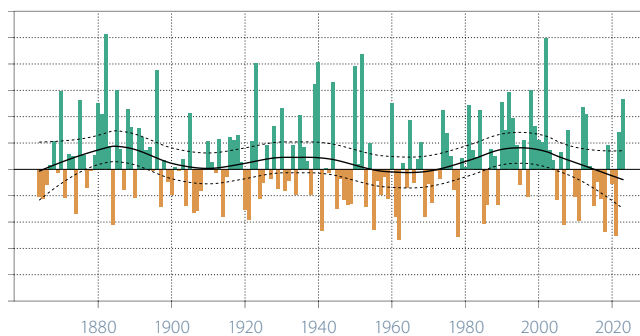
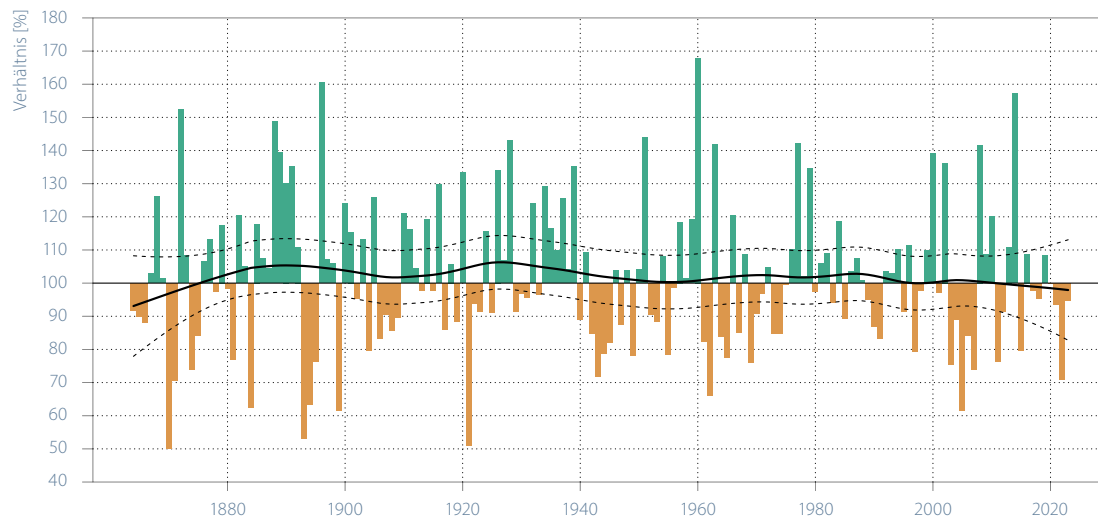


Abbildung 5.8

Langjähriger Verlauf der jahreszeitlichen Niederschlagssummen für das Mittelland. Dargestellt ist das Verhältnis der saisonalen Niederschlagssummen zur Norm 1961–1990 (grün = positive Abweichungen, braun = negative Abweichungen). Die schwarze Kurve zeigt das 30-jährige geglättete Mittel (lokale lineare Regression LOESS). Die gestrichelten Linien geben den Unsicherheitsbereich dieses Mittels an (95%-Konfidenzintervall). Man beachte, dass die Sommer 2008–2011 ziemlich genau 100% Niederschlag (bzgl. Norm 1961–1990) lieferten, was in der Grafik als „fehlende“ Säulen zum Ausdruck kommt.

Abbildung 5.9

Langjähriger Verlauf der Jahres-Niederschlags-summen in der Süd-schweiz. Dargestellt ist das Verhältnis der Jahres-Niederschlags-summen zur Norm 1961–1990 (grün = positive Abweichungen, braun = negative Abweichungen). Die schwarze Kurve zeigt das 30-jährige geglättete Mittel (lokale lineare Regression LOESS). Die gestrichelten Linien geben den Unsicherheitsbereich dieses Mittels an (95%-Konfidenzintervall).

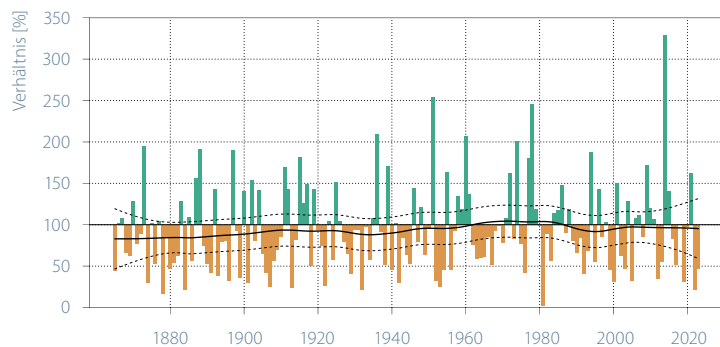


Zusätzliche Informationen zur Niederschlagsentwicklung in der Schweiz:

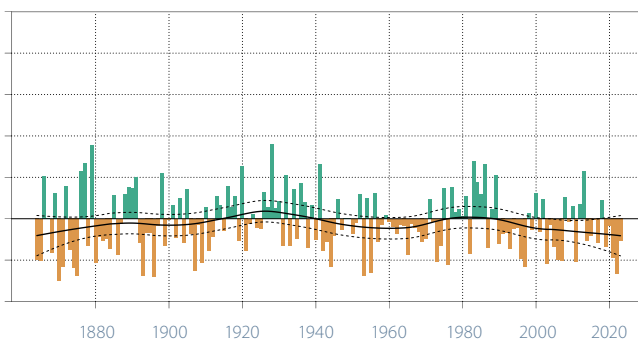
www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klimawandel/entwicklung-temperatur-niederschlag-sonnenschein.html

www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klimawandel/schweizer-klimaszenarien.html

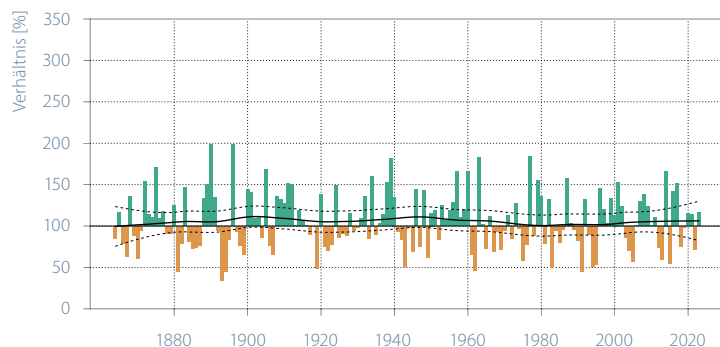
Winter (DEZ, JAN, FEB) 100% = rund 220 mm



Frühling (MÄR, APR, MAI) 100% = rund 480 mm



Sommer (JUN, JUL, AUG) 100% = rund 520 mm



Herbst (SEP, OKT, NOV) 100% = rund 470 mm

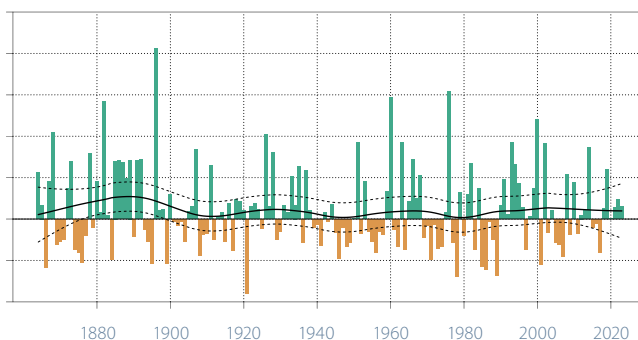


Abbildung 5.10

Langjähriger Verlauf der jahreszeitlichen Niederschlagssummen in der Südschweiz. Dargestellt ist das Verhältnis der saisonalen Niederschlagssummen zur Norm 1961–1990 (grün = positive Abweichungen, braun = negative Abweichungen). Die schwarze Kurve zeigt das 30-jährige geglättete Mittel (lokale lineare Regression LOESS). Die gestrichelten Linien geben den Unsicherheitsbereich dieses Mittels an (95%-Konfidenzintervall).

Ohne global wirksame Interventionsmassnahmen wird für die Schweiz in Zukunft im Sommer eine Niederschlagsabnahme erwartet. Bis Ende dieses Jahrhunderts sind laut den aktuellen Klimaszenarien, ausgehend vom Mittel 1981–2010, Niederschlagsänderungen zwischen +2% bis gegen -39% möglich. Für den Winter ist dagegen mit einer Zunahme zu rechnen, welche sich zwischen +2% und +24% bewegen könnte [27].

Tage mit starkem Niederschlag

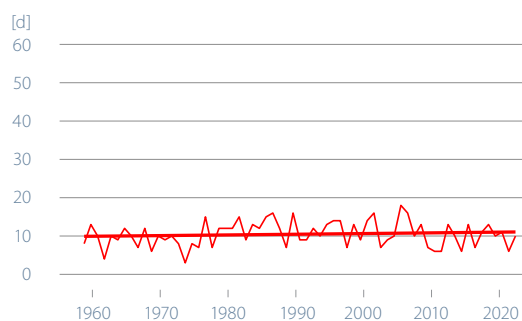
Ähnlich wie die durchschnittlichen Niederschlagsmengen im Jahr 2023 war auch die Anzahl Tage mit starkem Niederschlag an drei von vier Messstandorten sehr nah oder genau auf dem Normwert der Periode 1961–1990 (Abbildung 5.11). In Bern wurden zehn Tage mit mehr als 20 mm Niederschlag registriert (Norm 10), in Davos elf (Norm 10) und in Lugano 26 Tage (Norm 26). In Sion (Norm 5) wurden hingegen 14 Tage mit mehr als 20 mm Niederschlag registriert. Seit 1959 zeigen die vier gezeigten Messstandorte keine signifikanten Trends hin zu einer Zu- oder Abnahme der Tage mit starkem Niederschlag.

Die Veränderung von Starkniederschlägen wurde an 192 Standorten für den Zeitraum 1901–2023 untersucht. 91 % der Standorte zeigen eine Zunahme der Intensität der grössten Tagesniederschläge pro Jahr, wovon 22 % eine signifikante Zunahme zeigen. Die Häufigkeit der Anzahl Tage pro Jahr mit Tagesniederschlag über dem 99. Perzentil hat an 90 % der Standorte zugenommen, wovon 31 % eine signifikante Zunahme zeigen [28].

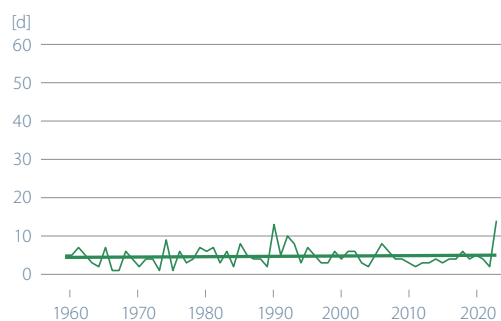
Die Klimaszenarien CH2018 deuten auch für die Zukunft auf eine Zunahme der Extrem- und Starkniederschläge hin. Der stärkste Eintagesniederschlag pro Jahr dürfte bis 2060 um 10 % gegenüber 1981–2010 zunehmen [27].

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

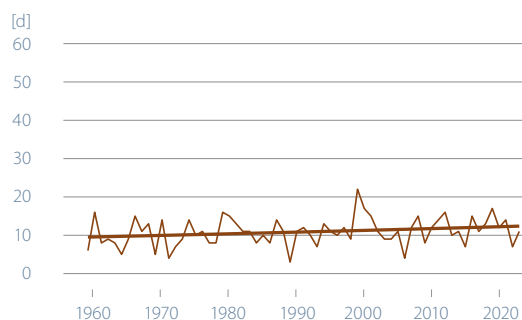
Bern-Zollikofen



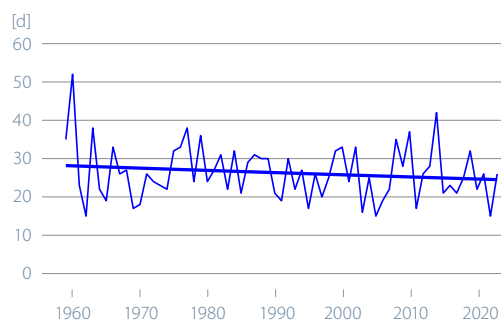
Sion



Davos



Lugano



Niederschlag der sehr nassen Tage

Die Niederschlagssumme der sehr nassen Tage war an drei der vier Messstationen über der Norm 1961–1990 (Abbildung 5.12). In Lugano wurden an den 5% der Tage mit den intensivsten Niederschlägen insgesamt 920 mm gemessen (Norm 858 mm). In Davos waren es 280 mm (Normwert: 214 mm), in Sion 131 mm (Normwert: 98 mm). Einzig am Messtandort Bern/Zollikofen blieben die Werte für 2023 unter der Norm 1961–1990: Dort wurden 142 mm verzeichnet (Norm: 216 mm). Im langfristigen Verlauf zeigt keine der hier genannten Stationen einen signifikanten Trend.

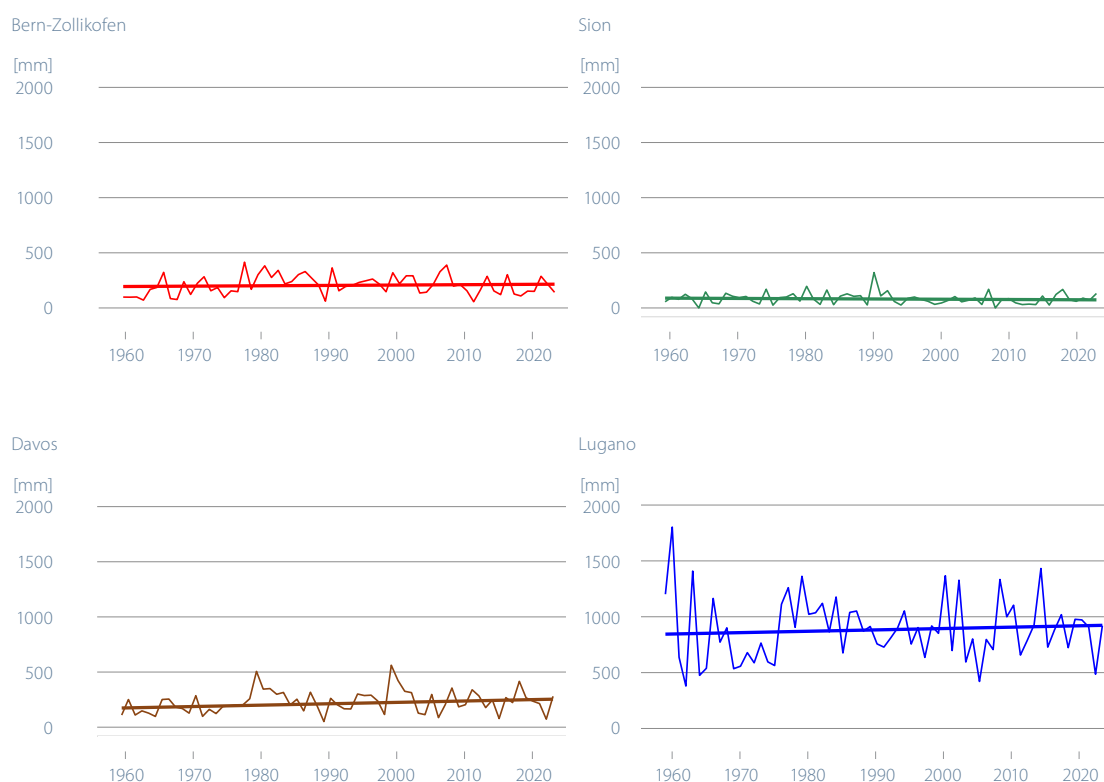


Abbildung 5.12

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

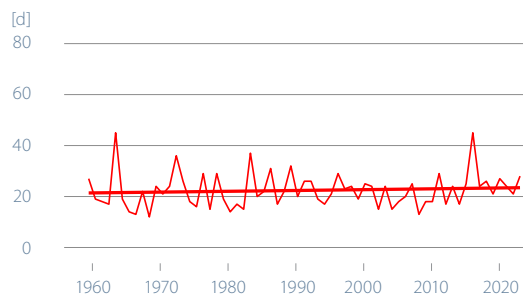
Trockenperioden

Längere Trockenphasen als in der Norm 1961–1990 gab es im Jahr 2023 in Sion mit 49 aufeinanderfolgenden Tagen ohne Niederschlag (Norm 30), in Bern mit 28 Tagen (Norm 22) und in Lugano mit 37 regenf freien Tagen ohne Pause (Norm 33, Abbildung 5.13). In Davos wurden maximal 18 aufeinanderfolgende Tage ohne Niederschlag gezählt (Norm 22). Im langfristigen Verlauf zeigt keine der genannten Messreihen einen signifikanten Trend zu längeren oder kürzeren Trockenperioden.

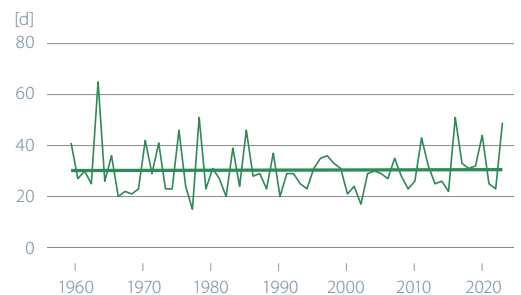
Gemäss den aktuellen Klimaszenarien ist bis 2060 von einer Zunahme der längsten Trockenperiode eines Jahres um bis zu neun Tage zu rechnen, wenn die globalen Treibhausgasemissionen nicht drastisch reduziert werden [27].

Abbildung 5.13
Dauer (Anzahl Tage) der längsten Trockenperiode pro Kalenderjahr für die Stationen Bern, Sion, Davos und Lugano.

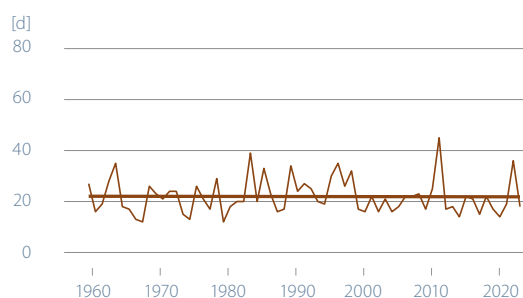
Bern-Zollikofen



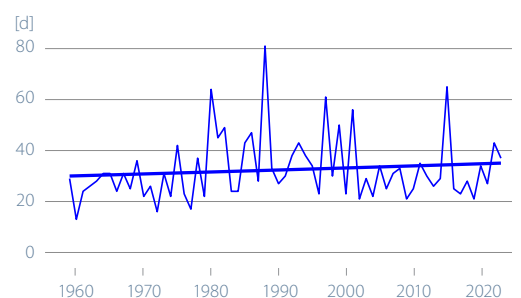
Sion



Davos



Lugano



Trockenheitsindex

Trockenheit kann auf verschiedene Arten verstanden werden. Ganz allgemein ist sie als Niederschlagsdefizit über eine längere Zeit, d.h. mehrere Monate bis mehrere Jahreszeiten definiert. Je nach Dauer einer Trockenheit betrifft die Wasserknappheit verschiedene Bereiche (Land- und Forstwirtschaft, Wasser- und Energieversorgung, Schifffahrt) unterschiedlich stark. Hier wird anhand des SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index) die Wasserbilanz der Monate April bis September aufgezeigt.

Das Sommerhalbjahr (Vegetationsperiode) ist der entscheidende Zeitraum für die Landwirtschaft. Die Messungen in Bern zeigen, dass mit Ausnahme des Jahres 2021 alle letzten Jahre über die Monate April bis Sep-

tember negative Wasserbilanzen aufwiesen. Das Sommerhalbjahr 2023 gehörte zu den trockensten in dieser Reihe, der Index erreichte sogar einen tieferen Wert als im letzten extremen Sommer 2018 [29] erreicht (Abbildung 5.14). Häufigere trockenere Sommer entsprechen der Erwartung in einem sich erwärmenden Klima mit höherer Verdunstung [30].

Die Jahre mit sehr niedrigen SPEI-Werten (1947, 1865, 2003, 1949, 1893, 1911) in dieser Reihe entsprechen genau denjenigen Jahren, in welchen die grössten landwirtschaftlichen Schäden auftraten. Die ausgeprägten Perioden mit negativem SPEI stimmen gut überein mit bekannten Dürreereignissen während der letzten 150 Jahre [31], [32].

SPEI Bern-Zollikofen

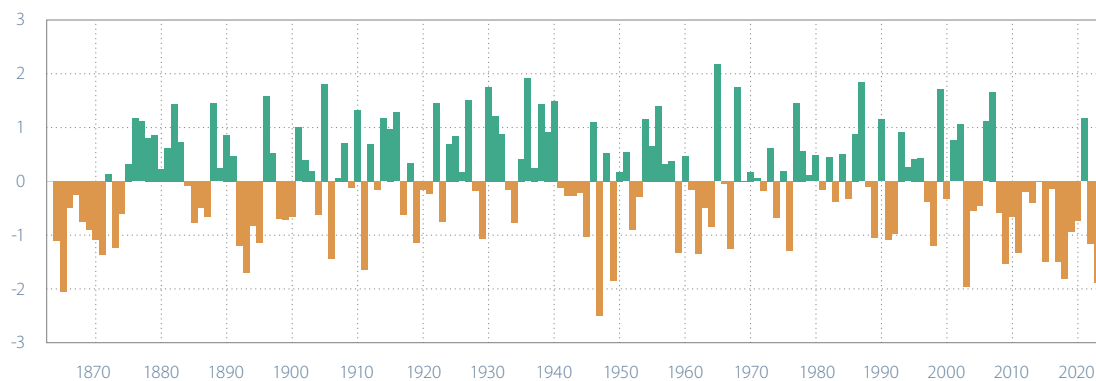


Abbildung 5.14

SPEI über die gesamte Vegetationsperiode (6 Monate, April bis September) an der Messstation Bern. Positive Werte bedeuten feuchtere und negative Werte rockenere Bedingungen als im Median (1864–2023).





5.1.2 Freie Atmosphäre

Nullgradgrenze

Aus den täglich um 11 Uhr und 23 Uhr UTC mittels Ballonsondierungen ab Payerne gemessenen Nullgradgrenzen wird für jedes Jahr seit 1959 ein Median bestimmt. Die im Jahr 2022 aufgezeichnete mittlere Höhe der Nullgradgrenze betrug 2505 m. Dieser Wert liegt 325 m unter jenem des Vorjahres 2021.

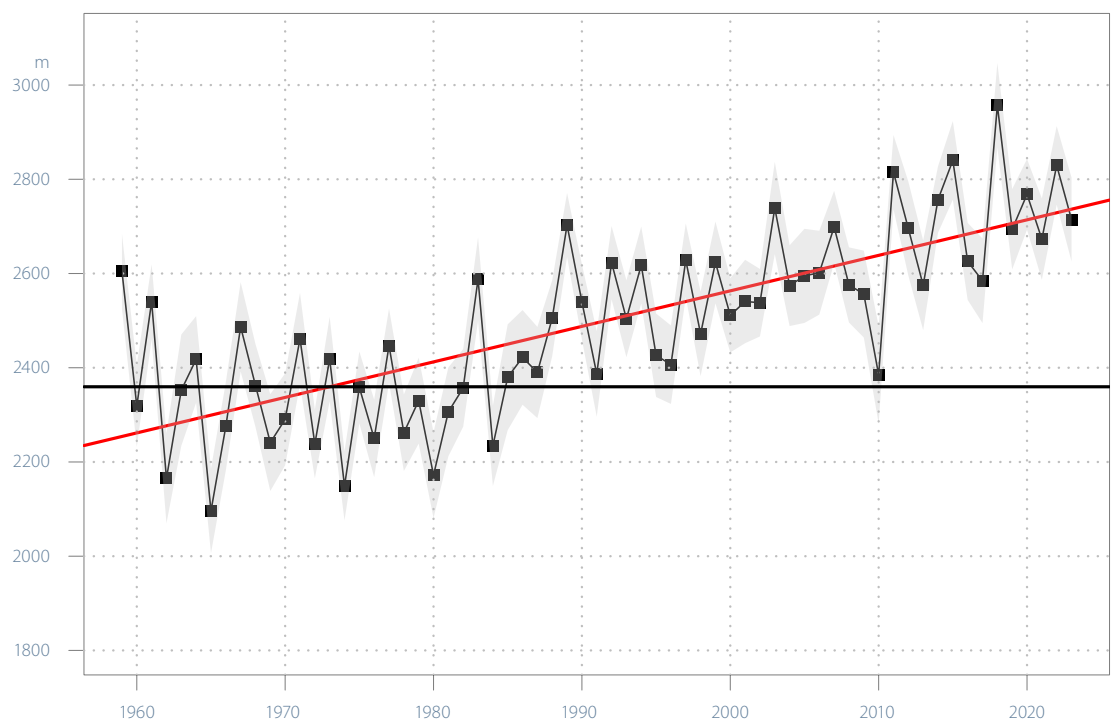
Abbildung 5.15 zeigt den zunehmenden Trend der Nullgradgrenze (rote Linie) über den Zeitraum 1959–2023. Der langfristige Trend gibt aber keine Auskunft über kurzfristige Veränderungen, welche auch gegen diese Entwicklung gerichtet sein können, wie z.B. im Zeitraum 1959–1987. Die Abbildung zeigt deshalb zusätzlich die Schwankungen von Jahr zu Jahr um den linearen Trend (schwarze Linie und Rechtecke) und die Unsicherheit bei der Bestimmung der Jahreswerte (graue Fläche).

Der Trend zu einer Erhöhung der Nullgradgrenze ist ab den 1990er Jahren besonders ausgeprägt. In diesem Zeitrahmen markiert das Jahr 2018 den Rekord der gesamten Zeitreihe mit einem Wert von 2957 m, 597 m über dem Median der Norm 1961–1990 (2360 m). Der Minimalwert von 2087 m wurde im Jahr 1965 erreicht, 270 m unter dem

Referenzwert. In den letzten 30 Jahren ist die Nullgradgrenze systematisch angestiegen und dient damit als eindeutiger Indikator für die Erwärmung der Troposphäre. Die Jahresmediane im Zeitraum 1959–1990 schwanken um den Mittelwert der Referenzperiode 1961–1990, ohne einen signifikanten Trend zu zeigen. Im Gegensatz zeigt sich in der zweiten Hälfte der Zeitreihe 1990–2023 ein klarer Trend zu immer grösseren Abweichungen der Nullgradgrenze von der Norm, mit dem bisherigen Rekord aus dem Jahr 2018.

Die Entwicklung der Nullgradgrenze folgt eng der Entwicklung der Jahresdurchschnittstemperatur in der Schweiz (Abbildung 5.1). Wie in Abbildung 5.15 gezeigt, stieg der Jahresmedian der Nullgradgrenze im Zeitraum 1990–2023 deutlich an. Dies trifft auch auf die saisonalen Trends der Nullgradgrenze zu (Abbildung 5.16). Tabelle 5.3 zeigt die Minima und Maxima aus den saisonalen Zeitreihen der Nullgradgrenze. Drei saisonale Höchstwerte wurden nach 2018 erreicht, der vierte im Jahr 2007.

Abbildung 5.15
Jahresmedian der Nullgradgrenze über den Zeitraum 1959–2023, ermittelt aus den täglichen Ballonsondierungen der aerologischen Station Payerne. Die schwarze Linie zeigt den Median der Jahreshöhen im Referenzzeitraum 1961–1990 (2360 m). Die rote Linie zeigt den linearen Trend (signifikant). Der graue Bereich um den Median entspricht der Messunsicherheit.



Trend (1959–2023) = 75 m/10 Jahre
Norm (1961–1990) = 2360 m

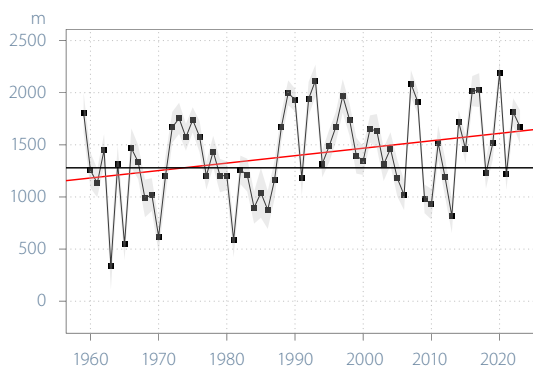
Besonders die warmen Jahreszeiten Frühling (84 m/10 Jahre) und Sommer (90 m/10 Jahre) zeigen ein ähnliches Muster wie die Entwicklung der Jahreswerte (75 m/10 Jahre) in Abbildung 5.15, mit der Beschleunigung des Trends ab etwa 1990. Auch die etwas weniger stark ansteigenden Trends im Winter und Herbst sind signifikant. Im Winter nimmt die Nullgradgrenze um 71 m/10 Jahre zu, am flachsten ist der Trend im Herbst mit 52 m/10 Jahre.

	Winter (DEZ–FEB)	Frühling (MÄR–MAI)	Sommer (JUN–AUG)	Herbst (SEP–NOV)
Minima in m (Jahr)	341 m (1963)	1473 m (1962)	3106 m (1977)	1535 m (1974)
Maxima in m (Jahr)	2191 m (2020)	2619 m (2007)	3962 m (2022)	3380 m (2018)

Tabelle 5.3

Saisonale Minima und Maxima der Nullgradgrenze in den jeweiligen Zeitreihen.

Winter
Trend (1959–2023) = 71 m/10 Jahre
Norm (1961–1990) = 1279 m



Frühling
Trend (1959–2023) = 84 m/10 Jahre
Norm (1961–1990) = 1882 m

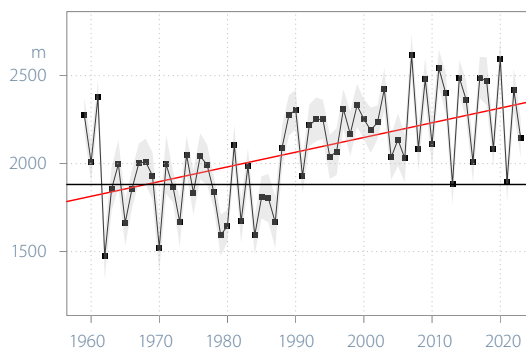
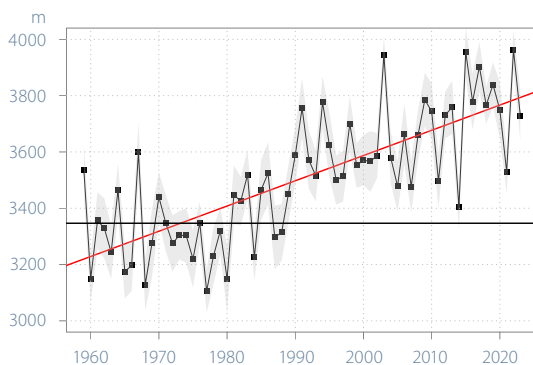


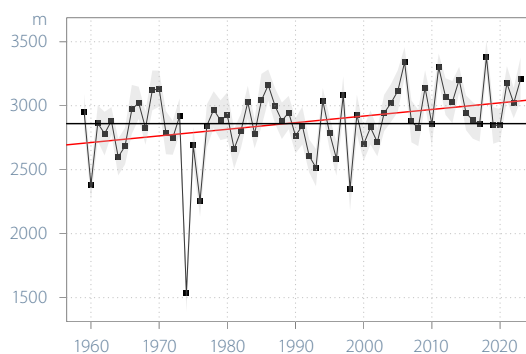
Abbildung 5.16

Saisonale Medianwerte der Nullgradgrenze über den Zeitraum 1959–2023. Die schwarze Linie zeigt die saisonalen Medianwerte für die Norm 1961–1990. Die rote Linie zeigt den linearen Trend über die gesamte Zeitreihe. Der graue Bereich um den Median entspricht der Messunsicherheit.

Sommer
Trend (1959–2023) = 90 m/10 Jahre
Norm (1961–1990) = 3347 m



Herbst
Trend (1959–2023) = 52 m/10 Jahre
Norm (1961–1990) = 2860 m

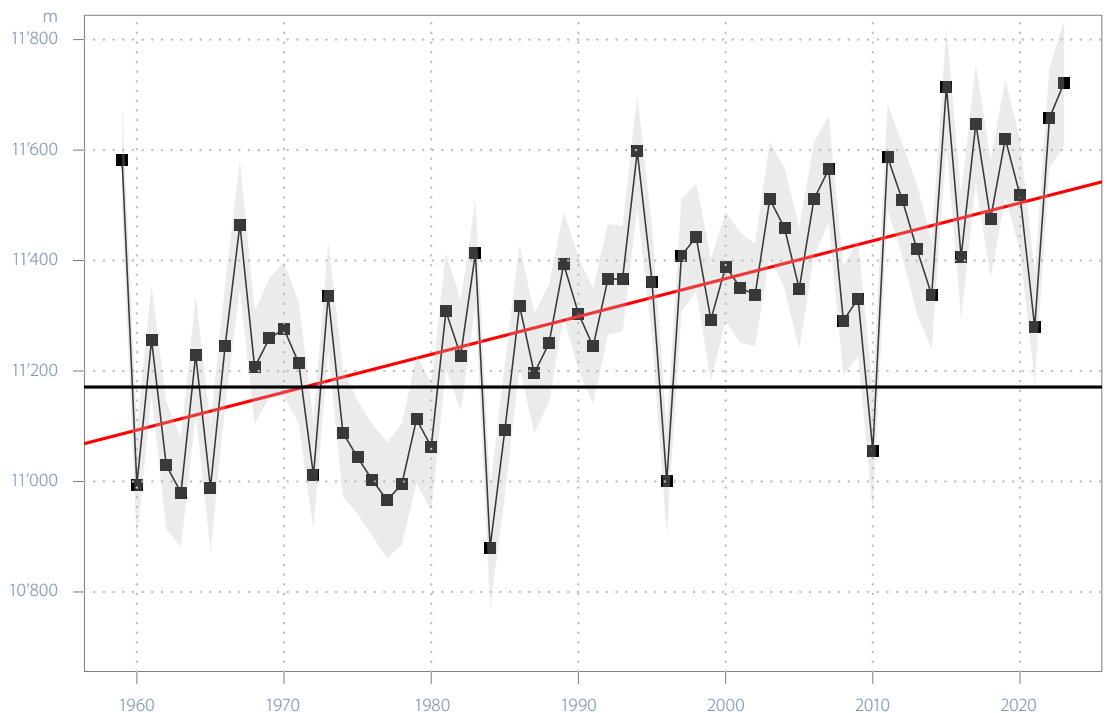


Tropopausenhöhe

Die Höhe der Tropopause wird nach der WMO-Definition der thermischen Tropopause [33] aus dem Temperaturprofil auf Grundlage der Ballonsondierungen in Payerne berechnet. Die in Abbildung 5.17 dargestellten Jahreswerte seit 1959 entsprechen dem jeweiligen Median aller innerhalb eines Jahres gemessenen Tropopausenhöhen. Wie die Nullgradgrenze zeigt auch die Tropopausenhöhe einen steigenden Trend über den gesamten Zeitraum 1959–2023 (rote Linie). Der graue Bereich entspricht der Unsicherheit der Jahresmedianwerte. Die horizontale schwarze Linie zeigt als Referenzwert den Median aller Jahreswerte über den Normzeitraum 1961–1990.

Im Jahr 2023 erreichte die Tropopause eine mittlere Höhe von 11'722 m. Das ist 551 m höher als der Median über die Normperiode (11'171 m) und 64 m über dem Vorjahreswert. Die mittlere Jahreshöhe von 2023 markiert auch den neuen Rekord seit Beginn der Zeitreihe 1959. Dieser Wert liegt 8 m über dem bisherigen Rekord aus dem Jahr 2015 (11'714 m). Die lineare Höhenzunahme der Tropopause seit 1959 ist statistisch signifikant (69 m pro 10 Jahre), und dies trotz der starken Jahr-zu-Jahr-Variabilität und deutlichen Ausbrüchen nach unten wie in den Jahren 1984 (absolutes Minimum von 10'880 m), 1996 und 2010. Im Allgemeinen stimmt dieser Trend mit der Entwicklung der Nullgradgrenze überein (Abbildung 5.15).

Abbildung 5.17
Jahresmedianwert der Tropopausenhöhe 1959–2023, die aus den täglichen Ballonsondierungen der aerologischen Station Payerne bestimmt werden. Die schwarze Linie zeigt den Median für die Normperiode 1961–1990 (11'171 m). Der graue Bereich um den Median entspricht der Messunsicherheit.



Trend (1959–2023) = 69 m/10 Jahre
 Norm (1961–1990) = 11'171 m

Die Tropopausenhöhe nahm insbesondere im Zeitraum 1990–2023 deutlich zu. Ein ähnliches Bild zeigt sich in den saisonalen Trends in Abbildung 5.18. Im Frühjahr (März, April, Mai) und Sommer (Juni, Juli, August) überschreiten die Jahreswerte etwa ab 1990 fast durchgehend den Median der Norm 1961–1990 (10'584 m resp. 11'673 m). Wie bei der Nullgradgrenze sind auch die Trends der Tropopausenhöhe im Winter (Dezember, Januar, Februar) und Herbst (September, Oktober, November) etwas

schwächer. Im Winter ist die Zunahme dennoch signifikant. Nur der Herbst zeigt keinen klaren Trend, die Jahreswerte schwanken um den Median der Referenzperiode.

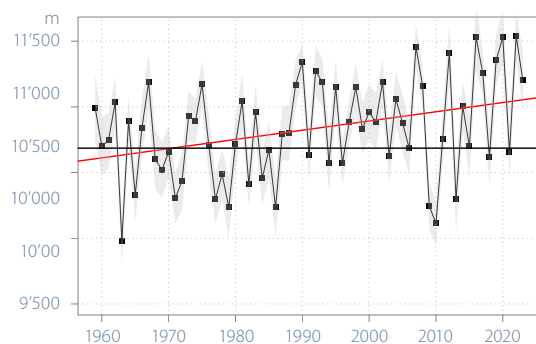
Tabelle 5.4 zeigt die Tiefst- und Höchstwerte der Tropopausenhöhe in den saisonalen Zeitreihen. Dazu gehören auch die jüngeren Höchstwerte in der Zeitreihe ab 1959: Der Winterrekord aus dem Jahr 2022 und der Rekord aus dem Frühjahr 2017.

	Winter (DEZ–FEB)	Frühling (MÄR–MAI)	Sommer (JUN–AUG)	Herbst (SEP–NOV)
Minima in m (Jahr)	9982 m (1963)	10'060 m (1984)	11'178 m (1977)	10'599 m (1974)
Maxima in m (Jahr)	11'540 m (2022)	11'410 m (2017)	12'413 m (2003)	12'328 m (1970)

Tabelle 5.4

Saisonale Minima und Maxima der Tropopausenhöhe in den jeweiligen Zeitreihen.

Winter
Trend (1959–2023) = 70 m/10 Jahre
Norm (1961–1990) = 10'686 m



Frühling
Trend (1959–2023) = 76 m/10 Jahre
Norm (1961–1990) = 10'584 m

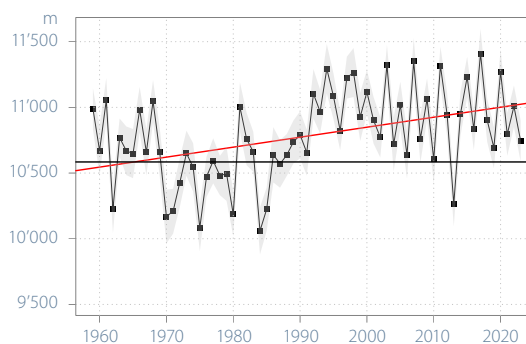
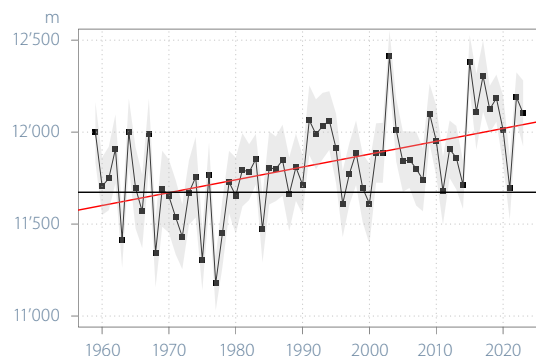


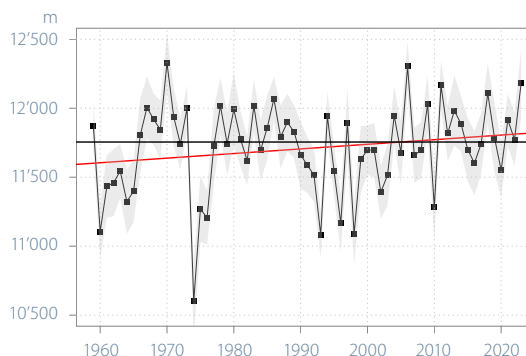
Abbildung 5.18

Saisonale Medianwerte der Tropopausenhöhe über den Zeitraum 1959–2023. Die schwarze Linie zeigt die saisonalen Medianwerte für die Norm 1961–1990, die rote Linie zeigt den linearen Trend über die gesamte Zeitreihe. Der graue Bereich um den Median entspricht der Messunsicherheit.

Sommer
Trend (1959–2023) = 70 m/10 Jahre
Norm (1961–1990) = 11'673 m



Herbst
Trend (1959–2023) = 33 m/10 Jahre
Norm (1961–1990) = 11'755 m



Temperaturtrends auf verschiedenen Druckniveaus

Die Zunahme der Konzentration des Treibhausgases CO_2 in der Troposphäre, die Abkühlung der Stratosphäre und die Abnahme der Ozonkonzentration in der Stratosphäre hängen eng zusammen [34]. Auch chemische Reaktionen in der Atmosphäre haben einen grossen Einfluss auf das Klima. Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), ultraviolette Strahlung, Ozon in der unteren Stratosphäre und Treibhausgase in der Troposphäre spielen eine Schlüsselrolle für das thermische Gleichgewicht auf verschiedenen atmosphärischen Niveaus.

Abbildung 5.19 zeigt Temperaturtrends relativ zum Median der Normperiode 1961–1990 auf acht Druckniveaus (vier in der Troposphäre und vier in der unteren Stratosphäre). Der kontinuierliche Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen in der Troposphäre und teilweise auch in der Stratosphäre [35] seit den 1990er-Jahren dominiert die allgemeinen Temperaturtrends. Er führt in der unteren Troposphäre zu wärmeren Temperaturen mit etwa $0,45^\circ\text{C}$ pro Jahrzehnt. Mit zunehmender Höhe bis zur Tropopause (ungefähr 200 hPa) nimmt der Temperaturtrend allmählich ab und kehrt oberhalb der Tropopause um ($-0,45^\circ\text{C}$ pro Jahrzehnt auf einer Höhe von 20 hPa).

Die Temperaturreihen in der Troposphäre und der Stratosphäre lassen sich zeitlich in zwei Teile mit unterschiedlich starken Trends einteilen. In der Troposphäre zeigt die Temperatur zwischen 1959 und 1990 keinen Trend. Im Zeitraum zwischen 1980 und 2023 hingegen widerspiegelt die Temperaturentwicklung den starken Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen, der in den letzten vierzig Jahren stattgefunden hat, und möglicherweise weitere verstärkende Effekte wie abnehmende Aerosolkonzentrationen oder weniger Bewölkung.

Auch in der Stratosphäre lassen sich zwei Trends ausmachen [36]: ein negativer Trend auf allen Ebenen zwischen 1959 und 1990 und eine allgemeine Abflachung ab den 1990er Jahren, die vor allem auf den höchstgelegenen Druckniveaus sichtbar wird. Der negative Trend im Zeitraum 1959–1990 ist hauptsächlich auf den Abbau der Ozonschicht zurückzuführen, der zu einer Abkühlung der Stratosphäre führt.

Die ab 1990 beobachtete Stagnation lässt sich durch den Rückgang der FCKW-Konzentration in der unteren Stratosphäre nach dem Übereinkommen von Montreal 1987 erklären (Protokoll zur Verringerung und Beseitigung von Stoffen, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen). In der Folge kam es ab 1990 zu einer Stabilisierung der Ozonkonzentration, die eine Erwärmung der unteren Stratosphäre durch direkte Absorption der ultravioletten Strahlung bewirkte.

Die Abbildung 5.19 zeigt, dass knapp oberhalb der Tropopause auf den Druckniveaus 200 hPa und 100 hPa der starke Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen in der Troposphäre die Erholung der Ozonschicht ausgleicht und eine allgemeine Abkühlung im gesamten Zeitraum 1959–2023 bewirkt. Die Abweichungen im Jahr 2023 passen alle gut zum langfristigen Trend.

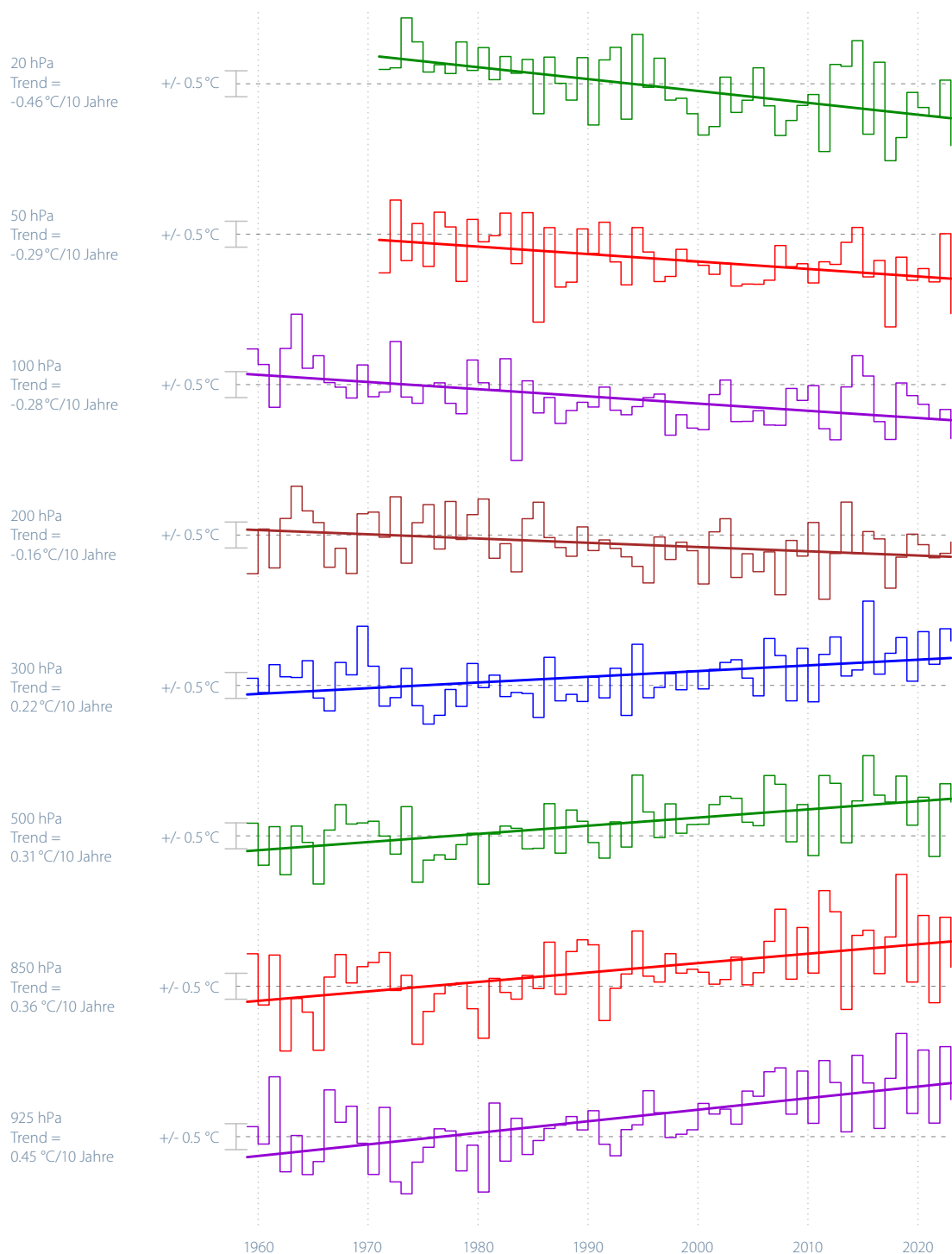


Abbildung 5.19

Trends der Temperatur im Zeitraum 1959–2023, gemessen mittels Ballonsondierungen über der Schweiz. Die Temperaturabweichung vom Median der klimatologischen Norm 1961–1990 wird für acht Druckniveaus dargestellt (vier in der Troposphäre und vier in der Stratosphäre).

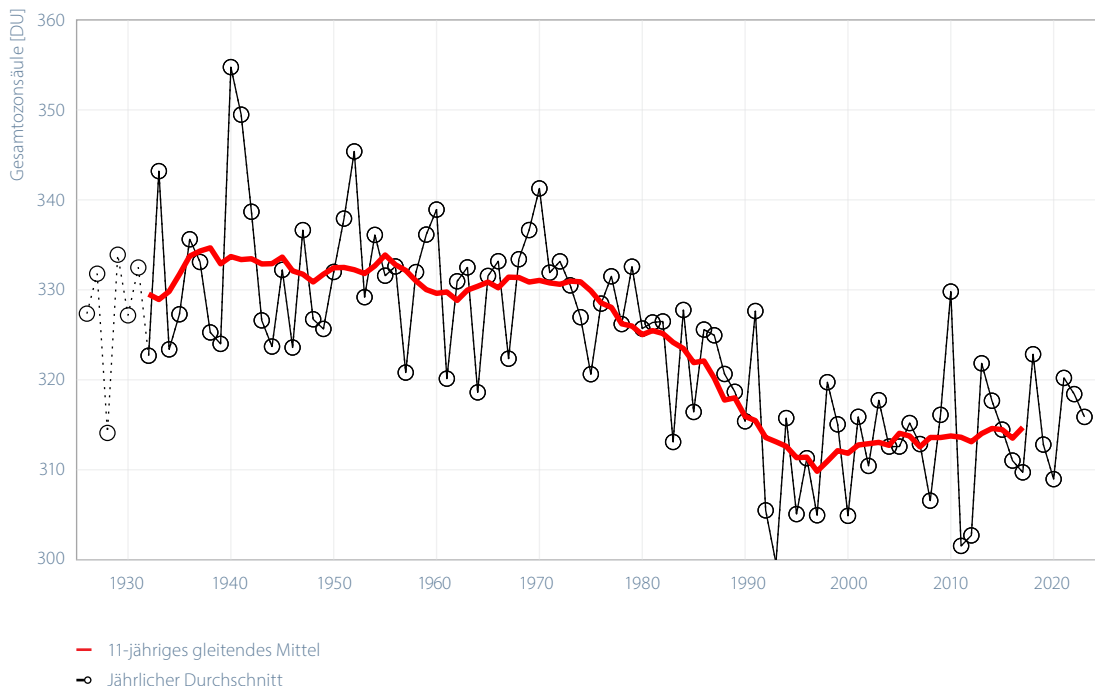
5.1.3 Zusammensetzung der Atmosphäre

Ozonmessreihe Arosa und Davos

Mit den in Arosa und Davos 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 (Dobson-Einheiten). Zwischen 1975 und 1995 zeigen die Messungen eine erhebliche Abnahme des Gesamt ozons um etwa 15 DU. Die kontinuierliche Abnahme des Gesamt ozons über Arosa setzte in den 1970er Jahren ein. Genau in diese Zeit fällt die stark erhöhte Freisetzung ozonschädlicher Stoffe. In den vergangenen Jahren ist eine Stabilisierung des Gesamt ozons zu beobachten, wobei der Mittelwert zwischen 1995 und heute im Bereich von 310–315 DU liegt.

Die Jahre 2010, 2013, 2018 und 2021 weisen Mittelwerte von über 320 DU (330, 322, 323 bzw. 320,2 DU) auf, während die Mittelwerte der Jahre 2011 und 2012 nahe bei 300 DU (302 resp. 303 DU) liegen. Dies verdeutlicht die starken Schwankungen, denen das Gesamt ozon von Jahr zu Jahr unterworfen ist. Das Jahr 2023 selbst weist einen Wert von 316 DU aus. Der Trend ist zwar nicht signifikant, es gibt aber Anzeichen einer langsamen Erholung der Ozonsäule über Arosa/Davos.

Abbildung 5.20
Gesamt ozonsäule in Arosa/Davos zwischen 1926 und 2023. Seit 1932 werden systematische Messungen durchgeführt. Die unregelmässigeren Aufzeichnungen im Zeitraum davor sind gestrichelt dargestellt. 100 Dobson-Einheiten (Dobson Units) = 1 mm reines Ozon bei 1013 hPa und 0°C. Die rote Linie entspricht dem gleitenden Mittel über einen kompletten solaren Zyklus.



Ozonmessungen Payerne

Seit 1968 wird die Ozonkonzentration mit Ballonsonden von der Aerologischen Station von MeteoSchweiz in Payerne aus gemessen. Die älteren Messungen (1966–1968) stammen von der ETH in Zürich. Dank dieser lückenlosen Messreihe ist es möglich, die zeitliche Entwicklung des Ozongehalts verschiedener Schichten der Atmosphäre zu bestimmen. In der folgenden Abbildung sind drei verschiedene Höhenstufen (3, 22 und 27 km) als Beispiel dargestellt.

Wie aus den drei horizontalen Linien ersichtlich ist, hat sich das Ozon seit den frühen 2000er-Jahren nicht wesentlich verändert. Für die Jahre vor 2000 wurde in der Stratosphäre ein Rückgang des Ozons beobachtet (veranschaulicht durch die Werte auf 22 km und 27 km Höhe), während in der Troposphäre ein Anstieg des Ozons beobachtet wurde (hier durch den Wert auf 3 km Höhe veranschaulicht).

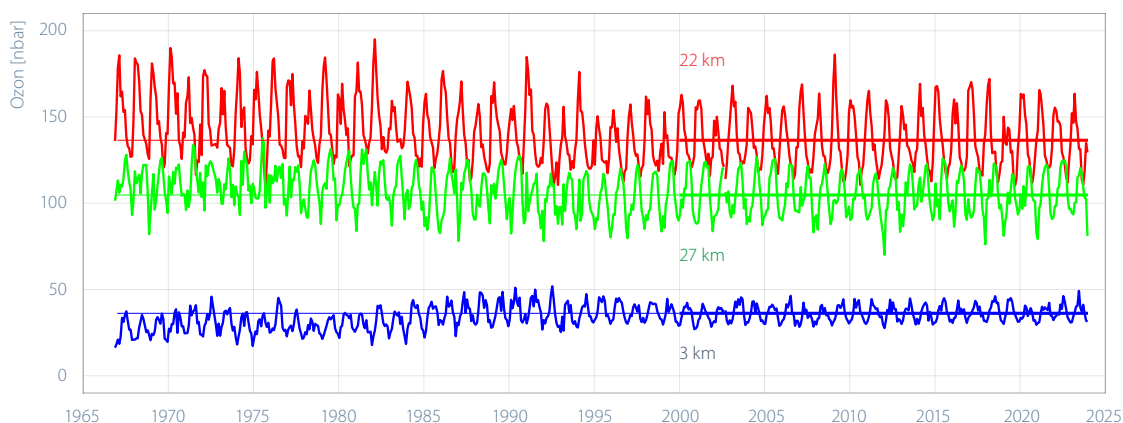


Abbildung 5.21

Monatliche Ozonkonzentration auf drei verschiedenen Höhen für die Periode 1967–2023 (rot: 22 km, grün: 27 km, blau: 3 km). Die Ozonkonzentration ist als Partialdruck in Nanobar (nb) angegeben.

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 von Personen mit Pollenallergie.

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.



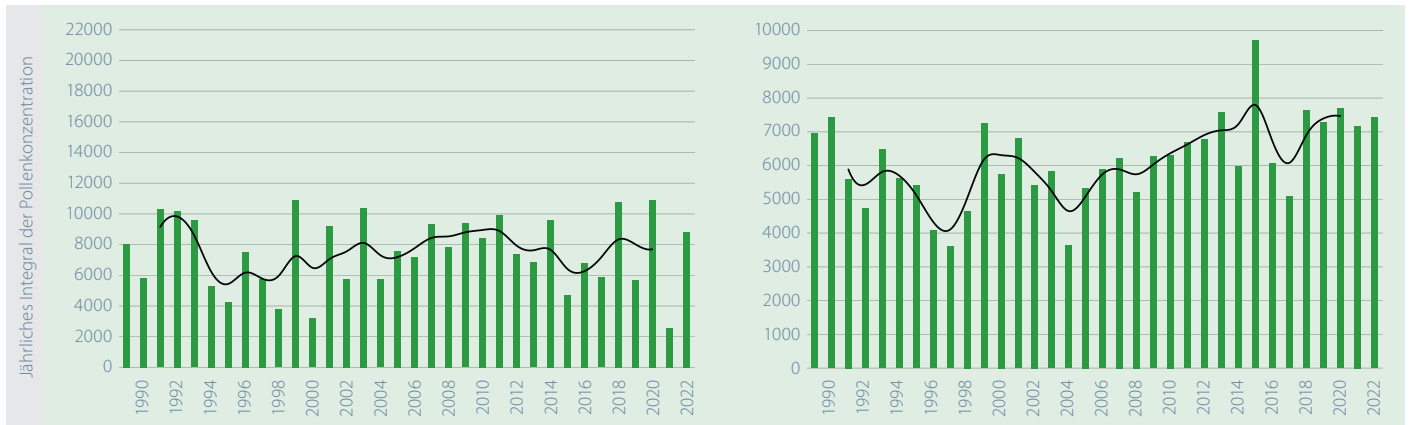
Der Wechsel von der manuellen zur automatischen Pollenmessung am 1. Januar 2023 führte zu Unterschieden in den Messresultaten der täglichen Pollenkonzentration. Deshalb ist momentan der Vergleich der Stärke des aktuellen Pollenflugs mit vergangenen Jahren nur bedingt möglich. Die Grafiken zur Pollenintensität werden aus diesem Grund vorübergehend nicht mehr aufdatiert, bis die Datenreihen am Übergang zur automatischen Messung homogenisiert sind.

Abbildung 5.22

Intensität des Pollenflugs der Birken (links) und der Gräser (rechts) in den Regionen der Alpennordseite von 1989–2022 und im Tessin von 1991–2022. Das jährliche Pollenintegral ist die Summe der täglichen Pollenkonzentrationen. Die schwarze Linie zeigt das 5-jährige gewichtete Mittel. Diese Grafik wird bis zur Homogenisierung der Daten am Übergang zu den automatischen Messungen im Jahr 2023 nicht aufdatiert.

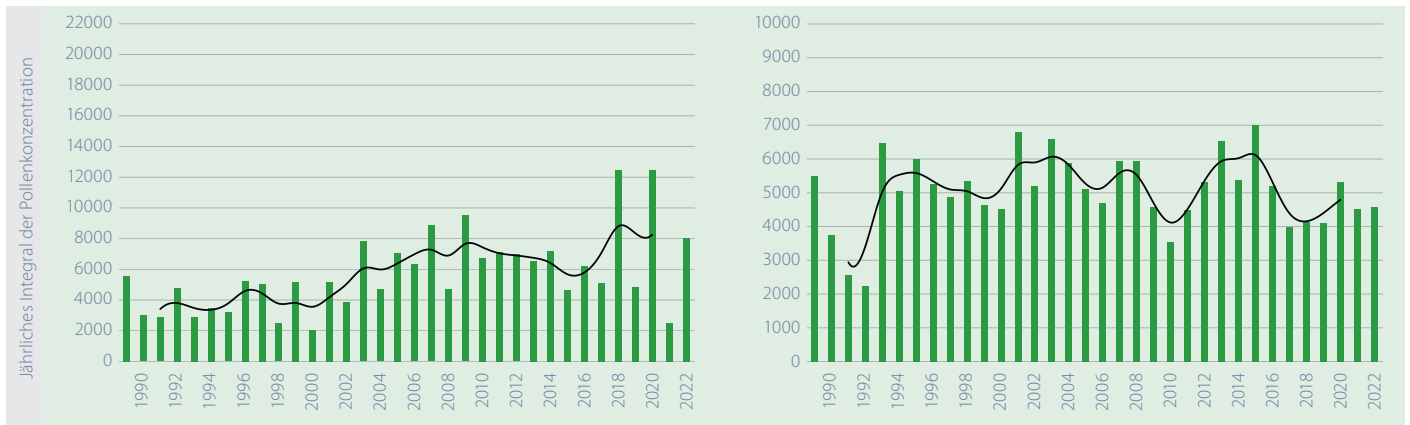
Birke Zentral- und Ostschweiz

Gräser Zentral- und Ostschweiz



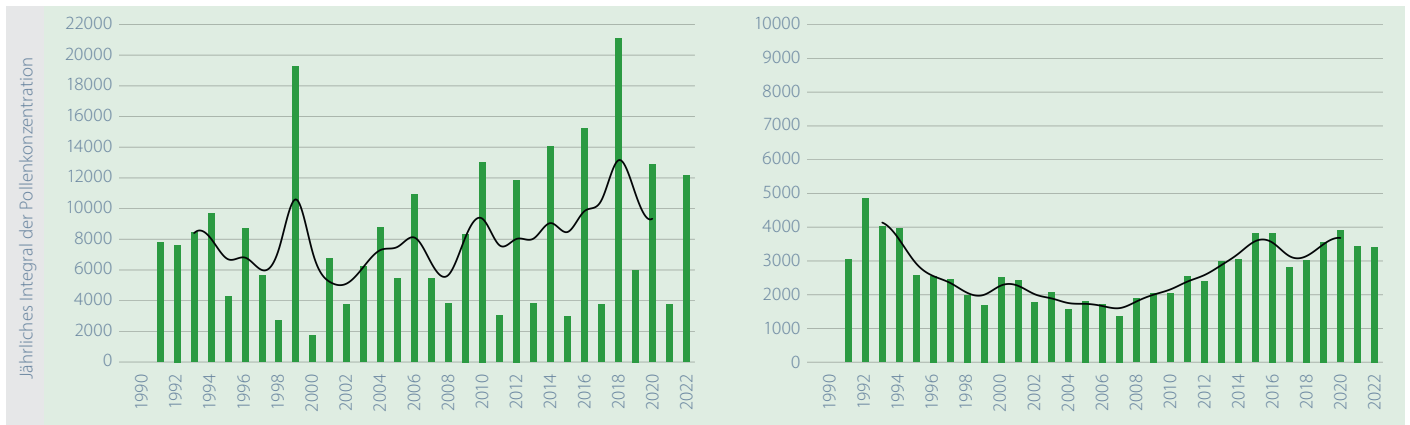
Birke Westschweiz

Gräser Westschweiz



Birke Tessin

Gräser Tessin



5.2 Landoberfläche

Neuschneesummen

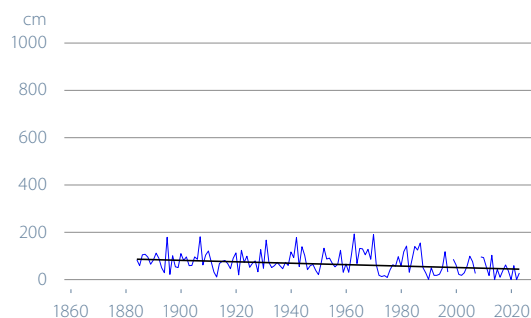
Der eher niederschlagsarme und deutlich zu warme Winter 2022/2023 sorgte insgesamt auch für geringe Neuschneemengen an allen hier gezeigten Messstandorten. Relativ betrachtet am stärksten betroffen vom Mangel an Neuschnee waren tiefe und mittelhohe Lagen. In Luzern kamen im Winterhalbjahr total 28 cm Neuschnee zusammen. Im Zeitraum 1961–1990 waren hier im Durchschnitt 83 cm zu erwarten. Am Messstandort Einsiedeln waren es 81 cm anstelle der mittleren Menge von 3,41 m, wie sie in der Normperiode 1961–1990 zu verzeichnen war. Damit war das Winterhalbjahr 2022/2023 eines der schneeärmsten dieser Station.

Der Messstandort Segl-Maria meldete im Winterhalbjahr 2022/2023 eine Neuschneesumme von 1,42 m und damit knapp die Hälfte des Normwerts von 3,12 m. An diesem Standort wurden zuletzt in den 1940er-Jahren derart niedrige Neuschneesummen gemessen. In Arosa fielen gesamthaft 3,56 m Neuschnee (Norm 6,31 m). Die Jahre 2018–2022 waren in Arosa, wie auch in Segl-Maria, alle deutlich schneereicher. Zuletzt weniger Schnee als in der aktuellen Berichtsperiode gab es in Arosa im Jahr 1996.

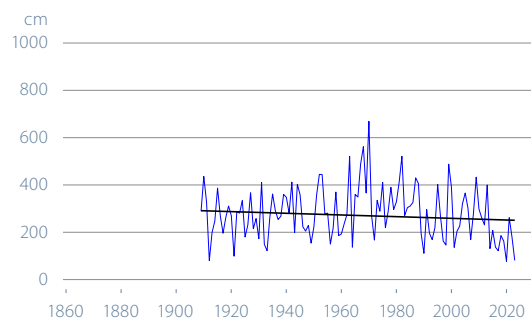
Bei den Neuschneesummen im Winterhalbjahr ist an den Messstandorten Segl-Maria, Arosa und Einsiedeln kein signifikanter Trend feststellbar. Diese drei Messreihen zeigen grosse Schwankungen von Jahr zu Jahr. In Luzern ist eine signifikante Abnahme von 3,0 cm pro Jahrzehnt zu beobachten. Dabei ist allerdings darauf hinzuweisen, dass die täglichen und monatlichen Schneeaufzeichnungen nicht in Form homogener Daten verfügbar sind.

Abbildung 5.23
**Neuschneesummen in
 cm im Winterhalbjahr
 ab Messbeginn bis 2023
 an den Messstationen
 Luzern, Einsiedeln,
 Arosa und Segl-Maria.**

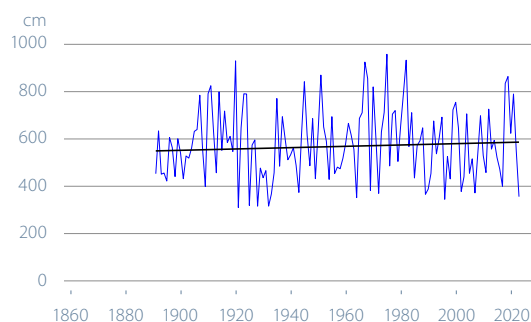
Luzern 454 m ü. M.



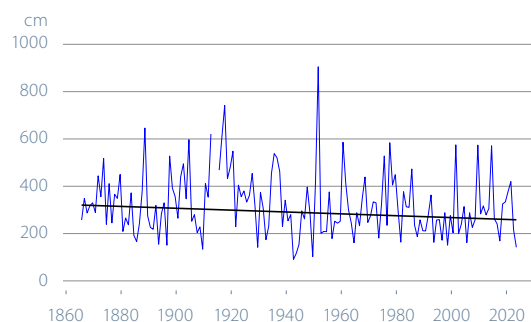
Einsiedeln 910 m ü. M.



Arosa 1840 m ü. M.



Segl-Maria 1798 m ü. M.



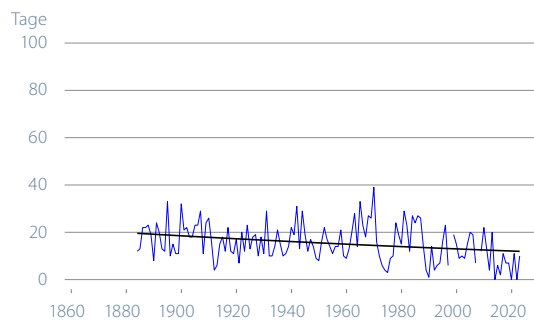
Datenquelle Arosa: MeteoSchweiz/Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos

Tage mit Neuschnee

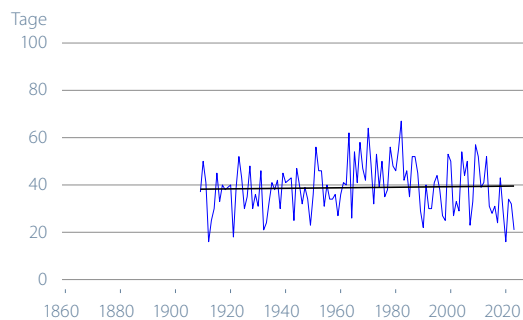
Wie die Neuschneesummen blieben auch die Tage mit Neuschnee unter den Erwartungen der Norm 1961–1990. Im Winterhalbjahr Oktober bis März waren es am Messstandort Arosa 61 Tage mit Neuschnee (Norm 71 Tage). In Segl-Maria im Oberengadin wurde an 29 Tagen Neuschnee registriert (Norm 42 Tage). In Luzern wurde an insgesamt zehn Tagen etwas Neuschnee gemessen (Norm 18 Tage). Relativ betrachtet am wenigsten Neuschneetage verzeichnete der Standort Einsiedeln: Dort fiel im Winterhalbjahr 2022/2023 an 21 Tagen Neuschnee. Das entspricht weniger als der Hälfte der Norm 1961–1990 (46 Tage).

Die Messreihe Arosa weist einen signifikanten Trend zu mehr Tagen mit Neuschnee auf. Er beträgt +1,5 Tage pro Jahrzehnt. Luzern zeigt demgegenüber mit -0,6 Tagen pro Jahrzehnt einen schwächeren, aber signifikanten Trend zu weniger Tagen mit Neuschnee. An den beiden Messstandorten Einsiedeln und Segl-Maria ist kein signifikanter Trend zu beobachten. Auch hier ist darauf hinzuweisen, dass die täglichen und monatlichen Schneeaufzeichnungen nicht in Form homogener Daten verfügbar sind.

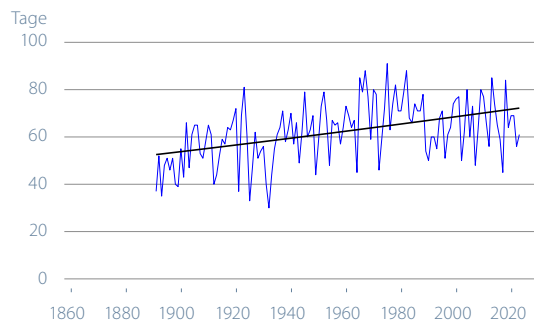
Luzern 454 m ü. M.



Einsiedeln 910 m ü. M.



Arosa 1840 m ü. M.



Segl-Maria 1798 m ü. M.

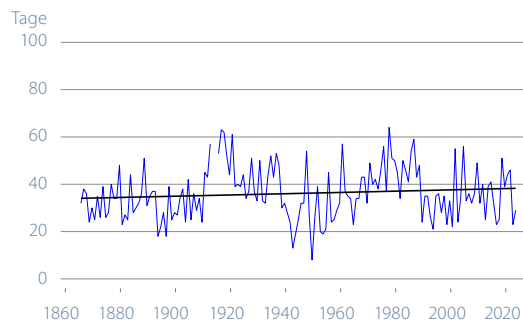


Abbildung 5.24

Anzahl Tage mit Neuschnee im Winterhalbjahr ab Messbeginn bis 2023 an den Messstationen Luzern, Einsiedeln, Arosa und Segl-Maria.

Frühlingsindex

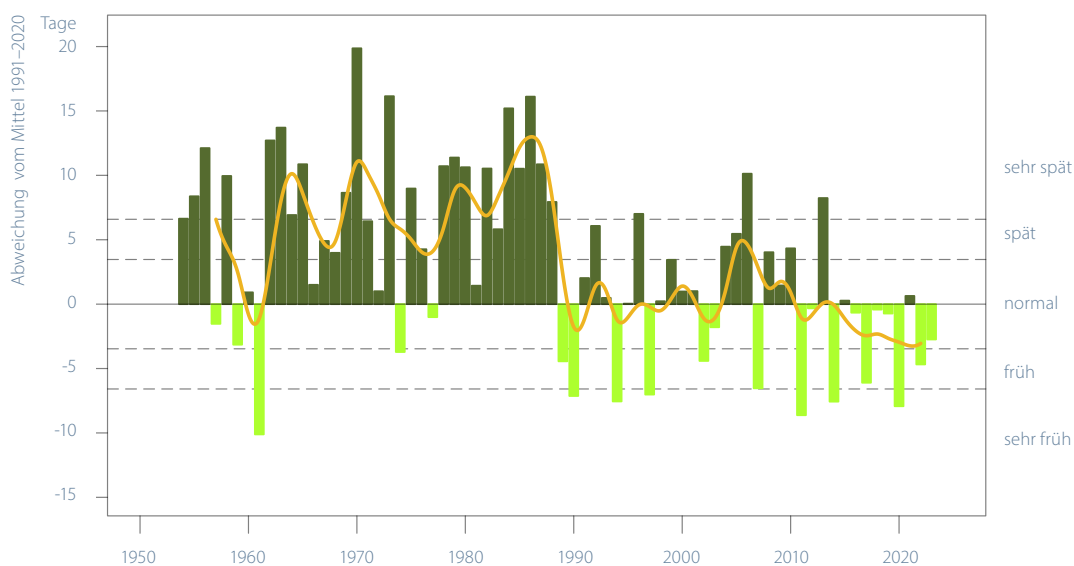
Der Frühlingsindex zeigt den Zeitpunkt der Vegetationsentwicklung im Frühling als Abweichung in Tagen vom langjährigen Mittel 1991–2020. Der jährlich ermittelte Index fasst die phänologischen Frühlingsphasen zusammen. Die Vegetationsentwicklung im Frühling ist hauptsächlich vom Gang der Winter- und Frühlingstemperatur abhängig [37].

Im Jahr 2023 entwickelte sich die Frühlingsvegetation um drei Tage früher als im langjährigen Mittel von 1991–2020, was in die Klasse «normal» fällt. Schon Anfang Januar blühten die Haselsträucher mit einem Vorsprung von 22 Tagen auf das Mittel, so früh wie noch nie seit dem Beginn der phänologischen Beobachtung. Löwenzahn und Wiesenschaumkraut blühten ab Ende März, mit einem Vorsprung von 3–6 Tagen. Der kühle April bremste die weitere Vegetationsentwicklung, so dass die

Obstbäume ab Anfang April und die Blühtentfaltung der Bäume ab Mitte April etwa zu einem mittleren Zeitpunkt stattfanden.

Parallel zu den höheren Winter- und insbesondere höheren Frühlingstemperaturen ab Mitte der 1980er Jahre zeigt der Frühlingsindex ab der zweiten Hälfte der 1980er Jahre eine gleichsam sprunghafte Verschiebung zu einer früheren Vegetationsentwicklung im Frühling (Abbildung 5.25).

Abbildung 5.25
Jährlicher Stand der gesamtschweizerischen Vegetationsentwicklung (Frühlingsindex) 1954–2023 dargestellt als Abweichung in Tagen vom langjährigen Durchschnitt der Periode 1991–2020. Die ausgezogene Linie zeigt das 5-jährige gewichtete Mittel, dunkelgrün sind Jahre mit späterer, hellgrün Jahre mit früherer Vegetationsentwicklung.



Kirschblüte Liestal und Blattausbruch Rosskastanie Genf

Seit 1894 werden in der Nähe von Liestal, in Liestal-Weideli, die Eintrittsdaten der Blüte eines Kirschbaums registriert. In der Messreihe lässt sich ab etwa 1990 ein Trend zu früheren Eintrittsterminen feststellen (Abbildung 5.26). Der Eintrittstermin am 29. März 2023 fand fünf Tage früher statt als im Mittel der Periode 1991–2020, bedingt durch die über dem Durchschnitt liegende Temperatur im Februar und März. Im Vergleich mit der gesamten Messperiode lag der diesjährige Termin 14 Tage vor dem mittleren Datum und ist der 18. früheste Termin aller Jahre.

Von grosser Bedeutung ist auch die seit 1808 existierende historische Beobachtungsreihe des Zeitpunkts des Blattausbruchs der Rosskastanie in Genf. Dies ist die längste phänologische Reihe der Schweiz. Ab etwa 1900 ist ein deutlicher Trend zu früheren Eintrittsterminen ersichtlich. Im Jahr 2023 fand der Blattausbruch der Rosskastanie am 9. März statt. Der Blattausbruch der Rosskastanie wird sehr stark durch die Temperatur beeinflusst, aber auch andere Faktoren wie das Baumalter oder das Stadtklima können eine Rolle spielen. Der Grund für die seit mehreren Jahren wieder späteren Eintrittstermine ist noch unbekannt.

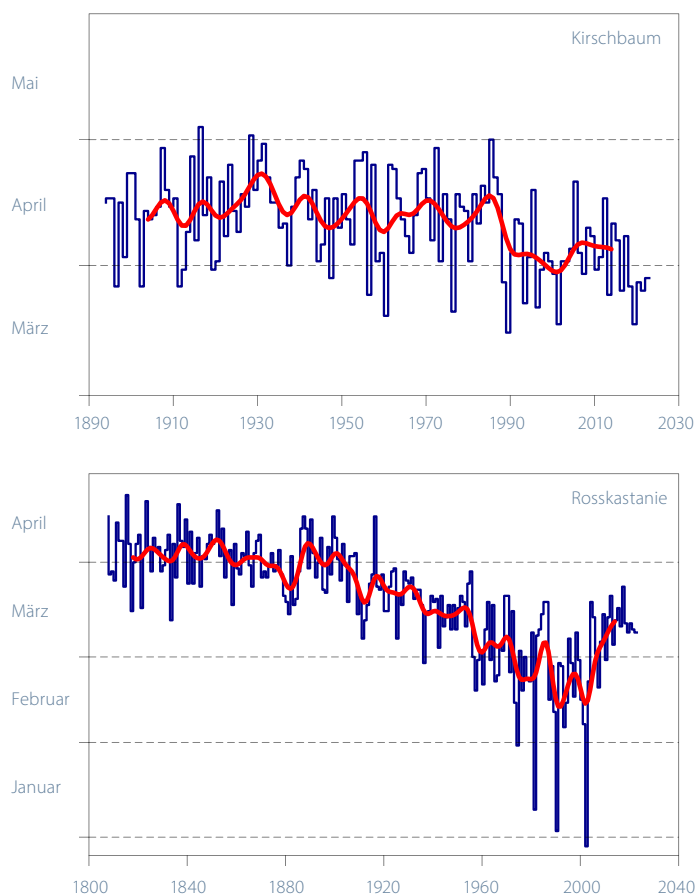


Abbildung 5.26

Eintrittstermin der Blüte des Kirschbaums bei Liestal 1894–2023 (oben) und Blattausbruch der Rosskastanie in Genf 1808–2023 (unten).

 Datenquelle der Kirschblüte Liestal: Landwirtschaftliches Zentrum Ebenrain, Sissach und MeteoSCHWEIZ

 Datenquelle des Blattausbruchs der Rosskastanie Genf: Grand Conseil de la République et canton de Genève






5.3 Datengrundlagen und 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 [17]. Eingangsgrossen sind homogenisierte Reihen ab 1959.

Temperatur

Aufgrund der unterschiedlichen Temperaturregimes auf kleinem Raum (tiefere Temperaturen in Berglagen, höhere Temperaturen im Flachland), wird die Temperaturentwicklung in der Schweiz idealerweise nicht mit absoluten Temperaturen, sondern als Abweichung zum langjährigen Normwert (1961–1990) dargestellt. Das Schweizer Temperaturmittel beschreibt die im Mittel über die gesamte Fläche und die verschiedenen Höhenlagen der Schweiz gemessene Temperatur. Die Daten verschiedener Messstationen aus dem Schweizer Klimanetzwerk (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [1]) werden dazu entsprechend ihrer Repräsentativität kombiniert.


 www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klimawandel/entwicklung-temperatur-niederschlag-sonnenschein/schweizer-temperaturmittel.html

Niederschlag

In der Schweiz stehen sich das nordalpine und das süd-alpine 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 in diesem Bericht eine Differenzierung zwischen nordalpiner und südalpiner Niederschlagsentwicklung vorgenommen. Eine gesamtschweizerische Niederschlagsentwicklung wird nicht aufgeführt. Die Analysen basieren auf zwölf homogenen Messreihen [38] aus dem Schweizer Klimanetzwerk (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [1]).

Tage mit starkem Niederschlag

Der hier verwendete Begriff „starker Niederschlag“ auf der Basis der Schwelle ≥ 20 mm darf nicht gleichgestellt werden mit seltenen Extremniederschlägen. Ein Tagesniederschlag von 20 mm wird an in den meisten Gebieten der Schweiz jedes Jahr mehrmals registriert. Es handelt sich dabei also um ein häufiges Ereignis. Selten ist ein Niederschlagsereignis, welches nur noch etwa alle zehn 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 [39]. Ausführliche Informationen zu seltenen Starkniederschlägen sind zu finden unter:

 www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klima-der-schweiz/rekorde-und-extreme/extremwertanalysen.html

Niederschlag der sehr nassen Tage

Ein Tag gilt als sehr nass, wenn seine Niederschlagssumme grösser ist als die im langjährigen Durchschnitt 18 (5%) 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, [40]) und SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index, [41]) zeigen die Abweichungen vom mittleren Niederschlag und der mittleren klimatischen Wasserbilanz (Differenz von Niederschlag und potenzieller Verdunstung) an. Positive Werte bedeuten feuchtere und negative Werte trockenere Bedingungen als im Mittel.

Der SPI ist ein Mass für die Niederschlagsanomalie über eine bestimmte Zeitbasis (typischerweise 1–48 Monate) und wird aus monatlichen Niederschlagssummen berechnet. Die kumulierten Niederschläge der vergangenen (1–48) 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 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	$\leq -2,0$	extrem trocken
-2,0	<SPEI	$\leq -1,5$	sehr trocken
-1,5	<SPEI	$\leq -1,0$	trocken
-1,0	<SPEI	$< 1,0$	normal
1,0	\leq SPEI	$< 1,5$	nass
1,5	\leq SPEI	$< 2,0$	sehr nass
	SPEI	$\geq 2,0$	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 °C 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 gelegenen Höhe, beziehungsweise Tiefe der Nullgradgrenze errechnet, indem ein mittlerer vertikaler Temperaturgradient von 0,5 °C pro 100 m 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 [42]. 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.

Tropopausenhöhe

Die Tropopausenhöhe entspricht dem tiefsten Niveau in der Atmosphäre, welches eine Abkühlungsrate von 2 °C oder weniger pro Kilometer zeigt (0,2 °C pro 100 m). Zusätzlich gilt die Bedingung, dass in einer 2 km dicken Schicht über diesem Niveau die Abkühlungsrate von 2 °C pro km nicht überschritten wird.

Vegetationsentwicklung

Die Beobachtung der einzelnen phänologischen Phasen wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten begonnen. Phasen, die seit 1951 beobachtet werden, werden jeweils mit der Normperiode 1991–2020 verglichen. Phasen, die seit 1996 beobachtet werden, werden mit der Periode 1996–2020 verglichen. Zu Letzteren gehören insbesondere die Phasen zum Blühbeginn und jene zur Blattverfärbung von vielen Bäumen. Im Text ist jeweils erwähnt, auf welche Referenzperiode Bezug genommen wird.

Pollensaison und Pollenintensität

Der Wechsel von der manuellen zur automatischen Pollenmessung ab 1. Januar 2023 führte zu Unterschieden in den Messresultaten der täglichen Pollenkonzentration. Deshalb ist momentan der Vergleich der Stärke des aktuellen Pollenflugs mit vergangenen Jahren nur bedingt möglich. Die aktuelle Pollensaison (automatisch gemessen) wird mit dem 30-jährigen Mittel 1991–2020 (manuell gemessen) verglichen.

Die Grafiken der langfristigen Entwicklung des jährlichen Pollenintegrals (Pollen/m³ Tag) in Kapitel 5 werden nicht mehr erstellt, bis der Übergang zur automatischen Messung in den Datenreihen homogenisiert worden sind. Das jährliche Pollenintegral (Pollen/m³ Tag) berechnet sich aus der mittleren täglichen Pollenkonzentration pro m³ Luft, die für das ganze Jahr aufsummiert werden.

Verwendete Pollenmessstationen für die Grafik Pollenintensität:

Zentral- und Ostschweiz:

Basel, Buchs, Luzern, Münsterlingen und Zürich

Westschweiz:

Bern, Genève, Neuchâtel

Tessin:

Locarno und Lugano

Neuschneesummen und Tage mit Neuschnee

Die täglichen und monatlichen Schneeaufzeichnungen sind nicht in Form homogener Daten verfügbar. Die Homogenisierung von Schneedaten konnte bisher noch nicht an die Hand genommen werden. Die Interpretation der Messreihen ist deshalb mit der gebotenen Vorsicht vorzunehmen.

Frühlingsindex

Der Stand der Vegetationsentwicklung wird mit Hilfe von phänologischen Phasen erfasst. Die Phänologie befasst sich mit den im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Entwicklungserscheinungen in der Natur. Phänologische Beobachtungen werden an rund 160 Stationen verteilt über die ganze Schweiz durchgeführt. Für den Frühlingsindex werden rund 80 Stationen mit den längsten Messreihen verwendet.

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

Mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse werden diese umfangreichen Beobachtungsdaten strukturiert, vereinfacht und zur Veranschaulichung zu einem gesamtschweizerischen Frühlingsindex zusammengefügt [37].

Kirschblüte Liestal und Blattausbruch Rosskastanie Genf

Datenquelle Kirschblüte Liestal:

Landwirtschaftliches Zentrum Ebenrain, Sissach und MeteoSchweiz








Datenquelle Blattausbruchs der Rosskastanie Genf:

Grand Conseil de la République et canton de Genève









Referenzen

92

- [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] 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.
- [3] Collaud Coen M., Andrews E., Alastuey A., Arsov T. P., Backman J., Brem B. T., Bukowiecki N., Couret C., Eleftheriadis K., Flentje H., Fiebig M., Gysel-Beer M., Hand J. L., Hoffer A., Hooda R., Hueglin C., Joubert W., Keywood M., Kim J. E., Kim S.-W., Labuschagne C., Lin N.-H., Lin Y., Lund Myhre C., Luoma K., Lyamani H., Marinoni A., Mayol-Bracero O. L., Mihalopoulos N., Pandolfi M., Prats N., Prenni A. J., Putaud J.-P., Ries L., Reisen F., Sellegri K., Sharma S., Sheridan P., Sherman J. P., Sun J., Titos G., Torres E., Tuch T., Weller R., Wiedensohler A., Zieger P., and Laj P.: Multidecadal trend analysis of aerosol radiative properties at a global scale, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, in review, 2020:
-  <https://doi.org/10.5194/acp-2019-1174>
- [4] 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 Jungfrauoch analyzed by synoptic weather types. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 5931-5944, doi: 10.5194/acp-11-5931-2011.
- [5] Bouët M., 1971: La tornade du 26 août 1971 à la Vallée de Joux. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*. Band (Jahr) 71 (1971-1973), Heft 337.
-  www.e-periodica.ch/cntmng?pid=bsv-002%3A1971%3A71%3A%3A187
- [6] NOAA PSL:
-  <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>
- [7] Alfred J., Fromm M., Bevilacqua R., Nedoluha G., Strawa A., Poole L., and Wickert J.: Observations and analysis of polar stratospheric clouds detected by POAM III and SAGE III during the SOLVE II/VINTERSOL campaign in the 2002/2003 Northern Hemisphere winter, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 2151-2163, 2007:
-  <https://doi.org/10.5194/acp-7-2151-2007>
- [8] Hinz C., Kärmer P., Können G. P., Polar stratospheric clouds over western Europe, *Weather* – April 2009, Vol. 64, No. 4, Royal Meteorological Society, doi: 10.1002/wea.318.
- [9] Keckhut P., David Ch., Marchand M., Bekki S., Jumelet J., Hauchecorne A. and Höpfner M.: Observation of Polar Stratospheric Clouds down to the Mediterranean coast, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 5275-5281, 2007:
-  <https://doi.org/10.5194/acp-7-5275-2007>
- [10] ACD NASA:
-  https://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/met/qbo/qbo.html#mlsh2olat
- [11] WMO 2024: State of the Global Climate 2023, WMO-No. 1347, 53 p.:
-  <https://library.wmo.int/idurl/4/68835>

- [12] Copernicus C3S, ECMWF: Global Climate Highlights 2023:
<https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2023>
- [13] NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2022, published online January 2023, retrieved on January 29, 2023 from:
www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202213
- [14] Morice C. P., Kennedy J. J., Rayner N. A., Winn J. P., Hogan E., Killick R. E., Dunn R. J. H., Osborn T. J., Jones P. D. and Simpson I. R., 2020: An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 dataset. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* doi: 10.1029/2019JD032361 (supporting information).
- [15] MEI-Daten unter:
www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/
- [16] WMO, 2003: GCOS-82. Second Report on the Adequacy of the Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC. WMO TD 1143.
- [17] Zwiers F. W., Zhang X., Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. WMO/TD-No. 1500; WCDMP-No. 72:
https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=138
- [18] World Meteorological Organization (WMO), WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO-No. 1203:
<https://public.wmo.int/en/resources/library/wmo-guidelines-calculation-of-climate-normals>
- [19] Seiz G., Foppa N., 2007: Nationales Klima-Beobachtungssystem (GCOS Schweiz). Publikation von MeteoSchweiz und ProClim, 92 S.:
www.meteoschweiz.admin.ch/ueber-uns/forschung-und-zusammenarbeit/internationale-zusammenarbeit/gcos/nationales-klimabeobachtungssystem.html
- [20] WMO, Essential Climate Variables:
<https://public.wmo.int/en/programmes/global-climate-observing-system/essential-climate-variables>
- [21] Sommertag, Deutscher Wetterdienst DWD:
www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/S/Sommertag.html
- [22] Scherrer S. C., Appenzeller C., Laternser M., 2004: Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and large-scale climate variability. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13215, doi: 1029/2004GL020255.
- [23] Laternser M., Schneebeli M., 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–99). *International Journal of Climatology* 23: 733-750.
- [24] Scherrer S. C., Wüthrich C., Croci-Maspoli M., Weingartner R., Appenzeller C., 2013: Snow variability in the Swiss Alps 1864–2009, *International Journal of Climatology* 33: 3162-3173:
<https://doi.org/10.1002/joc.3653>

- [25] Wüthrich C., 2008: Lange Schneemessreihen der Schweiz, Aufarbeitung der längsten Schneemessreihen und Trendanalyse ausgewählter Schneeparameter, Geographisches Institut der Universität Bern, Diplomarbeit.
- [26] Scherrer, S. C., de Valk C., Begert M., Gubler S., Kotlarski S., Croci-Maspoli M., 2024: Estimating trends and the current climate mean in a changing climate, *Climate Services*, 33, 100428:
-  <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100428>
- [27] NCCS (Hrsg.), 2018: CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz. National Centre for Climate Services, Zürich. 24 S. ISBN-Nummer 978-3-9525031-0-2:
-  www.klimaszenarien.ch
- [28] Bauer V. M. and Scherrer S. C., 2024: The observed evolution of sub-daily to multi-day heavy precipitation in Switzerland, *Atmospheric Science Letters*:
-  <https://doi.org/10.1002/asl.1240>
- [29] MeteoSchweiz: 2018, Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 – eine klimatologische Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz, 272, 38 pp.
- [30] Scherrer S.C., Hirschi M., Spirig C., Maurer F., Kotlarski S., 2022: Trends and drivers of recent summer drying in Switzerland. *Environ. Res. Commun.* 4, 025004:
-  <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac4fb9>
- [31] 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.
- [32] Pfister C., Rutishauser M., 2000: Dürresommer im Schweizer Mittelland seit 1525. Workshopbericht „Trockenheit in der Schweiz“, Organe Consultatif sur les Changements Climatiques (OcCC), Bern. 17 S. und 2 Anhänge:
-  http://occc.ch/reports_d.html
- [33] WMO, 1957: Definition of the tropopause. *WMO Bull.*, 6, 136.
- [34] Isaksen I., Hesstvedt E. and Stordal F.: Influence of stratospheric cooling from CO₂ on the ozone layer. *Nature* 283, 189–191 (1980) doi: 10.1038/283189a0.
- [35] Humpage N., Boesch H., Palmer P. I., Vick A., Parr-Burman P., Wells M., Pearson D., Strachan J., and Bezawada N.: GreenHouse gas Observations of the Stratosphere and Troposphere (GHOST): an airborne shortwave-infrared spectrometer for remote sensing of greenhouse gases, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 5199–5222:
-  <https://doi.org/10.5194/amt-11-5199-2018>
- [36] Philipona R., Mears C., Fujiwara M., Jeannet P., Thorne P., Bodeker G., Haimberger L., Hervo M., Popp C., Romanens G., Steinbrecht W., Stübi R., Van Malderen R.: (2018) Radiosondes show that after decades of cooling the lower stratosphere is now warming. *J Geophys Res* 123(22): 12–509.
- [37] Studer S., Appenzeller C., Defila C., 2005: Inter-annual variability and decadal trends in Alpine spring phenology: A multivariate analysis approach. *Climatic Change* 73: 395–414.

- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] 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.
- [42] 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).
- [43] UK Met Office, Blog, 8. Januar 2013: What is a Sudden Stratospheric Warming (SSW)?
- [44] MétéoSuisse: 2024, Orage dévastateur du 24 juillet 2023 à La Chaux-de-Fonds, Rapport technique MétéoSuisse, 287, 56 pp.





Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie
MeteoSchiweiz
Operation Center 1
Postfach
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'Aérolgie
CH-1530 Payerne

 kundendienst@meteoschiweiz.ch

 [meteoschiweiz.ch](https://www.meteoschiweiz.ch)