

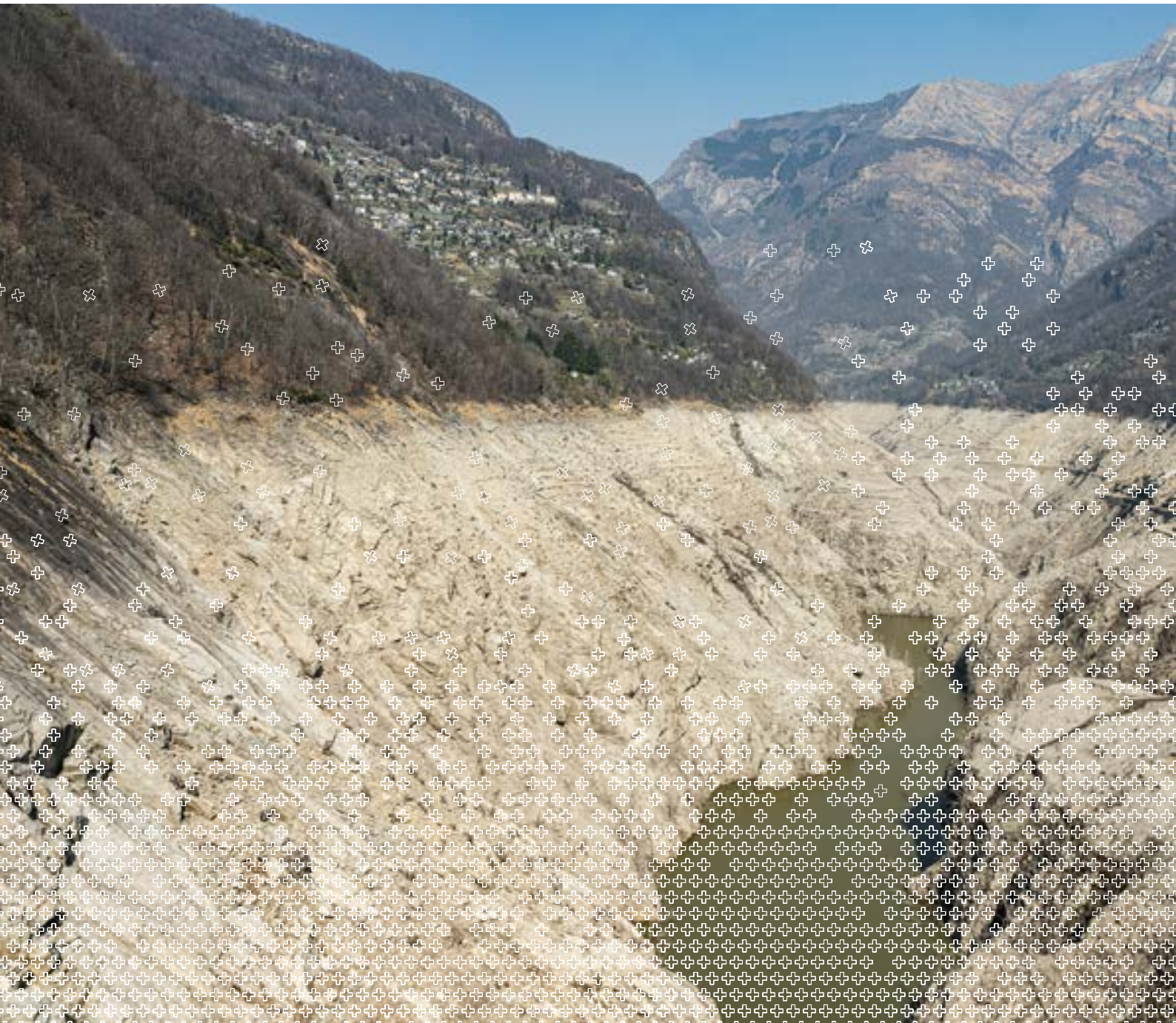


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

MeteoSchweiz

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Klimareport 2022



Klimareport 2022

Herausgeber

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

kundendienst@meteoschweiz.ch
www.meteoschweiz.ch

Redaktion

Elias Zubler, Stephan Bader, Thomas Schlegel

Autoren

Stephan Bader, Simone Bircher, Martine Collaud Coen,
Anke Duguay-Tetzlaff, Christoph Frei, Sophie Fukutome,
Regula Gehrig, Eliane Maillard Barras, Giovanni Martucci,
Gonzague Romanens, Simon Scherrer, Christoph Spirig,
René Stübi, Laurent Vuilleumier, Elias Zubler

Bilder

Titelbild: Entleerter Stausee im Verzascatal, Tessin;
Inhalt mit Bildern zur Energieerzeugung aus Wind,
Sonne und Wasser.

Vertrieb

Bundespublikationen BBL, CH-3003 Bern
www.bundespublikationen.admin.ch
Artikelnummer 313.011.d
ISSN: 2296-1488

Bitte zitieren Sie diesen Bericht folgendermassen:

MeteoSchweiz 2023: Klimareport 2022. Bundesamt
für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz,
Zürich. 104 S.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|------------|---------------------------------------------------------|-----------|
| | Zusammenfassung | 4 |
| | Summary | 7 |
| 1 | Verlauf der Jahreswitterung 2022 | 8 |
| 2 | Diagramme zum Jahresverlauf | 18 |
| | Temperatur, Sonnenscheindauer und Niederschlag | 18 |
| | 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 |
| | Pollensaison | 36 |
| 3 | Besonderheiten 2022 | 42 |
| 3.1 | Jahr 2022 mit Rekordwärme | 42 |
| 3.2 | Sommerhitze | 44 |
| 3.3 | Sonnenschein-Rekorde | 46 |
| 4 | Globales Klima und Wetterereignisse | 50 |
| 4.1 | Warmes Jahr in Europa und Asien | 50 |
| 4.2 | El Niño und La Niña | 52 |
| 4.3 | Besondere Ereignisse weltweit | 53 |
| 5 | Langjährige Klimaentwicklung | 58 |
| 5.1 | Atmosphäre | 60 |
| 5.1.1 | Bodennahe Beobachtungen | 60 |
| | Temperatur | 60 |
| | Frosttage | 64 |
| | Sommertag | 65 |
| | Niederschlag | 66 |
| | Tage mit starkem Niederschlag | 70 |
| | Niederschlag der sehr nassen Tage | 71 |
| | Trockenperioden | 72 |
| | Trockenheitsindex | 73 |
| 5.1.2 | Freie Atmosphäre | 76 |
| | Nullgradgrenze | 76 |
| | Tropopausenhöhe | 78 |
| | Temperaturtrends auf verschiedenen Druckniveaus | 80 |
| 5.1.3 | Zusammensetzung der Atmosphäre | 82 |
| | Ozonmessreihe Arosa und Davos | 82 |
| | Ozonmessungen Payerne | 83 |
| | Pollenintensität | 86 |
| 5.2 | Landoberfläche | 88 |
| | Neuschneesummen | 88 |
| | Tage mit Neuschnee | 89 |
| | Frühlingsindex | 90 |
| | Kirschblüte Liestal und Blattausbruch Rosskastanie Genf | 91 |
| 5.3 | Datengrundlagen und Methoden | 94 |
| | Referenzen | 98 |

Zusammenfassung

4

Die Jahrestemperatur der Schweiz erreichte 2022 mit 7,4 °C (1,6 °C über der Norm 1991–2020) den mit Abstand höchsten Wert seit Messbeginn 1864. Das Jahr 2022 setzt damit den klaren Erwärmungstrend der letzten Jahrzehnte fort.

Auf der Alpensüdseite wurde lokal der zweitmildeste Winter verzeichnet. Die Alpensüdseite erlebte regional den sonnigsten Winter der letzten 60 Jahre. Alle drei Wintermonate brachten dort entsprechend auch sehr wenig Niederschlag.

Auf den milden Winter folgte der landesweit viertwärmste Frühling seit Messbeginn 1864. Besonders warm zeigte sich der Mai. Die vier Messstandorte Basel, Bern, Genf und Zürich mit langen Messreihen registrierten den viertsonnigsten Frühling seit Messbeginn. Die Niederschlagsmengen blieben verbreitet deutlich unter der Norm 1991–2020. Auf der Alpennordseite war es lokal der niederschlagsärmste Frühling seit mehr als 70 Jahren. Wenig Niederschlag fiel vor allem in den Monaten März und Mai.

Die Wärme zog sich weiter mit dem landesweit zweitwärmsten Sommer seit Messbeginn 1864. Nur der legendäre Hitzesommer 2003 brachte mehr Wärme. Im landesweiten Mittel wurde der zweitheisseste Juni, der viertheisseste Juli und schliesslich der drittheisseste August seit Messbeginn registriert. Alle drei Sommermonate brachten der Schweiz eine Hitzeperiode mit Maximalwerten über 36 °C. Die anhaltend sehr sonnige Witterung führten an mehreren Messstandorten zum sonnigsten Sommerhalbjahr seit Messbeginn. Der über Monate anhaltende Regenmangel mit gleichzeitig hoher Verdunstung führte auf den Sommer hin in weiten Teilen des Landes zu einer ausgeprägten Trockenheit.

Auch im Herbst hielt die überdurchschnittliche Wärme an. Der rekordwarme Oktober und die weit überdurchschnittliche Novemberwärme führten zum drittwärmsten Herbst seit Messbeginn 1864. Nördlich der Alpen brachte der Herbst insgesamt überdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Nass war vor allem der September. Die Alpensüdseite und angrenzende Gebiete erhielten demgegenüber unterdurchschnittlichen Niederschlag.

Weltweit war das Jahr 2022 das sechstwärmste seit Messbeginn 1850. Es lag 0,8 °C über der Norm 1961–1990 (+0,26 °C zur Norm 1991–2020). Während des ganzen Jahres herrschten im tropischen Pazifik La-Niña-Bedingungen. Auf allen Kontinenten dominierte die Wärme,

besonders aber in Sibirien, Europa, Zentralasien und China. Die letzten acht Jahre seit 2015 waren die wärmsten seit Messbeginn.

In der langjährigen Schweizer Temperaturentwicklung 1864–2022 ist das Jahr 2022 wiederum deutlich geprägt vom langfristigen Klimawandel in der Schweiz. Die langfristige Temperaturzunahme in der Schweiz ist eindeutig und betrifft alle Jahreszeiten. Das Mittel über die letzten zehn Jahre ist das höchste seit Beginn der systematischen Aufzeichnungen. Es liegt 2,5 °C über der vorindustriellen Referenzperiode 1871–1900 (globale Erwärmung: 1,1 °C). In Übereinstimmung mit der allgemeinen Temperaturzunahme in der Schweiz ist die Anzahl der Sommertage deutlich angestiegen, die Anzahl der Frosttage hingegen zurückgegangen. Ebenso ist ein Anstieg der Nullgradgrenze zu beobachten. Die allgemeine Erwärmung drückt sich auch in einer früheren Vegetationsentwicklung aus.

Die Niederschlagsentwicklung im Zeitraum 1864–2022 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 seit 1901 an der überwiegenden Mehrheit von 185 Messstationen 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 Gesamtozons um rund 6 % stattgefunden hat.





Summary

Switzerland's annual mean temperature in 2022 reached 7,4°C (1.6°C above the norm 1991–2020), by far the highest value since measurements began in 1864. The year 2022 thus continues the clear warming trend of recent decades.

The second mildest winter was recorded locally on the southern side of the Alps. The southern side of the Alps experienced the sunniest winter of the last 60 years. Accordingly, all three winter months brought very little precipitation.

The mild winter was followed by the fourth warmest spring nationwide since measurements began in 1864. May was particularly warm. The four measurement sites in Basel, Bern, Geneva and Zurich with long measurement series recorded the fourth sunniest spring since measurements began. Precipitation levels remained well below the 1991–2020 norm across the board. On the northern side of the Alps, it was locally the spring with the least precipitation for more than 70 years. Little precipitation fell, especially in March and May.

The warmth continued with the second warmest summer nationwide since measurements began in 1864. Only the legendary hot summer of 2003 brought more warmth. In the national average it was the second hottest June, the fourth hottest July and finally the third hottest August since measurements began. All three summer months gave Switzerland a period of heat with maximum values above 36°C. The weather was persistently sunny. This led to the sunniest summer half-year since measurements began at several measurement sites. The lack of rain, which lasted for months and was accompanied by high evaporation, led to a pronounced drought in large parts of the country during the summer.

The above-average warmth also continued in autumn. The record-warm October and the far above-average November warmth led to the third warmest autumn since measurements began in 1864. North of the Alps, the autumn brought above-average precipitation overall. September was particularly wet. In contrast, the southern side of the Alps and neighbouring areas received below-average precipitation.

Worldwide, the year 2022 was the sixth warmest since measurements began in 1850. It was 0,8°C above the 1961–1990 norm (+0,26°C compared to the 1991–2020 norm). La Niña conditions prevailed in the tropical Pacific throughout the year. Warmth dominated on all continents, but especially in Siberia, Europe Central Asia and China. The last eight years since 2015 have been the warmest since measurements began.

In the long-term Swiss temperature trend 1864–2022, the year 2022 is yet another representation of the long-term climate change in Switzerland. The long-term temperature increase in Switzerland is clear and affects all seasons. The average over the last ten years is the highest since systematic records began. It is 2,5°C above the pre-industrial reference period 1871–1900 (global warming: 1,1°C). In line with the general temperature increase in Switzerland, the number of summer days has increased significantly, while the number of frost days has decreased. Likewise, an increase in the zero degree level can be observed. The general warming is also expressed in an earlier vegetation development.

The precipitation development in the period 1864–2022 is dominated by decadal and year-to-year fluctuations both on the Central Plateau and on the southern side of the Alps. In winter, a slight increase can be observed on the Central Plateau. The other seasons show no long-term change in precipitation totals. However, studies show that the frequency and intensity of daily heavy precipitation has increased at the vast majority of 185 measuring stations since 1901. When considering 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 significant decrease in new snow 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 2022

Die Schweiz verzeichnete das deutlich wärmste und regional das sonnigste Jahr seit Messbeginn. Der Jahresverlauf 2022 war geprägt durch anhaltend überdurchschnittliche Temperaturen, anhaltenden Niederschlagsmangel und viel Sonnenschein. Der heisse Sommer brachte drei Hitzewellen und regional eine ausgeprägte Trockenheit.

Der Wärmerekord

Die landesweit gemittelte Jahrestemperatur 2022 erreichte mit 7,4 °C (1,6 °C über der Norm 1991–2020) den weitaus höchsten Wert seit Messbeginn 1864. Das Jahr 2022 setzt damit den kräftigen Erwärmungstrend der letzten Jahre fort.

Das Jahr 2022 war durchsetzt von sehr warmen Jahreszeiten und Monaten. Nur der September brachte im landesweiten Mittel eine etwas unterdurchschnittliche Temperatur im Vergleich zur Norm 1991–2020.

Die sieben wärmsten Jahre seit Messbeginn wurden alle nach dem Jahr 2010 registriert. Sie liegen 1 °C oder mehr über den Wärmerekorden vor 1980. Der massive Wärmeschub ab 2010 ist der zweite seiner Art in den letzten 30 Jahren. Den ersten erlebte die Schweiz während der 1990-er Jahre. Von der vorindustriellen Periode 1871–1900 bis zur jüngsten 30-Jahresperiode 1993–2022 stieg die Jahrestemperatur im schweizweiten Mittel um 2 °C an.

Wärme im Winter und Frühling

Auf der Alpensüdseite wurde lokal der zweitmildeste Winter seit Messbeginn verzeichnet. Darauf folgte der landesweit viertmildeste Frühling seit Messbeginn 1864. Extrem mild zeigte sich der Frühlingsmonat Mai als zweitwärmster im landesweiten Mittel. Mehrere Messstandorte registrierten den wärmsten Mai seit Messbeginn.

Hitze im Sommer

Die Wärme zog sich weiter mit dem landesweit zweitwärmsten Sommer seit Messbeginn 1864. Nur der legendäre Hitzesommer 2003 lieferte mehr Wärme. Die Sommerhitze 2022 erstreckte sich über alle drei Sommermonate. Im landesweiten Mittel wurde der zweitheisseste Juni, der viertheisseste Juli und schliesslich der drittheisseste August seit Messbeginn 1864 registriert.

Alle drei Sommermonate brachten der Schweiz je eine Hitzeperiode mit Höchstwerten über 36 °C. Genf meldete am 4. August mit 38,3 °C den höchsten Wert des Schweizer Sommers. Lugano verzeichnete im Juli mit 14 Hitzetagen in Folge (tägliches Maximum 30 °C oder mehr) die längste anhaltende Hitzeperiode seit Messbeginn 1864.

Rekordwärme im Oktober

Auch im Herbst hielt die überdurchschnittliche Wärme an. Der rekordwarme Oktober und die weit überdurchschnittliche Novemberwärme führten zum drittwärmsten Herbst seit Messbeginn 1864. Vergleichbar warm zeigte sich der Herbst 2014. Deutlich wärmer war bisher nur der Herbst 2006.

Sonnigstes Jahr seit Messbeginn

Der Jahresverlauf 2022 war geprägt durch viel Sonnenschein. Drei der vier Messstandorte mit über 120-jährigen homogenen Datenreihen – Genf, Basel und Zürich – registrierten das sonnigste Jahr seit Messbeginn. Mehrere Messstandorte mit homogenen Messreihen ab 1961 melden ebenfalls den Rang 1. Auffallend ist vor allem in Genf der grosse Unterschied von über 150 Sonnenstunden zu den nächst tieferen Jahressummen.

Sonnigster Winter im Süden

Die Alpensüdseite erlebte regional den deutlich sonnigsten Winter in der über 60 Jahre zurückreichenden Periode mit homogenen Daten. Lokal wurde der sonnigste Januar und der zweit- oder drittsonnigste Februar registriert. Nördlich der Alpen war es lokal der viert- oder fünftsonnigste Winter seit Messbeginn vor über 120 Jahren (Genf, Bern). Besonders sonnig zeigte sich im Norden der Januar. In den Messreihen Genf, Bern und Zürich belegte er den Rang 2. Mehr Sonnenschein brachte nur der Januar 2020.

Viel Frühlingssonne

Die vier Messstandorte Basel, Bern, Genf und Zürich mit über 120-jährigen Messreihen der Sonnenscheindauer registrierten den viertsonnigsten Frühling seit Messbeginn. Viel Sonnenschein brachte vor allem der März. Zürich verzeichnete den sonnigsten, Basel und Bern den fünftsonnigsten März seit Messbeginn. Genf meldete anschliessend den fünftsonnigsten Mai seit Messbeginn.

Sonnenscheinrekorde im Sommer

Genf und Basel verzeichneten den sonnigsten und Zürich den zweitsonnigsten Sommer seit Messbeginn vor über 120 Jahren. Auch an Messstandorten mit über 60-jährigen homogenen Datenreihen bewegte sich die sommerliche Sonnenscheindauer im Rekordbereich. Lugano, La Chaux-de-Fonds, Neuchâtel und Altdorf meldeten den sonnigsten, Locarno Monti, Sion, St. Gallen und Luzern den zweitsonnigsten Sommer. Rang 3 gab es in Samedan, in Davos und auf dem Säntis.

Die anhaltend sehr sonnige Witterung führten an mehreren Messstandorten zum sonnigsten Sommerhalbjahr (April–September) seit Messbeginn.

Die grosse Trockenheit

Auf der Alpensüdseite fielen in allen vier Jahreszeiten unterdurchschnittliche Niederschlagssummen. Der Frühling und der Sommer waren in der ganzen Schweiz niederschlagsarm. Im Herbst erhielt die Westschweiz reichlich Niederschlag. Im landesweiten Mittel war das Jahr 2022 eines der zehn niederschlagsärmsten Jahre seit Messbeginn 1864.

Als Folge der seit dem Winter anhaltenden Trockenheit brachen in den Kantonen Bern, Tessin und Wallis im Frühling Waldbrände aus. Der grösste Waldbrand wütete vom 23.–25. März im Centovalli im Tessin. Bahnlinie und Strasse waren zeitweise gesperrt. Bis zu acht Löschhelikopter standen im Einsatz.

Der über Monate anhaltende Regenmangel mit gleichzeitig hoher Verdunstung als Folge der anhaltend hohen Temperatur führte auf den Sommer hin in der Westschweiz und auf der Alpensüdseite zu einer ausgeprägten Trockenheit.

Extrem niederschlagsarmer Winter im Süden

Auf der Alpensüdseite brachten alle drei Wintermonate wenig Niederschlag. Locarno Monti registrierte den Winter mit der zweitgrössten Niederschlagsarmut seit Messbeginn 1884. In der übrigen Schweiz lag die winterliche Niederschlagssumme verbreitet im Bereich der Norm 1991–2020.

Wenig Frühlingsregen

Im Frühling blieben die Niederschlagsmengen verbreitet deutlich unter der Norm 1991–2020. Auf der Alpen-nordseite war es lokal der niederschlagsärmste Frühling seit mehr als 70 Jahren. Die Alpensüdseite registrierte lokal den niederschlagsärmsten Frühling seit mehr als 60 Jahren.

Wenig Niederschlag fiel vor allem in den Monaten März und Mai. Gebietsweise war es der Märzmonat mit der geringsten oder zweitgeringsten Niederschlagssumme seit Messbeginn. Im Mai blieben die Niederschlagssummen abermals verbreitet unter der Norm 1991–2020. Zahlreiche Messstandorte der Westschweiz mit über 60-jährigen Messreihen meldeten den niederschlagsärmsten Mai seit Messbeginn. La Chaux-de-Fonds verzeichnete den niederschlagsärmsten Mai seit Messbeginn vor über 120 Jahren.

Regional sehr trockener Juli

Im Juni erreichten die Regenmengen in einigen Gebieten durchschnittliche oder überdurchschnittliche Werte. Einzelne Messstandorte verzeichneten gar einen der nassesten Junimonate seit Messbeginn. Der Juli brachte hingegen regional weniger als 30%, lokal auch weniger als 10% der normalen Regenmengen. In der Südwestschweiz wurde gebietsweise der niederschlagsärmste Juli seit über 50 Jahren verzeichnet. Zusammen mit der hohen Temperatur und der damit verbundenen hohen Verdunstung sowie mit dem Regenmangel der vergangenen Monate ergab sich in dieser Region eine ausgeprägte Trockenheit.

Nasser Herbst im Westen

Nördlich der Alpen brachte der Herbst verbreitet überdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Nass war der Herbst vor allem in der Westschweiz und lokal im zentralen Mittelland mit Niederschlagsmengen von über 130% der Norm 1991–2020. In den Alpen bewegten sich die Werte vielerorts zwischen 80 und 120% der Norm.

Die Alpensüdseite und angrenzende Gebiete erhielten demgegenüber verbreitet unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Regional fiel weniger als die Hälfte der Norm 1991–2020. Da die Norm im Süden hoch liegt, waren die gefallenen Mengen südlich der Alpen trotz unterdurchschnittlicher Werte oft höher als im Norden. In Stabio fielen 391 mm (75% der Norm). Neuchâtel registrierte 339 mm (141% der Norm).

Extrem mildes Jahresende

Der Dezember zeigte sich bis nach der Monatsmitte kühl mit mehreren Schneefällen bis in tiefe Lagen. Eine kräftige Erwärmung liess anschliessend die Schneefallgrenze auf über 2000 m ansteigen.

An Silvester brachte warme Subtropikluft nördlich der Alpen Höchstwerte von 14–16°C, in der Nordwestschweiz und in Föhntälern auch über 17°C. Die deutlich höchsten Werte im Messnetz der MeteoSchweiz verzeichneten Delémont mit 20,9°C und Vaduz mit 19,3°C. Zahlreiche Messstandorte registrierten für das letzte Dezemberdrittel den höchsten Wert seit Messbeginn. In Delémont war es der zweithöchste Dezemberwert seit Messbeginn 1959. Elm meldete mit 18°C den höchsten Dezemberwert in der 50-jährigen Messreihe der Tagesmaxima.

Jahresbilanz

Die Jahrestemperatur 2022 lag in vielen Gebieten der Schweiz 1,3–1,8 °C über der Norm 1991–2020. In der Westschweiz und im Wallis gab es regional auch 1,9–2,1 °C über der Norm. Im Engadin erreichten die Werte 1–1,5 °C über der Norm. Im landesweiten Mittel stieg die Jahrestemperatur 1,6 °C über die Norm 1991–2020. Es war das deutlich wärmste Jahr seit Messbeginn 1864.

Die Jahresniederschläge 2022 erreichten verbreitet 70–90 % der Norm 1991–2020. Auf der Alpensüdseite lagen die Werte zwischen 50 und 75 % der Norm. Zahlreiche Messstandorte mit über 60-jährigen Messreihen meldeten eines der zehn niederschlagsärmsten Jahre. In einigen Gebieten war es lokal das niederschlagsärmste Jahr seit Messbeginn. Auf der Alpensüdseite war es verbreitet das niederschlagsärmste oder zweitniederschlagsärmste Jahr seit Messbeginn, auch in Messreihen, die 100 Jahre oder mehr zurückreichen.

Die Jahressumme 2022 der Sonnenscheindauer lag nördlich der Alpen verbreitet zwischen 120 und 130 % der Norm 1991–2020. In den übrigen Gebieten der Schweiz stieg sie vielerorts auf 110–120 % der Norm. Mehrere Messstandorte verzeichneten das sonnigste Jahr seit Messbeginn. Das Mittel lag 0,2 °C unter der Norm 1991–2020. Das Jahr 2021 belegte Rang 21 seit Messbeginn 1864.

| Station | Höhe | Temperatur [°C] | | | Sonnenscheindauer [h] | | | Niederschlag [mm] | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|-----------------------|-------|------|-------------------|-------|------|
| | | m ü.M | Mittel | Norm | Abw. | Summe | Norm | % | Summe | Norm |
| Bern | 553 | 11.0 | 9.3 | 1.7 | 2143 | 1797 | 119 | 895 | 1022 | 88 |
| Zürich | 556 | 11.5 | 9.8 | 1.7 | 2149 | 1694 | 127 | 872 | 1108 | 79 |
| Genf | 420 | 12.8 | 11.0 | 1.8 | 2342 | 1887 | 124 | 694 | 946 | 73 |
| Basel | 316 | 12.6 | 11.0 | 1.6 | 2119 | 1687 | 126 | 795 | 842 | 94 |
| Engelberg | 1036 | 8.4 | 6.8 | 1.6 | 1608 | 1380 | 117 | 1271 | 1568 | 81 |
| Sion | 482 | 12.2 | 10.7 | 1.5 | 2400 | 2158 | 111 | 486 | 583 | 83 |
| Lugano | 273 | 14.4 | 13.0 | 1.4 | 2514 | 2120 | 119 | 1096 | 1567 | 70 |
| Samedan | 1709 | 3.5 | 2.4 | 1.1 | 1998 | 1767 | 113 | 571 | 710 | 80 |

Tabelle 1.1
Ausgewählte Jahreswerte 2022 im Vergleich zur Norm 1991–2020.

Norm Langjähriger Durchschnitt 1991–2020
 Abw. Abweichung der Temperatur zur Norm 1991–2020
 % Prozent im Verhältnis zu Norm 1991–2020 (Norm = 100%)



Alle Monats- und Saisonberichte 2022 (Monatsbulletins, Saisonbulletins) sind unter der nachfolgenden Internetadresse zu finden:
www.meteoschweiz.admin.ch/service-und-publikationen

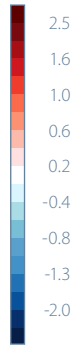
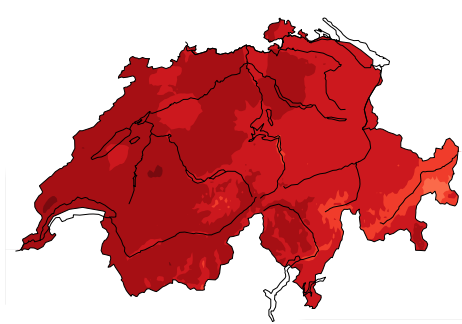
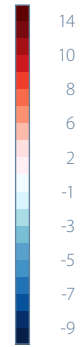
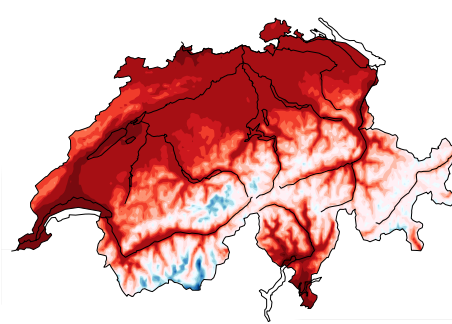
Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer 2022

Messwerte 2022

Abweichungen zur Norm 1991–2020

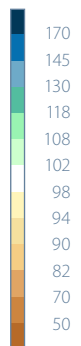
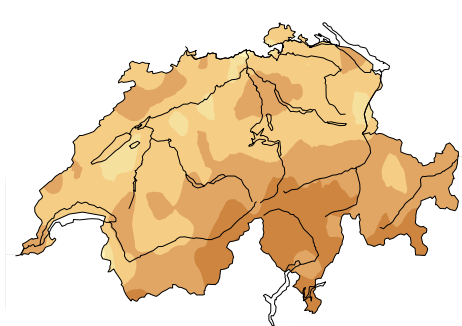
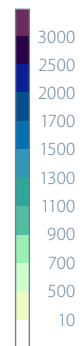
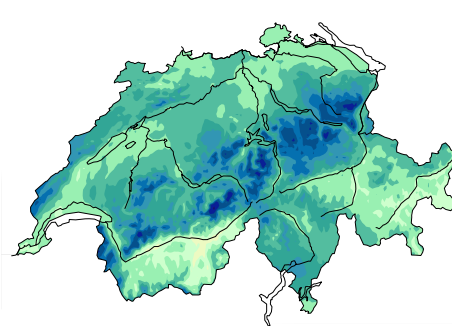
Jahresmitteltemperaturen in °C

Abweichung der Jahresmitteltemperatur in °C



Jahres-Niederschlagssumme in mm

Jahres-Niederschlagssumme in %



Anteil der maximal möglichen jährlichen Sonnenscheindauer in %

Jährliche Sonnenscheindauer in %

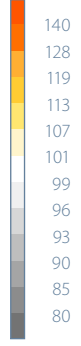
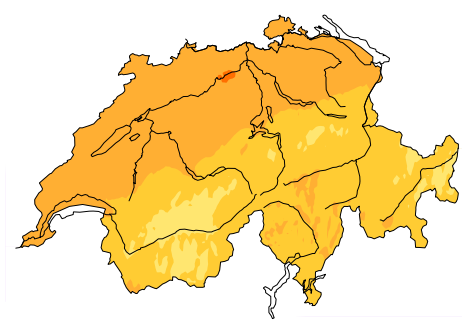
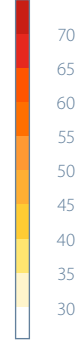
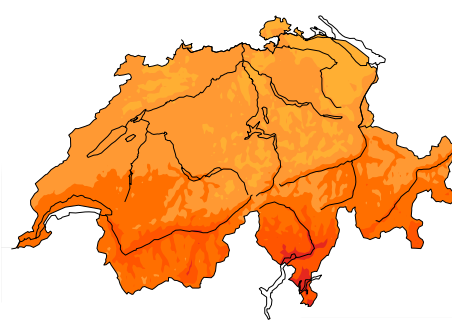
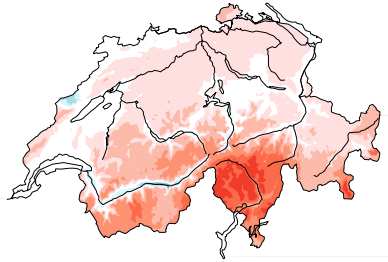


Abbildung 1.1

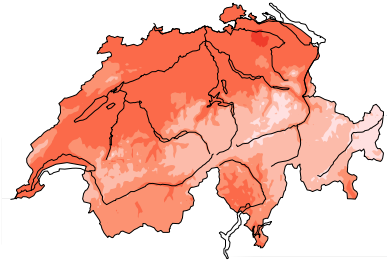
Räumliche Verteilung von Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer im Jahr 2022. Dargestellt sind Messwerte (links) und die Abweichungen zur Norm 1991–2020 (rechts).

Monatstemperatur 2022 Abweichungen zur Norm 1991–2020

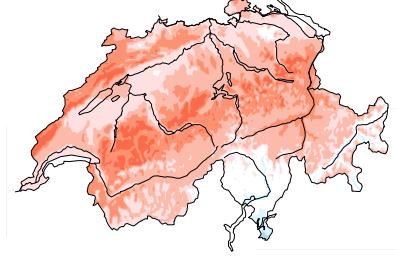
Januar 2022



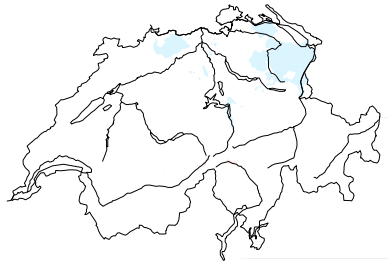
Februar 2022



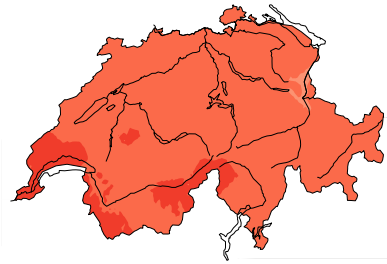
März 2022



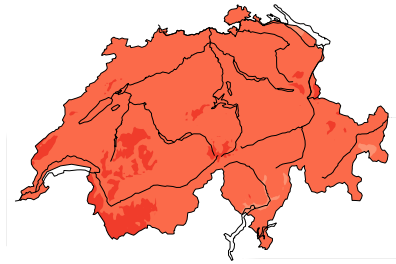
April 2022



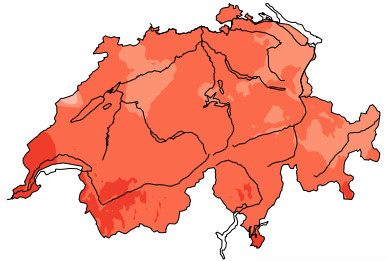
Mai 2022



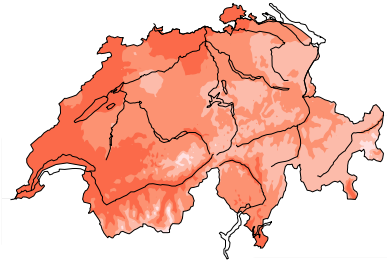
Juni 2022



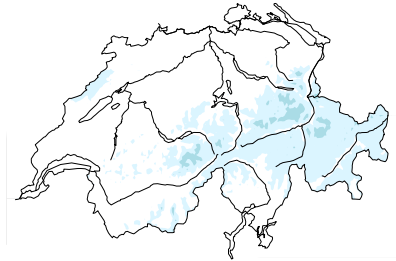
Juli 2022



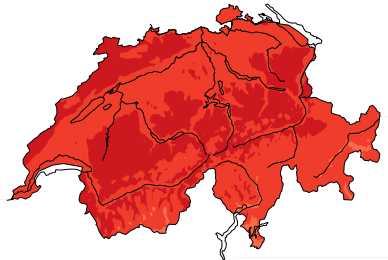
August 2022



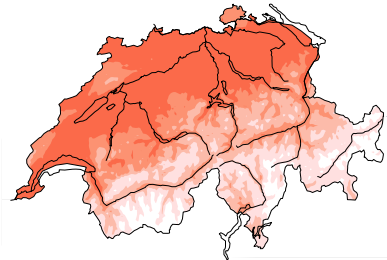
September 2022



Oktober 2022



November 2022



Dezember 2022

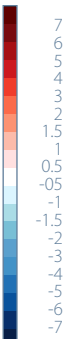
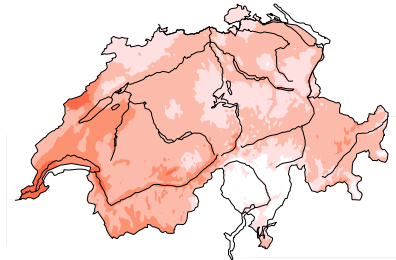
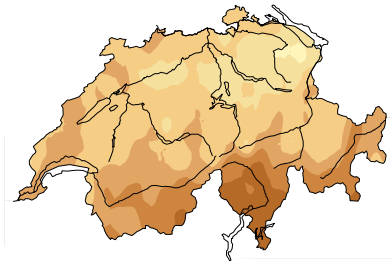


Abbildung 1.2

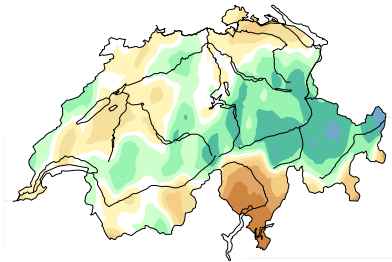
Räumliche Verteilung der Monatstemperatur als Abweichung zur Norm 1991–2020 in °C.

Monatsniederschlag 2022 in % der Norm 1991–2020

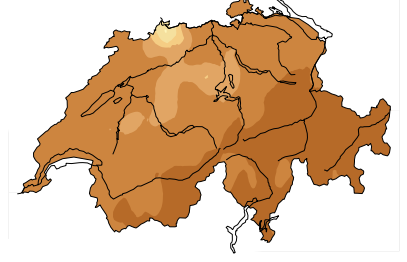
Januar 2022



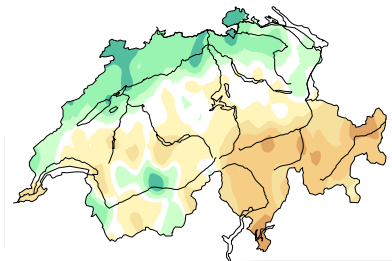
Februar 2022



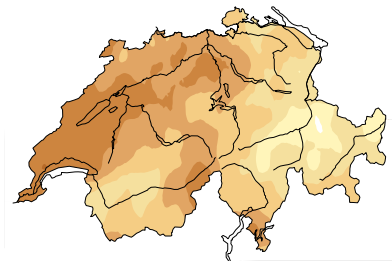
März 2022



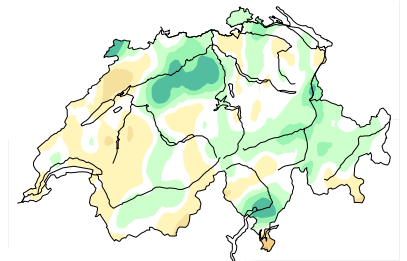
April 2022



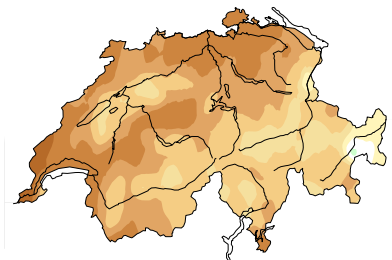
Mai 2022



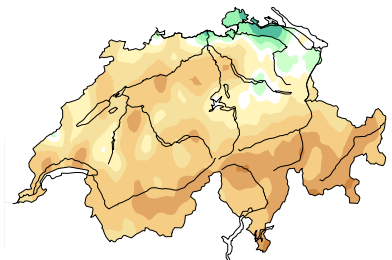
Juni 2022



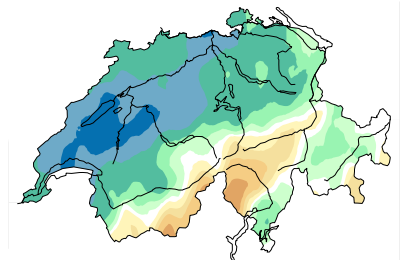
Juli 2022



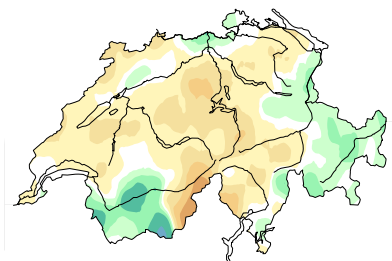
August 2022



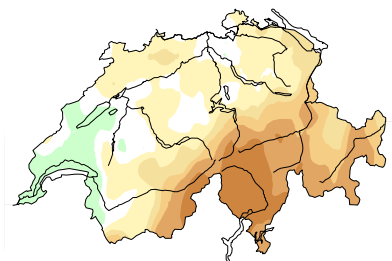
September 2022



Oktober 2022



November 2022



Dezember 2022

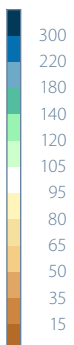
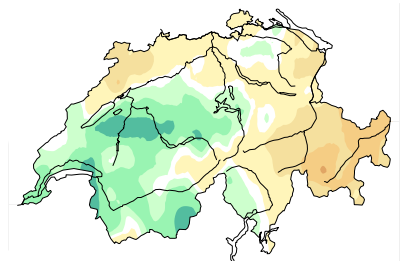


Abbildung 1.3
Räumliche Verteilung der Monatsniederschläge in % der Norm 1991–2020.

Monatliche Sonnenscheindauer 2022 in % der Norm 1991–2020

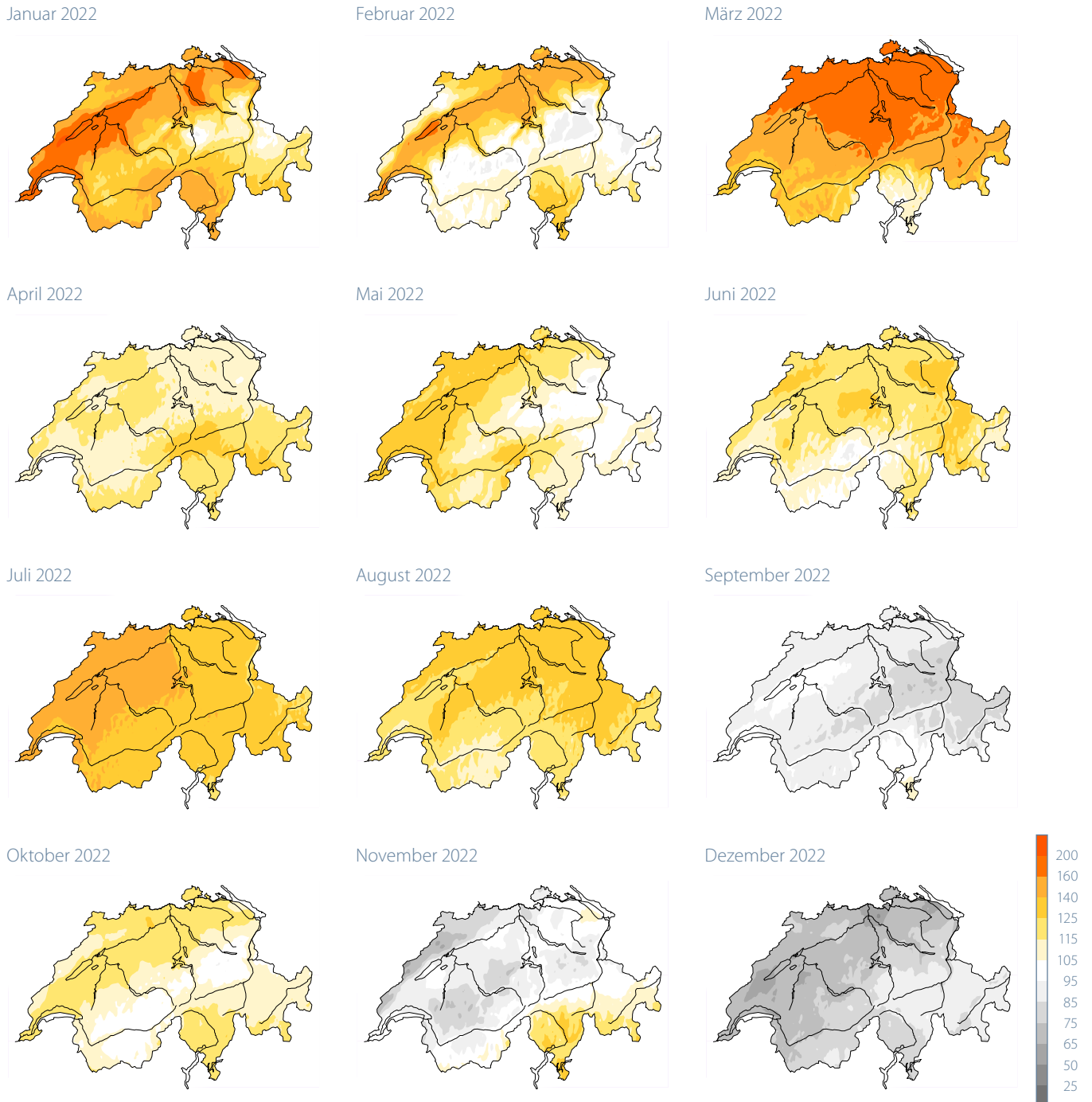


Abbildung 1.4
Räumliche Verteilung der monatlichen Sonnenscheindauer in % der Norm 1991–2020.



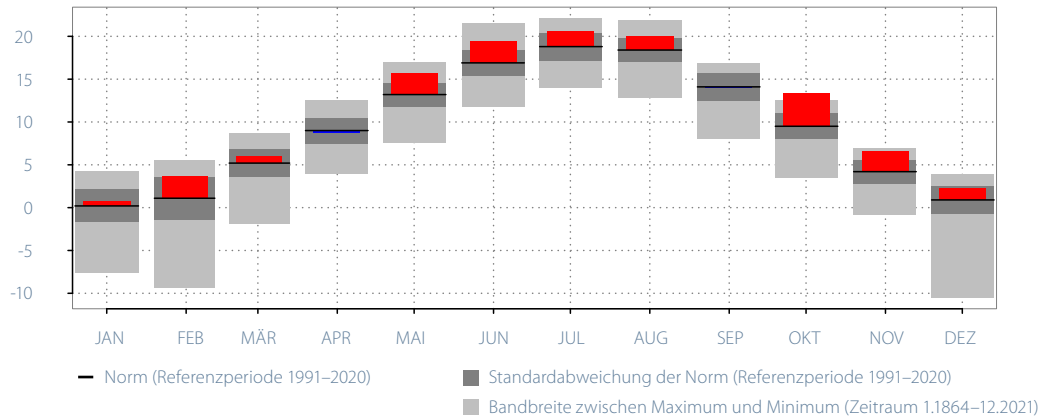


2 | Diagramme zum Jahresverlauf

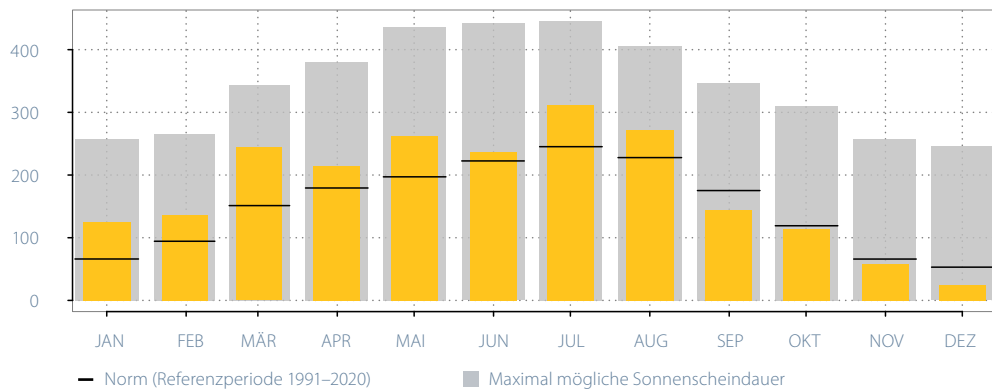
Temperatur, Sonnenscheindauer, Niederschlag

Bern-Zollikofen (553 m ü.M) 1.1.–31.12.2022

Monatsmittel der Lufttemperatur in °C
Mittel: 10,9; Norm: 9,3



Monatliche Sonnenscheindauer in h
Summe: 2143,0; Norm: 1797,1



Monatliche Niederschlagssummen in mm
Summe: 895,1; Norm: 1021,8

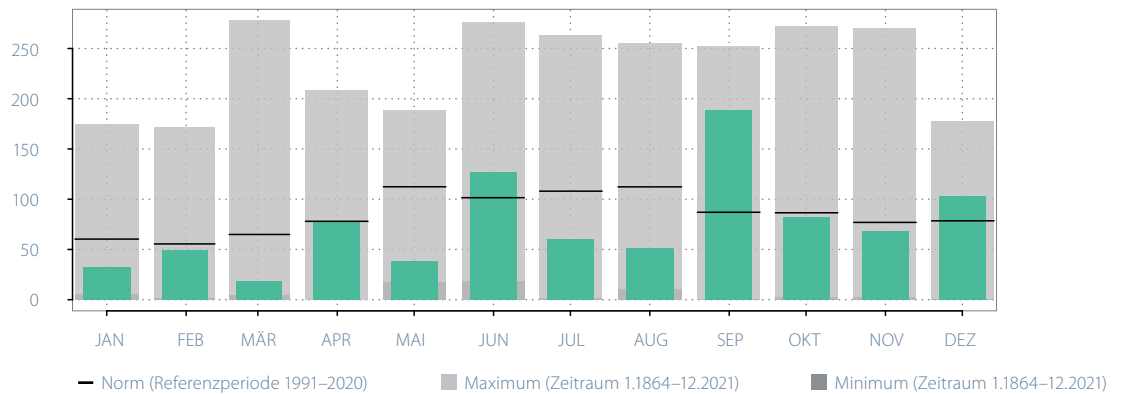


Abbildung 2.1

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

Die Jahresverlaufsdiagramme für alle Stationen des Schweizer Klimanetzwerkes [1] sind unter der nachfolgenden Internetadresse zu finden.

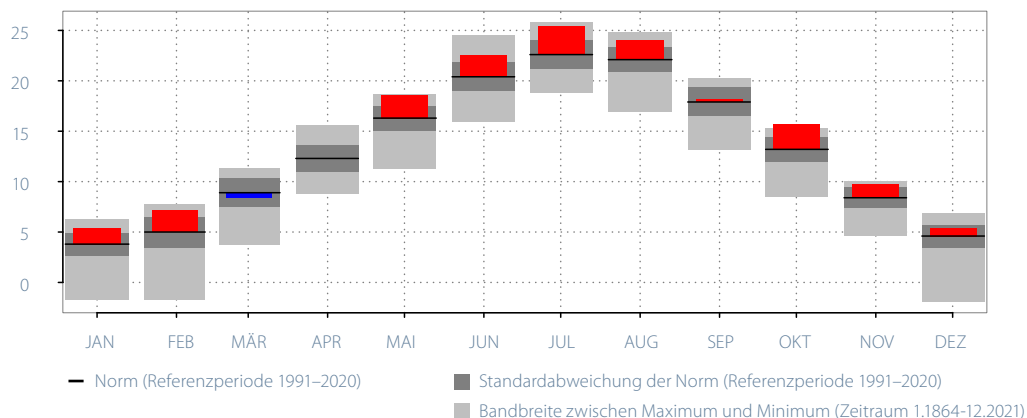
www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klima-der-schweiz/jahresverlauf-temperatur-sonne-niederschlag.html



Lugano (273 m ü.M) 1.1.–31.12.2022

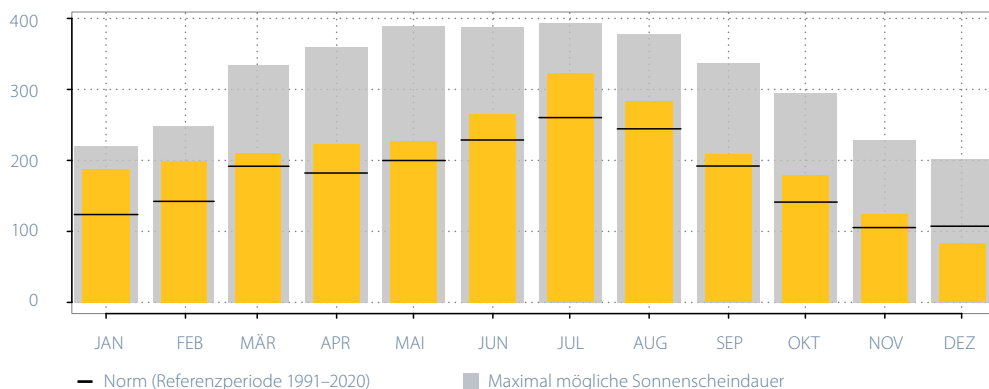
Monatsmittel der Lufttemperatur in °C

Mittel: 14,4; Norm: 13,0



Monatliche Sonnenscheindauer in h

Summe: 2513,6; Norm: 2119,8



Monatliche Niederschlagssummen in mm

Summe: 1096,4; Norm: 1566,6

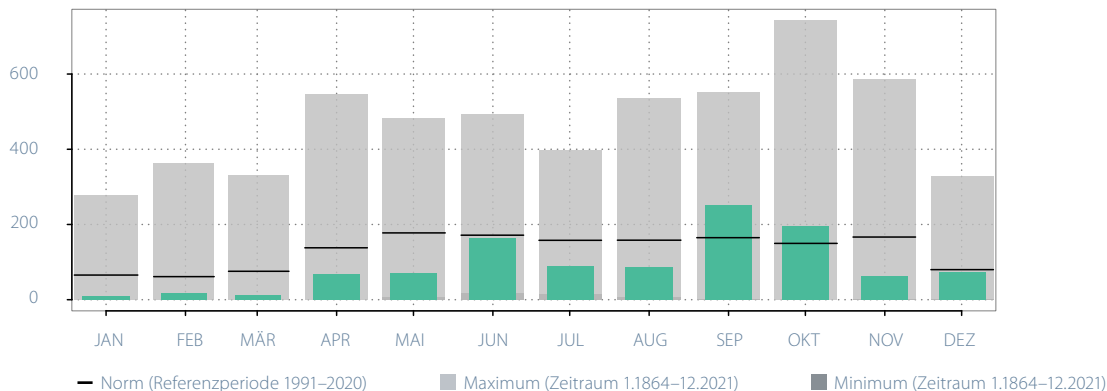


Abbildung 2.2

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

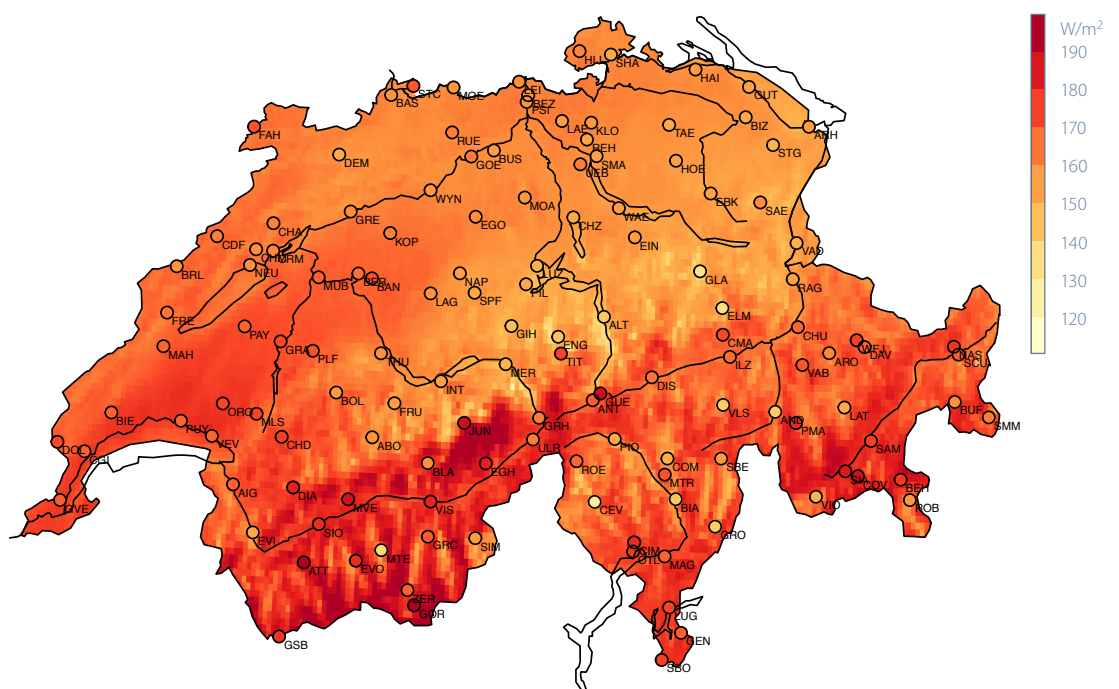
Jahresverlauf der Globalstrahlung

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

Die jährlich gemittelte Globalstrahlung erreichte in 2022 Spitzenwerte von bis zu 190 W/m^2 (Abbildung 2.3). Die höchste Globalstrahlung wurde auch 2022 am Alpenhauptkamm gemessen. Aber auch im westlichen Mittelland, im Tessin, Wallis und Graubünden wurden Werte zwischen 160 und 180 W/m^2 erzielt. In den nördlichen Alpen hingegen wurde teilweise nur 130 – 140 W/m^2 registriert.

Das Wallis, Graubünden und auch das westliche Mittelland registrierte 2022 fast die gleiche Globalstrahlung wie das Tessin. So war die Trennung zwischen der südlichen Schweiz und dem Mittelland im Vergleich zu den Vorjahren fast nicht vorhanden: Während in Genf und Payerne 166 resp. 168 W/m^2 aufgezeichnet wurden, erhielten Lugano, Zermatt und Samedan 167 – 173 W/m^2 . Auch in Kloten wurde ein Rekordwert von 157 W/m^2 registriert. In Engelberg hingegen wurden nur 146 W/m^2 gemessen.

Abbildung 2.3
Jahresmittel der Globalstrahlung für 2022 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.



2022 war das Jahr mit der höchsten Globalstrahlung seit dem Beginn der satelliten-basierten Strahlungsmessung in 2004. Im Vergleich zum Mittel 2004–2021 lagen die Globalstrahlungswerte in fast allen Gebieten der Schweiz um mehr als 10 W/m^2 höher. Der Grund dafür ist ein ausgesprochen sonniger Sommer. Lediglich in kleinen Gebieten in den nördlichen Alpen und Teilen des südlichen Wallis liegen die Werte innerhalb der Norm.

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 2022 war äusserst wechselhaft. Januar und Februar lagen in der ganzen Schweiz im Bereich der Norm mit einem Wechsel von sonnigen und trüben Perioden. Der März war vor allem im Tessin sehr sonnig. Der April war in den Bergen sehr trüb. Im Mai lag die Globalstrahlung vor allem im Mittelland deutlich über dem Durchschnitt. Ab Mitte Juni bis Mitte August war es in der Schweiz fast ohne Unterbrechungen ausgesprochen

sonnig (Abbildung 1.4). Im Juli war die Globalstrahlung in der gesamten Schweiz mit 50 W/m^2 deutlich über der Norm. Auch der August lag mit 20 W/m^2 noch deutlich über der Norm. Im September gab es eine lange Periode mit sehr trüben Tagen und auch im Oktober, November und Dezember gab es viele wolkige Perioden. Die Globalstrahlungswerte lagen vor allem im November in der ganzen Schweiz deutlich unter der Norm.

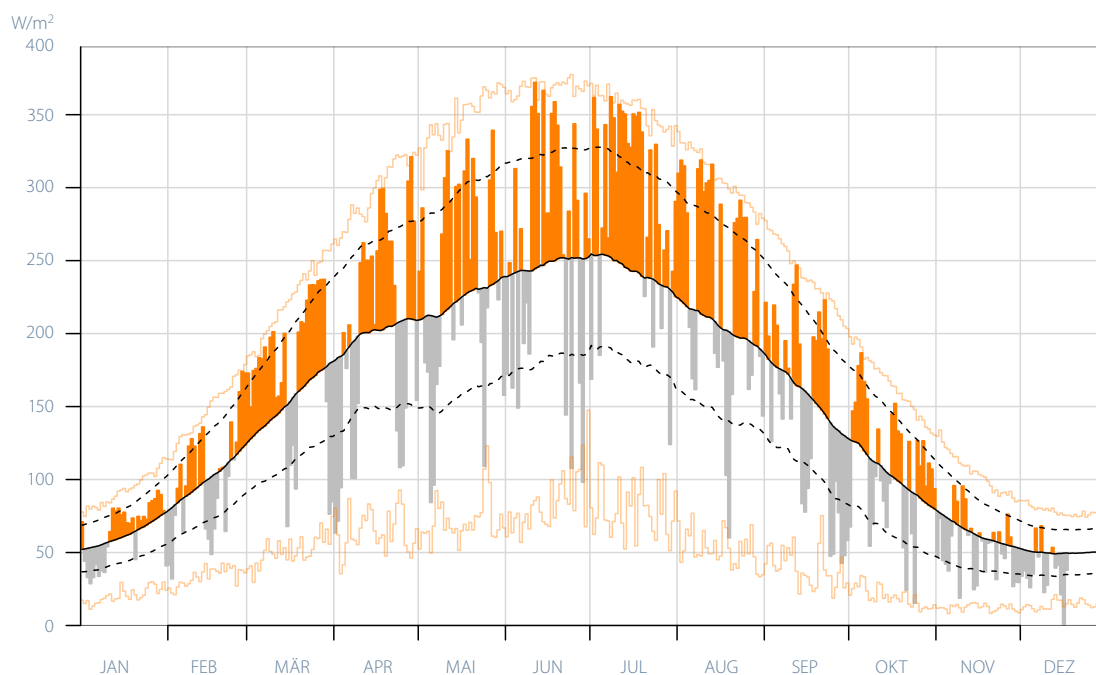


Abbildung 2.4
Tagesmittel der Globalstrahlung gemittelt über die ganze Schweiz für 2022. Orange Balken geben eine überdurchschnittliche, und graue Balken eine unterdurchschnittliche Einstrahlung im Vergleich zur Periode 2004–2021 an.

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.

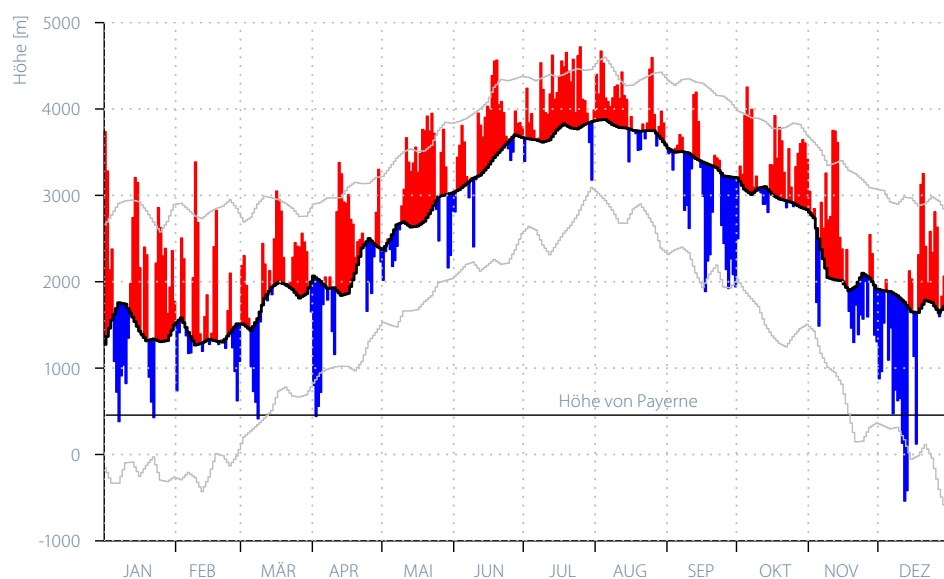
Abbildung 2.5 zeigt die täglichen Veränderungen der Nullgradgrenze im Jahr 2022. Die Werte sind sowohl absolut (in m ü.M.) als auch im Verhältnis zu den täglichen Referenzwerten der Periode 1991–2020 (schwarze Kurve) dargestellt. Die blauen und roten Balken in der Grafik zeigen die Abweichungen zur Norm. Der Median für den Zeitraum 1991–2020 entspricht 2605 m. Der Jahresmedian der Nullgradgrenze im Jahr 2022 betrug 2830 m, 225 m über dem Median der Norm und 150 m höher als der Vorjahreswert. Der Prozentsatz negativer Anomalien im Jahr 2022 lag bei 36,4% und damit deutlich unter den 53,7% des Jahres 2021. Der Prozentsatz der positiven Anomalien (in rot) im Jahr 2022 ist im Vergleich zu 2021 von 46,3% auf 63,6% gestiegen. Der Höchstwert

der Jahresreihe wurde am 25. Juli 2022 mit 4719 m Höhe gemessen, 19 m über dem Maximum im Jahr 2021. Die am 12. Dezember gemessene Höhe von -539 m stellte das Minimum der Jahresreihe dar, 160 m höher als im Jahr 2021. Praktisch nur der Monat Dezember wies Tageswerte unterhalb der Bodenhöhe auf. Auch der Prozentsatz der Tage, an denen die Abweichungen der Nullgradgrenze von der Referenz den Schwellenwert des 95. Perzentils überschritt, betrug im Jahr 2022 12,9% (rote Balken, die die obere graue Kurve überschreiten), im Vergleich zu 7,12% im Jahr 2021. Nur 2,7% der negativen Anomalien blieben 2022 unter dem 5. Perzentil.

Die langanhaltenden Phasen mit vergleichsweise hoher Nullgradgrenze, die es im Jahresverlauf 2022 und besonders im Sommerhalbjahr immer wieder gab, sind ein weiterer Indikator für die aussergewöhnliche Wärme im vergangenen Jahr. Dies zeigt auch, dass der Wärmeüberschuss meistens sowohl die Tief- als auch die höheren Lagen betraf. Der Jahresmedian der Nullgrenze 2022 passt 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 2022, 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 2022: 2830 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 2022. 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 2022 betrug 11'658 m und war damit 403 m höher als der Referenzmedian. Dieser liegt auf 11'255 m. Die täglichen Medianwerte waren nur in 38,6% aller Fälle niedriger als die Norm. Im Gegensatz dazu lagen die Tageswerte während 61,4% der Zeit im Jahr 2022 über der Norm. Die Messwerte waren zwischen Mai und August fast durchgehend über dem Referenzwert, mit nur wenigen Ausbrüchen nach unten. Erst gegen Ende des Jahres, in den ersten zwei Dezemberwochen, gab es eine längeranhaltende Phase stark negativer Abweichungen.

Im Vergleich zum kühleren Vorjahr waren 2022 mehr warme Extreme zu beobachten. Insgesamt schossen 8,5% der positiven Abweichungen zur Norm über das 95. Perzentil hinaus und nur 1,6% der negativen Anomalien blieben unter dem 5. Perzentil. Der Höchstwert für das Jahr 2022 wurde am 25. Juli mit einer Tropopause auf 15'592 m Höhe gemessen (1102 m höher als 2021). Am 11. Dezember wurde das Minimum der Tropopausenhöhe von 6364 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 2022: 11'658 m; Norm 1991–2020: 11'255 m

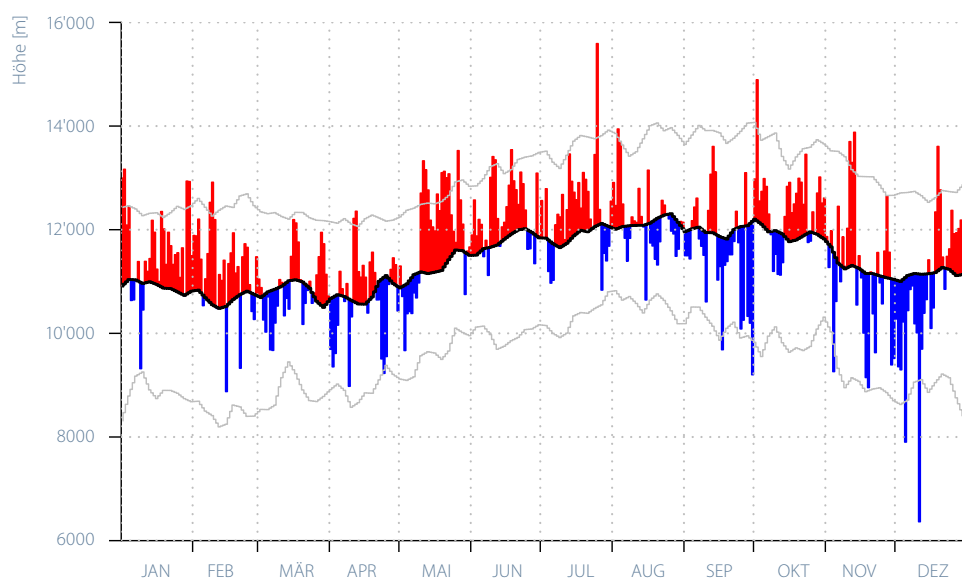


Abbildung 2.6

Tägliche Höhe der Tropopause über Payerne im Jahr 2022, 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

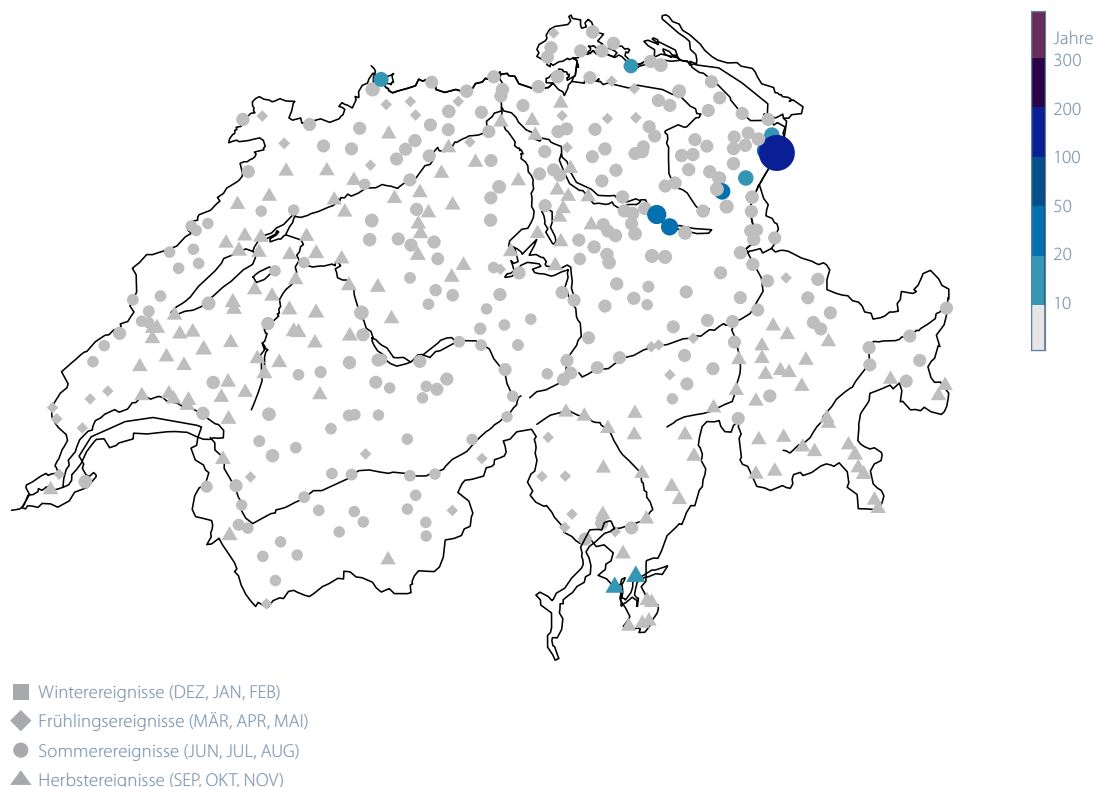
Um zu beurteilen, ob ein aussergewöhnliches Witterungsereignis aufgetreten ist, werden Häufigkeitsanalysen (oder Extremwert-Analysen) durchgeführt. Häufigkeitsanalysen geben Auskunft darüber, wie häufig im langjährigen Durchschnitt das Überschreiten einer bestimmten Ereignisgrösse zu erwarten ist, z.B. 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 extremsten Tagesniederschläge im Jahr 2022 traten am 19. August auf. Ab dem 17. August führte ein Tief über dem nahen Atlantik sehr feuchte Luft über die Schweiz. Diese feuchte Luftmasse wurde am 19. August mit nördlicher Höhenströmung an die Alpen gepresst. In der Folge regnete es vor allem entlang der östlichen Voralpen und im St. Galler Rheintal ergiebig und langanhaltend. In Oberriet (SG) wurden an diesem Tag 144,7 mm Niederschlag gemessen. Das entspricht an diesem Messstandort einer

Wiederkehrperiode von 140 Jahren. Der Tagesniederschlag vom 19. August in Schänis (120,3 mm) weist eine Wiederkehrperiode von 38 Jahren auf, jener in Altstätten (121,9 mm) wird etwa alle 27 Jahre überschritten. Auch in Weesen am Walensee ergossen sich gleichentags 119,9 mm (Wiederkehrperiode 26,5 Jahre). Der Säntis bekam am 19. August sogar 145,6 mm ab (Wiederkehrperiode 21,5 Jahre).

Eine Südwestlage mit Niederschlagszentrum im Sütessin brachte am 7. September extreme Niederschläge. So verzeichnete Lugano 156,1 mm Niederschlag in 24 Stunden, was dort in etwa alle 18 Jahre überschritten wird. In Ponte Tresa gab es am gleichen Tag 179,5 mm (Wiederkehrperiode 15,6 Jahre).

Abbildung 2.7
**Wiederkehrperioden
 (in Jahren) der grössten
 1-Tages Niederschlags-
 summen (6–6 Uhr),
 unterschieden nach
 Saison, im Jahr 2022.
 Der dunkelblaue
 Punkt entspricht dem
 Messstandort Oberriet/
 Kriessen (Details im Text).**



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 2022 an allen Messstationen mehrheitlich während des gesamten Jahres signifikant höher. In Locarno-Monti wurde der durchschnittliche Verlauf der UV-Strahlung ganzjährig überschritten, auf dem Jungfrauoch und in Payerne von Ende April bis Anfang September und in Davos von Juni bis Anfang September.

Die Hauptfaktoren, welche die Intensität der UV-Strahlung beeinflussen, sind einerseits die Position der Sonne am Himmel und die Höhenlage einer Messstation, die sich von Jahr zu Jahr nicht ändern. Daneben spielen die Bewölkung und der Ozongehalt in der Atmosphäre (primär in der Ozonschicht) eine wichtige Rolle. Die starke UV-Strahlung im Jahr 2022 war nicht auf einen Mangel an Ozon zurückzuführen, da der Ozongehalt in der Atmosphäre im Durchschnitt ähnlich hoch war wie in den Jahren zuvor (siehe «Ozonmessreihe Arosa und Davos», Abbildung 2.9). Die hohen Werte der UV-Strahlung stehen somit klar in Zusammenhang mit der starken Sonneneinstrahlung in der Schweiz im Jahr 2022 (siehe «Jahresverlauf der Globalstrahlung, Abbildung 2.4).

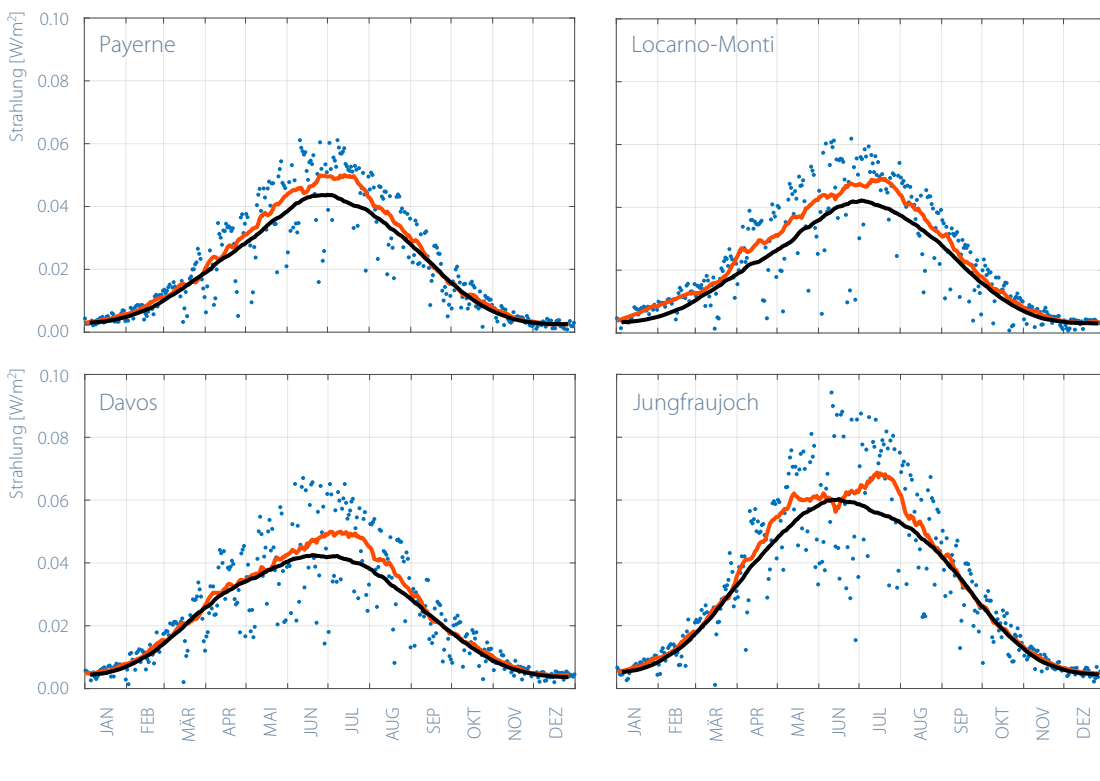


Abbildung 2.8
Tägliche Mittelwerte 2022 der erythemalen ultravioletten Strahlung (blaue Punkte) an den Messstationen Payerne, Locarno-Monti, Davos und Jungfrauoch. Rote Linie: gleitendes Monatsmittel (31 Tage). Schwarze Kurve: mittlerer jährlicher Verlauf berechnet aus den langjährigen Aufzeichnungen 1995–2021 (Davos), 1997–2021 (Jungfrauoch), 1998–2021 (Payerne) und 2001–2021 (Locarno-Monti).

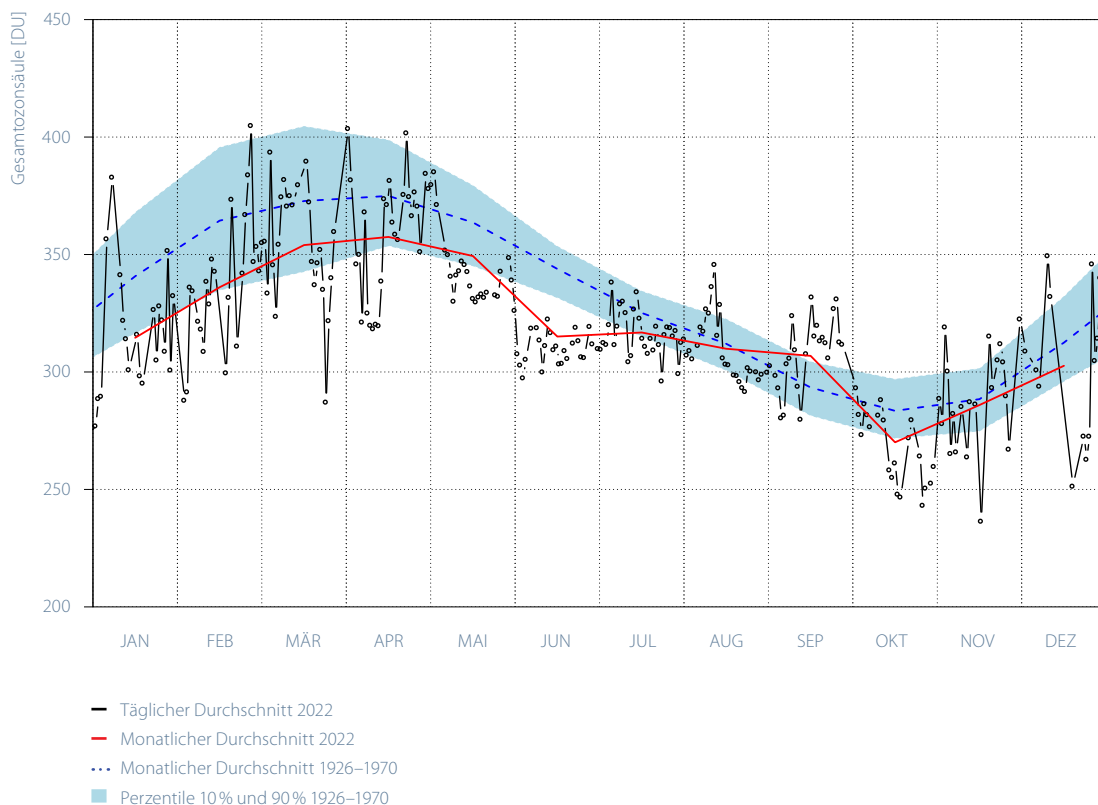
• Täglich
— Monatlich 2022
— Monatlich Klima

Ozonmessreihe Arosa und Davos

Die Messungen der Gesamtozonsäule wurden im Jahr 2022 alle in Davos vorgenommen. Die Entwicklung der Gesamtozonsäule über Davos (Abbildung 2.9) zeigt 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 Jahr 2022 lagen die Ozonwerte im Juni signifikant und im Rest des Jahres leicht unter den Werten der Referenzperiode. Der September hingegen zeigt Werte über dem klimatologischen Mittel.

Abbildung 2.9
Entwicklung der Gesamtozonsäule über Arosa im Jahresverlauf 2022. 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. 80% der Schwankungen von Jahr zu Jahr innerhalb des Zeitraums 1926–1970 liegen innerhalb des blauen Bereichs.



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 2022 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 2022 zeigten keine besonderen Ereignisse. Dennoch ist zu erkennen, dass der Monat Juni unterhalb von 20 km Ozonwerte unter dem klimatologischen Durchschnitt aufweist, während die überdurchschnittlichen Ozonwerte des Monats September 2022 vor allem bei 25 km liegen.

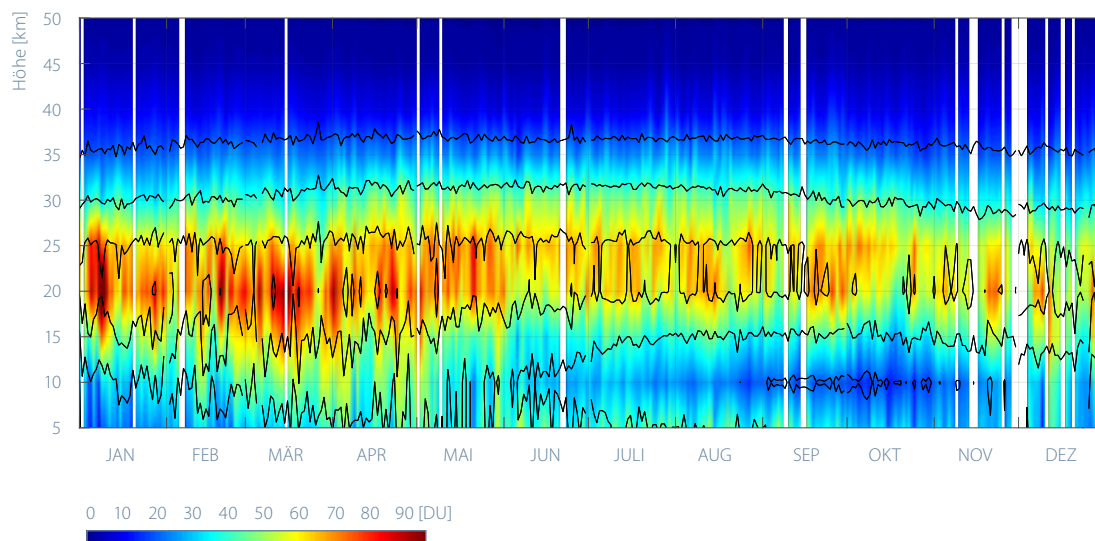
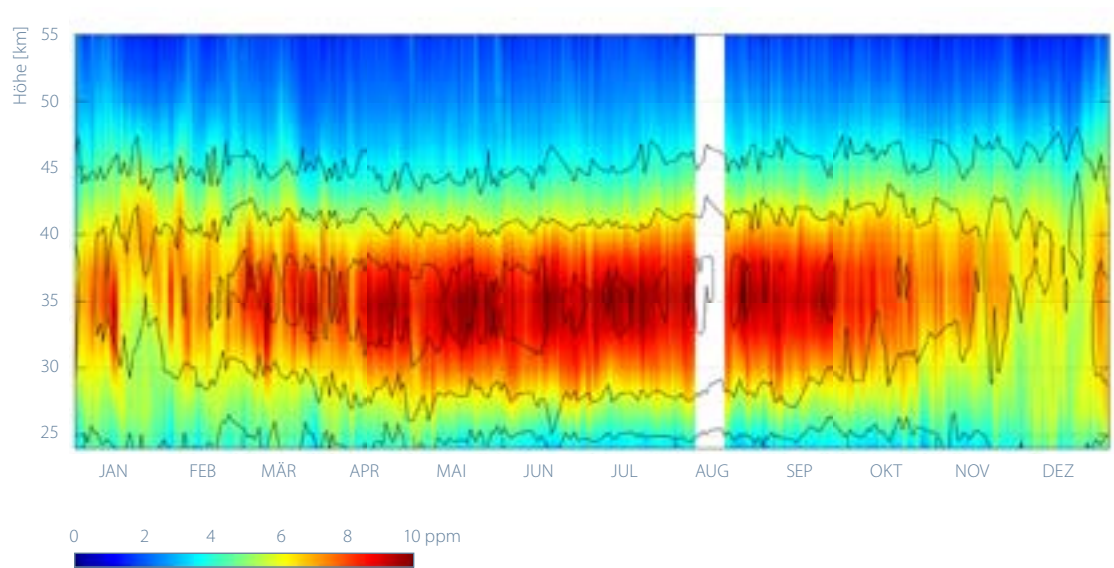


Abbildung 2.10
Die in Davos von einem Dobson-Spektralphotometer gemessenen Ozonprofile im Jahr 2022. Die Grafik zeigt die Ozonkonzentration in Dobson Units (DU) (Skala rechts zwischen 0 und 90 DU). 100 DU = 1 mm reines Ozon bei Normaldruck 1013 hPa und 0°C.

Ozonmessungen Payerne

Das Mikrowellen-Radiometer SOMORA misst seit 2000 die vertikale Verteilung des Ozons in Payerne mit einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde. Die Schwankung des Ozons im Jahresverlauf 2022 ist in Abbildung 2.11 mit Farbe, für das Jahr 2021 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 2022 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 2022 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 = ~9 000 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).

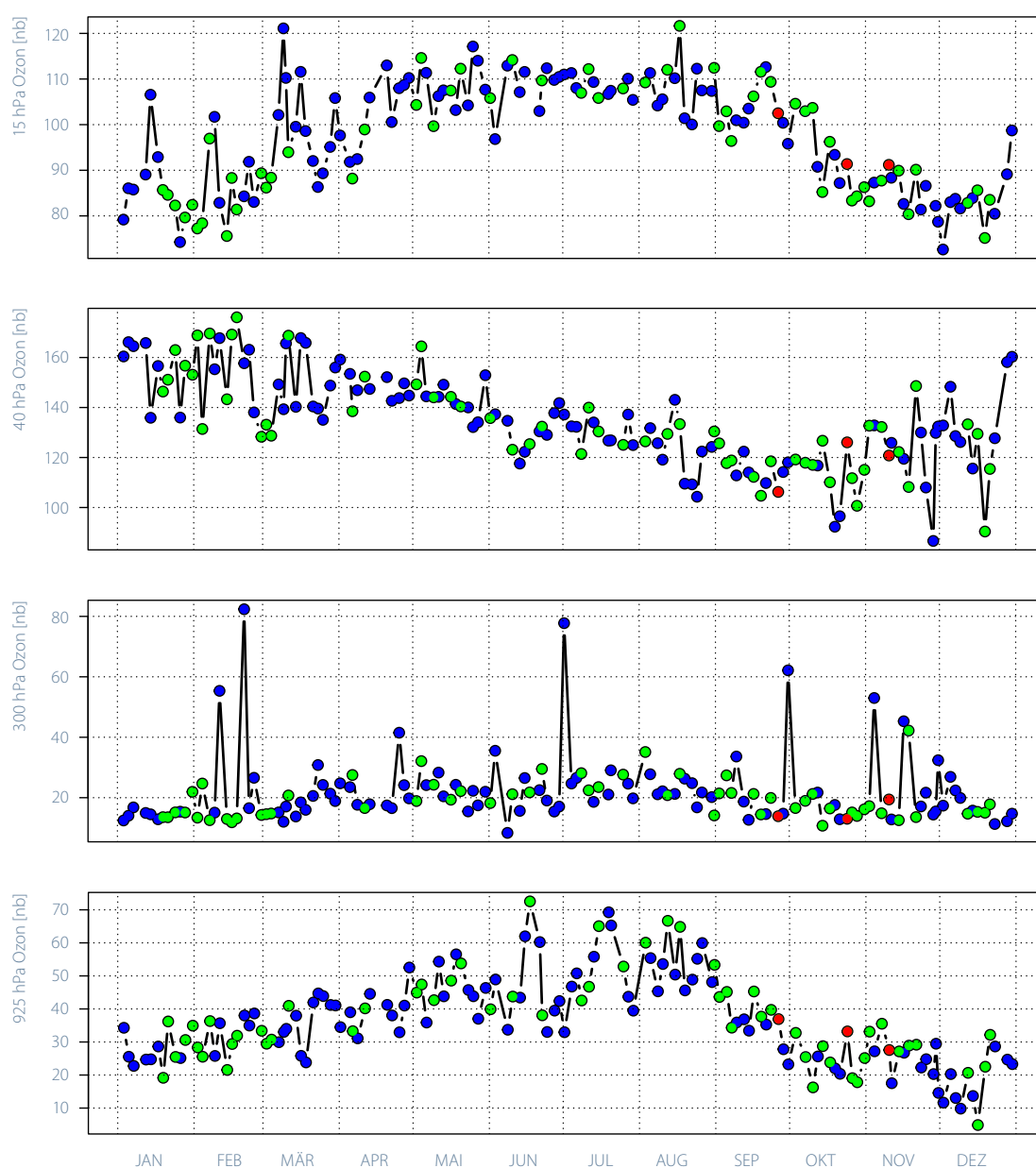


Abbildung 2.12
Verlauf der Ozonkonzentration (Partialdruck in Nanobar) im Jahr 2022 für zwei Niveaus in der Troposphäre (925 hPa-Niveau ~800 m und 300 hPa-Niveau ~9000 m) und zwei Niveaus in der Stratosphäre (40 hPa-Niveau ~22'000 m und 15 hPa-Niveau ~28'000 m). Die Farben zeigen, wie gut die Ballonsondendaten 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].

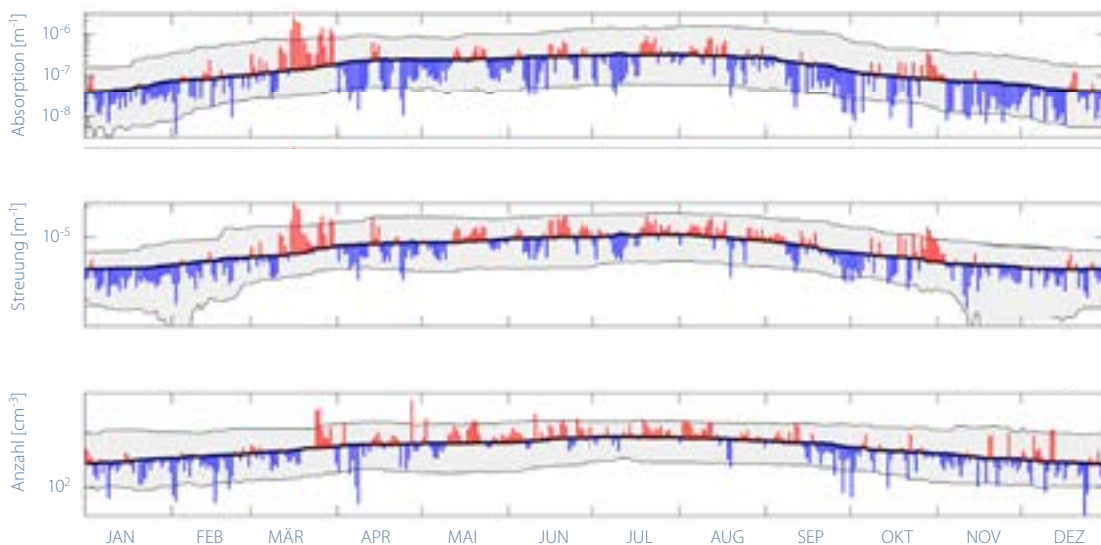
Im Jahresverlauf der Aerosolparameter auf dem Jungfraujoch zeigen sich im Sommer maximale und im Winter minimale Werte. Die natürlichen und menschgemachten Aerosole sammeln sich insbesondere in der planetaren Grenzschicht, also der untersten Schicht der Atmosphäre, welche je nach Wetterlage und Jahreszeit 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 2022 gab es während des gesamten Monats März sowie im Juni und Oktober einen sehr grossen Zufluss an Mineralstaub aus der Sahara. Die hohe Mineralstaubbelastung lässt sich anhand der Messungswerte der Absorptions- und Streukoeffizienten über dem Referenzwert 1995–2021 für diese Monate zeigen. Je grösser diese Werte, umso mehr Sonnenlicht wird durch Aerosole gestreut oder absorbiert.

Abbildung 2.13
Entwicklung des Absorptionskoeffizienten bei 880 nm (oben), des Streukoeffizienten bei 550 nm (Mitte) und der Anzahlkonzentration (unten) der Aerosole im Jahr 2022 auf dem Jungfraujoch. Die schwarze Kurve zeigt das Mittel der Periode 1995–2021. Innerhalb der grauen 5% und 95% Perzentil-Linien liegen 90% der Tagesmittelwerte.



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 siebzehn Jahren (2001–2017) wurde eine Klimatologie der Saharastaubereignisse erstellt. 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–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.

Zwischen 2016 und 2018 mussten die alten Instrumente ersetzt werden, was sich auf die Empfindlichkeit bei der Erkennung von Saharastaubereignissen auswirkte. Die aktuelle Klimatologie berücksichtigt daher nur die letzten Jahre seit 2015 mit vergleichbarer Empfindlichkeit. Die Saharastaubeinträge im Jahr 2022 waren in den Monaten März–Juni und Oktober 2022 besonders zahlreich und intensiv. Das Ereignis vom 15.–18. März 2022 war sehr intensiv, mit einer täglichen PM_{2.5}-Konzentration¹ am Jungfrauoch von 112 µg/m³. Eine Gelbfärbung des Himmels, die durch die hohe Konzentration von Mineralpartikeln in der gesamten atmosphärischen Säule hervorgerufen wurde, war in der ganzen Schweiz zu beobachten. Die Konzentrationen im Flachland waren jedoch deutlich niedriger als in höheren Lagen.

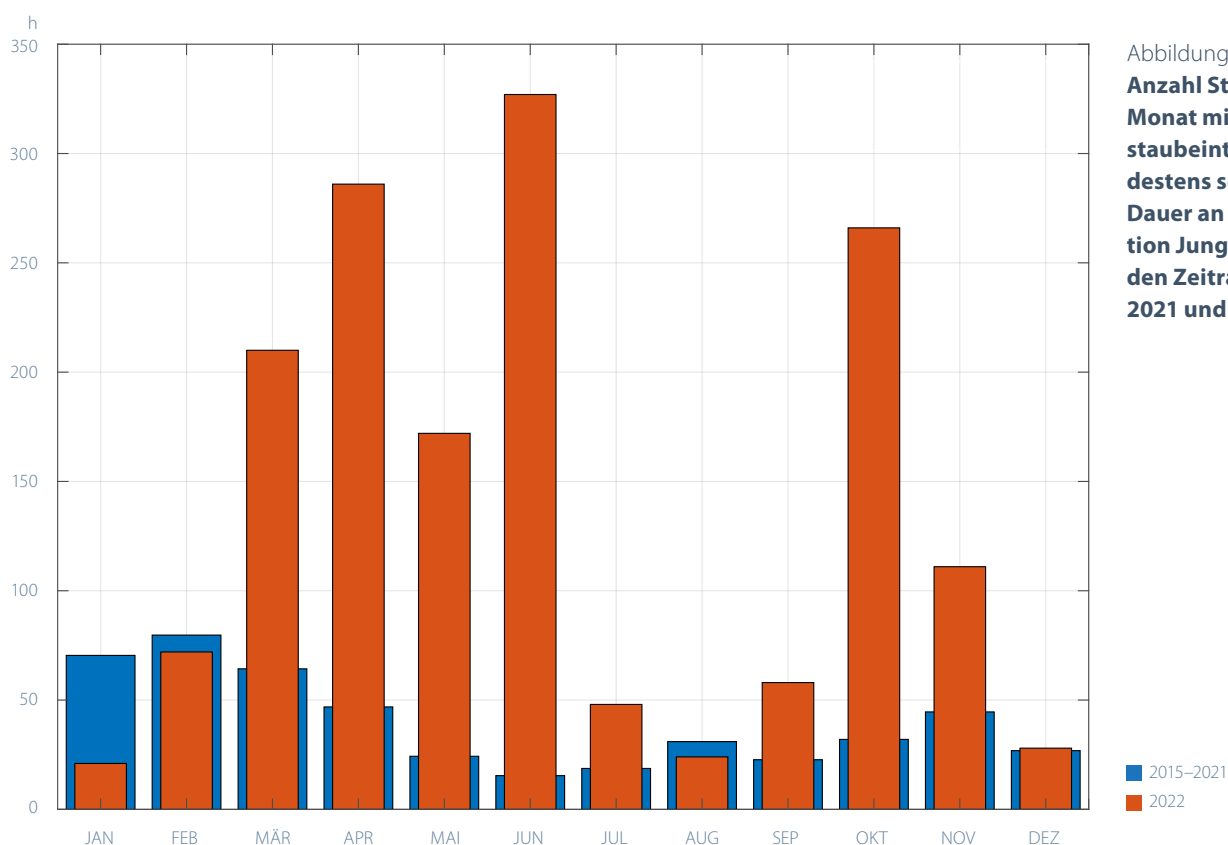


Abbildung 2.14
Anzahl Stunden pro Monat mit Mineralstaubeintrag von mindestens sechs Stunden Dauer an der Messstation Jungfrauoch für den Zeitraum 2015–2021 und für 2022.

¹ PM_{2.5}: Aerosolpartikel (particulate matter) mit einem Durchmesser von weniger als 2,5 Mikrometern.

Vegetationsentwicklung

Das phänologische Jahr 2022 begann Anfang Januar mit einem sehr frühen Start der Haselblüte. Der Vorsprung im Frühling betrug für die Blüte von Obstbäumen und Löwenzahn etwa eine Woche. Die Blattentfaltung war um 3–5 Tage verfrüht, mit Ausnahme der Buche, die ihre Blätter ziemlich genau im langjährigen Mittel entfaltete. Ab Mai beschleunigte sich die Pflanzenentwicklung durch hohe Temperaturen. Die Blüte der Linden und des Schwarzen Holunders war um über eine Woche verfrüht. Die Fruchtreife des Roten Holunders im Juli war die früheste seit Beobachtungsbeginn 1996, jene des Schwarzen Holunders im August die zweitfrüheste mit einem Vorsprung von knapp zwei Wochen auf das Mittel. Auch die Weinlese war die früheste im phänologischen Beobachtungsnetz. Die herbstliche Blattverfärbung trat zu einem normalen Zeitpunkt auf. Besonders Lärchen profitierten von der Wärme des Oktobers und verfärbten sich einige Tage später als im Mittel.

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 den Median aller Stationen im Jahr 2022 angegeben. Einige phänologische Phasen werden erst seit 1996 beobachtet. Für diese Phasen wird die Abweichung von der Periode 1996–2020 angegeben. Die phänologischen Beobachtungen begannen 1951–1952.

Frühling

Die ersten Stationen des phänologischen Beobachtungsnetzes meldeten den Blühbeginn der Haselsträucher im Tessin und auf der Alpennordseite ab Anfang Januar. Im Pollenmessnetz wurde diese sehr frühe Blüte der Haselsträucher bestätigt. In Lugano wurden schon ab Mitte Dezember Haselpollen gemessen und ab dem 31. Dezember war der Pollenflug stark bis sehr stark. Im Tessin blühten die Haselsträucher schon im Januar voll auf, während auf der Alpennordseite die Temperatur im Januar etwas zu tief war und sie erst ab Ende Januar mit dem Anstieg der Temperatur auf etwa 5–8 °C verbreitet aufblühten. Die Blüte der Hasel fand im Tessin drei Wochen früher statt als im Vergleich mit dem Mittel der Normperiode 1991–2020. Über alle Beobachtungsstationen der Schweiz gemittelt betrug der Vorsprung der Haselblüte zwölf Tage. Dabei konnten knapp die Hälfte der Beobachtungen in den Klassen «früh» und «sehr früh» eingeordnet werden.

Ab dem 20. Februar wurde blühender Hufplattich beobachtet und ab Ende Februar die ersten Buschwindröschen. Im Durchschnitt aller Stationen blühte der Hufplattich am 16. März (5 Tage früher als im Mittel) und das Buschwindröschen am 25. März (10 Tage früher als im Mittel). Die Kirschbäume blühten ab dem 21. März in der Nordwestschweiz und gegen Ende März im Tessin und in den tiefen Lagen des Mittellands. Die Kirschenblüte wanderte mit 3,4 Tagen Verzögerung pro 100 Höhenmeter in höher gelegene Gebiete, was genau dem Mittel entspricht. Erste Blüten der Birnbäume öffneten sich Ende März. Das vollständige Aufblühen der Birnbäume fand jedoch erst nach dem späten Wintereinbruch mit Schnee vom 1.–3. April statt. Der Schneefall hatte den Obstbaublüten kaum geschadet. Auch nach der Frostnacht vom 4. April mit Temperaturen unter -2 °C hielten sich die Schäden an den Obstbäumen in Grenzen, auch weil vielerorts Frostkerzen eingesetzt wurden. Die Blüte der Apfelbäume begann ab dem 10. April, ungefähr gleichzeitig im Tessin und auf der Alpennordseite. Das mittlere Blühdatum der Obstbäume an Stationen unterhalb von 600 m war für die Kirschbäume der 8. April, für die Birnbäume der 12. April und für die Apfelbäume der 19. April. Alle blühten ungefähr eine Woche früher als im langjährigen Mittel. Oberhalb von 1000 m blühten die Kirschbäume vor allem Ende April und Anfang Mai, ebenfalls eine Woche früher als im Mittel.

Schon wenige Tage vor der Kirschenblüte begannen Löwenzahn und Wiesenschaumkraut zu blühen, ebenfalls eine Woche früher als im Mittel. Ab dem 20. April blühten beide auf über 1000 m.

Ab Ende März wurden die ersten Laubbäume grün, so die Birken, Rosskastanien und Haselsträucher und die ersten Lärchen trieben ihre Nadeln aus. Die Lärchennadeln trieben ab etwa Mitte April oberhalb von 1000 m und um Mitte Mai im Engadin aus. Die Blattentfaltung und der Nadelaustrieb dieser Arten waren um 3–5 Tage verfrüht. Ab etwa Mitte April konnte verbreitet der Blattaustrieb der Sommer- und Winterlinde, des Bergahorns und der Buche beobachtet werden. Die Buchenblätter entfalten sich genau zu einem mittleren Zeitpunkt, denn die Temperatur lag im April ganz leicht unter dem Mittel von 1991–2020. Im Mittel trieben die Buchenblätter unterhalb von 600 m am 24. April, zwischen 600 und 1000 m am 30. April und oberhalb von 1000 m am 7. Mai aus.

Die als «früh» klassierten Beobachtungen gingen im Lauf des temperaturmässig normalen Aprils zurück und die Einordnung in die Klasse «normal» dominierte vgl. (Abbildung 1.1). Der Nadelaustrieb der Fichte begann ab Mitte April. Er fand unterhalb von 600 m im Mittel am 1. Mai statt und oberhalb von 1000 m am 18. Mai. Der Mai war der zweitwärmste seit Messbeginn, so dass sich die Pflanzenentwicklung wieder beschleunigte. Im Mittelland war der Nadelaustrieb der Fichten nur um zwei Tage verfrüht, während er oberhalb von 1000 m schon wieder einen Vorsprung von sechs Tagen auf das Mittel erreichte. Ab der letzten Aprildekade begannen die Margeriten zu blühen. Unterhalb von 600 m hatten die Margeriten einen Vorsprung von acht Tagen auf das Mittel, oberhalb von 1000 m jedoch schon von 13 Tagen. Im Mittel blühten die Margeriten oberhalb von 1000 m am 25. Mai. Sehr früh konnten die Margeriten im Engadin, in Lenzerheide und Davos zwischen dem 24. Mai bis 11. Juni beobachtet werden, mit einem Vorsprung von 11–24 Tagen auf das Mittel.

Sommer

Das heisse Wetter setzte sich den ganzen Sommer hindurch fort. Die Temperatur der einzelnen Monate war jeweils die zweit- bis viertwärmste und der ganze Sommer war der zweitwärmste seit Messbeginn. Der Einfluss auf die Entwicklung der phänologischen Sommerphasen zeigte sich deutlich.

Die erste Heuwetterperiode begann ab dem 9. Mai und dauerte bis gegen Ende Mai. Meldungen der Heuernte trafen vom Flachland bis 1200 m ein. Nach einem nassen Intermezzo, konnte ab dem 9. Juni erneut während einer langen Periode vom Flachland bis in die Berge das Heu eingebracht werden. Insgesamt hatte die Heuernte einen Vorsprung von vier Tagen auf das Mittel.

Im Tessin blühte der Schwarze Holunder ab Anfang Mai und auf der Alpennordseite ab etwa Mitte Mai. Im Flachland lag seine Hauptblütezeit im Mai und ab rund 900 m im Juni. Der Vorsprung auf die Norm betrug in den tieferen Lagen sieben Tage und in den höheren Lagen zehn Tage. Die Weinreben blühten im Mittel am 3. Juni mit einem Vorsprung von neun Tagen. Erste Sommer- und Winterlinden blühten ab Ende Mai mit einer Hauptblütezeit im Juni. Im Mittel aller Stationen blühten die Sommerlinden am 11. Juni und die Winterlinden am 18. Juni, beide mit einem Vorsprung von etwas über einer Woche. Die Anzahl Beobachtungen in den Klassen «früh» und «sehr früh» nahm wieder auf 61–68% zu. Die Fruchtreife von Rotem Holunder (im Mittel aller Stationen am 1. Juli), der Vogelbeere (6. August) und des Schwarzen Holunders (17. August) war um 8–14 Tage verfrüht. Die Fruchtreife der beiden Holunderarten wird seit 1996 beobachtet. Die diesjährige Fruchtreife war beim Roten Holunder die früheste und beim Schwarzen Holunder die zweitfrüheste seit Beobachtungsbeginn.

Die Weinlese wurde im Jahr 2022 an 38 Stationen beobachtet. Im Mittel fand sie am 15. September statt mit einem Vorsprung von 21 Tagen auf das Mittel der Periode 1991–2020. Damit fand die Weinlese sogar noch früher statt als in den bisherigen Rekordjahren 2003 und 2018. Zu beachten ist jedoch, dass das Weinlesedatum stark von der beobachteten Traubensorte abhängt und ein Vergleich über lange Zeit mit grosser Unsicherheit behaftet ist.

Ein Hitzesommer mit starker Trockenheit wie im Jahr 2022 kann zu einem sehr frühen Braunwerden der Laubbäume führen, besonders an Standorten mit flachgründigen Böden. An den Standorten des phänologischen Beobachtungsnetzes liegen nur ganz wenige sehr frühe Beobachtungen der Blattverfärbung ab Mitte September vor. Am häufigsten waren die Linden betroffen. Die Rosskastanien verfärbten sich an mehreren Stationen sogar schon im August. Der Grund für ihre sehr frühe Blattverfärbung liegt aber neben der Trockenheit vor allem am Schädlingsbefall durch die Minierrmotte und durch Pilze. Im Mittel verfärbten sich die Rosskastanienblätter am 4. Oktober mit einem Vorsprung von fünf Tagen auf das Mittel. Die Vogelbeeren verfärbten sich ab Mitte September zu einem normalen Zeitpunkt.

Die grossflächige Laubverfärbung begann in der letzten Septemberwoche vor allem in höher gelegenen Gebieten und ab Anfang Oktober auch in den tieferen Lagen. Am häufigsten konnten die Beobachtungen bei allen Laubbäumen in die Klasse «normal» eingeordnet werden, besonders deutlich bei der Sommerlinde mit 55% und bei der Buche mit 51% aller Beobachtungen. Bei der Buche zeigt sich eine Tendenz zu leicht früherer Blattverfärbung in den Bergen (2 Tage früher als im Mittel) und einem leicht späteren Auftreten im Flachland (+3 Tage). Beide Abweichungen liegen jedoch in einem normalen zeitlichen Rahmen.

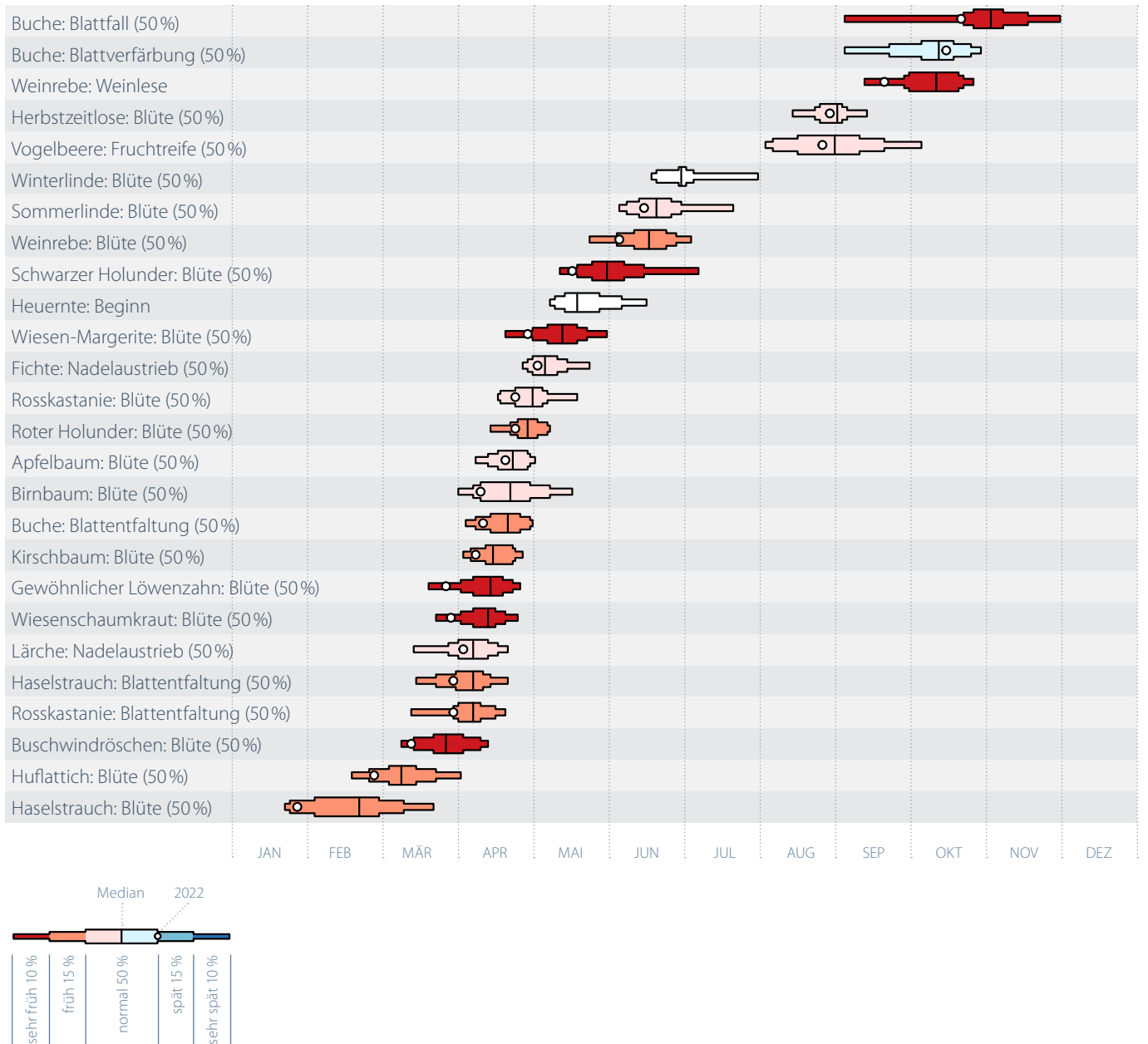
In den tieferen Lagen profitierten die Bäume von den hohen Temperaturen im Oktober, so dass sich ihre Blätter verzögert verfärbten. Die Streuung der Blattverfärbung war jedoch wie in jedem Jahr gross, und es gab je nach Station sehr frühe oder auch sehr späte Daten.

Der Blattfall der Buche begann ab Mitte Oktober, über alle Stationen gesehen zu einem mittleren Zeitpunkt, wobei der Blattfall in den Bergen leicht früher als im Mittel auftrat, während er im Flachland, mit einem Schwerpunkt Anfang November rund zwei Tage später auftrat als im Mittel. Der Blattfall der Birke, der kurz vor Mitte Oktober einsetzte, war über alle Höhenstufen um drei Tage verfrüht.

Die Lärche wurde bei Nadelverfärbung und Nadelfall noch deutlicher durch den warmen Oktober beeinflusst. Im Kanton Graubünden und Wallis verfärbten sich die Lärchen oberhalb von 1500 m vom 5.–21. Oktober zu einem mittleren Zeitpunkt. Unterhalb dieser Höhe gab es immer mehr späte und sehr späte Beobachtungen, so dass sich die Lärchen im Mittel um vier Tage verspätet verfärbten. Auf der Höhenlage von 600–1000 m lag das mittlere Datum am 31. Oktober, unterhalb von 600 m am 4. November. Der Nadelfall der Lärche war über alle Stationen gesehen um sechs Tage verspätet, wobei auch hier besonders die Lärchen im Flachland ihre Nadeln vielfach bis in den Dezember hinein behielten und der Nadelfall rund acht Tage später auftrat als im Mittel.

Abbildung 2.15

Phänologischer Kalender 2022 von Rafz. Die Verteilung zeigt die Vergleichsperiode 1991–2020. Das Datum des aktuellen Jahres wird als schwarzes Quadrat dargestellt und je nach zeitlicher Einordnung von sehr früh bis sehr spät wird die Vergleichsperiode eingefärbt. Fehlt die Beobachtung im Jahr 2022 oder liegt sie präzis beim Median, bleibt die Vergleichsperiode weiss.



Pollensaison

Das Pollenjahr 2022 begann sehr früh und war besonders während der Blüte der Bäume sehr intensiv. Erste Haselpollen wurden im Tessin schon Ende Dezember und auf der Alpennordseite Anfang Januar gemessen. Birke und Esche begannen im März über eine Woche früher zu blühen als im Mittel und auch der Anstieg auf starke Gräserpollenwerte Anfang Mai war um eine Woche verfrüht. Der Pollenflug von Hasel, Erle, Birke und Eiche war intensiv, während er bei Esche und den Gräsern um den Mittelwert lag. Sehr schwach war der Pollenflug von Beifuss und im Tessin auch von Ambrosia. Die Pollensaison 2022 wird im Folgenden mit dem 30-jährigen Mittel 1991–2020 verglichen.

Hasel- und Erlenpollensaison

Die Pollensaison der Hasel begann im Tessin schon Ende Dezember und auf der Alpennordseite während den milden Tagen zu Jahresbeginn. Das ist rund 20–30 Tage früher als im Mittel der 30-jährigen Periode 1991–2020. Das Tessin erlebte einen sehr trockenen und milden Winter. Bei diesen Wetterbedingungen wurde der Haselpollenflug kaum unterbrochen und war von Ende Dezember bis Mitte Februar an sehr vielen Tagen stark.

Auf der Alpennordseite waren die Temperaturen im Januar etwas zu tief, so dass die Haselsträucher meist nicht vollständig aufblühten. Der erste Tag mit starkem Pollenflug wurde zwischen dem 30. Januar und dem 5. Februar mit steigenden Temperaturen gemessen, elf Tage früher als im Mittel. Auf der Alpennordseite wurden 6–16 Tage mit starkem Haselpollenflug registriert. An den meisten Stationen liegen diese Werte über dem Mittel – in Luzern, Münsterlingen und Buchs gehörte die Haselpollensaison sogar zu den stärksten der Vergleichsperiode.

Auch die gleichzeitig blühenden Erlen gaben viele Pollen ab. Bei der Erle war vor allem das jährliche Pollenintegral (die Summe der täglichen Pollenkonzentration) hoch und war auf der Alpennordseite je nach Messstation das stärkste bis fünftstärkste der Vergleichsperiode. Der Grund dafür ist, dass an zwei Tagen im Februar besonders hohe Pollenkonzentrationen gemessen wurden.

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



www.meteoschweiz.admin.ch/service-und-publikationen/applikationen/ext/climate-pollen.html

Eschen- und Birkenpollensaison

Im Frühling war die Pollenbelastung an vielen Tagen stark, da die Bäume in diesem Jahr wieder mehr Blüten und damit Pollen produzierten. Bei der Birke wurden im Mittelland 16–29 Tage mit starkem Pollenflug (Tage mit mehr als 70 Pollen/m³) gemessen und im Tessin sogar 35–36 Tage. Im Mittelland sind das bis zu 13 Tagen mehr als im Durchschnitt und im Tessin bis zu 16 Tage mehr. In Buchs, Luzern und im Tessin gehört diese Zahl zu den höchsten der Vergleichsperiode 1991–2020. Der Pollenflug war vor allem während der langen, trockenen Periode Mitte April sehr stark. Auch in Davos war die Birkenpollensaison im Vergleich zum Mittel sehr stark: es wurden sieben Tage mit starkem Pollenflug gemessen und das jährliche Pollenintegral war so hoch wie noch nie. Die Birkenpollensaison begann in der ganzen Schweiz vom 23.–28. März. Die Werte stiegen sehr schnell auf starke Belastungen an. Damit begann die Birkenpollensaison im Mittelland rund acht Tage früher als im Durchschnitt und im Tessin um vier Tage früher. Aufgrund dieses sehr frühen Beginns des Birkenpollenflugs dauerte die Zeit vom ersten bis zum letzten Tag mit starker Pollenbelastung 28–35 Tage, und war damit fast eine Woche länger als im Mittel.

Nicht ganz so stark war der Pollenflug der Eschen. Auf der Alpennordseite wurden 5–12 Tage mit starkem Eschenpollenflug gemessen, was im Bereich des Mittels liegt. Die Eschenpollensaison begann im Tessin Ende Februar bzw. Anfang März, 12–14 Tage früher als im Durchschnitt der Periode 1991–2020. In Locarno war es der drittfrüheste Beginn der Eschenpollensaison. Auf der Alpennordseite waren Eschenpollen ab etwa Mitte März in der Luft, etwas mehr als eine Woche früher als im Durchschnitt.

Auch die Eichen blühten in diesem Jahr stark. Der Pollenflug gehörte an den meisten Stationen zu den fünf stärksten der Vergleichsperiode. Eichenpollen traten im Tessin ab Anfang April und auf der Alpennordseite ab etwa Mitte April auf, rund eine Woche früher als normal. Bei der Hagebuche und der Buche wurden nur schwache bis mässigen Pollenkonzentrationen gemessen. Es ist wahrscheinlich, dass sie im nächsten Jahr wieder stärker blühen werden.

Gräserpollensaison

Wie häufig in den letzten Jahren, waren auch in diesem Jahr schon ab Mitte April regelmässig Gräserpollen in der Luft, wenn auch nur in schwachen Konzentrationen auf der Alpennordseite und in mässigen Konzentrationen im Tessin. In Locarno wurden schon im März regelmässig schwache Gräserpollenkonzentrationen gemessen, ungefähr ein Monat früher als im Mittel. Der Anstieg auf starken Pollenflug wurde ab Ende April im Tessin und ab dem 8. Mai auf der Alpennordseite registriert, eine halbe bis eine Woche früher als im Mittel.

Der Mai und der Juni waren je die zweitwärmsten seit Messbeginn 1864 und insgesamt sehr sonnig. Der Mai war zudem in allen Regionen sehr trocken. Die Gräser konnten bei solchen Bedingungen schnell aufblühen. Die Pollenkonzentration stieg um den 8.–11. Mai auf sehr starke Konzentrationen an, eine knappe Woche früher als im Mittel. Vor allem im Mai war der Pollenflug intensiv und es wurden auf der Alpennordseite je nach Messstation zwischen sechs und 21 Tagen mit sehr starkem Pollenflug gemessen, etwas mehr als im Mittel. Dabei waren die Pollenkonzentrationen in der Deutschschweiz meist höher als an den Westschweizer Messstationen und im Wallis. Im Tessin war der Gräserpollenflug von Ende April bis Ende Mai stark. An 14–16 Tagen wurden hohe Gräserpollenkonzentrationen gemessen. Dabei gab es im Tessin nur 1–2 Tage mit sehr starkem Gräserpollenflug. In der Westschweiz und in Basel war die Zeit mit starkem Gräserpollenflug bereits zwischen dem 16. und 21. Juni zu Ende, so früh wie noch nie seit Messbeginn. Hier spielte die Trockenheit eine Rolle, welche wie auch im Hitzesommer 2003 dazu führte, dass die Gräserblüte sehr früh zu Ende ging.

Im Juli wurden in der Deutschschweiz nur noch ganz vereinzelt Tage mit starkem Gräserpollenflug gemessen mit Ausnahme der Messstationen Buchs (SG) und Luzern, wo bis zum 25. Juli regelmässig Tage mit starkem Gräserpollenflug auftraten. Die Gräserpollensaison endete an diesen Stationen etwa zu einem mittleren Zeitpunkt.

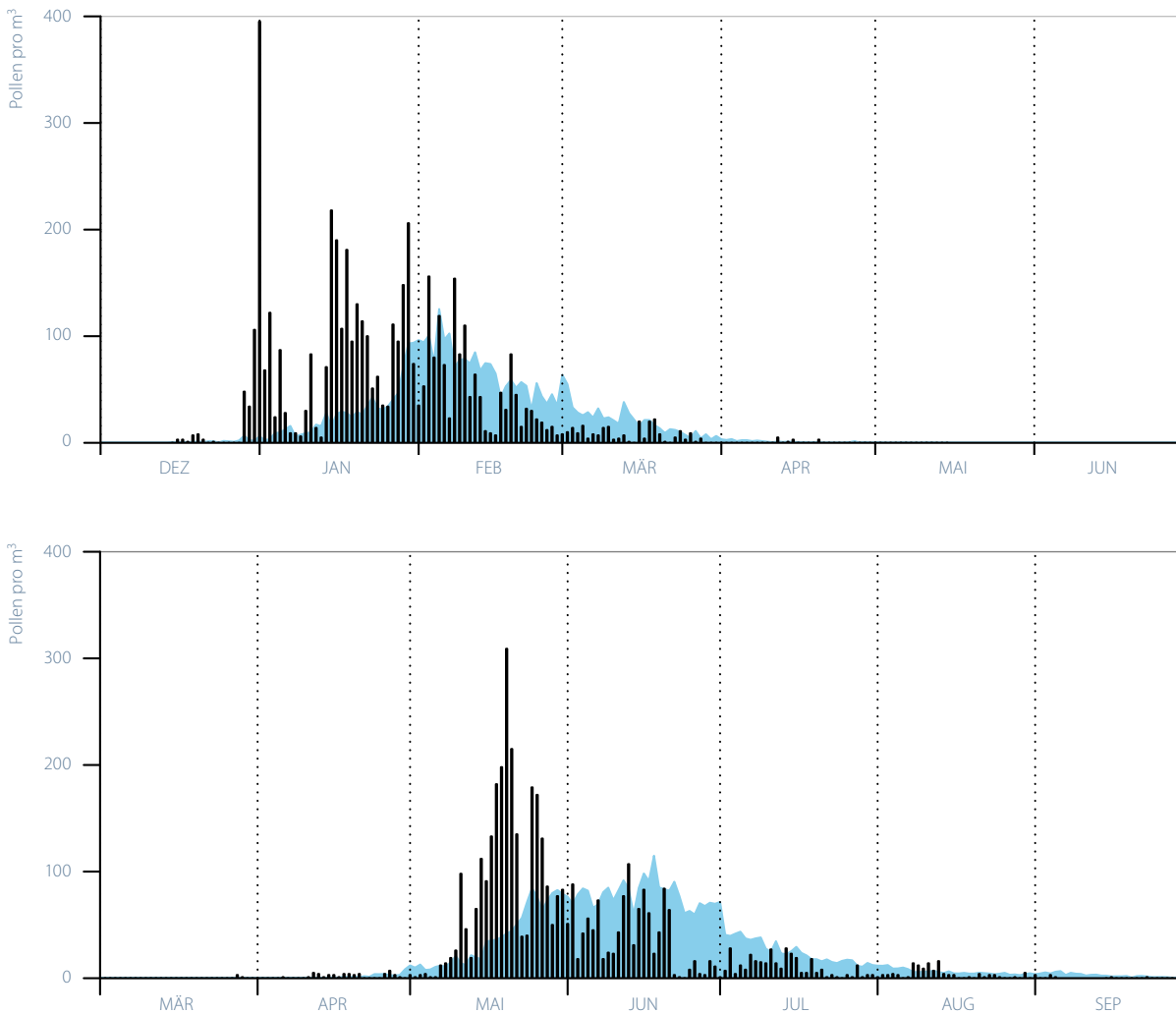
Beifuss- und Ambrosiapollensaison

Beifusspollen sind in der Schweiz hauptsächlich im Wallis von Bedeutung. Das jährliche Pollenintegral gehörte in Visp zu den tiefsten der Vergleichsperiode 1991–2020. Zwischen dem 28. Juli und dem 31. August wurden 13 Tage mit starkem Pollenflug gemessen, zwölf Tage weniger als im Durchschnitt der Vergleichsperiode. An allen anderen Messstationen wurden meistens schwache und höchstens mässige Konzentrationen gemessen. Deutlich schwächer als normal war der Beifusspollenflug in der Westschweiz und im Tessin. In Lugano wurde erst am 22. September der erste Tag mit mässigem Pollenflug registriert. So spät im Jahr blüht der Verlotsche Beifuss, eine invasive Art, die besonders in der Süd- und Westschweiz häufig ist.

Im Tessin war der Ambrosiapollenflug sehr schwach. Das jährliche Pollenintegral war in Lugano das tiefste und in Locarno das drittiefste der 30-jährigen Vergleichsperiode 1991–2020. In Lugano wurden nur zwei Tage mit starkem Ambrosiapollenflug gemessen (im Mittel zehn Tage), während es in Locarno keinen einzigen Tag mit starkem Ambrosiapollenflug gab (im Mittel fünf Tage). Seit 2013 ging die Pollenbelastung in Norditalien und im Tessin aufgrund des Befalls durch den Ambrosiablattkäfer stark zurück. In Genève und an der Ambrosia-Zusatzstation Meyrin lag der Pollenflug im Bereich des Mittels. Es wurden fünf, beziehungsweise acht Tage mit starkem Pollenflug registriert. Die meisten Ambrosiapollen wurden jeweils am späten Nachmittag und in den Abendstunden gemessen. Das zeigt, dass es sich um transportierte Pollen aus Frankreich handelt, denn Ambrosiapflanzen geben Pollen am Morgen an die Luft ab.

Abbildung 2.16

Verlauf der Haselpollensaison 2022 in Lugano (oben) und der Gräserpollensaison 2022 in Neuchâtel (unten) im Vergleich zum 30-jährigen Mittel von 1991–2020 (blaue Fläche). In Lugano wurden schon Ende Dezember starke Haselpollenbelastungen gemessen, fast vier Wochen früher als im Mittel. Der Haselpollenflug war intensiver und die Saison dauerte länger als im Mittel. In Neuchâtel war die Zeit des starken Gräserpollenflugs schon am 21. Juni zu Ende, 20 Tage früher als im Mittel. Die Achsen der Pollenkonzentration wurden auf 400 Pollen/m³ beschränkt, damit auch die für Allergien wichtigen tiefen Werte sichtbar sind.





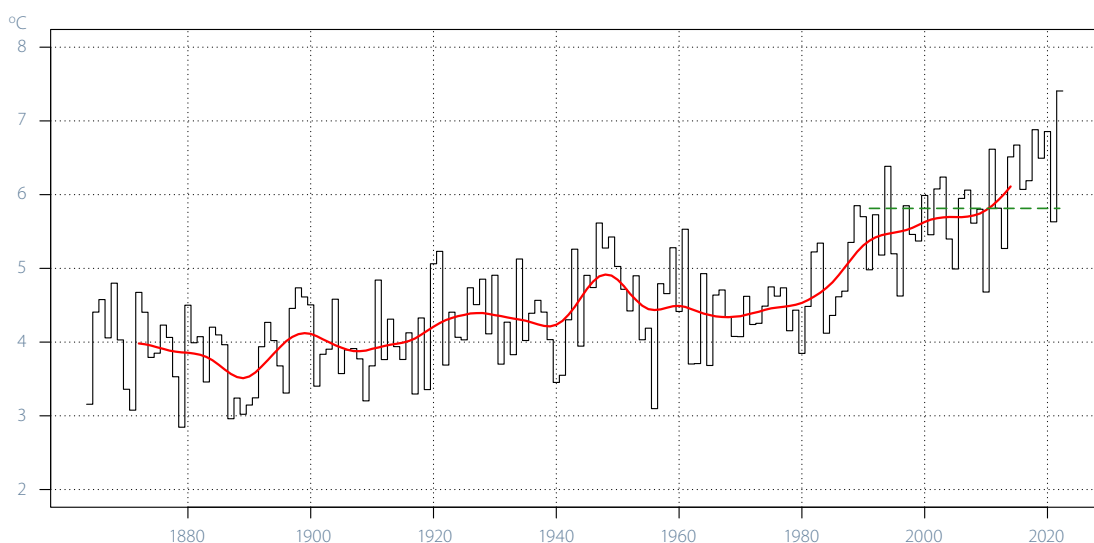


3 | Besonderheiten 2022

3.1 Jahr 2022 mit Rekordwärme

Die Jahrestemperatur 2022 stieg mit 7,4°C auf den höchsten Wert seit Messbeginn 1864. Das Jahr 2022 hebt sich damit deutlich ab von allen übrigen Jahren seit Messbeginn 1864. Erstmals wurde die Schwelle von 7°C überschritten. Vor knapp 30 Jahren brachte erstmals ein Jahr über 6°C im landesweiten Mittel. Es hob sich damals ebenfalls deutlich ab von den früheren Jahren seit Messbeginn 1864.

Abbildung 3.1
Landesweit gemittelte Jahrestemperatur (Januar–Dezember) seit Messbeginn 1864. Das Jahr 2022 erreichte 7,4°C. Die grüne unterbrochene Linie zeigt die Norm 1991–2020 (5,8°C), die rote Linie das 20-jährige gleitende Mittel.



Neue Temperaturdimension

Während der Normperiode 1991–2020 lag die durchschnittliche Schweizer Jahrestemperatur bei 5,8°C. In der Zeit davor bedeutete eine Jahrestemperatur von 5,8°C etwas ganz Ausserordentliches. In der langen Messperiode von 1864–1988 erreichten selbst die extremsten Jahre diesen Wert nie. Heute ist das früher Unerreichte zum Durchschnitt geworden.

Gleichzeitig sind wirklich kühle Jahre aus dem heutigen Klima der Schweiz verschwunden. In den letzten 30 Jahren sank die landesweite Jahrestemperatur auch in den kühlest Jahren nicht einmal mehr bis zur früheren Norm 1961–1990 ab.

Von der vorindustriellen Periode 1871–1900 bis zur jüngsten 30-Jahresperiode 1993–2022 stieg die Jahrestemperatur im schweizweiten Mittel um 2°C an. Die letzte Dekade (2013–2022) liegt gar 2,5°C über dem vorindustriellen Durchschnitt. Der massive Anstieg der Normtemperatur und das Verschwinden wirklich kühler Jahre sind eindrucksvolle Signale der menschgemachten Klimaänderung.

Die unendliche Wärme 2022

Zehn Monate des Jahres 2022 brachten überdurchschnittliche Wärme, fünf davon im extremen Bereich. Die Schweiz registrierte den wärmsten Oktober, den zweitwärmsten Mai und Juni, den dritt-wärmsten August und den viertwärmsten Juli seit Messbeginn 1864. Das Sommerhalbjahr 2022 von April bis September belegte Rang drei und das Kalenderjahr lieferte eine neue Rekordwärme.

2022: Temperaturabweichung zur Norm 1991–2020 in °C

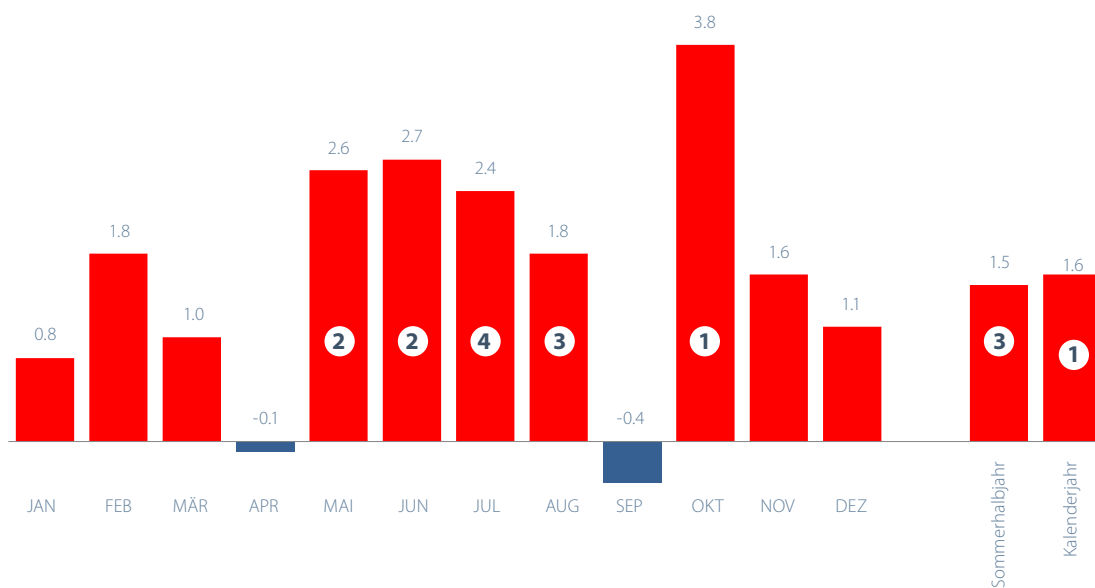
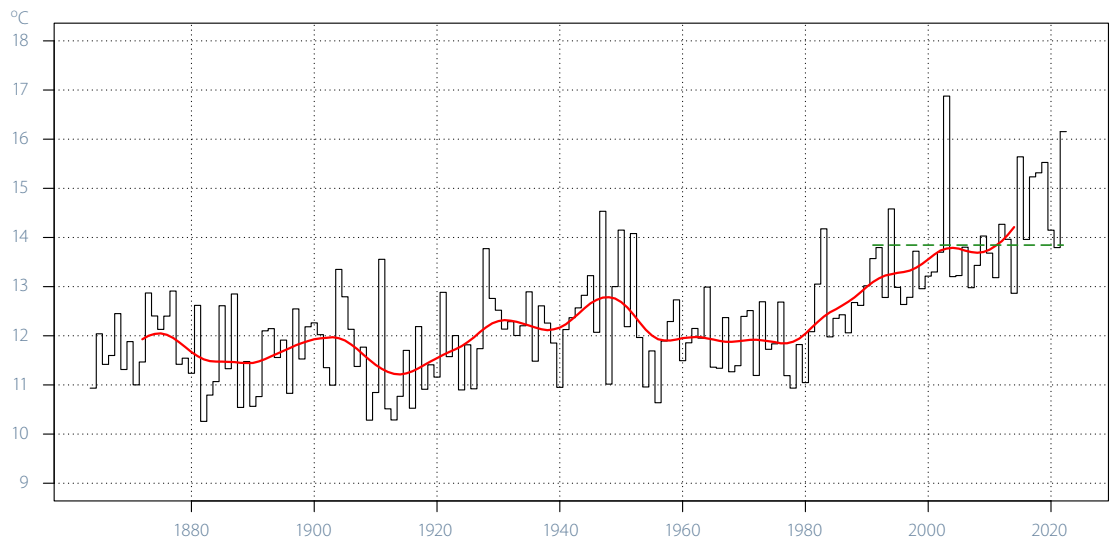


Abbildung 3.2
Das Jahr 2022 im Überblick: Landesweit gemittelte Temperatur (°C) der Monate, des Sommerhalbjahres April bis September und des Kalenderjahres Januar bis Dezember als Abweichung zur Norm 1991–2020. Rangierungen zwischen 1 und 5 sind mit eingekreisten Zahlen angegeben (1 = wärmster Oktober seit Messbeginn 1864).

Die Schweiz registrierte den zweitwärmsten Sommer seit Messbeginn 1864. Im landesweiten Mittel lag die Sommertemperatur 2,3 °C über der Norm 1991–2020. Nur der legendäre Hitzesommer 2003 brachte mit 3 °C über der Norm mehr Wärme. Der Rang zwei der Sommertemperatur wurde in allen Regionen der Schweiz verzeichnet.

Abbildung 3.3
**Die Sommertemperatur
 (Mittel Juni bis August)
 in der Schweiz seit
 Messbeginn 1864. Die
 grüne unterbrochene
 Linie zeigt die Norm
 1991–2020 (13,9 °C), die
 rote Linie das 20-jährige
 gleitende Mittel.**



Drei Hitzeperioden

Die Sommerhitze erstreckte sich über alle drei Sommermonate. Die erste Hitzeperiode setzte Mitte Juni ein. Spitzenreiter waren der Nordrand der Schweiz und die Regionen Neuenburg, Sion und Biasca mit über 36 °C. Die höchste gemessene Temperatur lieferte Beznau am Nordrand der Schweiz mit 36,9 °C. Knapp darunter lag Biasca im Tessin mit 36,6 °C.

Neuchâtel erlebte die deutlich heisseste Juni-Dreitageperiode seit Messbeginn 1864 mit einem mittleren Tagesmaximum von 34,6 °C. Der bisherige Juni-Rekord lag bei 32,9 °C (Hitzesommer 1947) bzw. bei 32,8 °C (Hitzesommer 2003).

Die Hitzeperiode Mitte Juni kam auffallend früh. Die in Neuchâtel gemessene hohe Dreitageshitze zu einem so frühen Zeitpunkt im Jahr ist seltener als alle 25 Jahre zu erwarten. Abgesehen vom frühen Zeitpunkt stellte die Juni-Hitzeperiode jedoch nichts Einmaliges dar.

Gegen Mitte Juli wurde die Schweiz von einer zweiten Hitzeperiode erfasst. Der 19. Juli war für weite Teile der Alpennordseite der heisseste Tag im Juli. Die Tageshöchstwerte stiegen nördlich der Alpen und im Wallis vielerorts auf 33–35 °C. Lokal gab es auch 36 °C und mehr. Auf der Alpensüdseite lagen die höchsten Werte zwischen 33 und 34,5 °C.

Auf den Augustbeginn setzte die dritte Hitzeperiode ein. Die Alpensüdseite bekam die Hitzeperiode bereits in den letzten Julitagen zu spüren. Die Tageshöchstwerte stiegen in einigen Gebieten auf 35–37 °C. Genf meldete am 4. August mit 38,3 °C den höchsten Wert des Schweizer Sommers 2022.

Lange Hitzeperiode

Die Hitzeperiode im Juli, die besonders stark die West- und Südschweiz betraf, war hinsichtlich der Höchstwerte nicht einzigartig. Was die Hitzeperiode aussergewöhnlich machte, war ihre Dauer. Lugano verzeichnete während 14 Tagen in Folge ein tägliches Maximum von 30°C oder mehr. Es war an diesem Messstandort die längste anhaltende Hitzeperiode seit Messbeginn 1864. Während der Hitzesommer 2015 und 2003 gab es hier 13 Tage in Folge mit einem täglichen Maximum von 30°C oder mehr.

Viele Hitzetage

Bereits der extrem warme Mai brachte in der Schweiz vereinzelt Hitzetage. So stieg bis zum Sommerende die Gesamtzahl der Hitzetage lokal auf hohe Werte.

Genf verzeichnete 41 Hitzetage, Rang 2 seit Messbeginn 1864. Der Rekord stammt vom Hitzesommer 2003 mit 50 Hitzetagen. Lugano mit ebenso langer Messreihe meldete mit 38 Hitzetagen ebenfalls Rang 2. Der Hitzesommer 2003 lieferte hier 47 Hitzetage. In Sion mit Messbeginn 1958 gab es 49 Hitzetage. Das liegt knapp unter dem Rekord von 50 Hitzetagen im Hitzesommer 2003.

In Stabio im Südtessin wurde der Rekord aus dem Jahr 2003 übertroffen. Waren es damals 57 Hitzetage, brachte das laufende Jahr 63 Hitzetage. In allen übrigen Jahren seit Messbeginn 1981 blieb die Zahl der Hitzetage in Stabio unter 40.

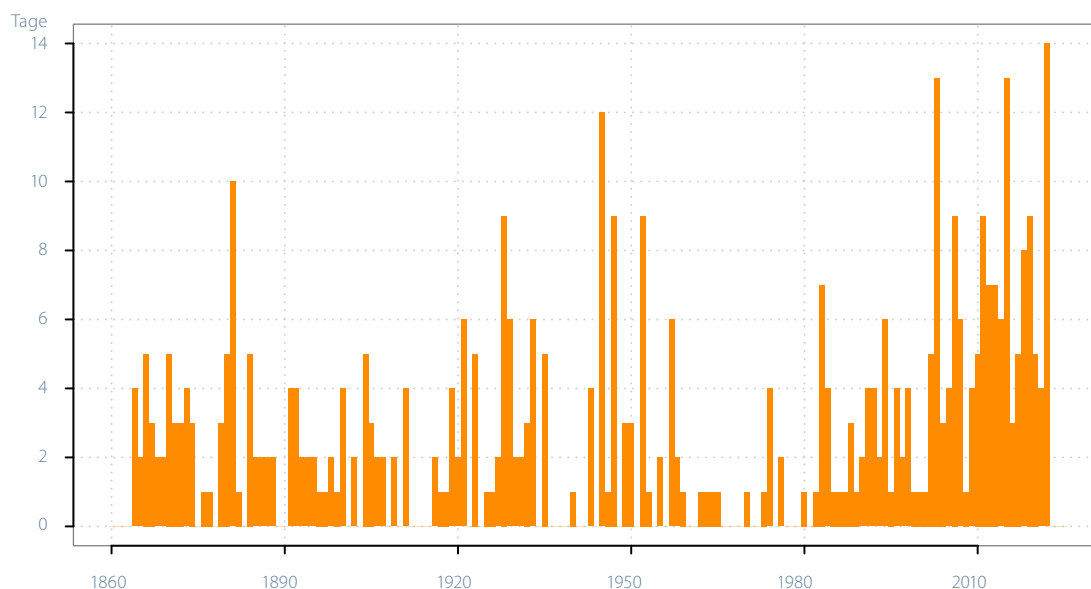


Abbildung 3.4
Längste Hitzewelle pro Jahr mit einem täglichen Maximum von 30°C oder mehr in Lugano.

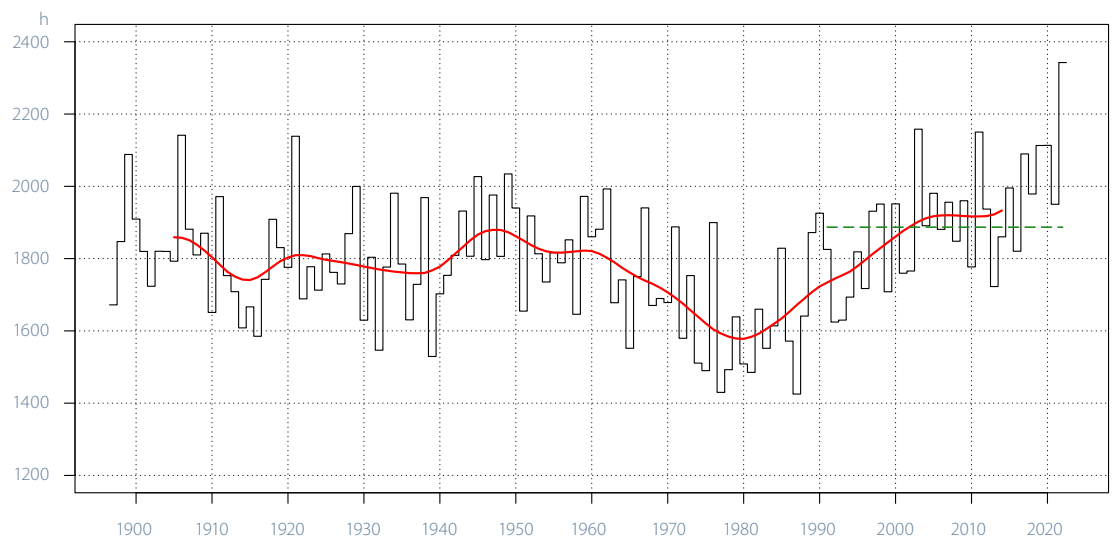
3.3 Sonnenschein-Rekorde

Im Jahr 2022 wurde das Wettergeschehen in der Schweiz und in Frankreich stärker als sonst durch Hochdruckwetterlagen dominiert. Sie trugen zu einem sehr sonnigen Jahresverlauf bei.

Die Messstandorte Genf, Basel und Zürich mit über 120-jährigen homogenen Datenreihen registrierten das sonnigste Jahr seit Messbeginn. In Genf waren es 2343, in Basel 2119 und in Zürich 2149 Sonnenstunden. Mehrere Messstandorte mit homogenen Messreihen ab 1961 melden ebenfalls den Rang 1.

Auffallend war vor allem in Genf der grosse Unterschied zur nächst tieferen Jahressumme. Das Jahr 2003 auf Rang 2 brachte in Genf 2158 Sonnenstunden. Der Unterschied von 185 Sonnenstunden entspricht rund zwei Sommerwochen mit vollem Sonnenschein.

Abbildung 3.5
Jährliche Sonnenscheindauer in Genève-Cointrin seit Messbeginn 1897. Die grüne unterbrochene Linie zeigt die Norm 1991–2020 (1887 Stunden), die rote Linie das 20-jährige gleitende Mittel.



Regional sonnigster Sommer

Mit einer Sonnenscheindauer von 130–150% der Norm 1991–2020 verzeichneten Genf und Basel den sonnigsten und Zürich den zweitsonnigsten Sommer (Juni–August) seit Messbeginn vor über 120 Jahren. Auch an Messstandorten mit über 60-jährigen homogenen Datenreihen bewegte sich die sommerliche Sonnenscheindauer im Rekordbereich. Lugano, La Chaux-de-Fonds, Neuchâtel und Altdorf meldeten den sonnigsten, Locarno Monti, Sion, St. Gallen und Luzern den zweitsonnigsten Sommer. Rang 3 gab es in Samedan, in Davos und auf dem Säntis.

Die Messstandorte Genève-Cointrin, La Chaux-de-Fonds, Lugano und Locarno Monti verzeichneten zudem das sonnigste Sommerhalbjahr. In Neuchâtel war es das sonnigste Sommerhalbjahr zusammen mit dem Sommerhalbjahr 2003. Basel-Binningen registrierte im Sommerhalbjahr 2022 nur zwei Sonnenstunden weniger als im Rekordjahr 2018.





4 Globales Klima und Wetterereignisse

Das Jahr 2022 belegt mit einer Abweichung von $+0,8^{\circ}\text{C}$ zur Norm 1961–1990 im HadCRUT5-Datensatz den sechsten Rang seit Messbeginn 1850. Das ganze Jahr über herrschten im äquatorialen Pazifik ausgeprägte La-Niña-Bedingungen. Diese Region war gleichzeitig die einzige mit unterdurchschnittlicher Jahresmitteltemperatur. Auf allen Kontinenten dominierte die Wärme, besonders aber in Sibirien, Europa Zentralasien und China. Die folgende Zusammenstellung basiert hauptsächlich auf dem jährlichen Klimastatus-Bericht der Welt Meteorologie Organisation (WMO) [5] und dem Global Climate Report der National Oceanic and Atmospheric Association (NOAA) [6] und Quellen darin.

4.1 Warmes Jahr in Europa und Asien

Die globale Jahresmitteltemperatur von 2022 wies gemäss dem HadCRUT5-Datensatz der englischen University of East Anglia eine Abweichung von $+0,8^{\circ}\text{C}$ zur Norm 1961–1990 ($+0,26^{\circ}\text{C}$ zur Norm 1991–2020) auf und erreicht damit den sechsten Rang seit Messbeginn 1850 (Abbildung 4.1). Die letzten acht Jahre seit 2015 waren die wärmsten seit Messbeginn. 2016 bleibt das bisher wärmste Jahr in der globalen Zeitreihe.

Besonders grosse Wärme registrierte der Norden Sibiriens. Dort wurde die Norm 1961–1990 um mehr als 3°C übertroffen. In Europa, Nordafrika, auf dem Sinai und in Teilen Zentralasiens und Chinas wurde ein Wärmeüberschuss von $2\text{--}3^{\circ}\text{C}$ erreicht. Für Asien und Europa war es jeweils das zweitwärmste Jahr seit Messbeginn.

Die kräftigen La-Niña-Bedingungen während des ganzen Jahres sorgten über dem äquatorialen Pazifik für Temperaturen bis zu -1°C unter der Norm 1961–1990. Nahe der Norm oder leicht darunter war es auch in Patagonien, in Südastralien und in Teilen Südostasiens.

Die Gesamtänderung der globalen Jahrestemperatur (Land und Wasser) zwischen den beiden Referenzperioden 1850–1900 und 1991–2020 beträgt $+0,9^{\circ}\text{C}$ gemäss dem Datensatz der University of East Anglia [7]. Gemäss Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) hat sich die globale Durchschnittstemperatur seit Beginn der Industrialisierung um etwa $1,1^{\circ}\text{C}$ erhöht, wobei die Erwärmung über Land ($+1,6^{\circ}\text{C}$) grösser ist als über den Ozeanen ($+0,9^{\circ}\text{C}$). Hierbei wird die Differenz zwischen der Dekade 2011–2020 und dem vorindustriellen Mittel angegeben. 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).

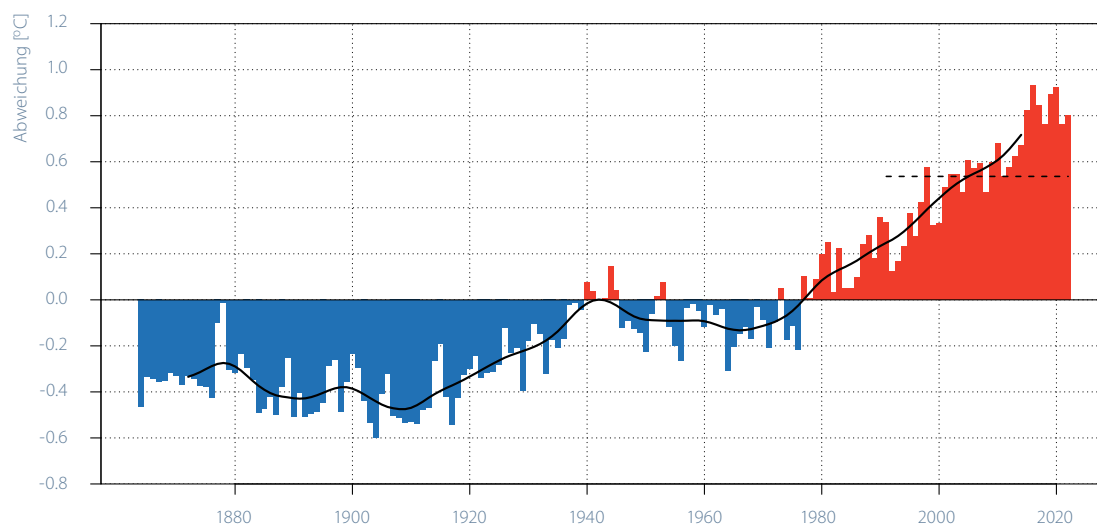


Abbildung 4.1
Langjähriger Verlauf der globalen Mitteltemperatur (Land- und Wasserflächen). Dargestellt ist die jährliche Abweichung der Temperatur von der Norm 1961–1990 (rot = positive Abweichungen, blau = negative Abweichungen). Die schwarze Kurve zeigt das 20-jährige, gewichtete Mittel.

Daten: University of East Anglia, 2022 [7], Datensatz HadCRUT5

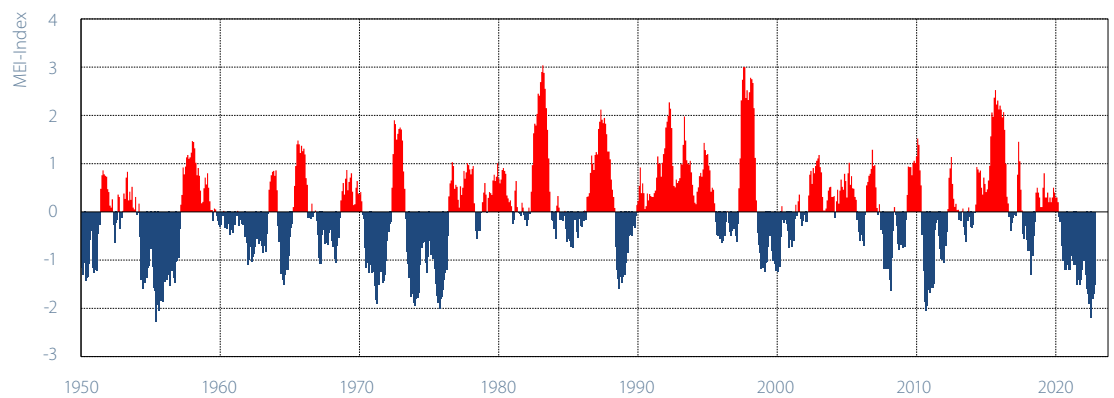
4.2 El Niño und La Niña

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.

Seit 2017 gab es keine besonders ausgeprägten El-Niño-Phasen mehr. In den Jahren 2020–2022 herrschte durchwegs eine kräftige La Niña. Somit ist davon auszugehen, dass die globale Erwärmung durch die Situation im tropischen Pazifik in den letzten sechs Jahren etwas gedämpft wurde. Umso beunruhigender sind die dennoch hohen globalen Durchschnittstemperaturen der Jahre 2017–2022. Im globalen Rekordjahr 2016 war auch El Niño sehr aktiv.

Abbildung 4.2
Multivariater El Niño Southern Oscillation Index (MEI) 1950–2022.
 Rot sind die Indexwerte der El Niño Phase (Warmphase), blau die Indexwerte der La Niña Phase (Kaltphase) dargestellt. Der MEI setzt sich zusammen aus dem Bodendruck, der Ost-West-, Nord- und Süd-Komponenten des Bodenwindes, der Meeresoberflächentemperatur, der Lufttemperatur auf Meereshöhe sowie des Bewölkungsgrades. Die Messungen erfolgen im äquatorialen Pazifik.



Die Daten sind verfügbar unter [8]

Hitze und Dürre

Der Sommer 2022 war in Europa, Nordafrika und China aussergewöhnlich heiss. Mitte Juli erfasste Europa eine heftige Hitzewelle, die in Grossbritannien zum ersten Mal eine Temperatur über 40 °C hervorbrachte, und zwar am 19. Juli in Coningsby mit 40,3 °C. Die Hitze reichte bis in den hohen Norden Europas. Am 21. Juli wurde mit 37,2 °C in Måilla (Schweden) der höchste Wert des Landes seit 1947 gemessen. Mit der Hitze und der verbreiteten Trockenheit in Europa brachen vielerorts Waldbrände aus, so z.B. im Südwesten Frankreichs, in Portugal und sogar ausserhalb von London in England.

Nordafrikanische Mittelmeeranrainer wie Tunesien und Algerien erlebten im Juni und August starke Hitzewellen. In Algerien forderten Waldbrände im August nach 2021 erneut viele Todesopfer. Infolge der Dürre in Europa führten grosse Flüsse wie Rhein, Loire und Donau sehr wenig Wasser. In einigen Ländern war es der trockenste Sommer seit Beginn der Aufzeichnungen.

Die bisher längste Hitzewelle seit Beginn der Aufzeichnungen ereignete sich 2022 in China. Sie dauerte von Mitte Juni bis Ende August. Damit einher ging eine sehr ausgeprägte Trockenheit. Der Yangtse führte im August so wenig Wasser wie nie zuvor.

Die Dürre am Horn von Afrika hat sich 2022 weiter zugespitzt. In den Regenzeiten März–Mai und Oktober–Dezember 2022, normalerweise die Regenzeit in Kenia, Somalia und Äthiopien, fiel nach einer ähnlichen Situation in den vier vorangegangenen Regenzeiten wiederum deutlich weniger Niederschlag als im Durchschnitt.

Auch von extremer Hitze betroffen waren Chile, Argentinien und Uruguay im November und Dezember. In Rivadavia (Argentinien) wurde am 7. Dezember mit 46,0 °C ein neuer Dezember-Rekord erreicht.

Extreme Kälte

Im vergangenen Jahr gab es nur wenige Kälteextreme. Im späten Dezember wurde Nordamerika von einer Kälte- welle und einem der extremsten Blizzards seit Beginn der Aufzeichnungen getroffen. In Buffalo gab es innert 26 Stunden 132 cm Neuschnee. In Casper (Wyoming) wurde mit -41,1 °C ein neuer lokaler Kälterekord der Temperatur aufgestellt. In Westeuropa gab es infolge eines kalten Ap- rils vor allem landwirtschaftliche Schäden zu beklagen.

Starkniederschläge und Überschwemmungen

Gemäss dem European Severe Storm Laboratory gab es am 18. August 2022 im Zuge eines grossflächigen, schweren Gewittersturms von Menorca bis Korsika und über Norditalien, Slovenien bis Tschechien extremen Hagelschlag mit bis zu elf cm grossen Hagelgranaten und sehr starke Winde [35]. Es waren mehrere Todesopfer und verletzte zu beklagen.

Die Juli- und Augustniederschläge in Pakistan übertrafen alle bisherigen nationalen Aufzeichnungen. In den beiden Monaten fielen dort 181 % resp. 243 % mehr Niederschlag als normal. Als Folge davon ereigneten sich grossflächige Überschwemmungen in den Provinzen Sindh und Belutschistan mit verheerenden Folgen für Mensch, Tier und Infrastruktur. Auch in Indien kam es während der Monsunzeit zu grösseren Überschwemmungen und Erdbeben mit Todesopfern und Flüchtlingsströmen.

Der südliche Teil Afrikas wurde innert weniger Wochen von mehreren Wirbelstürmen heimgesucht. Zwischen Januar und Februar trafen gleich vier Wirbelstürme über der Insel Madagaskar auf Land. Die Wirbelstürme sorgten auf der Insel, aber auch in Malawi und Mosambik für Überschwemmungen mit erheblichen Opferzahlen und Vertriebenen. Das Tiefdruckgebiet Issa löste im April extreme Überschwemmungen in Teilen Südafrikas aus. Es brachte am 11. und 12. April Tagesniederschläge bis 311 mm mit sich. Zum Vergleich: solche Tagesniederschläge entsprechen in der niederschlagsintensivsten Region der Schweiz (Tessin) etwa einem 50-jährlichen Ereignis.

Im Osten Australiens kam es im Laufe des Jahres immer wieder zu Überschwemmungen. Die schwersten Überschwemmungen ereigneten sich Ende Februar und Anfang März und betrafen die östlichen Küstengebiete im Südosten von Queensland, im Norden von New South Wales und um Sydney. Am schlimmsten waren die Überschwemmungen in der Gegend von Lismore (südlich von

Brisbane), wo der Wilsons River die bisherigen Rekordpegelstände um etwa 2 m überstieg und große Teile des Stadtzentrums überflutet wurden. In Doon Doon, nördlich von Lismore, fielen am 28. Februar innerhalb von 24 Stunden 758 mm Niederschlag. Das entspricht etwa einem durchschnittlichen Jahresniederschlag im Engadin. Auch in der Region Sydney kam es Anfang Juli zu schweren Überschwemmungen. Sowohl in New South Wales als auch in Victoria war es das nasseste Frühjahr seit Beginn der Aufzeichnungen, wobei der Oktober in Victoria der nasseste Monat seit Beginn der Aufzeichnungen war. In Sydney fielen in diesem Jahr 2530 mm Regen, was deutlich über dem bisherigen Jahresrekord von 2194 mm liegt.

Wirbelsturm Ian traf als Hurrikan der Kategorie 4 am 28. September in Florida auf Land, nachdem er in den Tagen davor bereits Kuba getroffen hatte. Die damit einhergehenden Überschwemmungen richteten enorme Schäden an. In Florida und auf Kuba waren auch viele Todesopfer beklagen. Der Hurrikan wies bei Landfall in Florida Windgeschwindigkeiten bis 241 km/h auf.

Meereis

Satelliten zeichnen den Rückgang der Ausdehnung des arktischen Meereises seit 1979 auf. Im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (1981–2010) nimmt die maximale jährliche Ausdehnung stetig ab. Sie wird jeweils im März registriert. Im Jahr 2022 war zu diesem Zeitpunkt eine Fläche von 14,59 Millionen Quadratkilometer eisbedeckt. Das sind 0,84 Millionen Quadratkilometer (~5 %) weniger als das langjährige Mittel.

Im Zeitraum 1979–2022 ging die minimale Ausdehnung des arktischen Meereis schneller zurück als die maximale. Die minimale Ausdehnung, die normalerweise im September erreicht wird, betrug im vergangenen Jahr 4,87 Millionen Quadratkilometer und lag damit 1,54 Millionen Quadratkilometer (~24%) unter dem langjährigen Mittelwert. Dennoch war die minimale Eisfläche in der Nordpolregion 2022 grösser als in der vorangegangenen Dekade, was mit dem mässig starken Abschmelzen der Eismassen im Sommer 2022 erklärt werden kann.

Ganz anders als in der Arktis verhält sich das Meereis in der Antarktis. Nicht nur treten dort Minimum und Maximum der Ausdehnung in anderen Monaten auf (Minimum im Februar, Maximum im September), das antarktische Meereis zeigt auch eine andere zeitliche Entwicklung. In den letzten zehn Jahren wurden sowohl neue Höchstwerte der minimalen und maximalen Ausdehnung festgestellt (2014) als auch neue Tiefststände (niedrigstes Maximum der Ausdehnung 2017, kleinstes Minimum der Ausdehnung 2022 mit 1,92 Millionen Quadratkilometer am 25. Februar 2022).





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) [9]. Daraus werden die Bereiche Atmosphäre und Landoberfläche behandelt, mit dem Schwerpunkt auf den bodennahen Beobach-

tungen (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 [10], ergänzt mit den für die Schweiz zusätzlich relevanten Variablen. Aus [9].

| 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 [11]. 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 [11], [12].

| Bezeichnung | Definition | Bedeutung/Charakteristik |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Temperatur | Tagesmitteltemperatur konventionell (Morgen bis Morgen) aggregiert auf Monats- und Jahrestemperatur | Hauptindikator für die Veränderungen des Klimas und essentielle Klimavariablen [13]. |
| 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 $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ | 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 [13]. |
| 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 $P > 95\text{tes}$ 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 [14], [15], [16], [17], [18]. |
| Tage mit Neuschnee | Anzahl Tage mit messbarem Neuschnee der Monate Oktober bis März (Winterhalbjahr) | |

Tabelle 5.2

Benutzte Klimaindikatoren aus den behandelten Bereichen Atmosphäre und Landoberfläche. Die WMO-Indikatoren sind definiert in WMO/ETCCDI [11].

5.1 Atmosphäre

5.1.1 Bodennahe Beobachtungen

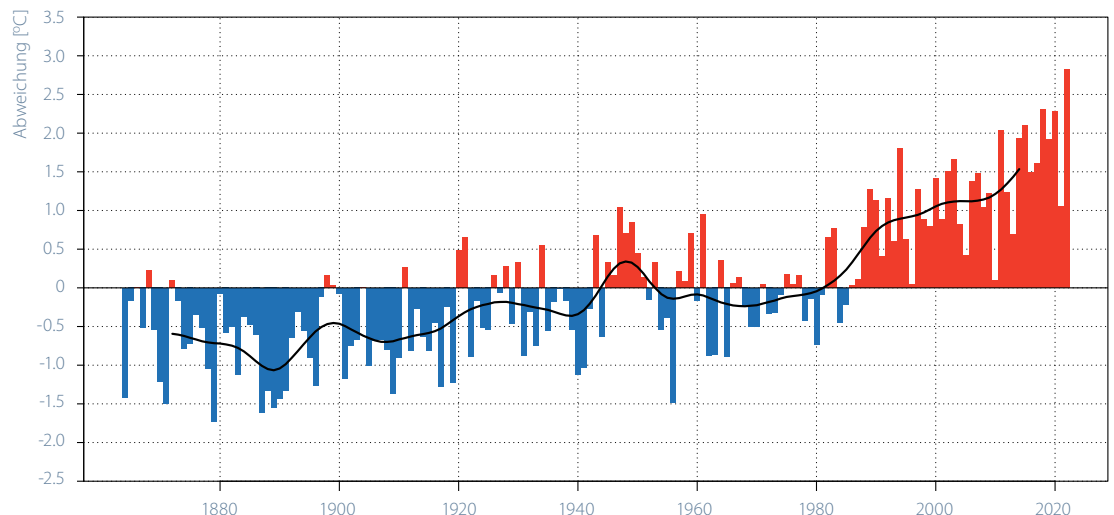
Die hier verwendeten Klimaindikatoren nach WMO (Tabelle 5.2) werden überwiegend exemplarisch anhand der Messreihen der Stationen Bern (nordalpines Flachland), Sion (inneralpines Tal), Davos (alpine Lage) und Lugano (Südschweiz) dargestellt. Berechnet werden sie als Jahreswerte, das heisst z.B. Anzahl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

Temperatur

Im Jahr 2022 erreichte die Schweizer Mitteltemperatur einen neuen absoluten Höchstwert von 7,4°C. Das sind 2,8°C mehr als in der Norm 1961–1990. Alle Jahreszeiten im Rekordjahr waren deutlich wärmer als die Norm. Die Monatstemperaturen im April und September waren im landesweiten Mittel leicht überdurchschnittlich.

Der Winter 2021/22 gehörte mit einer Abweichung von +2,0°C zur Norm 1961–1990 knapp nicht zu den zehn wärmsten seit Messbeginn 1864. Die landesweite Durchschnittstemperatur im Frühling belegte den vierten Rang mit +2,8°C zur Norm 1961–1990. Im Sommer registrierte die Schweiz eine Temperaturabweichung von +4,0°C gegenüber dem Durchschnitt von 1961–1990. Es war nach der Rekordhitze im Jahr 2003 der zweitwärmste Sommer seit Messbeginn. Auch der Herbst 2022 gehörte zu den wärmsten: Primär dank des rekordwarmen Oktobers erreichte die saisonale Durchschnittstemperatur den dritten Rang seit Messbeginn 1864 mit einer Abweichung von +2,3°C zur Norm 1961–1990.

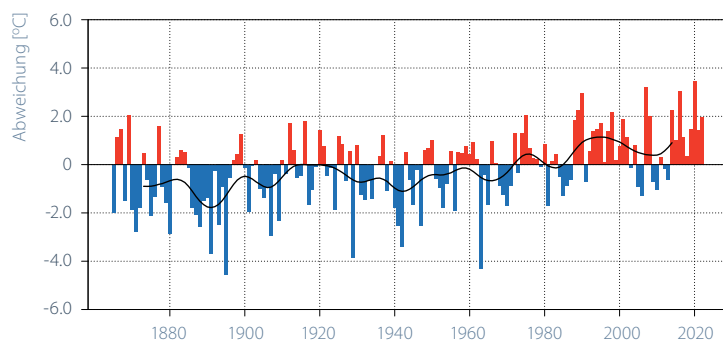
Abbildung 5.1
Langjähriger Verlauf der Jahres-Temperatur gemittelt über die gesamte Schweiz. Dargestellt ist die jährliche Abweichung der Temperatur von der Norm 1961–1990 (rot = positive Abweichungen, blau = negative Abweichungen). Die schwarze Kurve zeigt das 20-jährige, gewichtete Mittel.



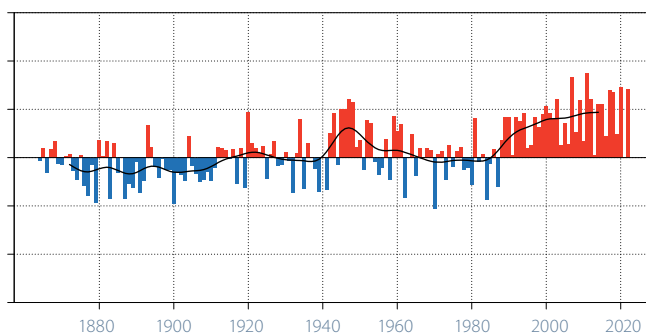
Auf der Webseite der MeteoSchweiz finden sich zusätzliche Informationen zu Klimaindikatoren:

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

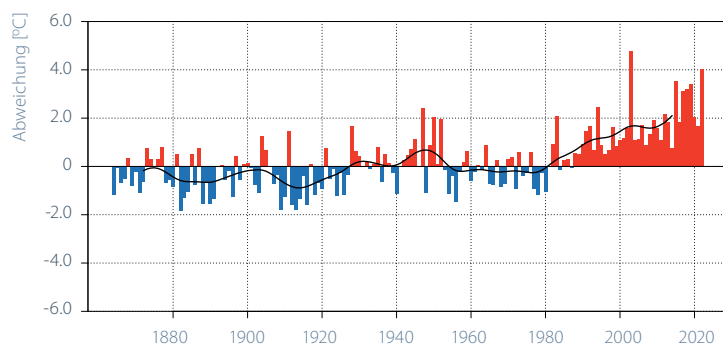
Winter (DEZ, JAN, FEB) 1864/65–2020/22



Frühling (MÄR, APR, MAI) 1864–2022



Sommer (JUN, JUL, AUG) 1864–2022



Herbst (SEP, OKT, NOV) 1864–2022

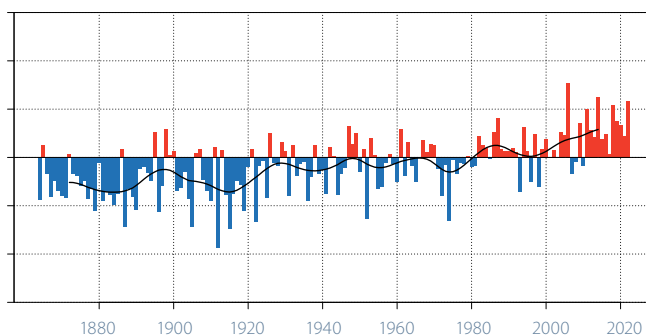
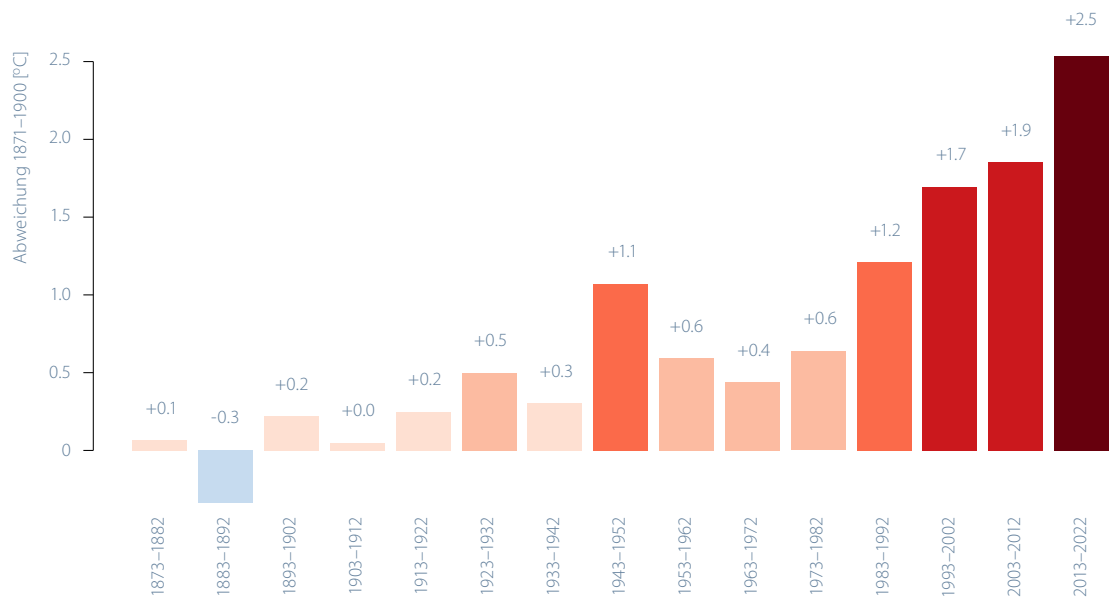


Abbildung 5.2

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

Die langfristige Temperaturzunahme in der Schweiz ist eindeutig und betrifft alle Jahreszeiten. Das Mittel über die letzten zehn Jahre (2013–2022) ist das höchste seit Beginn der systematischen Aufzeichnungen. Es liegt 2,5°C über der vorindustriellen Referenzperiode 1871–1900 (Abbildung 5.3).

Abbildung 5.3
Zeitlicher Verlauf der dekadischen Durchschnittstemperatur für die ganze Schweiz, gezeigt als Abweichungen zur vorindustriellen Referenzperiode 1871–1900.



Entsprechend sind auch die Jahre mit den höchsten Temperaturen gehäuft in den letzten Jahrzehnten zu finden. Unter den dreissig wärmsten Jahren seit Messbeginn 1864 liegen nur einzelne Vertreter aus der Zeit vor 1990. Die sieben 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 Jahr 2022 ist mit grossem Abstand das wärmste Jahr seit Messbeginn 1864. 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 [19].

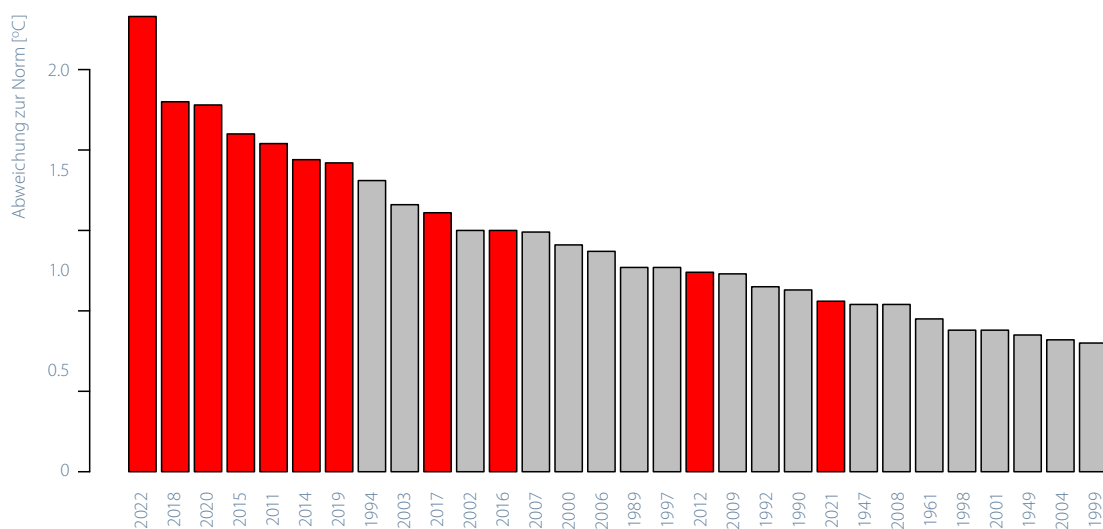


Abbildung 5.4
Rangliste der 30 wärmsten Jahre seit 1864. Die Balken zeigen die Abweichung der mittleren Schweizer Jahrestemperatur zur Norm 1961–1990. Die Jahre ab 2010 sind rot dargestellt. Das Jahr 2022 belegt mit grossem Abstand den ersten Rang.



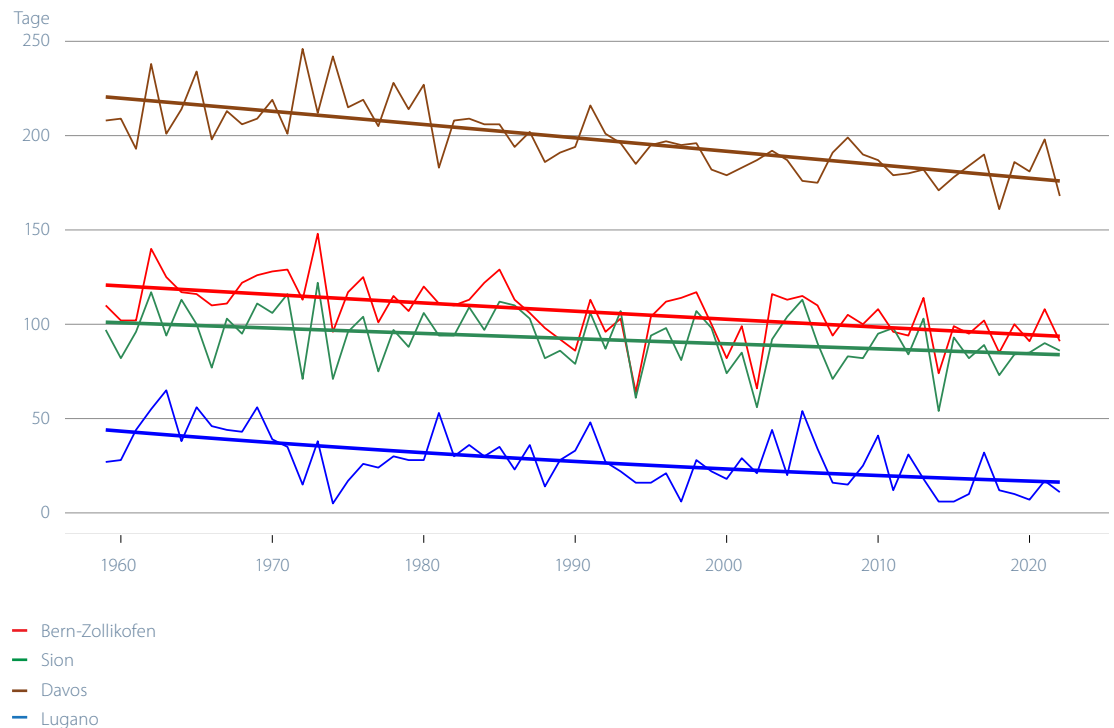
Auf der Webseite der MeteoSchweiz finden sich zusätzliche Informationen zur Temperaturentwicklung in der Schweiz:
www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klimawandel/entwicklung-temperatur-niederschlag-sonnenschein.html
www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klimawandel/schweizer-klimaszenarien.html

Frosttage

Infolge des milden Winters und der sehr warmen Frühlings- und Herbstmonate lag die Anzahl Frosttage 2022 an allen hier aufgeführten Messstandorten deutlich unter dem Durchschnitt der Periode 1961–1990. An der höchstgelegenen der hier gezeigten Messstationen in Davos wurden 168 Frosttage erreicht. Das sind 20% weniger als in der Norm 1961–1990 (210). Auch in Bern wurden etwa 20% weniger Frosttage registriert. Dort waren es 91 statt 115. In Sion wurden 86 Frosttage gemessen (Norm 98). In Lugano reichte es nicht einmal für einen Drittel des Normalen (11, Norm 35).

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-Zollikofen, Sion, Davos und Lugano.



Gemäss den neuen Klimaszenarien CH2018 [19] 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

Das rekordwarme Sommerhalbjahr bescherte der Schweiz im Jahr 2022 sehr viele Sommertage. In Lugano wurden 112 Sommertage gezählt (Norm 50), ein Tag mehr als im Rekordsommer 2003. Der Messstandort Sion registrierte ebenfalls über 100 Sommertage (103, Norm 56). In Bern waren es mit 74 Sommertagen deutlich mehr als das Doppelte der Norm 1961–1990 (31 Sommertage pro Jahr). Davos zählte zehn Tage mit mehr als 25°C. In der Normperiode 1961–1990 wurde dort durchschnittlich gerademal ein Sommertag pro Jahr registriert. Sommertage kommen 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., sind es gut zwei Sommertage mehr pro Jahrzehnt.

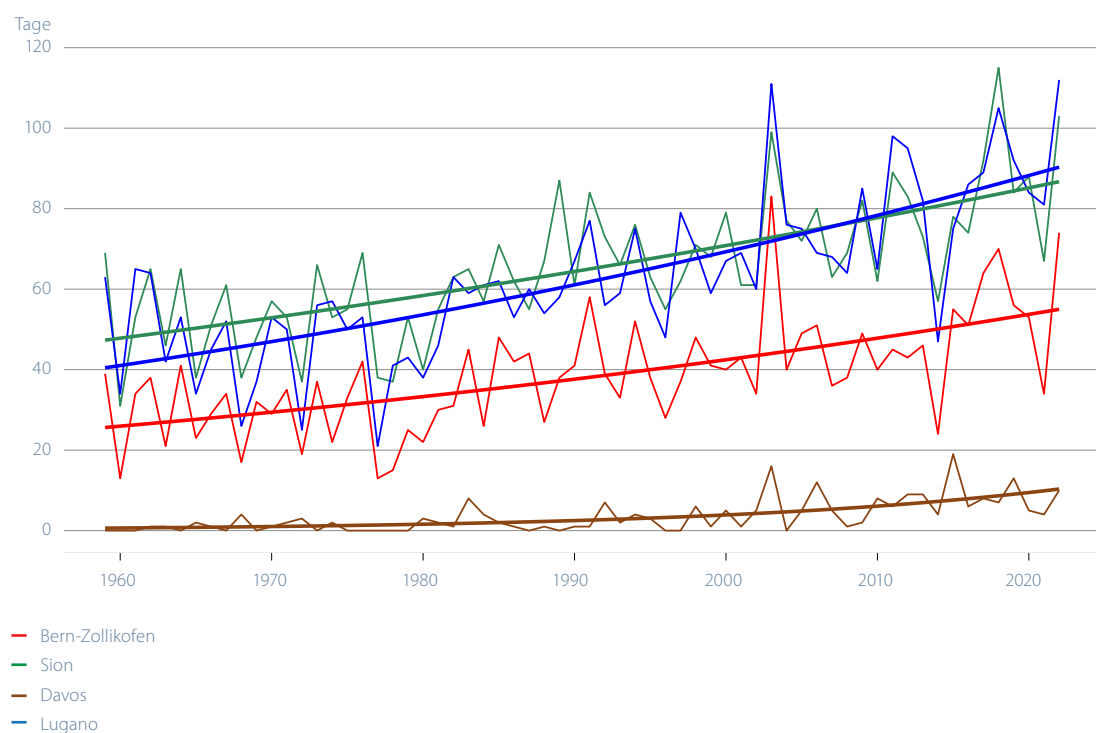


Abbildung 5.6
Zeitlicher Verlauf der Sommertage (Tage des Kalenderjahres mit maximaler Temperatur $\geq 25^\circ\text{C}$) für die Stationen Bern-Zollikofen, Sion, Davos und Lugano.

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 [19].

Niederschlag

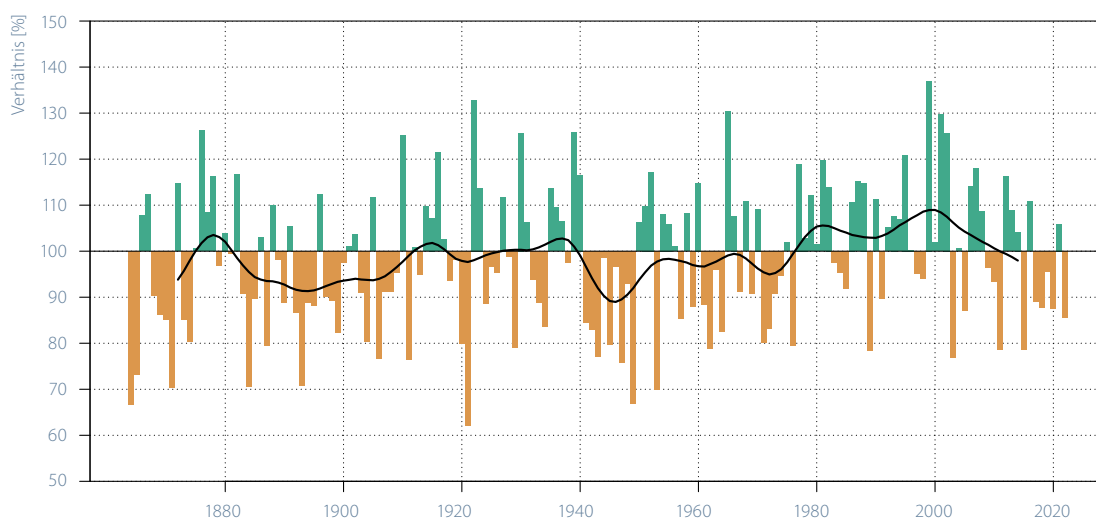
Die Niederschlagsmenge im Jahr 2022 war unterdurchschnittlich und mit 86% der Norm im Mittelland ähnlich wie in den Jahren 2020, 2018, 2017 und 2015 (Abbildung 5.7). Der Winter war im Mittelland mit 92% der Norm leicht unterdurchschnittlich. Im Frühling und Sommer fiel mit 63% resp. 71% deutlich weniger Niederschlag als in der Norm 1961–1990 (Abbildung 5.8). Nur der Herbst war auf der Alpennordseite mit 128% der Norm feuchter als gewohnt, dies vor allem wegen des nassen Septembers.

Sehr trocken war das Jahr 2022 auf der Alpensüdseite (Abbildung 5.9). Dort wurde über die gesamten zwölf Monate nur gerade 71% des Normniederschlags erreicht. Winter, Frühling und Sommer brachten in der Südschweiz klar weniger Niederschlag, und zwar 22%, 33% resp. 72% des in der jeweiligen Saison erwarteten Niederschlags

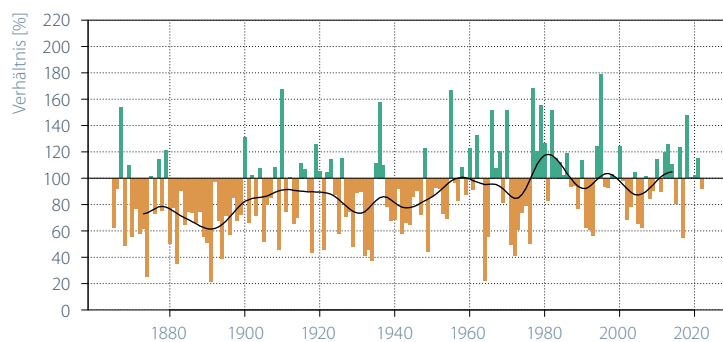
(Abbildung 5.10). Der Winter 2021/22 gehörte gar zu den trockensten seit Messbeginn 1864. Wie auf der Nordseite war auch südlich der Alpen der Herbstniederschlag leicht überdurchschnittlich (123% der Norm 1961–1990). Diese Mengen vermochten das Defizit aus den Vormonaten jedoch nicht zu kompensieren.

Die Niederschlagsentwicklung im Zeitraum 1864–2022 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 Mittelland ist im Winter ein Trend zur Zunahme der mittleren Niederschläge festzustellen. In den übrigen Jahreszeiten gibt es keinen klaren Trend für eine Zu- oder Abnahme der Niederschlagssummen.

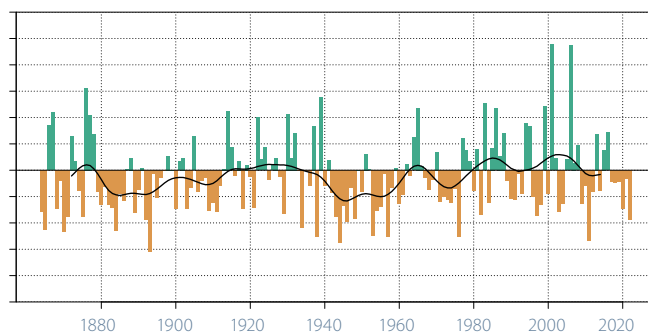
Abbildung 5.7
**Langjähriger Verlauf
 der Jahres-Niederschlagssummen gemittelt über das Mittelland. Dargestellt ist das Verhältnis der Jahres-Niederschlagssummen zur Norm 1961–1990 (grün = positive Abweichungen, braun = negative Abweichungen). Als Datenbasis dienen die homogenen Messreihen Genève, Basel, Bern und Zürich. Die schwarze Kurve zeigt das 20-jährige gewichtete Mittel.**



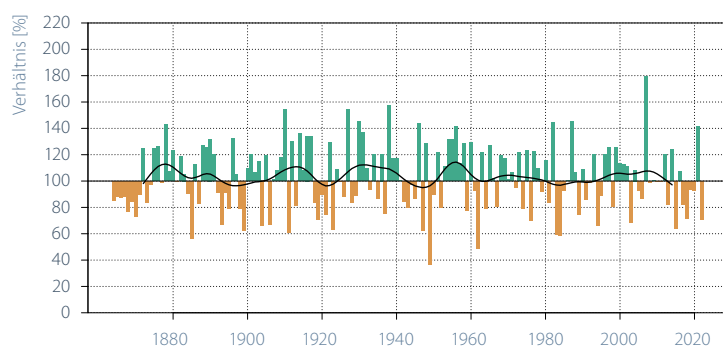
Winter (DEZ, JAN, FEB) 100% = rund 200 mm



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



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



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

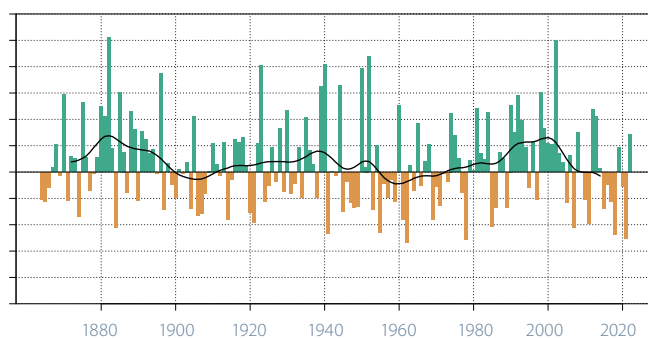
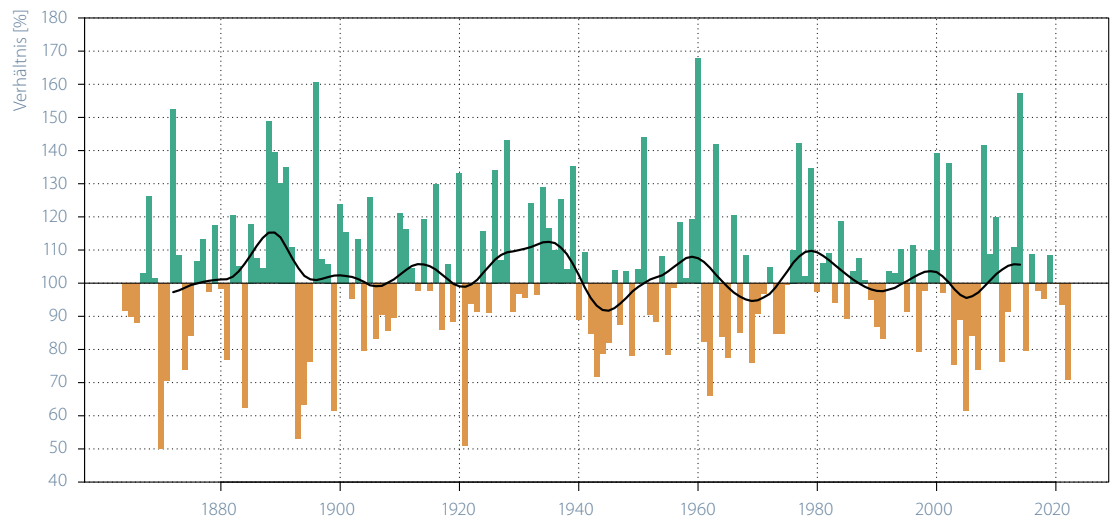


Abbildung 5.8

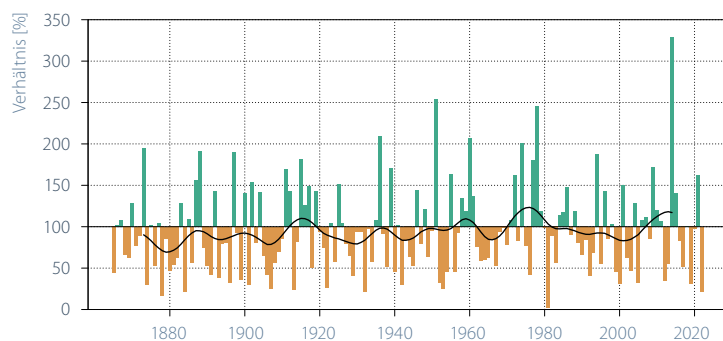
Langjähriger Verlauf der jahreszeitlichen Niederschlagssummen gemittelt über das Mittelland. Dargestellt ist das Verhältnis der saisonalen Niederschlagssummen zur Norm 1961–1990 (grün = positive Abweichungen, braun = negative Abweichungen). Als Datenbasis dienen die homogenen Messreihen Genève, Basel, Bern und Zürich. Die schwarze Kurve zeigt das 20-jährige gewichtete Mittel. Man beachte, dass die Sommer 2008–2011 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-Nieder-
 schlagssummen in der
 Südschweiz. Dargestellt
 ist das Verhältnis der
 Jahres-Niederschlags-
 summen zur Norm
 1961–1990 (grün =
 positive Abweichungen,
 braun = negative Ab-
 weichungen). Als Daten-
 basis dient die homogene
 Messreihe von Lugano.
 Die schwarze Kurve
 zeigt das 20-jährige
 gewichtete Mittel.**

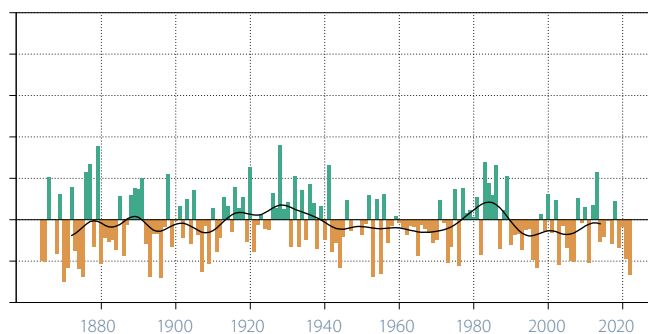


Auf der Webseite der MeteoSchweiz finden sich zusätzliche Informationen zur Niederschlagsentwicklung in der Schweiz:
www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klimawandel/entwicklung-temperatur-niederschlag-sonnenschein.html
www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klimawandel/schweizer-klimaszenarien.html

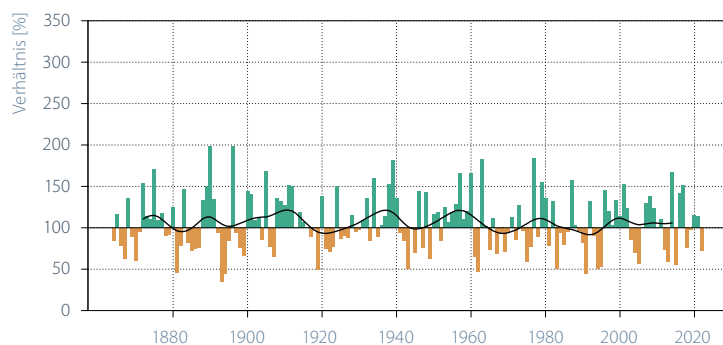
Winter (DEZ, JAN, FEB) 100% = rund 220 mm



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



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



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

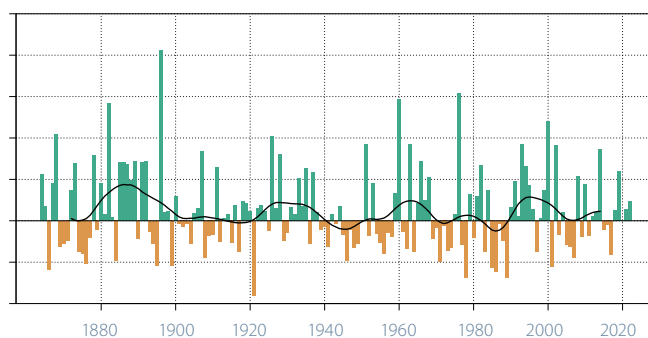


Abbildung 5.10

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

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 [19].

Tage mit starkem Niederschlag

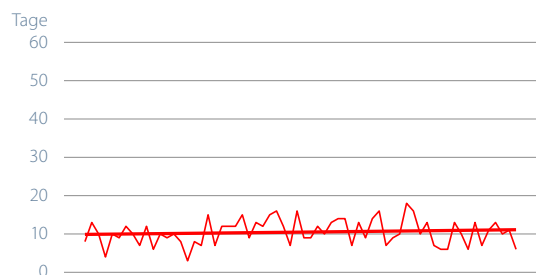
Ähnlich wie die durchschnittlichen Niederschlagsmengen im Jahr 2022 war auch die Anzahl Tage mit starkem Niederschlag an den vier Messstandorten unter dem Durchschnitt der Periode 1961–1990. In Bern wurden sechs Tage mit mehr als 20 mm Niederschlag registriert (Norm 10), in Davos sieben (Norm 10) und in Sion zwei Tage (Norm 5). In Lugano gehörte das Jahr 2022 zu den wenigen mit nur 15 Tagen (Norm 26) mit mehr als 20 mm Niederschlag. Die vier gezeigten Messstandorte weisen keine signifikanten Trends hin zu einer Zu- oder Abnahme der Tage mit starkem Niederschlag auf. Blickt man bis 1901 zurück, so zeigen 92 % von 185 Messreihen eine Zu-

nahme und 35 % eine signifikante Zunahme von starken Niederschlägen. 91 % zeigen zudem eine Zunahme und 31 % eine signifikante Zunahme der Intensität von Starkniederschlägen [20]. Für diese Aussage werden Daten bis 2014 berücksichtigt.

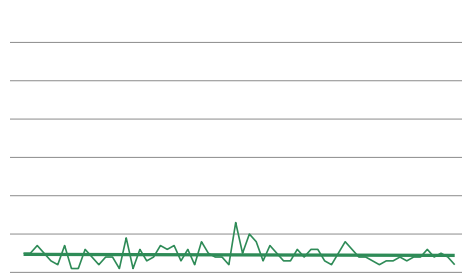
Die Klimaszenarien CH2018 deuten auch für die Zukunft auf eine Zunahme der Extrem- und Starkniederschläge hin. Der stärkste Eintagesniederschlag pro Jahr dürfte bis 2060 um 10 % gegenüber 1981–2010 zunehmen [19].

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

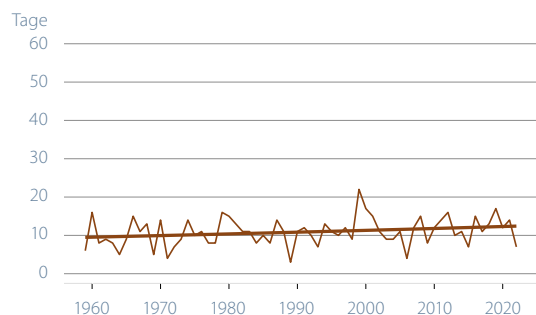
Bern-Zollikofen



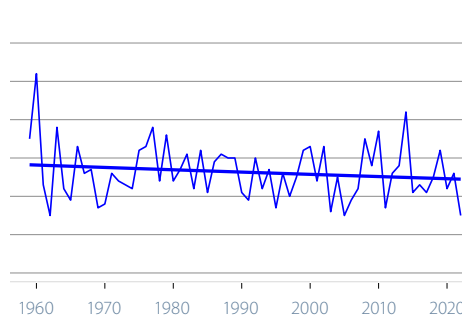
Sion



Davos



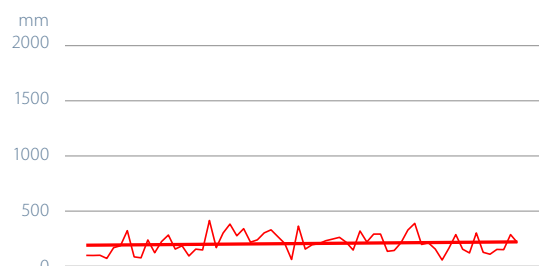
Lugano



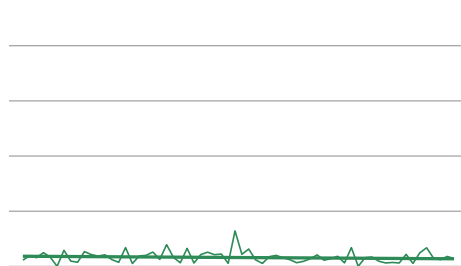
Niederschlag der sehr nassen Tage

Die Niederschlagssumme der sehr nassen Tage war am alpinen Messstandort Davos mit 72 mm (Norm 214 mm) und südlich der Alpen in Lugano mit 486 mm (Norm 858 mm) deutlich unter der Norm 1961–1990. An den Messstandorten Sion und Bern erreichte die Niederschlagssumme der sehr nassen Tage Werte nahe der Norm (Sion 71 mm / Norm 98 mm, Bern 214 mm / Norm 216 mm). Im langfristigen Verlauf zeigt keine der hier genannten Stationen einen signifikanten Trend.

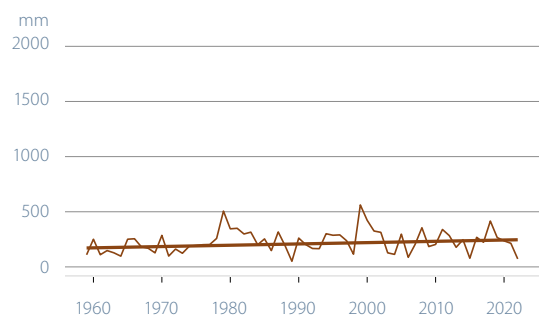
Bern-Zollikofen



Sion



Davos



Lugano

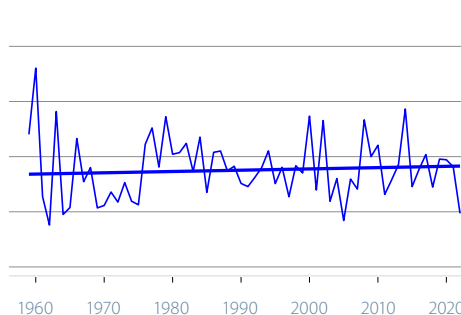


Abbildung 5.12

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.

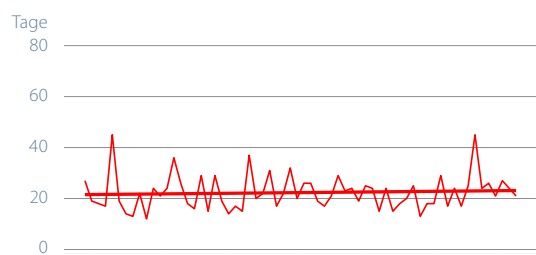
Trockenperioden

Längere Trockenphasen gab es im Jahr 2022 in Davos mit 36 aufeinanderfolgenden Tagen ohne Niederschlag (Norm 22) und in Lugano mit 43 regenfreien Tagen hintereinander (Norm 33). An den Messstandorten Bern und Sion waren die längsten Trockenphasen 2022 leicht kürzer als in der Norm 1961–1990 (Bern 21 Tage / Norm 22, Sion 23 Tage / Norm 30). Im langfristigen Verlauf zeigt keine der genannten Messreihen einen signifikanten Trend zu längeren oder kürzeren Trockenperioden.

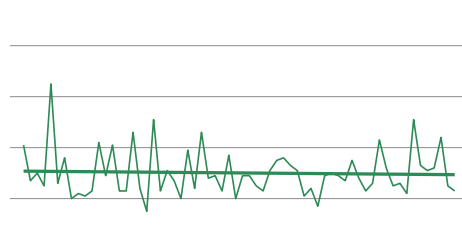
Gemäss den aktuellen Klimaszenarien ist bis 2060 von einer Zunahme der längsten Trockenperiode eines Jahres um bis zu neun Tage zu rechnen, wenn die globalen Treibhausgasemissionen nicht drastisch reduziert werden [19].

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

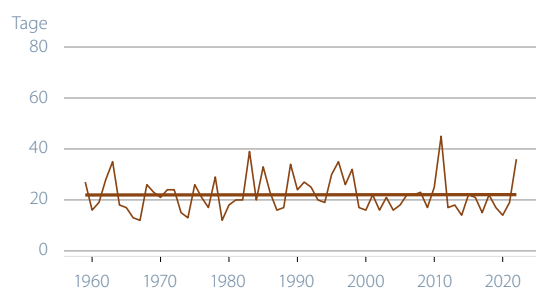
Bern-Zollikofen



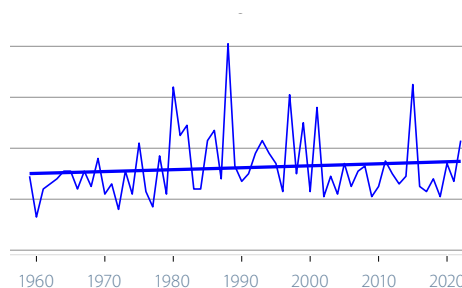
Sion



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 September negative Wasserbilanzen aufwiesen. Das Sommerhalbjahr 2022 setzt diese Reihe fort, auch wenn es in dieser Auswertung nicht ganz den Wert des letzten extremen Sommers 2018 [21] erreicht. Häufigere trockenere Sommer entsprechen der Erwartung in einem sich erwärmenden Klima mit höherer Verdunstung [22].

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 [23], [24].

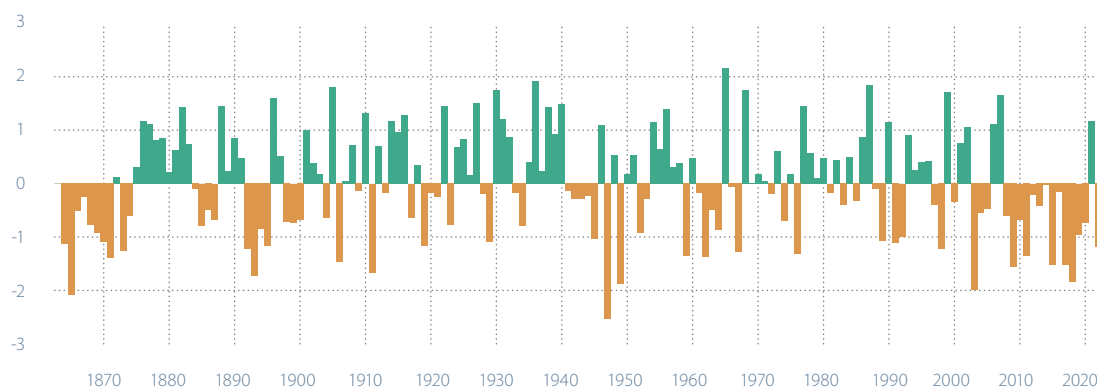


Abbildung 5.14
SPEI über die gesamte Vegetationsperiode (sechs Monate, April bis September) an der Messstation Bern. Positive Werte bedeuten feuchtere und negative Werte trockenere Bedingungen als im Median (1864–2022).





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 2830 m. Dieser Wert liegt 150 m höher als jener des Vorjahres 2021.

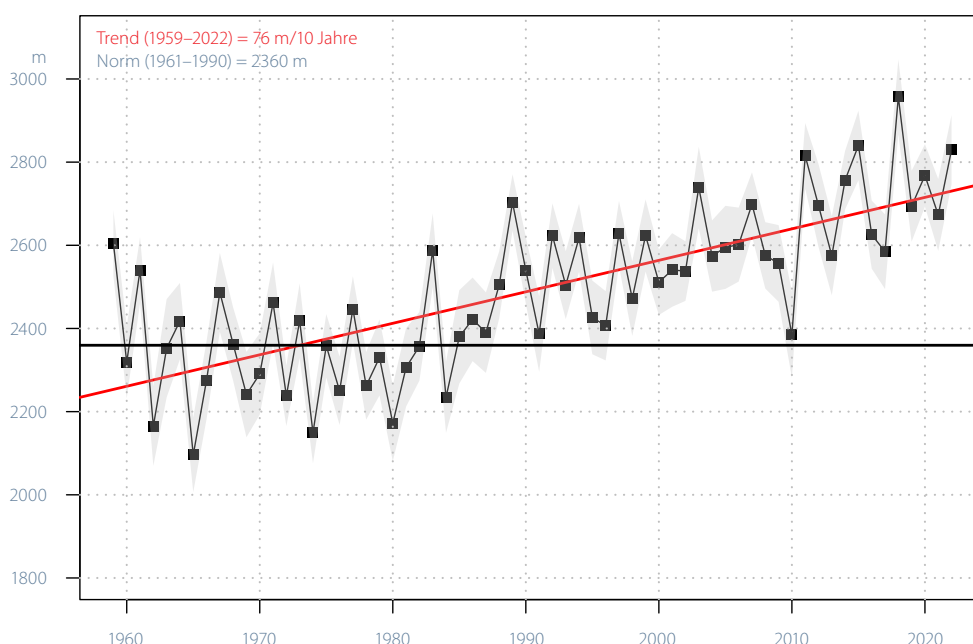
Abbildung 5.15 zeigt den zunehmenden Trend der Nullgradgrenze (rote Linie) über den Zeitraum 1959–2022. Der lineare Trend über die gesamte Datenreihe macht die langjährige Entwicklung deutlich, gibt aber keine Auskunft über kurzfristige Veränderungen, welche auch gegen diese Entwicklung gerichtet sein 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 Zeitraum 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 dazu steigt die Nullgradgrenze in der zweiten Hälfte der Zeitreihe 1990–2022 signifikant an.

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 1990–2022 deutlich an. Dies trifft auch auf die saisonalen Trends der Nullgradgrenze zu (Abbildung 5.16). Tabelle 5.3 zeigt die Minima und Maxima der Nullgradgrenze aus den jeweiligen Zeitreihen und damit auch den neuen absoluten Rekord aus dem Sommer 2022 (3962 m).

Abbildung 5.15
Jahresmedian der Nullgradgrenze über den Zeitraum 1959–2022, 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.

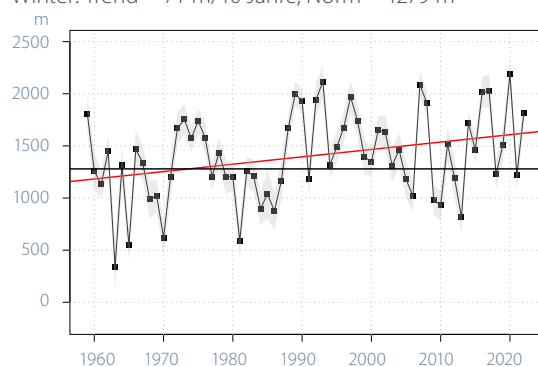


Die warmen Jahreszeiten Frühling (87 m/10 Jahre) und Sommer (91 m/10 Jahre) zeigen ein ähnliches Muster wie die Entwicklung der Jahreswerte (76 m/10 Jahre) in Abbildung 5.15, mit der Beschleunigung des Trends ab etwa 1990. Auch die etwas weniger stark ansteigenden Trends im Winter und Herbst sind signifikant. Im Winter nimmt die Nullgradgrenze um 71 m/10 Jahre zu, am flachsten ist der Trend im Herbst mit 49 m/10 Jahre.

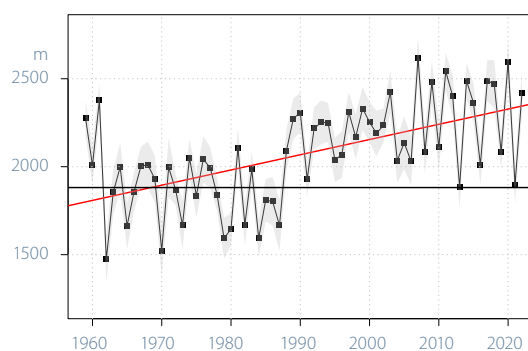
| | Winter (DEZ–FEB) | Frühling (MÄR–MAI) | Sommer (JUN–AUG) | Herbst (SEP–NOV) |
|--------------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|
| Minima in m (Jahr) | 311 m (1963) | 1472 m (1962) | 3092 m (1977) | 1532 m (1974) |
| Maxima in m (Jahr) | 2192 m (2020) | 2612 m (2007) | 3955 m (2015) | 3378 m (2018) |

Tabelle 5.3
Saisonale Minima und Maxima der Nullgradgrenze in den jeweiligen Zeitreihen.

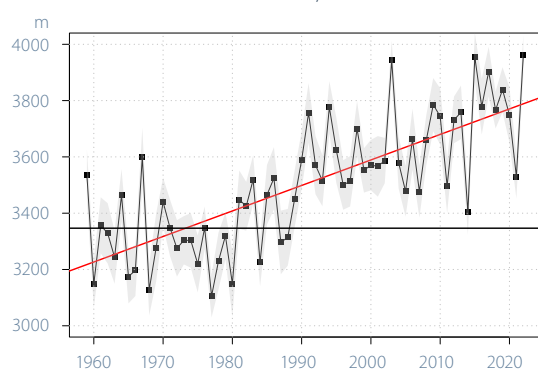
Winter: Trend = 71 m/10 Jahre, Norm = 1279 m



Frühling: Trend = 87 m/10 Jahre, Norm = 1882 m



Sommer: Trend = 91 m/10 Jahre, Norm = 3347 m



Herbst: Trend = 49 m/10 Jahre, Norm = 2860 m

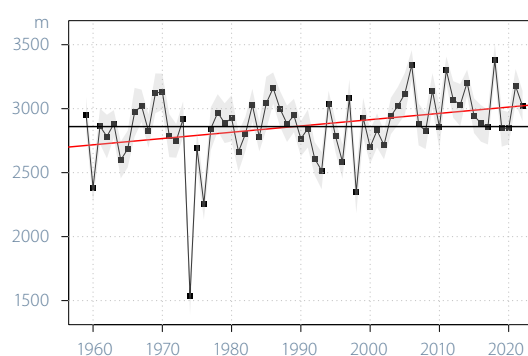


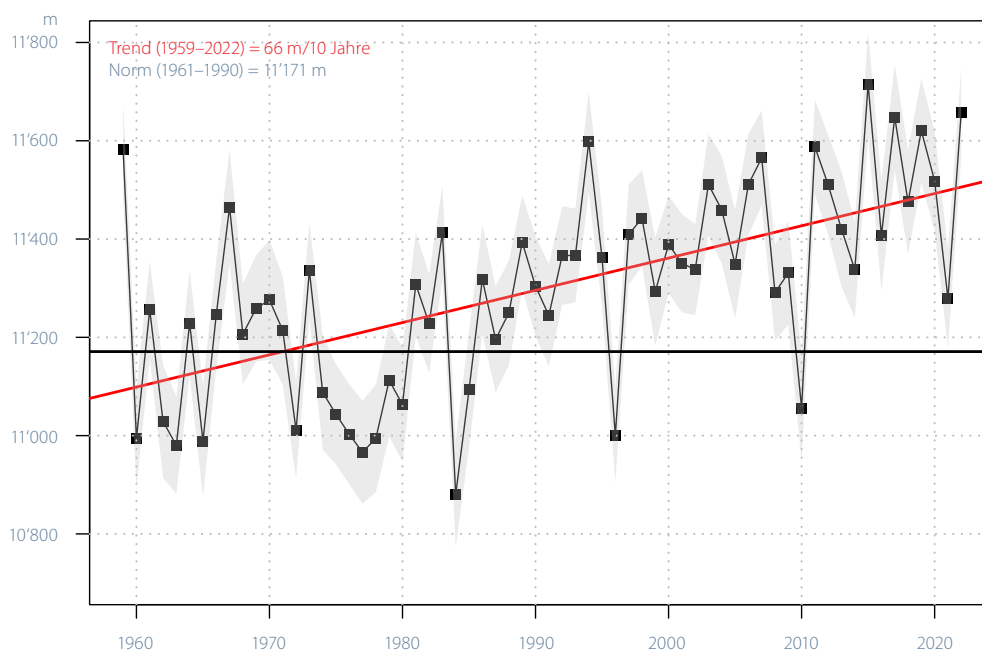
Abbildung 5.16
Saisonale Medianwerte der Nullgradgrenze über den Zeitraum 1959–2022. Die schwarze Linie zeigt die saisonalen Medianwerte für die Norm 1961–1990. Die rote Linie zeigt den linearen Trend über die gesamte Zeitreihe. Der graue Bereich um den Median entspricht der Messunsicherheit.

Tropopausenhöhe

Die Höhe der Tropopause wird nach der WMO-Definition der thermischen Tropopause [25] 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 1959–2022 (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 2022 erreichte die Tropopause eine mittlere Höhe von 11'658 m. Das ist 487 m höher als der Median über die Normperiode (11'171 m) und 408 m über dem Vorjahreswert. Die lineare Höhenzunahme der Tropopause seit 1959 ist statistisch signifikant, 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. Der höchste Jahresmedian mit 11'714 m wurde 2015 erreicht. Im Zeitraum von 1959–2022 nahm die Höhe der Tropopause um 66 m pro Dekade zu. Im Allgemeinen stimmt dieser Trend mit der Entwicklung der Nullgradgrenze überein (Abbildung 5.15).

Abbildung 5.17
**Jahresmedianwert
 der Tropopausenhöhe
 1959–2022, die aus den
 täglichen Ballonsondie-
 rungen 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.**



Die Tropopausenhöhe nahm insbesondere im Zeitraum 1990–2022 deutlich zu. Ein ähnliches Bild zeigt sich in den saisonalen Trends in Abbildung 5.18., wenn auch die Jahr-zu-Jahr Schwankungen deutlich stärker zu Tage treten. Im Frühjahr (März, April, Mai) und Sommer (Juni, Juli, August) überschreiten die Jahreswerte etwa ab 1990 fast durchgehend den Median der Norm 1961–1990 (11'171 m). Wie bei der Nullgradgrenze sind auch die Trends der Tropopausenhöhe im Winter (Dezember, Januar, Feb-

ruar) 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.

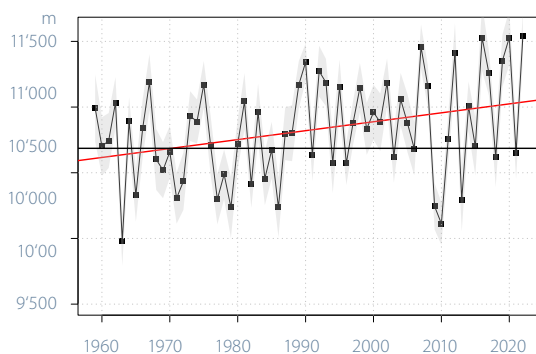
Tabelle 5.4 zeigt die Tiefst- und Höchstwerte der Tropopausenhöhe in den saisonalen Zeitreihen. Dazu gehört auch der neue Höchstwert seit 1959 im Winter, der im Jahr 2022 mit 11'540 m gemessen wurde.

| | 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) |

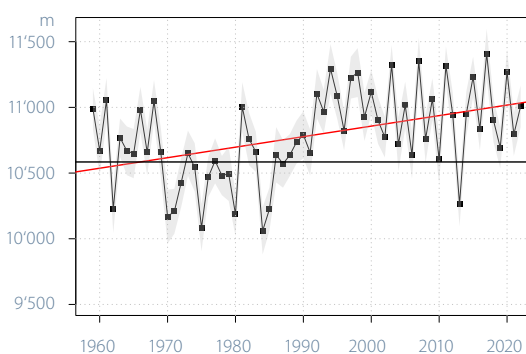
Tabelle 5.4

Saisonale Minima und Maxima der Tropopausenhöhe in den jeweiligen Zeitreihen.

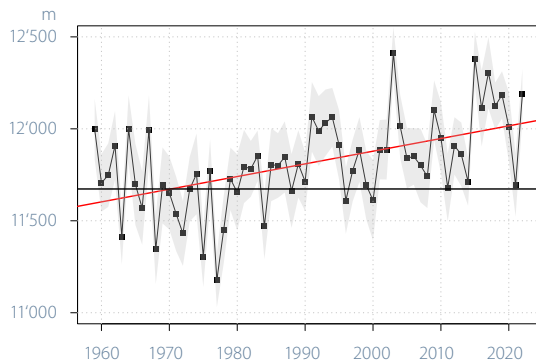
Winter: Trend = 68 m/10 Jahre, Norm = 10'686 m



Frühling: Trend = 80 m/10 Jahre, Norm = 10'584 m



Sommer: Trend = 69 m/10 Jahre, Norm = 11'673 m



Herbst: Trend = 28 m/10 Jahre, Norm = 11'755 m

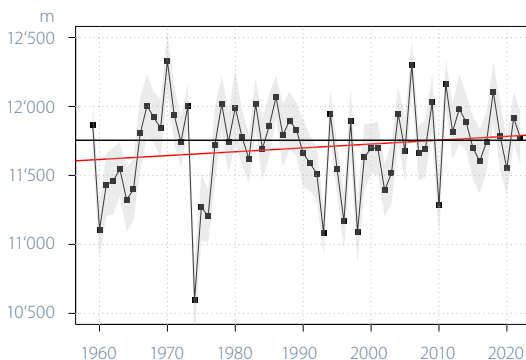


Abbildung 5.18

Saisonale Medianwerte der Tropopausenhöhe über den Zeitraum 1959–2022. 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.

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 [26]. 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 [27] seit den 1990er-Jahren dominiert die allgemeinen Temperaturtrends. Er führt in der unteren Troposphäre zu wärmeren Temperaturen mit etwa $0,43^\circ\text{C}$ pro Jahrzehnt. Mit zunehmender Höhe bis zur Tropopause (ungefähr 200 hPa) nimmt der Temperaturtrend allmählich ab und kehrt oberhalb der Tropopause um ($-0,4^\circ\text{C}$ 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 2022 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, weniger Bewölkung usw.

Auch in der Stratosphäre lassen sich zwei Trends ausmachen [28]: 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 Seitwärtsentwicklung 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 1959–2022 bewirkt. Die Abweichungen im Jahr 2022 passen alle gut zum langfristigen Trend.

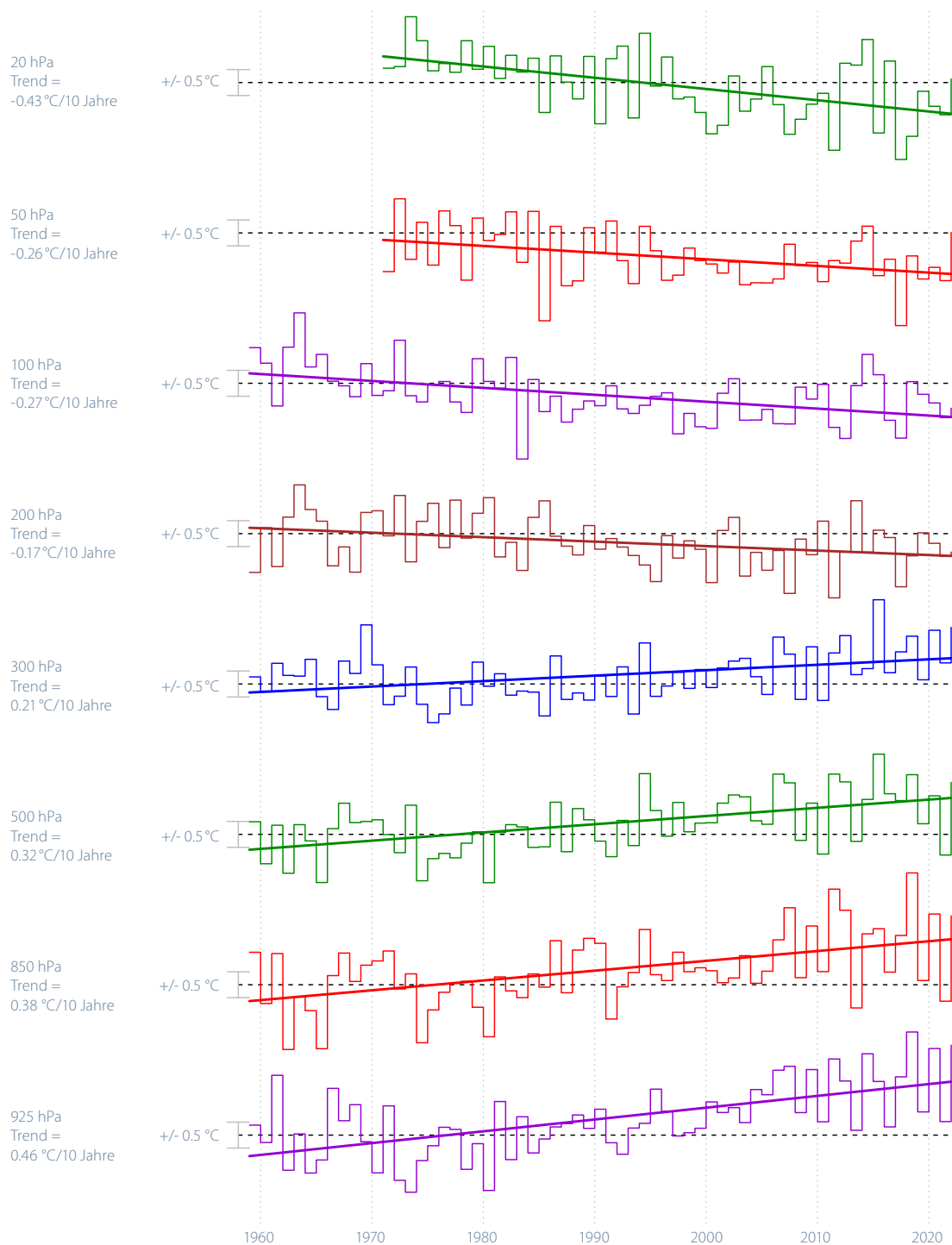


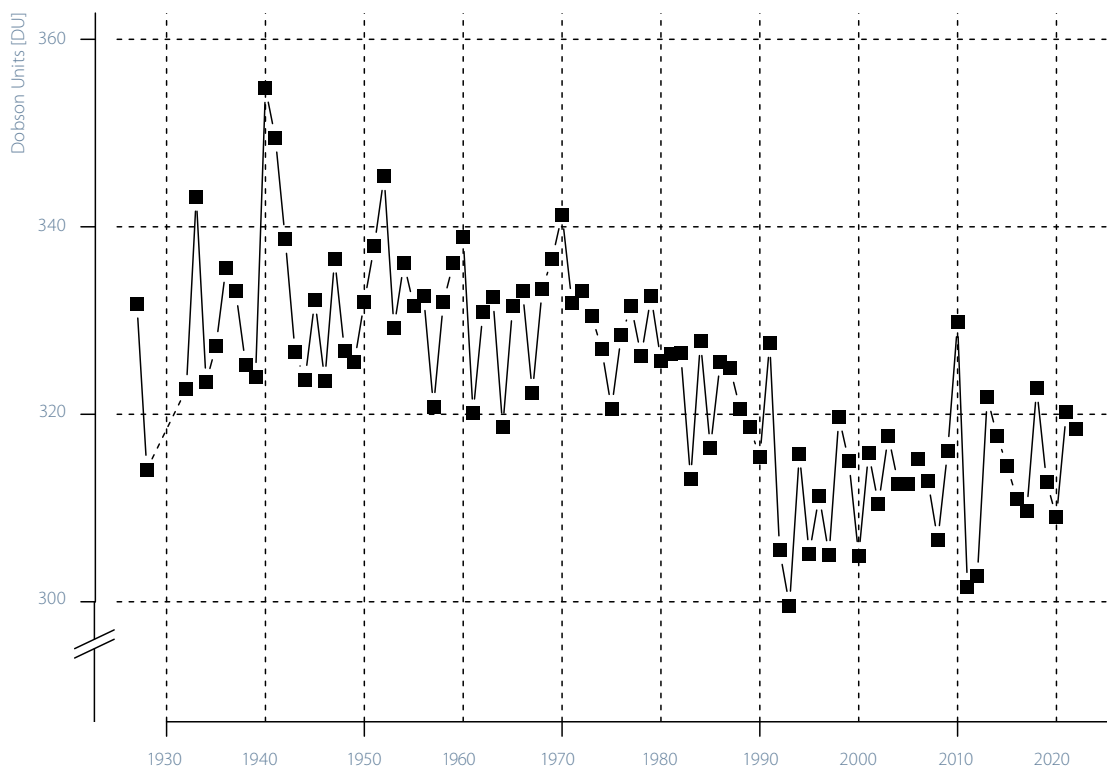
Abbildung 5.19
Trends der Temperatur im Zeitraum 1959–2022, gemessen mittels Ballonsondierungen über der Schweiz. Die Temperaturabweichung vom Median der klimatologischen Norm 1961–1990 wird für acht Druckniveaus dargestellt (vier in der Troposphäre und vier in der unteren Stratosphäre).

Ozonmessreihe Arosa und Davos

Mit den in Arosa durchgeführten Messungen verfügt die Schweiz über die weltweit längste Messreihe für das atmosphärische Gesamt Ozon. Seit Beginn der Messungen im Jahr 1926 bis etwa 1975 lieferten diese Messungen einen Langzeit-Mittelwert von etwa 330 DU (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 2022 weist einen Wert auf, der nur geringfügig unter 320 DU liegt. Der Trend ist zwar nicht signifikant, es gibt aber Anzeichen einer Erholung der Ozonsäule über Arosa und Davos.

Abbildung 5.20
Gesamt ozonsäule in
Arosa zwischen 1926 und
2022. 100 Dobson-Einheiten (Dobson Units)
= 1 mm reines Ozon bei
1013 hPa und 0°C.



Ozonmessungen Payerne

Seit 1968 wird die Ozonkonzentration mit Ballonsonden von der Aerologischen Station von MeteoSchweiz in Payerne aus gemessen. Die älteren Messungen (1966–1968) 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).

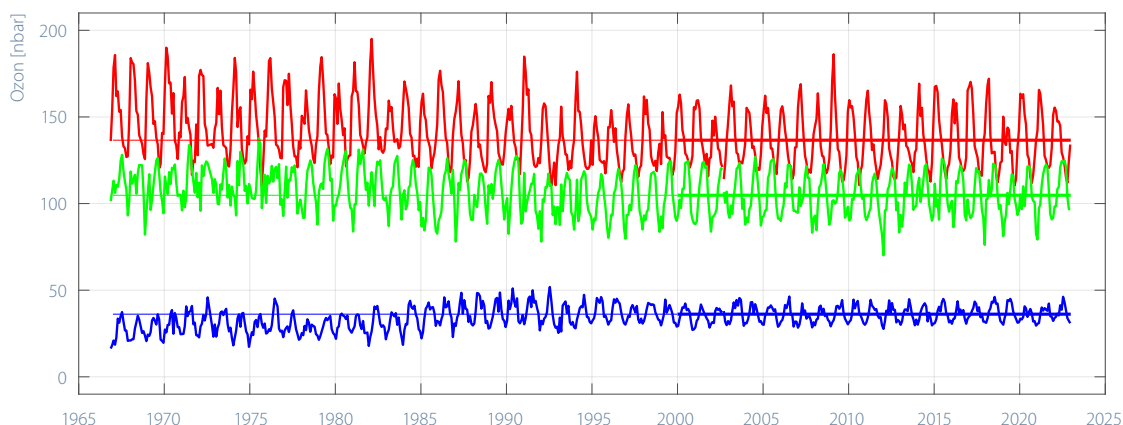


Abbildung 5.21
Monatliche Ozonkonzentration auf drei verschiedenen Höhen für die Periode 1967–2022 (rot: 22 km, grün: 27 km, blau: 3 km). Die Ozonkonzentration ist als Partialdruck in Nanobar (nb) angegeben.





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.

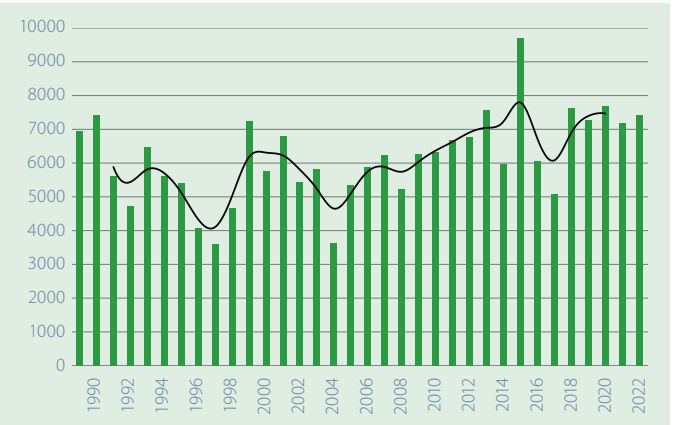
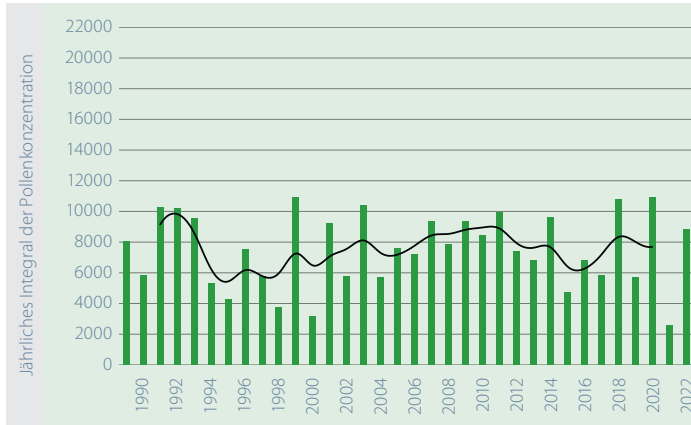
Die Birkenpollensaison 2022 war deutlich stärker als im letzten Jahr. Die Intensität der Birkenpollensaison folgt in den letzten Jahren auch auf der Alpennordseite einem Zweijahresrhythmus, wie dies im Tessin schon seit längerem der Fall ist. Die Intensität der Gräserpollensaison war im Tessin und auf der Alpennordseite stärker als im Mittel, in der Westschweiz war sie leicht schwächer. Die absoluten Werte sind im Tessin deutlich tiefer als auf der Alpennordseite.

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.

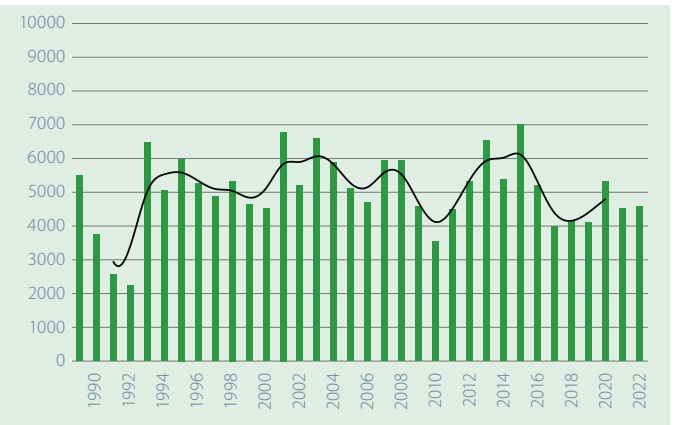
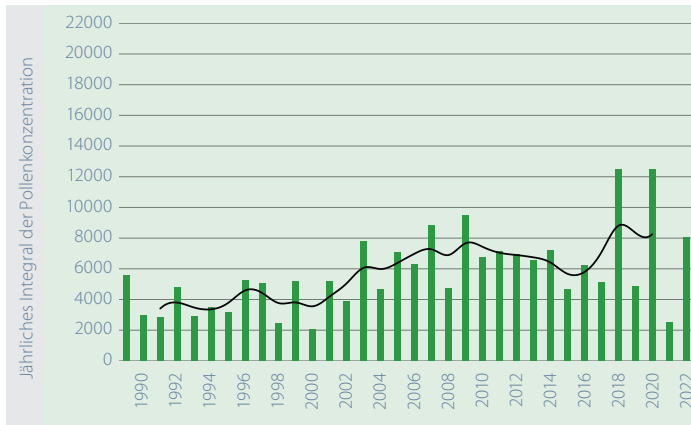
Birke Zentral- und Ostschweiz

Gräser Zentral- und Ostschweiz



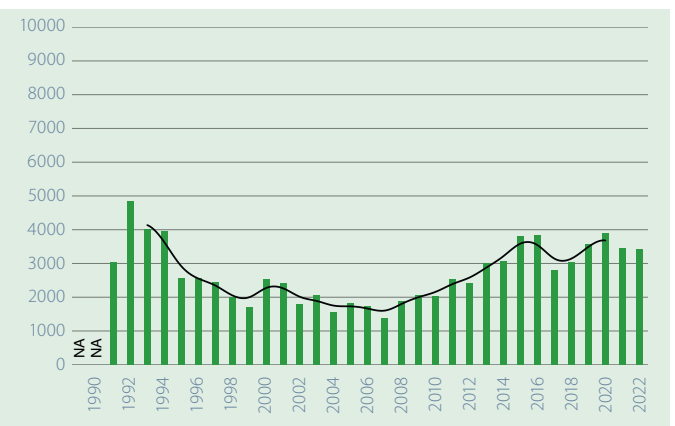
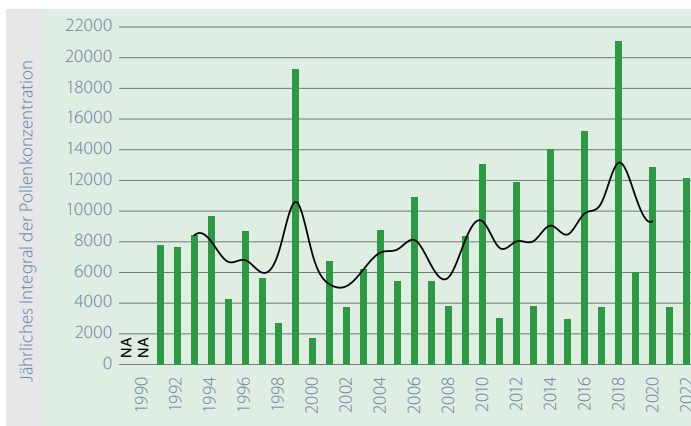
Birke Westschweiz

Gräser Westschweiz



Birke Tessin

Gräser Tessin



Landoberfläche

Neuschneesummen

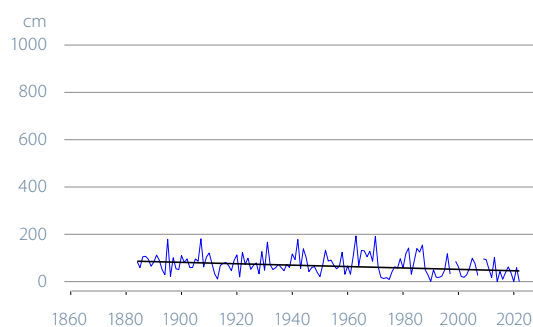
Der Winter 2021/22 war in allen Landesteilen verhältnismässig niederschlagsarm, nur im Dezember 2021 wurden verbreitet überdurchschnittliche Niederschlagsmengen gemessen. Entsprechend blieben auch die Neuschneemengen an allen hier gezeigten Messstandorten unter der Norm 1961–1990. Am Messstandort Arosa fielen im Winterhalbjahr insgesamt 5,51 m (Norm 6,31 m), nachdem die vier vorangegangenen Jahre alle deutlich schneereicher waren. Zuletzt gab es in Arosa im Winter 1981/82 Neuschneesummen über 9 m (Norm 6,31 m). Am Messstandort Segl-Maria erreichte die Neuschneesumme im Winterhalbjahr Oktober–März 2,14 m (Norm 3,12 m), ebenfalls deutlich weniger als in den Vorjahren 2018–2021.

In Einsiedeln wurden lediglich 1,80 m gemessen (Norm 3,41 m). In Luzern gab es im Winterhalbjahr 2021/22 überhaupt keinen messbaren Neuschnee (Norm 0,83 m).

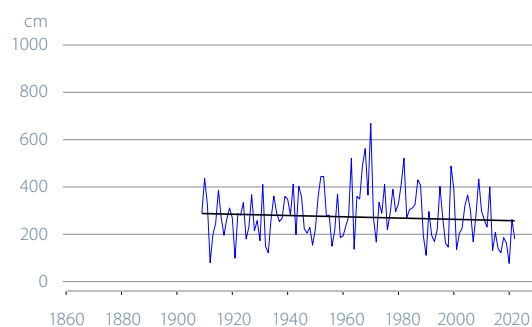
Bei den Neuschneesummen im Winterhalbjahr ist an den Messstandorten Segl-Maria, Arosa und Einsiedeln kein signifikanter Trend feststellbar. Diese drei Messreihen zeigen grosse Schwankungen von Jahr zu Jahr. In Luzern ist eine signifikante Abnahme von 2,9 cm pro Jahrzehnt zu beobachten. Dabei ist allerdings darauf hinzuweisen, dass die täglichen und monatlichen Schneeaufzeichnungen nicht in Form homogener Daten verfügbar sind.

Abbildung 5.23
**Neuschneesummen
in cm im Winterhalb-
jahr ab Messbeginn bis
2022 an den Messstatio-
nen Luzern, Einsiedeln,
Arosa und Segl-Maria.**

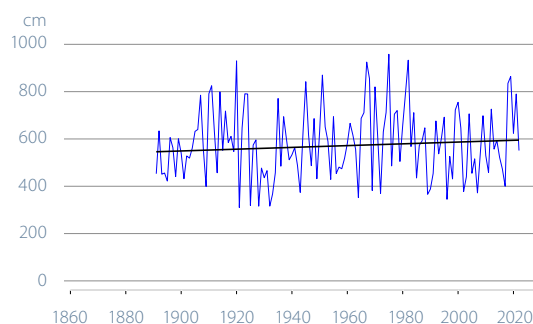
Luzern 454 m ü.M.



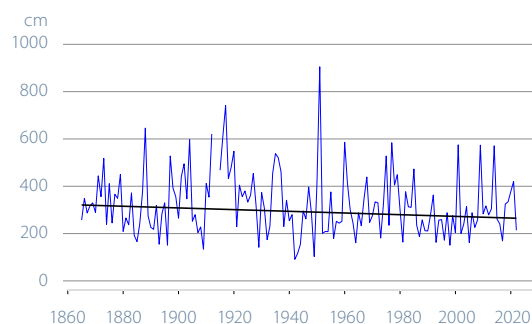
Einsiedeln 910 m ü.M.



Arosa 1840 m ü.M.



Segl-Maria 1798 m ü.M.



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

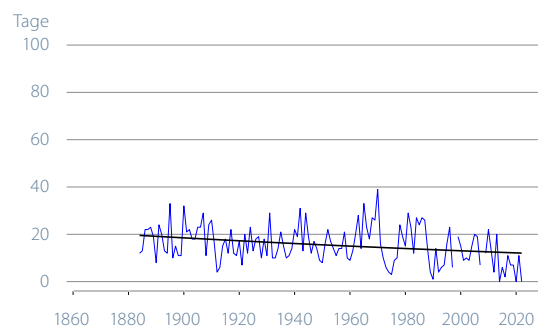
Tage mit Neuschnee

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 56 Tage mit Neuschnee (Norm 71 Tage). Zuletzt gab es 2017 weniger Tage mit Neuschnee an diesem Standort (45). In Segl-Maria im Oberengadin wurde an 23 Tagen Neuschnee registriert (Norm 42 Tage). Wie bereits oben geschrieben gab es in Luzern keinen messbaren Neuschnee (Norm 18 Tage). Einsiedeln verzeichnete wie die anderen hier genannten Standorte mit 32 Neuschneetagen ebenfalls deutlich weniger als in der Norm (46).

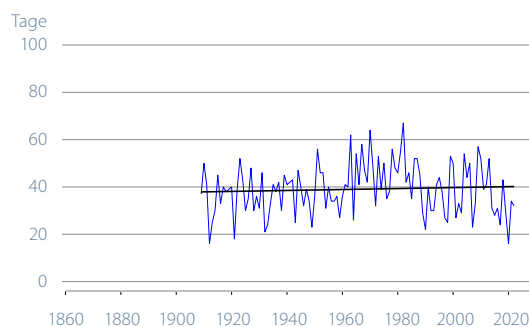
Die Messreihe Arosa weist einen signifikanten Trend zu mehr Tagen mit Neuschnee auf. Er beträgt +1,5 Tage pro Jahrzehnt. Luzern zeigt demgegenüber mit -0,6 Tagen pro Jahrzehnt einen schwächeren, aber signifikanten Trend zu weniger Tagen mit Neuschnee. An den beiden Messstandorten Einsiedeln und Segl-Maria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

Die Klimaszenarien CH2018 erwarten einen deutlichen Rückgang der Schneedecke bis 2060 [19]. Auf einer Höhe zwischen 500 und 1000 m ü.M. ist mit einer Reduktion der Gesamtschneemenge um etwa 50% zu rechnen. Darunter ist die zu erwartende relative Abnahme noch grösser.

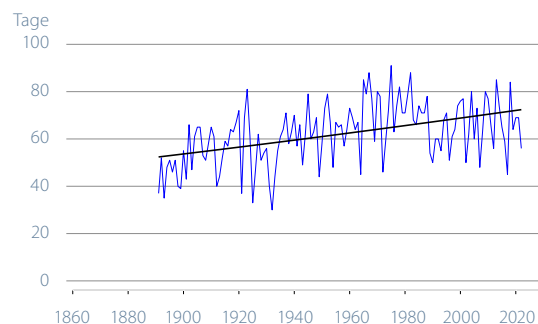
Luzern 454 m ü.M.



Einsiedeln 910 m ü.M.



Arosa 1840 m ü.M.



Segl-Maria 1798 m ü.M.

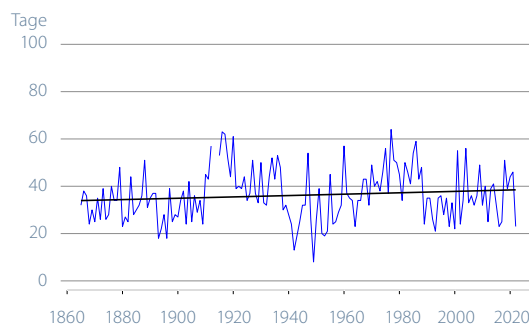


Abbildung 5.24

Anzahl Tage mit Neuschnee im Winterhalbjahr ab Messbeginn bis 2022 an den Messstationen Luzern, Einsiedeln, Arosa und Segl-Maria.

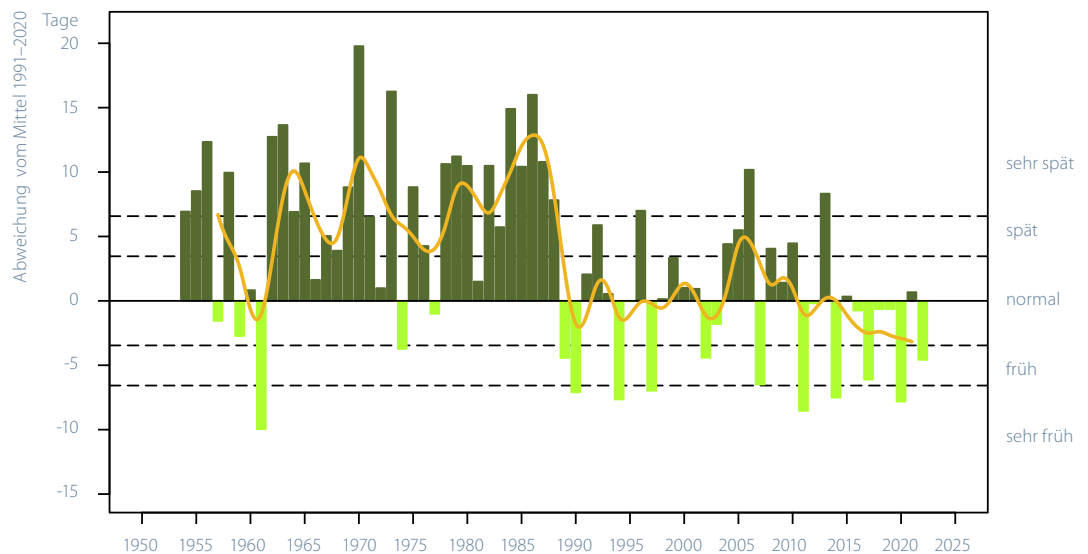
Frühlingsindex

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 [29]. Im Jahr 2022 entwickelte sich der Frühling um vier Tage früher als im langjährigen Mittel von 1991–2020. Besonders früh, schon im Januar, begann die Blüte der Haselsträucher im Tessin und vereinzelt auf der Alpennordseite. Insgesamt hatte die Haselblüte einen Vorsprung von zwölf Tagen auf das Mittel. Huflattich und Buschwindröschen blühten hauptsächlich im März mit einem Vorsprung von 5–10 Tagen.

Die Obstbäume blühten ab Ende März mit einem Vorsprung von 5–8 Tagen. Mit demselben Vorsprung blühten auf den Wiesen der Löwenzahn und das Wiesenschaumkraut. Ab Ende März trieben die Blätter der Laubbäume aus. Die Blattentfaltung der Buche ab Mitte April lag genau im mittleren Zeitpunkt der Periode 1991–2020.

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
Jährlicher Stand der gesamtschweizerischen Vegetationsentwicklung (Frühlingsindex) 1954–2022 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. Der Eintrittstermin am 26. März 2022 fand acht Tage früher statt als im Mittel der Periode 1991–2020, bedingt durch die hohen Temperaturen im Februar und Anfang und Ende März. Im Vergleich mit der gesamten Messperiode lag der diesjährige Termin 17 Tage vor dem mittleren Datum und ist der 10. 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 2022 fand der Blattausbruch der Rosskastanie am 10. März statt. Der Blattausbruch der Rosskastanie wird sehr stark durch die Temperaturen beeinflusst, aber auch andere Faktoren wie das Baumalter, Veränderungen in der Umgebung und das Stadtklima können eine Rolle spielen. Der Grund für die seit einigen Jahren wieder späteren Eintrittstermine ist noch unbekannt. Der seit 1930 beobachtete Baum ist im Sommer 2015 abgestorben und seither werden die Beobachtungen an einem neuen Baum gemacht.

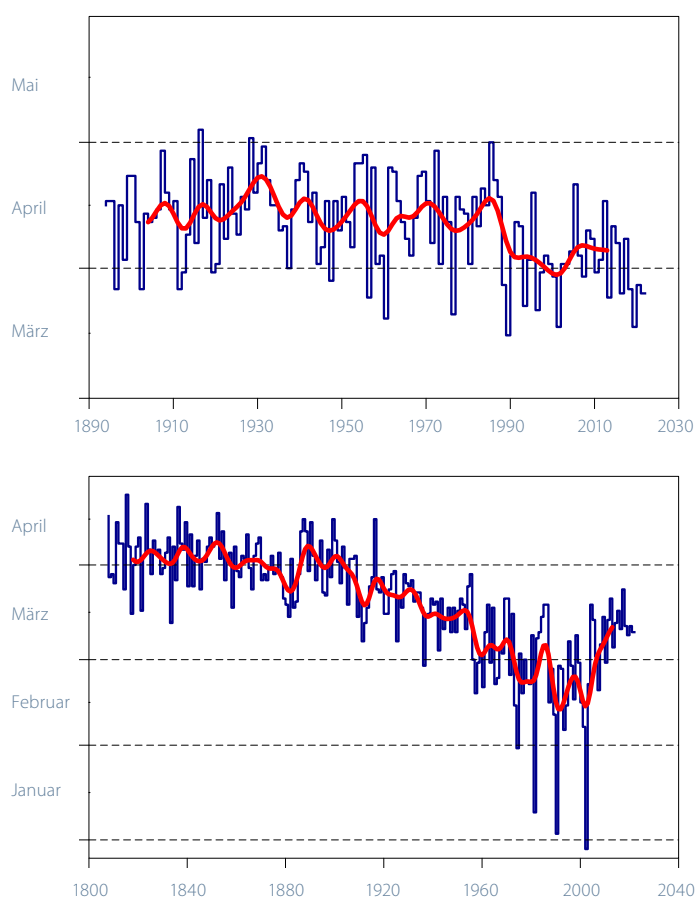


Abbildung 5.26
**Blüte des Kirschbaums bei Liestal
1894–2022 (oben) und Blattaus-
bruch der Rosskastanie in Genf
1808–2022 (unten).**





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 [10]. 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

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 [31]. Ausführliche Informationen zu seltenen Starkniederschlägen sind zu finden unter:



www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klima-der-schweiz/rekorde-und-extreme/extremwertanalysen.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 [30] aus dem Schweizer Klimanetzwerk (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [1]).

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, [32]) und SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index, [33]) 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 gelegene Höhe, beziehungsweise Tiefe der Nullgradgrenze errechnet, indem ein mittlerer vertikaler Temperaturgradient von $0,5^\circ\text{C}$ pro 100 m angenommen wird. Auf diese Weise ergeben sich Nullgradgrenzen, welche unter der Oberfläche, bei Bodentemperaturen von $-2,5^\circ\text{C}$ oder tiefer, sogar unter dem Meeres Niveau liegen und somit negativ sind [34]. 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 ($0,2^\circ\text{C}$ 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, auch welche Referenzperiode Bezug genommen wird.

Pollensaison und Pollenintensität

Die aktuelle Pollensaison wird mit dem 30-jährigen Mittel 1991–2020 verglichen. Das jährliche Pollenintegral (Pollen/m³ Tag) berechnet sich aus der mittleren täglichen Pollenkonzentration pro m³ Luft, die für das ganze Jahr aufsummiert werden.

Pollenmessstationen für Grafik Pollenintensität:

Zentral- und Ostschweiz:

Basel, Buchs, Luzern, Münsterlingen, 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 [25].

Kirschblüte Liestal und Blattausbruch Rosskastanie Genf

Datenquelle Kirschblüte Liestal:

Landwirtschaftliches Zentrum Ebenrain, Sissach und MeteoSchweiz

Datenquelle Blattausbruchs Rosskastanie Genf:

Grand Conseil de la République et canton de Genève



Referenzen

- [1] Begert M., Seiz G., Foppa N., Schlegel T., Appenzeller C., Müller G., 2007: Die Überführung der klimatologischen Referenzstationen der Schweiz in das Swiss National Climatological Network (Swiss NBCN). Arbeitsbericht MeteoSchweiz, 215
- [2] 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 C. 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 M. 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* <https://doi.org/10.5194/acp-2019-1174>, in review, 2020
- [4] Collaud C. M., Weingartner E., Furger M., Nyeki S., Prévôt A. S. H., Steinbacher M. and Baltensperger U., 2011: Aerosol climatology and planetary boundary influence at the Jungfraujoch analyzed by synoptic weather types. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 5931–5944, doi: 10.5194/acp-11-5931-2011
- [5] WMO 2022: WMO Statement on the status of the global climate in 2022 <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>
- [6] 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 <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202213>
- [7] 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)
- [8] MEI-Daten unter: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei>
- [9] WMO, 2003: GCOS-82. Second Report on the Adequacy of the Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC. WMO TD 1143
- [10] 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
- [11] 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>
- [12] Seiz G., Foppa N., 2007: Nationales Klima-Beobachtungssystem (GCOS Schweiz). Publikation von MeteoSchweiz und ProClim, 92 S. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/ueber-uns/forschung-und-zusammenarbeit/internationale-zusammenarbeit/gcos/nationales-klimabeobachtungssystem.html>
- [13] WMO, Essential Climate Variables <https://public.wmo.int/en/programmes/global-climate-observing-system/essential-climate-variables>

- [14] Beniston M., 1997: Variations of snow depth and duration in the Swiss Alps over the last 50 years: Links to changes in large-scale climatic forcings, *Climatic Change* 36 (1997), 281–300
- [15] Scherrer S. C., Appenzeller C., Laternser M., 2004: Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and large-scale climate variability. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13215, doi: 10.1029/2004GL020255
- [16] Laternser M., Schneebeli M., 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–99). *International Journal of Climatology* 23: 733–750
- [17] Marty C., 2008: Regime shift of snowdays in Switzerland, *Geophys. Res. Lett.* 35, L12501, doi: 10.1029/2008GL033998
- [18] Wüthrich C., 2008: Lange Schneemessreihen der Schweiz, Aufarbeitung der längsten Schneemessreihen und Trendanalyse ausgewählter Schneeparameter, Geographisches Institut der Universität Bern, Diplomarbeit
- [19] NCCS (Hrsg.), 2018: CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz. National Centre for Climate Services, Zürich. 24 S. ISBN-Nummer 978-3-9525031-0-2
<http://www.klimaszenarien.ch>
- [20] Scherrer S. C., Fischer E. M., Posselt R., Liniger M. A., Croci-Maspoli M., and Knutti R., 2016: Emerging trends in heavy precipitation and hot temperature extremes in Switzerland, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, doi: 10.1002/2015JD024634
- [21] MeteoSchweiz: 2018, Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 - eine klimatologische Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz, 272, 38 pp
- [22] 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>
- [23] 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
- [24] 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
- [25] WMO, 1957: Definition of the tropopause. *WMO Bull.*, 6, 136
- [26] 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
- [27] 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>, 2018
- [28] Philipona R., Mears C., Fujiwara M., Jeannot 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
- [29] Studer S., Appenzeller C. and Defila C., 2005: Inter-annual variability and decadal trends in Alpine spring phenology: A multivariate analysis approach. *Climatic Change* 73: 395–414

- [30] 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
- [31] 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
- [32] 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
- [33] 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
- [34] 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)
- [35] ESSL, The derecho and hailstorms of 18 August 2022
<https://www.essl.org/cms/the-derecho-and-hailstorms-of-18-august-2022>



printed in
switzerland

 PRINTED MATTER
CO₂ NEUTRAL
by Swiss Climate
SC2021070701

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie
MeteoSchweiz
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'Aérologie
CH-1530 Payerne

kundendienst@meteoschweiz.ch
www.meteoschweiz.ch