



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Klimareport 2011





printed in
switzerland



Klimaneutral gedruckt
Nr.: OAK-ER-11924-01113
www.oak-schwyz.ch/nummer

Klimareport 2011

Herausgeber

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

klmainformation@meteoschweiz.ch
www.meteoschweiz.ch

Redaktion

Dr. Stephan Bader

Autoren

Dr. Stephan Bader, Michael Begert, Dr. Emmanuel Brocard,
Dr. Martine Collaud, Dr. Christoph Frei, Dr. Sophie Fukutome,
Dr. Regula Gehrig, Dr. Thomas Herren, Dr. Pierre Jeannet,
Dr. Simon Scherrer, Thomas Schlegel, Dr. Christoph Spirig,
Dr. René Stübi, Dr. Laurent Vuilleumier

Bitte zitieren Sie diesen Bericht folgendermassen:
MeteoSchweiz 2012: Klimareport 2011. Bundesamt für
Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich. 68 S.

Inhaltsverzeichnis

4

Inhaltsverzeichnis	4
Zusammenfassung	5
1 Verlauf der Jahreswitterung 2011	7
2 Diagramme zum Jahresverlauf	19
3 Besonderheiten 2011	29
3.1 Wärmstes Jahr seit Messbeginn	29
3.2 Rekordwarmer Frühling	31
3.3 Die Trockenheit in der ersten Jahreshälfte 2011	32
3.4 Vom extrem trockenen Herbst zum nassen Jahresende	33
4 Globaler Witterungsverlauf 2011 – ein kurzer Überblick	35
4.1 Erneut sehr warmes Jahr	35
4.2 Der Einfluss von La Niña	36
4.3 Weitere besondere Ereignisse	37
4.4 Meereis mit extrem tiefer sommerlicher Ausdehnung	37
5 Klimamonitoring	39
5.1 Atmosphäre	41
5.1.1 Bodennahe Beobachtungen	41
Temperatur	41
Frosttage	44
Sommertage	45
Nullgradgrenze	46
Niederschlag	47
Tage mit starkem Niederschlag	50
Niederschlag der sehr nassen Tage	51
Trockenperioden	52
Trockenheitsindex	53
5.1.2 Freie Atmosphäre	54
Nullgradgrenze	54
5.1.3 Zusammensetzung der Atmosphäre	55
Ozonmessreihe Arosa	55
Ozonmessungen Payerne	56
Pollenintensität	58
5.2 Landoberfläche	60
Neuschneesummen und Tage mit Neuschnee	61
Frühlingsindex	62
Blattausbruch Rosskastanie Genf und Kirschblüte Liestal	63
5.3 Datengrundlagen & Methoden	64
Referenzen	66

Zusammenfassung

Im Jahr 2011 waren Wärmerekorde und ausgeprägte Trockenperioden klare Fokusthemen im klimatologischen Geschehen. 2011 war das wärmste Jahr seit Messbeginn im Jahr 1864. Mit Ausnahme des Monats Juli zeigten alle Monate überdurchschnittliche Temperaturen. Auf der Alpennordseite brachte das Jahr die frühesten Sommertage, auf der Alpensüdseite die frühesten Hitzetage sowie schweizweit den wärmsten Frühling seit Messbeginn. Als Kontrapunkt erlebte die Schweiz dann jedoch zur Jahresmitte den kühlest Juli seit mehr als zehn Jahren. Weitere Temperaturrekord fielen im November. Mit Föhn wurde in Altdorf das höchste je erfasste Novembermaximum erreicht, und in Gipfellagen wurde es der mildeste November seit Beginn der Messungen 1864.

Langanhaltende Trockenheit stellte sich im Frühling und im Herbst ein. In einzelnen Regionen war es der trockenste Jahresbeginn (Januar-April) und in den Niederungen der Alpennordseite der dritt trockenste Frühling seit Messbeginn. Die zweite grosse Trockenperiode erstreckte sich von der zweiten Oktoberhälfte bis Ende November. Speziell betroffen war die Region vom Wallis über die Zentralschweiz bis zum Bodensee.

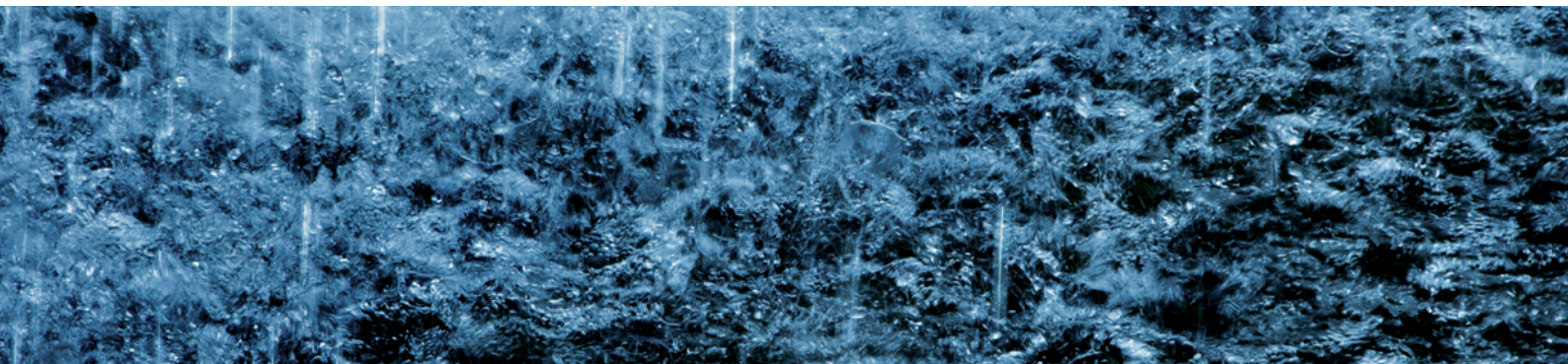
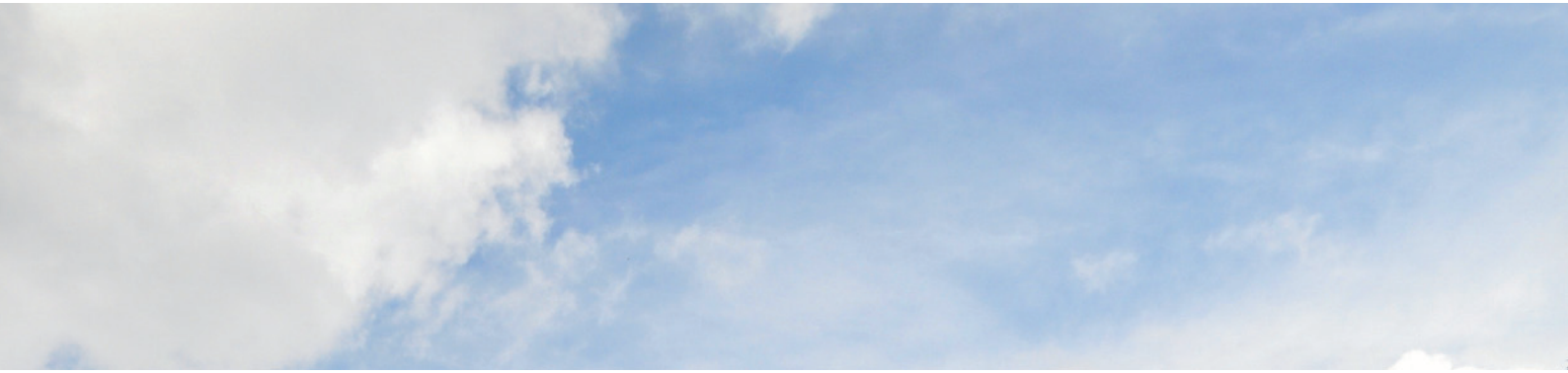
Bereits in der zweiten Septemberhälfte fielen in höheren Lagen ungewöhnlich grosse Neuschneemengen. Ein erneuter starker Schneefall in Berglagen und der darauffolgende Warmlufteinbruch mit massiver Schneeschmelze verursachten vor allem im westlichen Teil der Schweizer Alpen Überschwemmungen und Murgänge mit beträchtlichen Schäden.

Als Folge der herbstlichen Trockenheit wurde der Schnee dann aber bis Mitte Dezember zur Mangelware. Erst in der zweiten Dezemberhälfte wurden die Schweizer Alpen kräftig eingeschneit, so dass am Jahresende in höheren Lagen verbreitet überdurchschnittlich viel Schnee lag.

In der langfristigen Klimaentwicklung erbringt das extrem warme Jahr 2011 einen weiteren Beitrag zur Temperaturzunahme in der Schweiz, sowohl was das Jahr als auch was die vier Jahreszeiten betrifft. In Übereinstimmung mit der allgemeinen Temperaturzunahme ist in der analysierten Periode seit 1959 die Anzahl der Sommertage deutlich angestiegen, die Anzahl der Frosttage hingegen deutlich zurückgegangen. Die Nullgradgrenze ist in derselben Periode um rund 350 m angestiegen, wobei dies vor allem die Jahreszeiten Winter, Frühling und Sommer betrifft.

Die langjährige Niederschlagsentwicklung zeigt auf der Alpennordseite für das Jahr und den Winter einen Trend zu höheren Niederschlagssummen, ungeachtet der unterdurchschnittlichen Jahres- und Wintersummen 2011. Die übrigen Jahreszeiten verzeichnen wie bisher keine langfristige Änderung in den Niederschlagssummen. Auf der Alpensüdseite ist wie bisher sowohl bei den Jahressummen als auch bei jahreszeitlichen Summen keine langfristige Niederschlagsänderung festzustellen. Die Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag hat sich in der analysierten Periode seit 1959 nicht geändert. Der Niederschlag der sehr nassen Tage hat sich regional erhöht, vielerorts ist jedoch keine Änderung erfolgt. Die Länge der intensivsten Trockenperioden hat sich nicht verändert. In den über 100jährigen Schnee-Aufzeichnungen sind weder bezüglich der Neuschneesummen noch bezüglich der Tage mit Neuschnee Änderungen festzustellen.

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



1 | Verlauf der Jahreswitterung 2011

Mit einem Temperaturüberschuss von 2 Grad war 2011 gesamtschweizerisch das wärmste Jahr seit Messbeginn 1864. Landesweit war es zu trocken und es herrschten extrem sonnige Verhältnisse, wie aus den Messungen der MeteoSchweiz hervorgeht.

Die ersten vier Monate zeigten sich ungewöhnlich mild und extrem niederschlagsarm. Der Frühling 2011 war der wärmste in der rund 150jährigen Messreihe. Das Tessin verzeichnete erstmals Hitzetage bereits im April.

Nach einem wechselhaften Sommer mit deutlich zu kühlen Julitemperaturen folgte der zweitwärmste Herbst seit Messbeginn. Rekord-Trockenheit im Norden und Rekordwärme in den Bergen brachte der November.

Grosse Schneemengen fielen in Berglagen im September und im Oktober, dann aber erst wieder ab Mitte Dezember, als es auch erstmals Schnee bis ins Flachland gab. Am Jahresende lag in höheren Lagen verbreitet überdurchschnittlich viel Schnee.

Ungewöhnlich milder Jahresbeginn

Nach einem winterlich kalten und vor allem im Mittelland schneereichen Dezember beherrschten ab Jahresbeginn 2011 milde Luftmassen das Witterungsgeschehen. In der ersten Januarhälfte stiegen die Temperaturen in Basel auf knapp 17 Grad, in Föhngebieten sogar bis auf knapp 18 Grad.

Unter Hochdruckeinfluss bewegte sich Mitte Januar die Nullgradgrenze in einer Höhe von über 3500 m. Auf dem Jungfrauoch wurde dabei ein Temperatur-Höchstwert von +0.7 Grad erreicht. Höhere Januartemperaturen gab es hier nur am 6. Januar 1999 mit 3.3 Grad und am 28. Januar 2008 mit 1.3 Grad. Die Messreihe der Maximum Temperaturen vom Jungfrauoch ist seit 1959 homogen verfügbar.

Auf den milden Januar folgte ein noch milderer Februar. War der Dezember noch 1.5 Grad kälter als im Mittel 1961-1990, zeigten sich der Januar 1 Grad und der Februar knapp 2 Grad zu warm. Über den ganzen Winter gemittelt ergab sich schliesslich ein geringer Überschuss von 0.4 Grad. In den Niederungen zeigte sich der Winter verbreitet 0.5 bis 1.0 Grad zu warm. In Gipfellen wurden dank des kalten Dezembers normale oder zum Teil auch leicht unternormale Wintertemperaturen verzeichnet.

Ausgeprägter Schneemangel in den Bergen

Am Alpennordhang und besonders in den inneren Alpen waren bereits die Dezemberriederschläge 2010 unterdurchschnittlich. Die fortgesetzt warme Witterung und die nur spärlichen Niederschläge in den Monaten Januar und Februar verschärften die Schneearmut. In geringeren Höhenlagen lag von Mitte Januar bis in die zweite Hälfte des Februars vielerorts wenig oder kein Schnee. In Adelboden auf 1300 m ü.M. waren es nur gerade zwischen 10 und 15 cm, und selbst in Arosa auf 1840 m nur um 50 cm. Im langjährigen Durchschnitt liegt hier zu dieser Zeit eine doppelt so mächtige Schneedecke.

Eine leichte Entspannung dank Neuschneefällen gab es regional erst an der Wende vom Februar zum März. Im Wallis hingegen aperten exponierte Lagen bis auf rund 1500 m ü.M. bereits Ende Februar aus.



Rekordwärme im Frühling

Die ungewöhnliche Wärme erreichte im Frühling ihren Höhepunkt. Im März lagen die Tageshöchstwerte im Norden in den Niederungen wieder zwischen 15 und 19 Grad, in den Föhngebieten und im Süden sogar bei 20 Grad. Im Norden wurde die Wärme von weit überdurchschnittlich viel Sonnenschein begleitet. In der ersten Aprilhälfte brachte dann eine subtropische Luftmasse den Sommer in die Schweiz. Am 7. April 2011 stiegen die Temperaturen recht verbreitet auf oder über die Sommermarke von 25 Grad. Dabei war es nicht nur im Flachland, sondern auch in höheren Lagen seit Messbeginn noch nie so früh im Jahr so warm.

Auf der Alpennordseite war Basel mit dem Tagesmaximum von 26.0 Grad der Spitzenreiter. Der bisherige Maximalwert vom 4. April 1985 erreichte hier 25.2 Grad. Die Messstation Davos auf 1590 m ü.M. lieferte am 7. April 2011 einen Höchstwert von 19.0 Grad, was hier seit Messbeginn 1876 noch nie so früh im Jahr vorkam. Der nächst tiefere Wert von 18.0 Grad stammt vom 29. März 1890. Und als weitere Steigerung brachte der April die frühesten Hitzetage in der Schweiz seit Messbeginn. Bereits am 8. April wurde im Tessin die Hitzemarke von 30 Grad überschritten.

Am 9. April erreichte die Hitze in Lugano 31.6 Grad und in Locarno-Monti 31.8 Grad. Hitzetage im April, und dazu noch in der ersten Monatshälfte, sind selbst im milden Tessin eine neue Erscheinung. Auch an den Tessiner Bergstationen wurden neue Rekorde verzeichnet.

Die am 7. April 2011 auf der Cimetta (1672 m ü.M.) registrierten 21.9 Grad sind 5 Grad mehr als am 24. April 2007, dem bislang höchsten im April gemessenen Maximum.

Insgesamt erlebte die Schweiz den zweitwärmsten April seit Messbeginn 1864. Der Wärmeüberschuss erreichte im gesamtschweizerischen Mittel 4.6 Grad. Nochmals deutlich wärmer war der Rekord-April 2007 mit einem Überschuss von 5.7 Grad. Auf den zweitwärmsten April folgte der drittwärmste Mai. Die anhaltende ungewöhnliche Wärme führte schliesslich zum wärmsten Frühling in der Schweiz seit Messbeginn 1864.

Selbst die bisher alles überragende Wärme des Frühlings 2007 wurde nochmals überboten. Die beiden Rekordhalter 2007 und 2011 liegen rund 1 Grad über den bisher höchsten Frühlingswerten, womit sie sich deutlich vom bisherigen Frühlings-Temperaturgeschehen abheben.



Die grosse Trockenheit

Die oft hochdruckbestimmte und damit niederschlagsarme Witterung seit Jahresbeginn mündete in eine ausgeprägte Trockenheit. Im Oberengadin und in den Regionen Bern, Engenberg war es der trockenste Jahresbeginn (Januar bis April) seit Messbeginn 1864. Bereitet der fehlende Niederschlag in den ersten beiden Monaten vor allem den Skitorten Sorgen, wurde er im Frühling zum Problem für die Landwirtschaft. Gemittelt über die Niederungen der Nordschweiz brachte der Frühling 2011 nicht einmal die Hälfte der normalen Niederschlagsmengen. Damit belegt er bezüglich Trockenheit Rang drei in der rund 150jährigen Messreihe. Ähnlich trocken war hier letztmals der Frühling 1976.

Der trockenste Frühling der Nordschweiz datiert aus dem Jahr 1893 mit weniger als 40 Prozent der normalen Niederschlagsmengen. Im Tessin und im Wallis fiel 2011 zwar auch nur rund die Hälfte der normalen Frühlingsniederschläge, was jedoch in diesen beiden Regionen nicht speziell aussergewöhnlich ist. Als Folge der über Monate andauernden trockenen Witterung herrschte ab Anfang Mai über längere Zeit in der ganzen Schweiz akute Waldbrandgefahr.

Bergwinter zum Sommerbeginn

Genau auf den klimatologischen Sommerbeginn am 1. Juni meldete sich in den höheren Alpenregionen der Winter zurück. In Verbindung mit den ergiebigen Niederschlägen in den westlichen Alpen und in der Innerschweiz sank die Schneefallgrenze lokal bis auf mittlere Lagen hinunter. In Adelboden (1320 m ü.M.) wurden am Morgen des 1. Juni 11 cm Neuschnee gemessen, in Mürren (1650 m) sogar 18 cm. In höheren Lagen waren es örtlich über 30 cm. Der erste Sommermonat brachte im weiteren Verlauf wechselhafte Witterung. Zwei aktive Gewitterfronten, welche am 22. und am 27./28. Juni über die Alpennordseite hinweg zogen, brachten regional intensive Niederschläge. Dabei wurden am 22. Juni im Flachland erstmals seit Jahresbeginn Windgeschwindigkeiten um 100 km/h registriert.

In den anderen Monaten lagen die maximalen Windspitzen zwischen 50 und 70 km/h. Die ruhige Windsituation in der ersten Jahreshälfte 2011 zeigt sich auch in Hochgebirgslagen. Auf dem Jungfrauoch in 3580 m Höhe überschritt die Windgeschwindigkeit nur gerade an drei Tagen die Marke von 100 km/h, und das Maximum erreichte einen für diese Höhenlage verhältnismässig tiefen Wert von 116 km/h.



Sommerunwetter

Der Kaltfrontdurchzug vom 27./28. Juni löste sehr intensive und von Gewittern durchsetzte Niederschläge aus, welche vor allem in der Zentralschweiz Probleme mit Überschwemmungen verursachten. Innert 24 Stunden sind am Alpennordhang vom Berner Oberland über die Zentralschweiz bis zum Alpstein verbreitet 30 bis 60 mm Regen gefallen. Aufgrund des gewittrigen Niederschlagscharakters wurden aber lokale Maxima im Bereich von 80 bis 120 mm aufgezeichnet.

Bemerkenswert sind vor allem die Niederschlagsintensitäten. Lokal sind die Regensummen in einem Zeitraum von wenigen Stunden gefallen. An der Station Siebnen/SZ wurde eine Tagessumme von 127 mm und damit die grösste Tagessumme seit Messbeginn vor 50 Jahren verzeichnet.

Nur 10 Tage später wurde praktisch dieselbe Region von einem schweren Hagelschlag heimgesucht. Am 7. Juli zog ein massives Hagelunwetter von den Freiburger Voralpen über Bern und das Napfgebiet hinweg zum Zugerland, über den mittleren und oberen Zürichsee hinweg und schliesslich unter Abschwächung weiter über den Alpstein. Am heftigsten wütete der Hagel in der Region vom Zugerland bis zum Zürichsee. Ein zweiter, schwächerer Hagelzug erstreckte sich am gleichen Tag spätabends vom Hallwilersee über das untere Limmat- und Aaretal hinweg zum Klettgau. Während im Norden insbesondere Hagelschlag und Sturmböen auftraten, war auf der Alpensüdseite am 7. Juli der starke Regen das markantere Phänomen. Kräftige Gewitterzellen zogen wiederholt über Teile des Mittel- und Südessins und lösten Überschwemmungen und Murgänge aus.

Am 10. Juli verursachten heftige Gewitter vor allem in der Ostschweiz massive Überschwemmungen. Neben vielen Gebäuden erlitten auch Bahn und Strassen Schäden durch die wilden Wassermassen. Schliesslich entluden sich in der Nacht vom 12. auf den 13. Juli schwere Gewitter mit Starkniederschlag, Hagel und Sturmböen über der Schweiz. Am schwersten betroffen war der Kanton Aargau. Doch auch in den Kantonen Bern, Basel-Landschaft, Solothurn, Zürich und Luzern hinterliessen die Gewitter erhebliche Schäden.

Nach den Gewittern folgte am 13. Juli eine Kaltfront mit erneuten Starkregen. Im Tessin gingen Tagessummen von 50 bis 70 mm nieder, wobei z.B. an der Messstation Locarno-Monti 42 mm in einer Stunde oder 17 mm innerhalb 10 Minuten fielen. Ein solches Ereignis ist hier etwa alle 5 Jahre zu erwarten.

Hochsommer erst in der zweiten Augushälfte

Wie wenn sich die Natur um einen Ausgleich des extrem trockenen und warmen Frühlings bemüht hätte, zeigten sich die ersten beiden Sommermonate mit ihrer ausgeprägten Niederschlagsaktivität insgesamt nass und der Monat Juli war der kühlfste seit dem Jahr 2000. Die regnerische Witterung hielt auch in der ersten Augushälfte an. Erst in der zweiten Augushälfte gewann der langersehnte Hochsommer die Oberhand.

Vom 19. bis 26. August lieferte ein beständiges Hoch mit subtropischen Luftmassen viel Sonne und grosse Hitze. Die Temperaturen stiegen verbreitet über die 30-Grad-Marke. Am 22. August erlebte die Schweiz den heissesten Tag des Jahres. Die Höchstwerte lagen verbreitet bei oder über 33 Grad. Die grösste Hitze registrierte die Station Sion mit 36.8 Grad. Für diesen Messstandort der MeteoSchweiz bedeutete dies einen neuen Hitzerekord für die zweite Augushälfte.

Die hochsommerliche Hitzewelle endete abrupt am 26. August. Während die Temperaturen am Nachmittag mit Föhnunterstützung im Osten nochmals zwischen 32 und knapp 34 Grad erreichten, fegten am Abend polare Luftmassen mit Böen von 60 bis 80 km/h über die Alpennordseite hinweg, wobei die Temperaturen in wenigen Stunden um 10 bis 17 Grad abstürzten. Am Tag danach erreichten die Tagesmaxima im Mittelland nur noch 16 bis 19 Grad.

Aussergewöhnliche September-Schneefälle

Die erste Septemberhälfte zeigte sich hochsommerlich mit Höchsttemperaturen in Basel und Chur um 32 Grad. Heftige Gewitterereignisse unterstrichen zusätzlich den hochsommerlichen Witterungscharakter. Ein kräftiger Polarlufteinbruch mit intensiven Niederschlägen setzte jedoch ab dem 17. September dem sommerlichen Treiben ein jähes Ende. Besonders heftig waren die Niederschläge im Kanton Graubünden mit regional 65 bis 100 mm, im Val Poschiavo und im Val Müstair sogar 100 bis 135 mm. In Sta. Maria (Val Müstair) fiel mit 100.7 mm die höchste 1-Tagessumme seit Messbeginn im Jahr 1901, und in Davos war die Tagessumme von 73 mm die bisher höchste im Monat September seit 1901. Die feuchte Polarluft brachte in höheren Lagen für die Jahreszeit ungewöhnlich grosse Neuschneemengen. Am 19. September erwachte Arosa mit einer knapp 40 cm mächtigen Neuschneedecke. In Davos waren es 27 cm, in Sils-Maria 35 cm und in Samedan 29 cm Neuschnee. Letztmals traten vergleichbare September-Schneefälle am 4. September 1984 und am 21. September 1979 auf. Die kräftigen Schneefälle führten zu diversen Streckenunterbrüchen auf Strassen und Schienen, vor allem infolge umgestürzter Bäume.

Im Süden September-Rekordwärme

Nach diesem winterlichen Intermezzo hielt wieder sonniges und mildes Wetter Einzug, und trotz des ungewöhnlichen Wintereinbruchs ging schliesslich der September 2011 mit einem schweizweiten Temperaturüberschuss von 2.7 Grad als viert wärmster seit Messbeginn 1864 in die Statistik ein. In Lugano lag die Monatstemperatur gar 3.1 Grad über dem langjährigen Durchschnitt, womit der September hier Rekordwärme erreichte.

Erneut massiver Wintereinbruch in Berglagen

Das warme und sonnige Herbstwetter hielt auch in den ersten Oktobertagen an. Im Zentralwallis und im Tessin wurden sommerliche Temperaturen von über 25 Grad erreicht, und auch Basel konnte am 4. Oktober nochmals einen Sommertag mit 25 Grad geniessen. Doch nur wenige Tage später wechselte das Wettergeschehen von Spätsommer direkt auf Winter. In höheren Lagen der Zentralalpen, am östlichen Alpennordhang und in Graubünden fielen bis am Morgen des 9. Oktober verbreitet mehr als 50 cm Neuschnee. Knapp unterhalb von 2000 m ü.M. wuchs die Schneedecke regional auf gegen einen Meter an. Die meisten Alpenpässe mussten vorübergehend geschlossen werden. Tiefverschneite Bergregionen wie Braunwald im Glarnerland vermittelten einen hochwinterlichen Eindruck.

Starkniederschläge und Schmelzwasser verursachen Hochwasser

Bereits am 10. Oktober übernahmen milde und sehr feuchte Luftmassen subtropischen Ursprungs das Regime, welche am Alpennordhang Starkniederschläge auslösten. Die gefallenen Mengen von regional 60 mm innerhalb von weniger als 24 Stunden entsprechen einem Ereignis, welches nur alle rund 5 bis 10 Jahre zu erwarten ist. Gleichzeitig bewirkte die schnell auf über 3000 m ü.M. ansteigende Nullgradgrenze eine intensive Schneeschmelze. Schliesslich wälzten sich enorme Wassermassen zu Tal, und mancherorts kam es zu kritischen Hochwassersituationen. Insbesondere im Kandertal sowie im Lötschental verursachten Überschwemmungen und Murgänge beträchtliche Schäden vor allem an Strassen und Bahnlinien.

Auf das Hochwasser folgte ruhiges Herbstwetter mit viel Sonne in den Bergen und zunehmend Nebel in den Niederungen. Einen kurzen Unterbruch in diesem ruhigen Witterungsverlauf verursachte ein weiterer Polarlufteinbruch. Am 19. Oktober sank dabei die Schneefallgrenze in der Nordostschweiz teilweise unter 500 m.



Anhaltende Föhnlage mit Starkniederschlägen auf der Alpensüdseite

Auf den Monatswechsel Oktober/November hin wurde der Föhn aktiv. Ein erster Schub erfolgte noch im Oktober mit kräftigen Stauregen im Tessin und bis 21 Grad in den Föhntälern im Norden. Eine lang anhaltende Föhnperiode mit kräftigem Dauerregen am Alpensüdhang stellte sich vom 3. bis zum 6. November ein. In der Region Simplon bis Monte Rosa fielen in diesen Tagen zwischen 80 und 230 mm Niederschlag, im Tessin waren es 150 bis 280 mm. Gravierende Schäden durch hochgehende Bäche und Flüsse blieben hier zum Glück aus. Schwer getroffen durch Hochwasserschäden wurde jedoch Norditalien und insbesondere die Region Genua.

Auf der Alpennordseite griff der Föhn bis in Mittelland hinaus, und Altdorf brachte er einen neuen November-Temperaturrekord. Am 4. November stieg hier die Maximum-Temperatur auf 23.1 Grad. Die hier bisher höchste November-Temperatur von 22.0 Grad stammt vom 5.11.1994. In Altdorf sind bereinigte Maximum-Temperaturen seit 1959 verfügbar. In der nicht bereinigten Periode ab Messbeginn 1909 bis 1958 sind in Altdorf im November maximal 21.8 Grad registriert worden. Da die Bereinigung in der Regel eine Tieferlegung von Höchsttemperaturen mit sich bringt, kann in diesem Fall durchaus von einem Jahrhundert Rekord gesprochen werden.

Ein weiterer Temperaturrekord fiel in Glarus. In der Föhnacht vom 3. auf den 4. November sank hier die Temperatur nie unter 19.7 Grad (Nachtminimum von 19.00 Uhr bis 07.00 Uhr). Hinzu kommt, dass in dieser Nacht die Temperatur nur gerade während 20 Minuten unter 20 Grad fiel. Faktisch hat also Glarus vom 3. auf den 4. November eine Tropennacht erlebt. Der bisherige Rekord wurde hier vom 24. auf den 25. November 2006 mit einem Nachtminimum von 18.6 Grad verzeichnet, wobei damals die Temperaturen nur zwischen 02.00 Uhr und 07.00 Uhr 20 Grad oder mehr erreichten. Nachtminima können seit Beginn der 1980er Jahre mit der Aufnahme der automatischen Messungen bestimmt werden.

Rekord-Trockenheit im Norden

Während der Süden mit dem Föhn übermässig Niederschlag erhielt, waren Teile der Alpennordseite fest im Griff einer anhaltenden Trockenheit. Als Folge permanenter Hochdruckbedingungen blieben Niederschläge ab dem 19. Oktober bis zum Novemberende insbesondere vom Wallis über die Zentralschweiz bis zum Bodensee praktisch gänzlich aus.

Der November brachte an den Messstationen Engelberg, Davos und Säntis gar keinen, in Zürich und Sion nur 0.1 mm Niederschlag. Hier war der November 2011 der trockenste seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1864. Nur geringfügig weniger trocken und in Sion gleich trocken war der November 1920. In Basel und Bern liegt der November 2011 bezüglich Trockenheit auf Rang 2 seit Messbeginn, in den Regionen Jura und im Genf auf den Rängen 4 und 9.

November-Temperaturrekord in den Bergen

Die vorherrschenden Hochdruckbedingungen brachten in den Bergen über Wochen hinweg mildes und sehr sonniges Herbstwetter. In Gipfellagen wurde der mildeste November seit Messbeginn 1864 registriert. Auf dem Säntis erreichte die November-Temperatur knapp 6 Grad über dem langjährigen Vergleichswert 1961-1990. Der bisherige Rekord bewegte sich hier um 4 Grad.

Mit einem Überschuss von 3.6 Grad war es im Oberengadin und in der Landschaft Davos der zweitwärmste, in Engelberg der viertwärmste November seit Messbeginn. Kein Thema waren Rekordtemperaturen in Tieflagen, da hier Kaltluftansammlungen und Nebel eine maximale Erwärmung verhinderte. Über die gesamte Schweiz gemittelt erreicht der November 2011 mit einer Abweichung von +2.5 Grad Rang 5 in der Messreihe seit 1864.



Extrem sonniger und milder Herbst mit Rekordwerten

Die anhaltenden Hochdruckbedingungen verwöhnten vor allem die Lagen über dem Nebel mit aussergewöhnlich viel Sonnenschein. Vom Wallis über das Gotthardgebiet bis in die Ostalpen war es verbreitet der sonnigste Herbst seit 50 Jahren. Sonnenscheinrekorde wurden aber auch in der Region Basel und im Pruntrut-Zipfel, im Jura, am oberen Genfersee und in der Region Bern registriert.

Zum herbstlichen Sonnenscheinrekord trug vor allem der November bei. Von den Zentral- zu den Ostalpen war es an mehreren Messstationen der zweitsonnigste November. Dasselbe gilt vereinzelt für das Wallis und den Jura. In Chur und Sion gab es gar eine Rekord-Sonnenscheindauer für November. Der bisher sonnigste November in Chur und Sion stammt aus dem Jahr 1978. Pully am oberen Genfersee registrierte ebenfalls den sonnigsten November, wobei der November 1981 hier nur rund eine halbe Stunde weniger Sonne lieferte. Aufgearbeitete Daten zur Sonnenscheindauer liegen für eine grössere Anzahl von Messreihen seit 1961 vor.

Die immer wieder sehr milden Witterungsverhältnisse liessen die Herbsttemperatur im landesweiten Durchschnitt knapp zwei Grad über den Normwert von 1961-1990 steigen. Damit liegt der Herbst 2011 auf Rang zwei hinter dem alles überragenden Rekordherbst von 2006, welcher einen Temperatur-Überschuss von etwas über 3 Grad brachte. In Gipfel-lagen lieferte der diesjährige Herbst mit einem mittleren Überschuss von 3 Grad denselben Wert wie der Rekord-Herbst 2006.

Verbreitet kein Schnee im Frühwinter

Der über Wochen ausbleibende Niederschlag und die extreme Wärme führten verbreitet zu einer ausgeprägten frühwinterlichen Schneelosigkeit in den Bergen. Kein November-Niederschlag auf dem Säntis (2502 m ü.M.) bedeutete natürlich auch keinen Neuschnee. In der seit 1931 verfügbaren Schnee-Messreihe Säntis ist bisher kein November ohne Neuschnee aufgetreten. In der sehr langen Schnee-Messreihe Arosa (1840 m ü.M.) mit Messbeginn 1890 zeigen neben dem diesjährigen November nur die November 1899 und 1920 gar keinen Neuschnee.



Stürmischer Winterbeginn

Nach wochenlangen überaus ruhigen Witterungsbedingungen war die erste Dezemberhälfte geprägt von stürmischem Westwind. Sturmtief Joachim am 16. Dezember brachte die höchsten Windgeschwindigkeiten. Die Böenspitzen erreichten auf dem Säntis 176 km/h, auf dem Chasseral 174 km/h, auf dem Pilatus 159 km/h. An der Messstation Rünenberg/BL wurde mit 143 km/h die höchste Böenspitze seit Messbeginn im Jahre 1984 aufgezeichnet. Der bisherige Rekordwert stammt hier mit 139 km/h vom Orkan Lothar am 26. Dezember 1999. Insgesamt betrachtet war Joachim jedoch weit weniger stark als Lothar.

Winterschnee erst ab Mitte Dezember

Nach einem harzigen Winterbeginn fielen Mitte Dezember in vielen Bergregionen endlich die lange ersehnten grossen Schneemengen. Besonders mit Schnee verwöhnt wurde dabei das Wallis. Im Flachland schneite es am 17. Dezember erstmals verbreitet, wobei der Schnee nur oberhalb etwa 500 bis 700 m ü.M. liegen blieb. Erstmals ganz in weiss vom Genfersee bis zum Bodensee präsentierte sich die Alpen-nordseite am 19. und 20. Dezember. Mit dichtem Schneetreiben lag am Abend des 20. Dezember im Flachland der Alpen-nordseite verbreitet eine Schneedecke zwischen 5 und 10 cm, regional bis 20 cm. Entlang der zentralen und östlichen Voralpen gab es gebietsweise über einen halben Meter Neuschnee. Das Tessin zeigte sich derweil sonnig und bis weit hinauf grün. Noch vor den Festtagen wurde es mild und der Schnee verschwand aus dem Flachland. Über die Weihnachtstage herrschte in den Bergen prächtiges Wintersportwetter. Nochmals Schnee in den Bergen brachten die letzten Tage des Jahres, so dass am Jahresende in höheren Lagen verbreitet überdurchschnittlich viel Schnee lag.



Jahresbilanz

Das Jahr 2011 brachte in der ganzen Schweiz einen massiven Temperaturüberschuss. Auf der Alpennordseite und in den Alpen lag die Jahresdurchschnitts-Temperatur 1.8 Grad bis 2.4 Grad über der Norm von 1961-1990. Leicht geringer war der Überschuss auf der Alpensüdseite mit 1.6 Grad bis 2.0 Grad. Über die gesamte Schweiz gemittelt war das Jahr 2.0 Grad zu warm und damit das wärmste seit Messbeginn im Jahr 1864. Nur geringfügig weniger warm war das Jahr 1994 mit einem Überschuss von 1.9 Grad.

Das Jahr 2011 war regional deutlich zu trocken. In der Westschweiz fielen nur 65-85 Prozent der Niederschlagsmengen im Vergleich zum Normwert 1961-1990. In der übrigen Schweiz lagen die Mengen zwischen 75 und 100 Prozent, lokal auch etwas über 100 Prozent.

Neben der extremen Wärme lieferte das Jahr 2011 auch eine sehr hohe Sonnenscheindauer. Auf der Alpennordseite erreichte sie verbreitet 120-135 Prozent der Norm 1961-1990 erreicht. Im Wallis, in Graubünden sowie im Tessin lagen die Werte zwischen 100 und 120 Prozent, vereinzelt auch etwas höher. Landesweit gemittelt liegt die Sonnenscheindauer bei 125 Prozent der Norm 1961-1990. Damit war 2011 das zweit sonnigste in Periode mit aufgearbeiteten Daten seit 1961. Das Rekordjahr 2003 brachte mit 127 Prozent praktisch gleich viel Sonne.

Station	Höhe m ü.M	Temperatur			Sonnenscheindauer			Niederschlag		
		Mittel	Norm	Abw.	Stunden	Norm	%	mm	Norm	%
Bern	553	10.1	8.0	2.1	2181	1638	133	789	1028	77
Zürich	556	10.5	8.5	2.0	1945	1482	131	914	1086	84
Genève	420	11.5	9.7	1.8	2150	1694	127	619	954	65
Basel	316	11.7	9.6	2.1	1983	1599	124	688	778	88
Engelberg	1036	7.5	5.6	1.9	1638	1355	121	1425	1510	94
Sion	482	11.4	9.2	2.2	2427	1990	122	485	598	81
Lugano	273	13.6	11.7	1.9	2336	2026	115	1179	1545	76
Samedan	1709	2.9	1.3	1.6	1988	1732	115	574	700	82

Norm Langjähriger Durchschnitt 1961-1990

Abw. Abweichung der Temperatur zur Norm 1961-1990

% Prozent im Verhältnis zu Norm 1961-1990 (Norm = 100%)

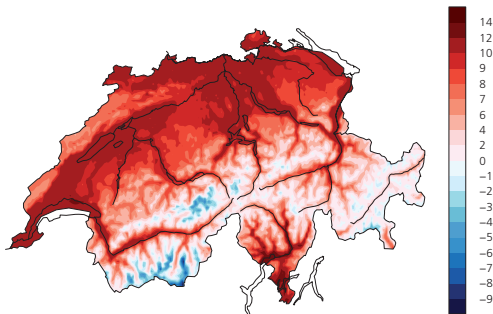
Tabelle 1.1:
Ausgewählte Jahreswerte im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (Norm 1961-1990).

Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer im Jahr 2011

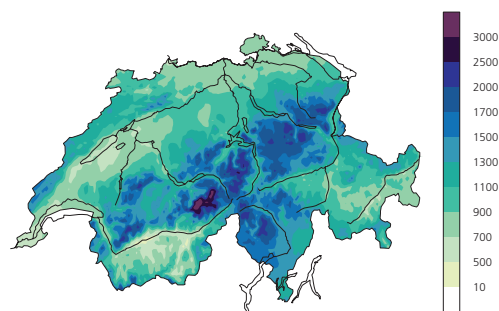
Abbildung 1.1:
Räumliche Verteilung von
Temperatur, Niederschlag
und Sonnenscheindauer im
Jahr 2011. Dargestellt sind
absolute Werte (links) und
Abweichungen zum klima-
tologischen Normwert
1961-1990 (rechts).

Messwerte absolut

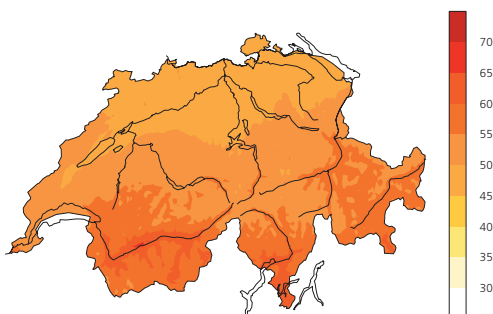
Jahresmitteltemperaturen in °C



Jahres-Niederschlagssumme in mm

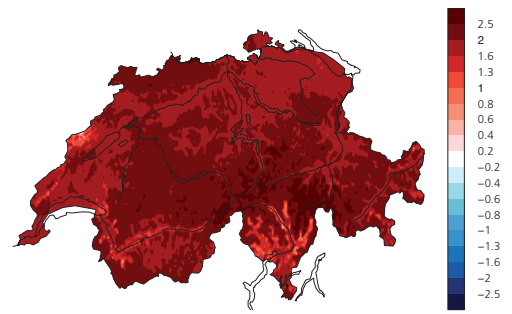


% der maximal möglichen jährlichen Sonnenscheindauer

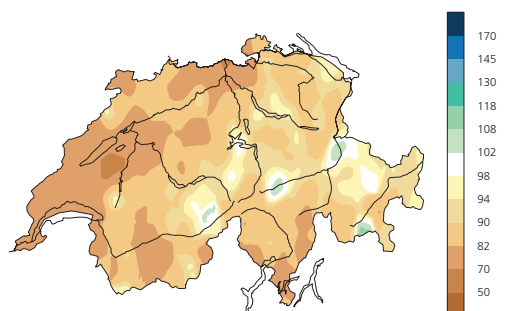


Abweichungen zur Norm 1961-1990

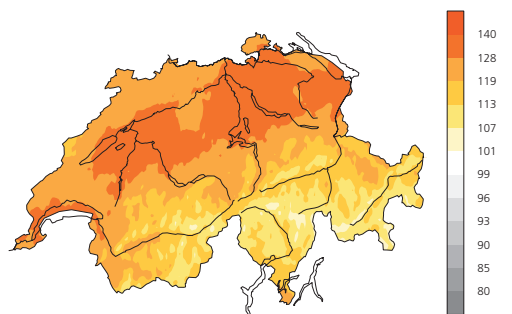
Abweichung der Jahresmitteltemperatur in °C



Jahres-Niederschlagssumme in %

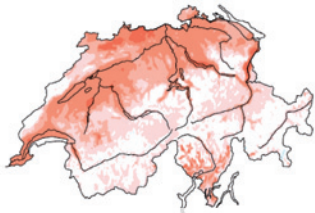


Jährliche Sonnenscheindauer in %

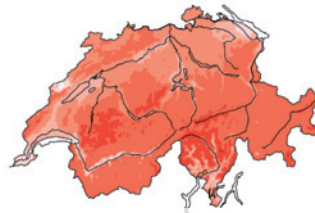


Monatstemperatur 2011: Abweichung zur Norm 1961-1990

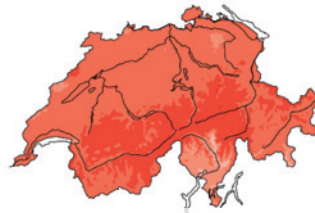
Januar 2011



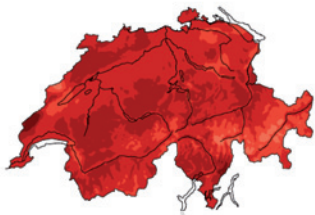
Februar 2011



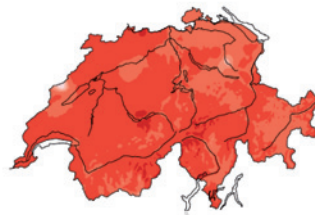
März 2011



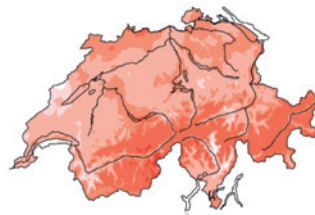
April 2011



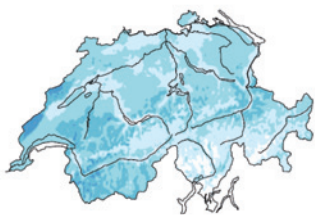
Mai 2011



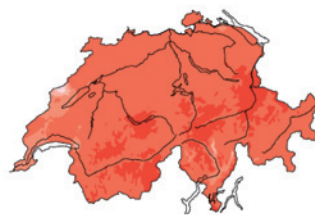
Juni 2011



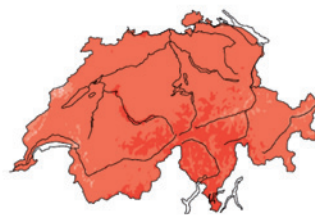
Juli 2011



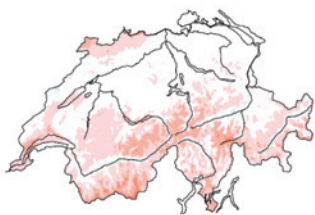
August 2011



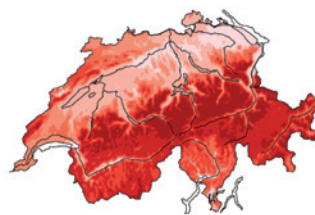
September 2011



Oktober 2011



November 2011



Dezember 2011

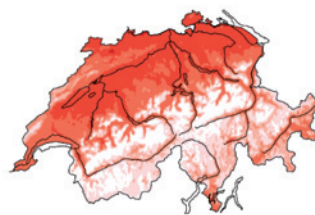
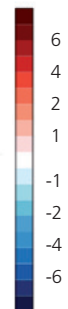
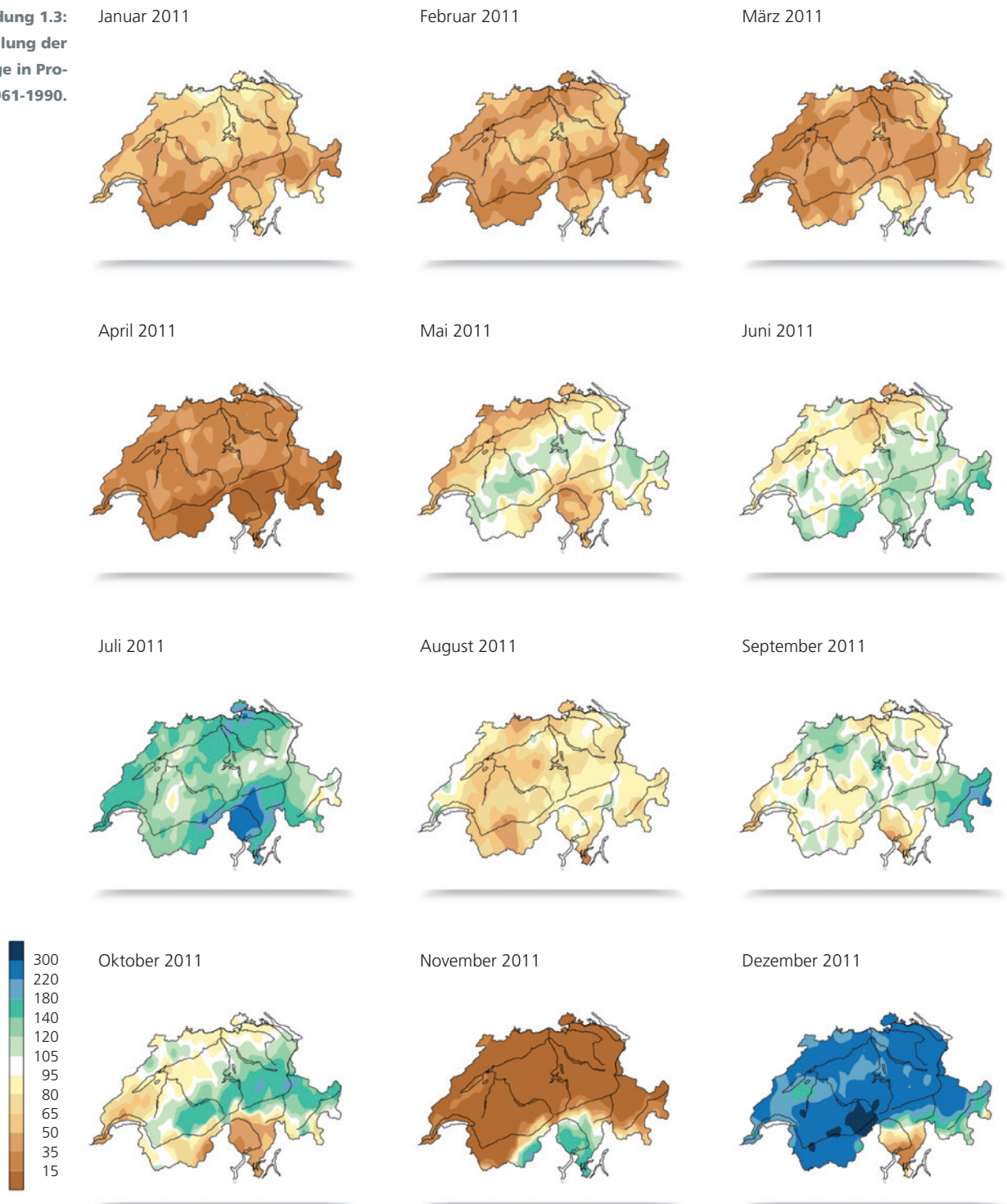


Abbildung 1.2:
Räumliche Verteilung
der Monatstemperatur
als Abweichung zur Norm
1961-1990 in Grad C.



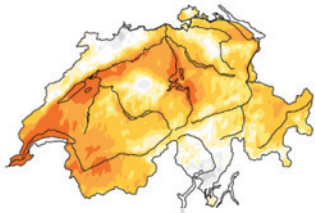
Monatsniederschlag 2011 in Prozent der Norm 1961-1990

Abbildung 1.3:
Räumliche Verteilung der
Monatsniederschläge in Pro-
zent der Norm 1961-1990.

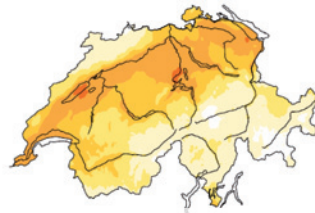


Monatliche Sonnenscheindauer in Prozent der Norm 1961-1990

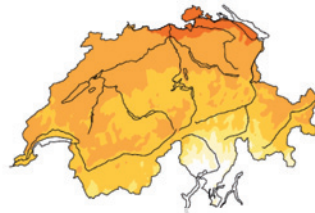
Januar 2011



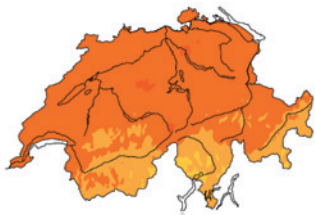
Februar 2011



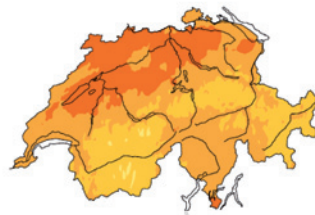
März 2011



April 2011



Mai 2011



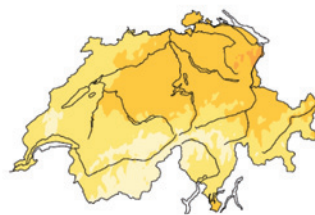
Juni 2011



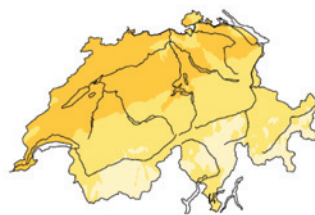
Juli 2011



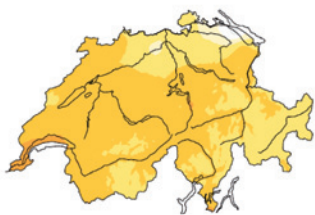
August 2011



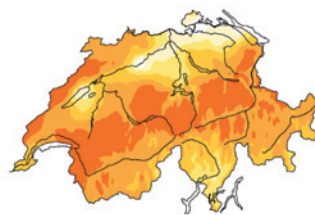
September 2011



Oktober 2011



November 2011



Dezember 2011

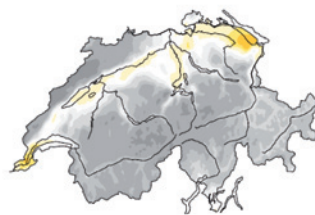
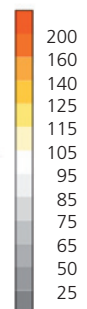


Abbildung 1.4:
Räumliche Verteilung
der monatlichen Sonnenscheindauer in Prozent
der Norm 1961-1990.



STURM, REGEN ODER WIND. VERÄNDERUNG

72

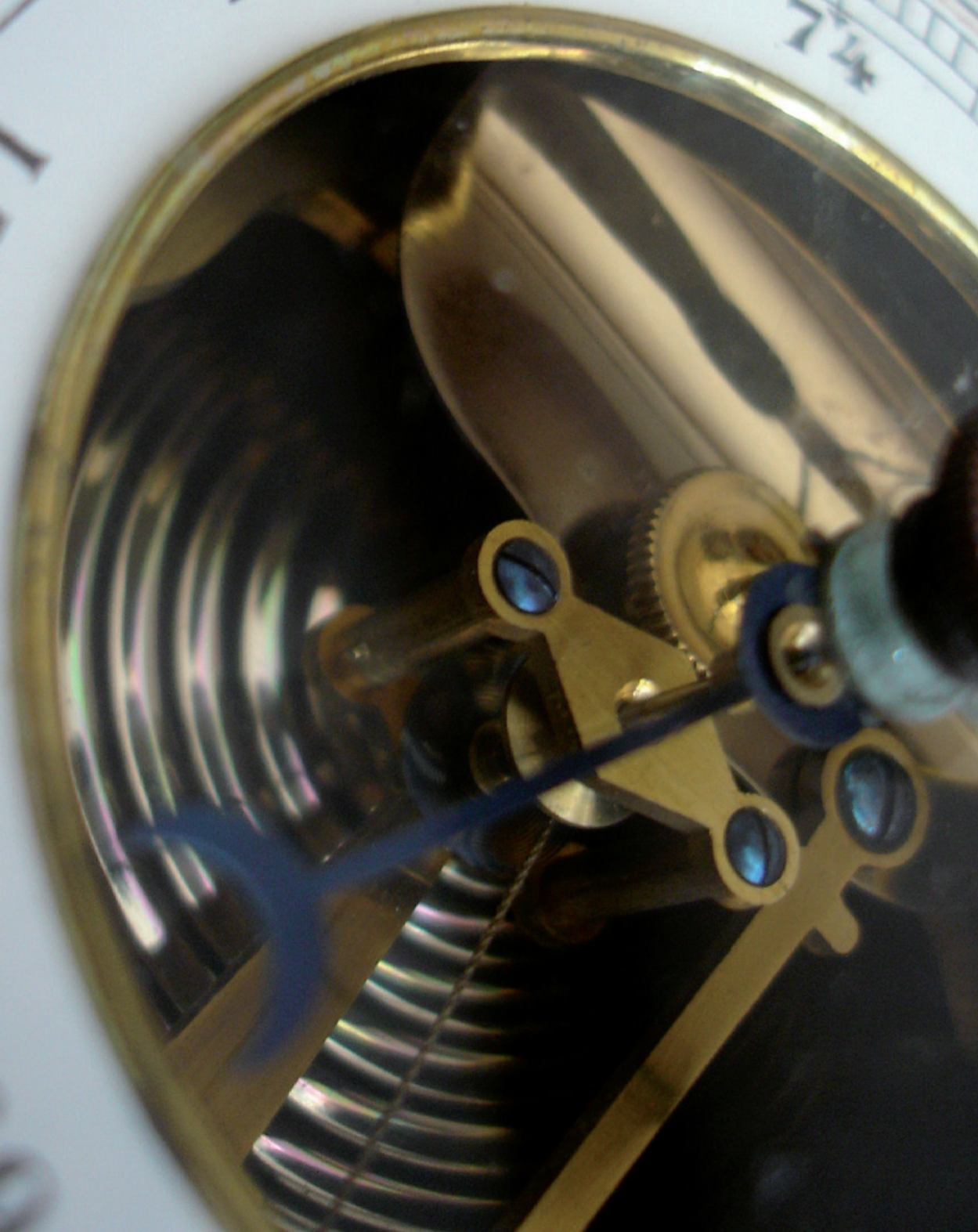
73

74

71

70

69

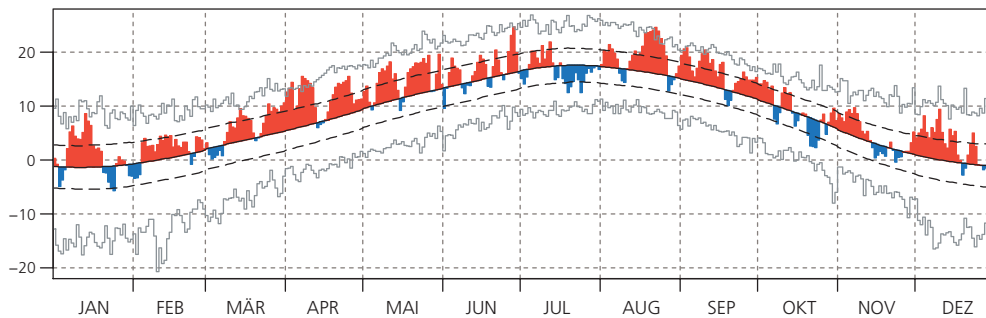


2 | Diagramme zum Jahresverlauf

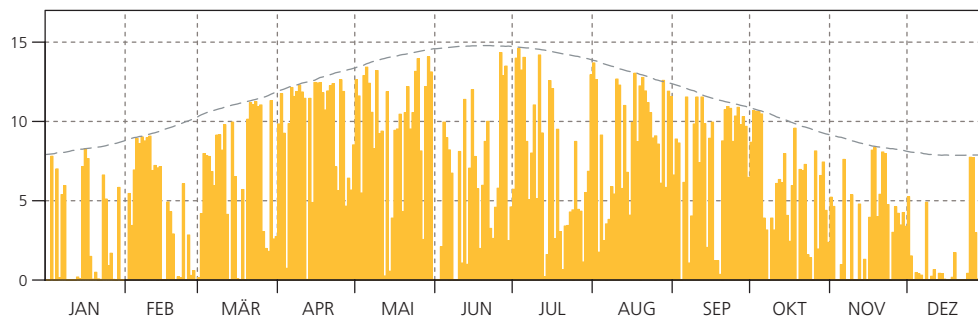
Temperatur, Sonnenscheindauer und Niederschlag

Bern-Zollikofen (553 m ü.M) 1.1. bis 31.12.2011

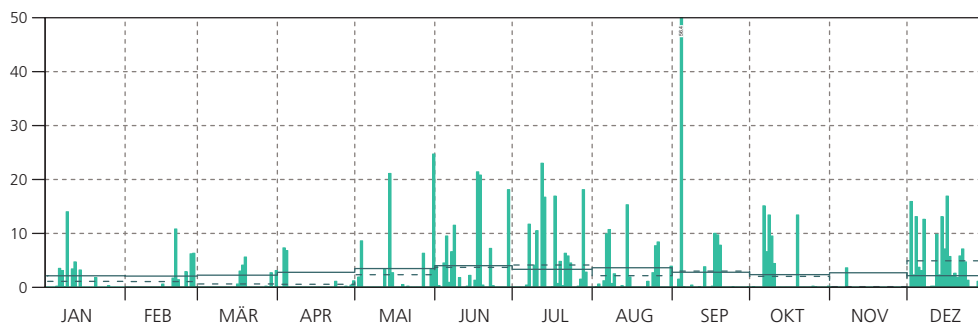
Mittlere tägliche Lufttemperaturen in °C
Mittel: 10.1, Norm: 8.0



Tägliche Sonnenscheindauer in h
Summe: 2181.3, Norm: 1637.7



Tägliche Niederschlagssummen in mm
Summe: 789.4, Norm: 1027.7



- Höchste bzw. tiefste Tagesmittel der Lufttemperatur der homogenen Datenreihe von 1864-2010
- Durchschnittliche homogene Tagesmittel der Lufttemperatur von 1961-1990 (Normwertperiode)
- - Standardabweichung der durchschnittlich homogenen Tagesmittel der Lufttemperatur von 1961-1990
- Tägliche, maximal mögliche Sonnenscheindauer
- Mittlere, monatliche Niederschlagssumme von 1961-1990 gleichmässig auf die Tage des Monats verteilt
- - - Monatliche Niederschlagssumme gleichmässig auf die Tage des Monats verteilt

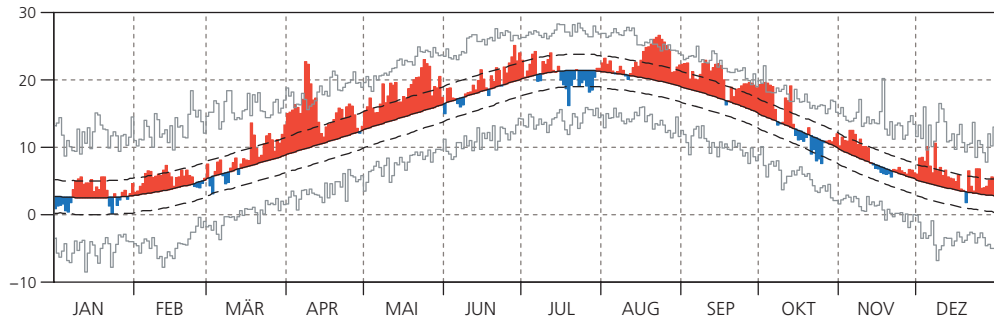
Abbildung 2.1:
Jahresverlauf der täglichen Temperatur, der täglichen Sonnenscheindauer und der täglichen Niederschlagssummen an der Messstation Bern-Zollikofen.

Temperatur, Sonnenscheindauer und Niederschlag

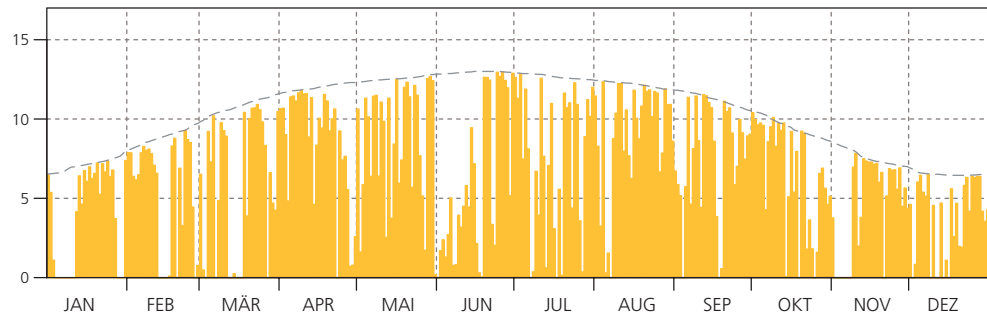
Abbildung 2.2:
Jahresverlauf der täglichen
Temperatur, der täglichen
Sonnenscheindauer
und der täglichen Nieder-
schlagssummen an der
Messtation Lugano.

Lugano (273 m ü.M) 1.1. bis 31.12.2011

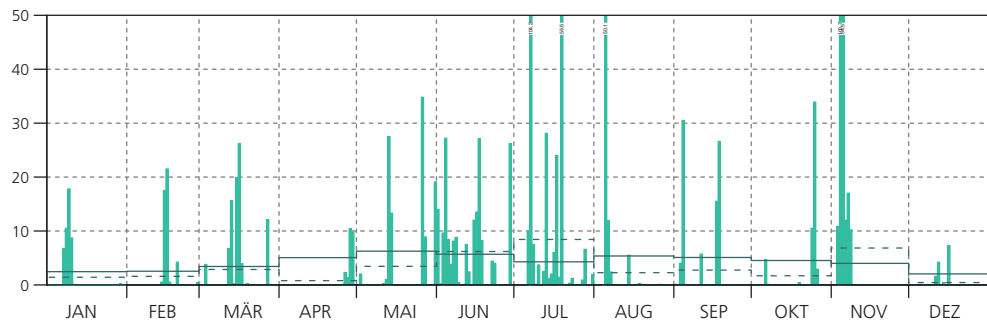
Mittlere tägliche Lufttemperaturen in °C
 Mittel: 13.6, Norm: 11.7



Tägliche Sonnenscheindauer in h
 Summe: 2336.1, Norm: 2026.3



Tägliche Niederschlagssummen in mm
 Summe: 1179.3, Norm: 1545.0



- Höchste bzw. tiefste Tagesmittel der Lufttemperatur der homogenen Datenreihe von 1864-2010
- Durchschnittliche homogene Tagesmittel der Lufttemperatur von 1961-1990 (Normwertperiode)
- - Standardabweichung der durchschnittlich homogenen Tagesmittel der Lufttemperatur von 1961-1990
- - - - - Tägliche, maximal mögliche Sonnenscheindauer
- Mittlere, monatliche Niederschlagssumme von 1961-1990 gleichmässig auf die Tage des Monats verteilt
- - - - - Monatliche Niederschlagssumme gleichmässig auf die Tage des Monats verteilt



Die Jahresverlaufs-Diagramme für alle Stationen des Schweizer Klimanetzwerkes [1] findet der Leser unter der nachfolgend angegebenen Internetadresse:
http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_heute/jahresverlaeufe_nbcn.html

Nullgradgrenze

Der Verlauf der Nullgradgrenze, ermittelt aus den täglichen Ballonsondierungen, widerspiegelt die grosse Wärme des Jahres 2011. Deutlich überwiegt die Zahl der Tage mit hoch liegender Nullgradgrenze. Sehr schön zum Ausdruck kommt die extreme Wärme im Frühjahr und im Herbst. Augenfällig ist auch der zu kühle Juli mit deutlich zu tief liegender Nullgradgrenze.

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

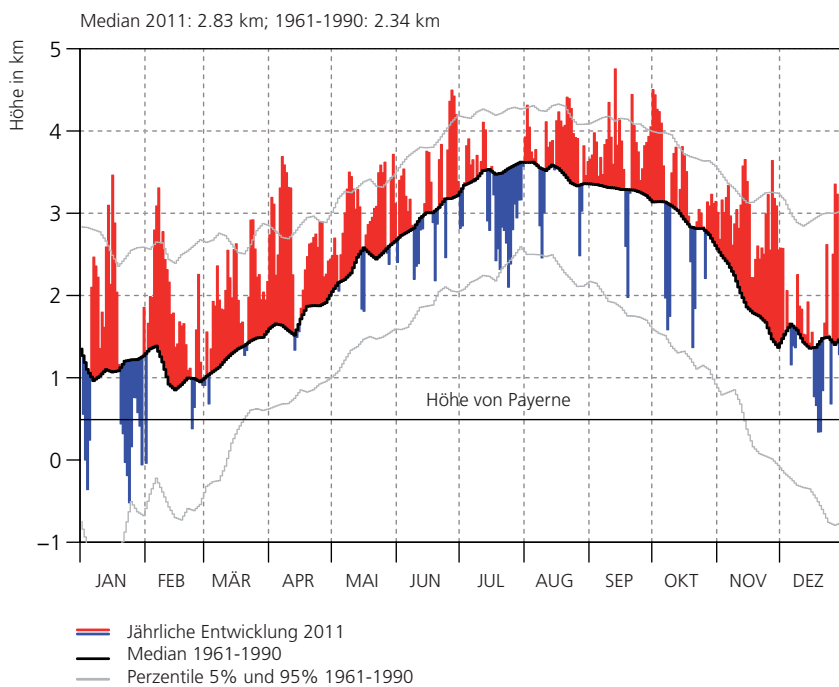


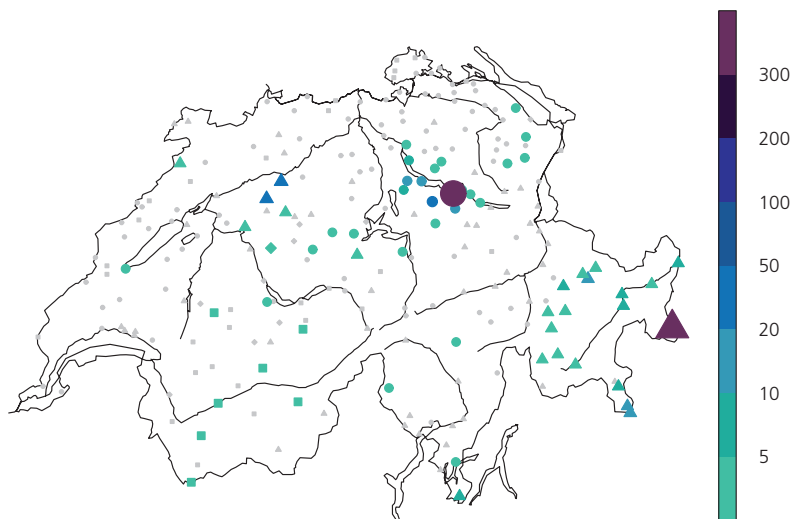
Abbildung 2.3:
Tägliche Höhe der Nullgradgrenze über Payerne im Jahr 2011. Aerologische Radiosondenmessung 00 UTC und 12 UTC. Der Medianwert (Referenzperiode 1961-1990) wurde mit nicht homogenisierten Daten berechnet und mit einem numerischen Filter geglättet. Innerhalb der 5% und 95% Perzentil-Linien liegen 90% der Tagesmittelwerte.

Grösste 1-Tages Niederschlags- summen 2011

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

Mit diesem Verfahren (generalized extreme value analysis GEV mit Basisperiode 1961-2010) wird für jeden Niederschlags-Messstandort die höchste im Berichtsjahr erfasste 1-Tages Niederschlagssumme beurteilt. Die Stationen mit der höchsten Wiederkehrperioden im Jahr 2011 (> 300 Jahre) sind Siebnen am oberen Zürichsee und Sta Maria im Val Müstair.

Abbildung 2.4:
Wiederkehrperioden
in Jahren der grössten
1-Tages Niederschlags-
summen im Jahr 2011.



- Winterereignisse (DJF)
- ◆ Frühlingereignisse (MAM)
- Sommerereignisse (JJA)
- ▲ Herbstereignisse (SON)

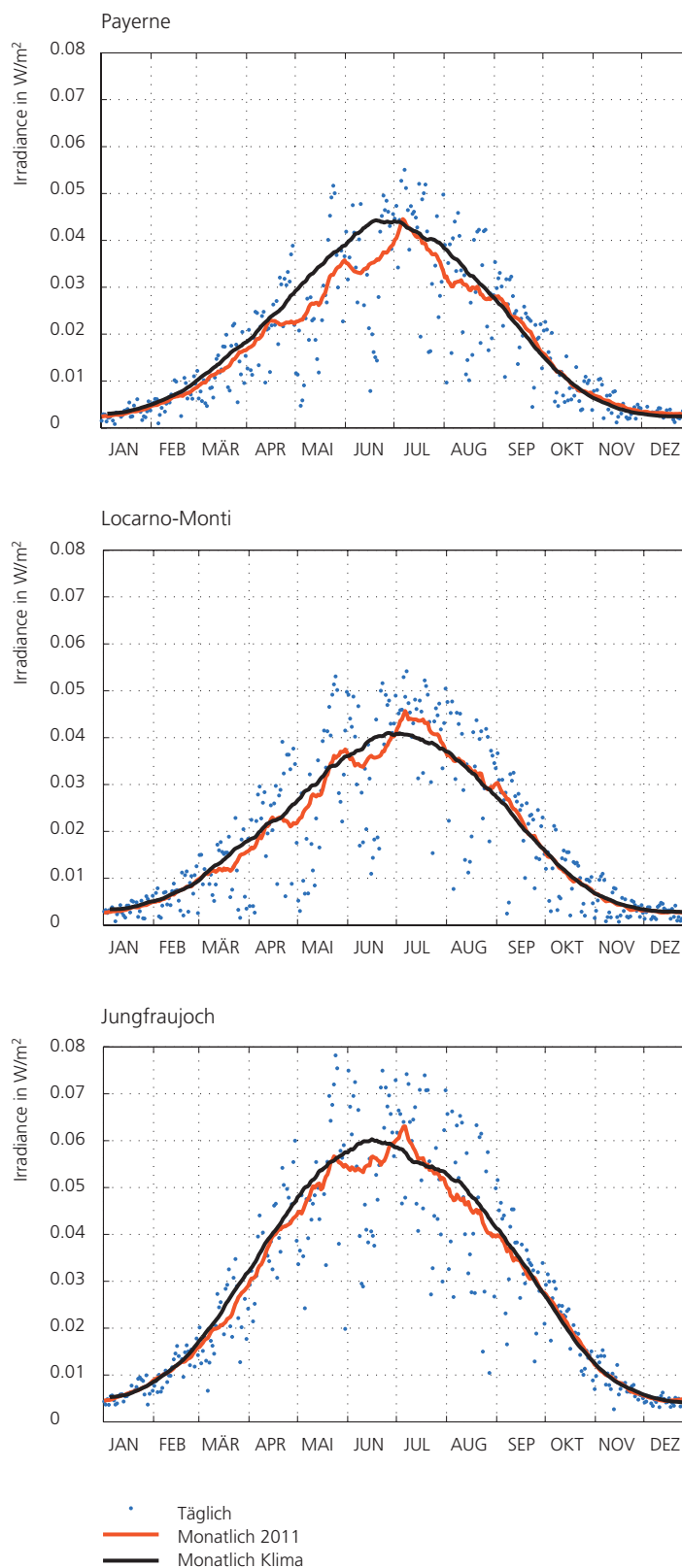
Die Punktgrösse und die Farbe (Skala rechts) entspricht der Länge der Wiederkehrperiode in Jahren. Grau steht für Wiederkehrperioden von zwei Jahren oder weniger.

Jahresverlauf der UV-Strahlung

Der UV-B Anteil des solaren Strahlungsspektrums ist sehr wichtig, da er einen bedeutenden Einfluss auf das Leben hat und auch eine Gefahr für die öffentliche Gesundheit (Hautkrebs, Schädigung der Augen, etc.) darstellen kann. Die UV Strahlungsmessungen werden mit Hilfe eines UV erythemal Biometers durchgeführt. Solche Instrumente messen die Intensität der UV Strahlung unter Verwendung von erythemalen Filtern, welche die Sensitivität der Haut imitieren, hauptsächlich durch UV-B Strahlung mit einem kleinen Anteil an UV-A Strahlung. MeteoSchweiz misst die UV Strahlung in Davos seit Mai 1995, auf dem Jungfrauoch seit November 1996, in Payerne seit November 1997 und in Locarno-Monti seit Mai 2001. Die Messungen in Davos erfolgen auf dem Dach des Physikalisch-Meteorologischen Observatoriums Davos (PMOD). Im Jahr 2011 konnten die Messungen hier nicht durchgeführt werden infolge Unterhaltsarbeiten am Gebäude.

Der Vergleich des Jahresverlaufs 2011 mit dem langjährigen Durchschnitt zeigt in Payerne deutlich unterdurchschnittliche UV-Strahlung ab Ende April bis Anfang Juli. Ebenfalls unterdurchschnittliche Werte, aber weniger stark ausgeprägt, wurden in Locarno-Monti und auf dem Jungfrauoch gemessen. Der Grund für die unterdurchschnittliche UV-Strahlung können eine hohe Ozonkonzentration in der Atmosphäre oder eine geringere Sonneneinstrahlung (grösserer Bewölkungsgrad) sein. Geht man davon aus, dass die Ozonschicht in dieser Jahreszeit einen relativ geringen Einfluss hat, ist es wahrscheinlich, dass die Ursache der beobachteten reduzierten UV-Strahlung in der überdurchschnittlichen Bewölkung liegt. Im Juli 2011 wurden in Locarno-Monti und auf dem Jungfrauoch etwas überdurchschnittliche UV-Werte gemessen, während sich im übrigen Jahresverlauf die UV-Strahlung nahe dem langjährigen Durchschnitt bewegte.

Abbildung 2.5:
Tägliche Mittelwerte der erythemalen ultravioletten Strahlung (blaue Punkte) an den Messstationen Payerne, Locarno-Monti und Jungfrauoch. Rote Linie: gleitendes Monatsmittel (31 Tage). Schwarze Kurve: mittlerer jährlicher Verlauf berechnet aus den Daten 1997-2011 (Jungfrauoch), 1998-2011 (Payerne) und 2001-2011 (Locarno-Monti).



Ozonmessreihe Arosa

Die Messungen des Gesamt Ozons der Atmosphäre (Ozonprofil) werden in Arosa seit 1926 durchgeführt, womit Arosa die weltweit längste derartige Messreihe repräsentiert. Die nachfolgende Grafik zeigt die Schwankungen der Gesamt ozonmenge im Jahresverlauf 2011 in den verschiedenen Höhenlagen. Als Vergleich dazu sind die langjährigen Durchschnittswerte (1970-1980) mit schwarzen Kurven angegeben (Höhenlage für 20, 40, 60 und 80 Dobson Units). Das ermöglicht in Abhängigkeit der Höhe, die Unterschiede der Ozonwerte im Jahresverlauf im Vergleich zur Klimatologie (langjähriger Durchschnitt) darzustellen. Im Jahr 2011 hat eine grössere technische Modifikation des Messgeräts stattgefunden. Dies erklärt möglicherweise die sichtbaren ungewöhnlichen Muster im Juli und im Dezember 2011.

Der Jahresgang der Gesamt ozon-Säule über Arosa (Abbildung 2.7) zeigt die typische Jahresschwankung mit dem Maximum im Frühjahr und dem Minimum im Herbst. Der Jahresgang der Gesamt ozon-Säule wird stark durch den Ozontransport aus nordpolaren Regionen dominiert, wo die höchste Ozonkonzentration gegen Ende der Polarnacht, also im frühen Frühjahr erreicht wird. Die Ozon-Werte liegen 2011 im Mittel deutlich tiefer als in der Vergleichsperiode 1926-1969. Der stetige Rückgang des Gesamt ozons über Arosa setzte um 1970 ein, dem Zeitpunkt der starken Zunahme der Emissionen ozonabbauender Substanzen.

Abbildung 2.6:
Ozonprofile 2011 gemessen mit einem Dobson Spektrophotometer am Standort Arosa. Die Farblegende rechts zeigt die Skala der Dobson Units zwischen 0 und 90 DU. 100 Dobson Units (DU) = 1mm reines Ozon bei 1013 hPa und 0° C.

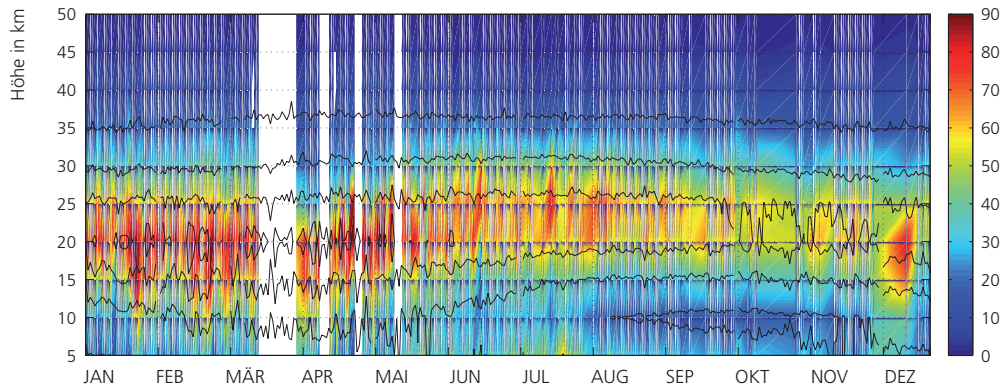
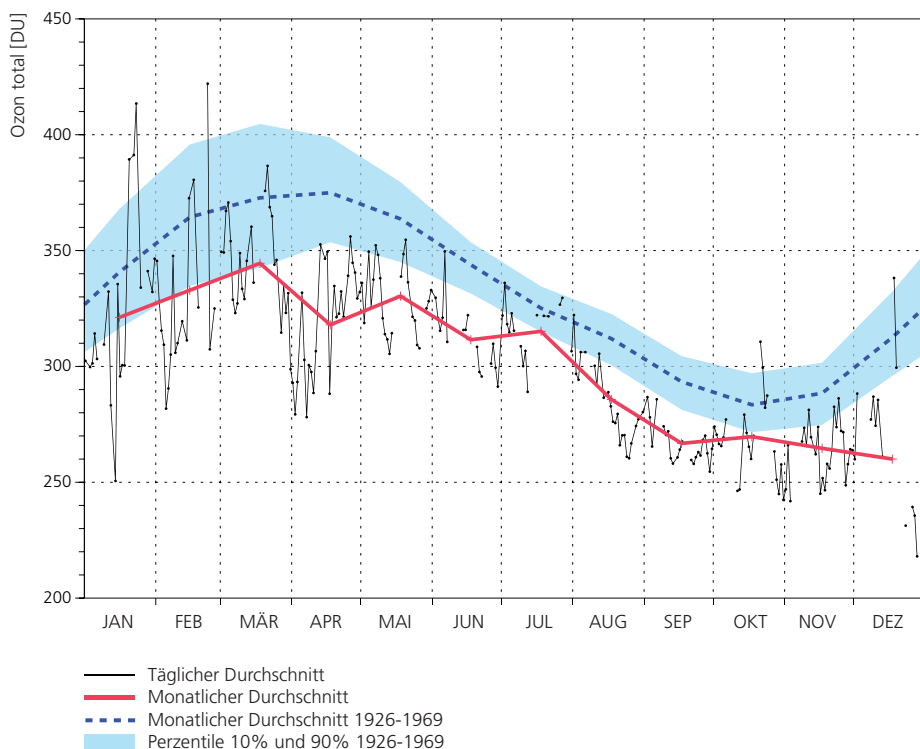


Abbildung 2.7:
Jahresgang der Gesamt ozon-Säule über Arosa 2011. Schwarze Kurve: tägliche Mittelwerte. Rote Kurve: Monatsmittel. Die blaue Kurve zeigt den mittleren Jahresgang 1926-1969, also aus der Zeit vor dem Problem des Ozonabbaus. Innerhalb des blauen Bereichs liegen 80 Prozent der langjährigen Schwankungen (1926-1969).



Am Standort Payerne wird seit dem Jahr 2000 alle 30 Minuten die vertikale Ozonverteilung (Ozonprofil) mit dem Mikrowellen-Radiometer SOMORA (Stratospheric Ozone Monitoring Radiometer) erfasst. Die nachfolgende Grafik zeigt in Farbe die Schwankungen im Jahresverlauf 2011 im Vergleich zum Jahresverlauf 2010 (schwarze Kurven für die Konzentrationsniveaus 4, 6 und 8 ppm). Das ermöglicht in Abhängigkeit der Höhe, die Unterschiede der Ozonkonzentration im Jahresverlauf im Vergleich mit dem Vorjahr darzustellen. So sind zum Beispiel die Ereignisse mit den Ozonmaxima (sichtbar im Februar 2010, nicht aber im Februar 2011) und den Ozonminima im Jahresablauf zu erkennen.

Ozonmessungen über das Höhenprofil der Atmosphäre bis ca. 30 km Höhe werden schliesslich im Rahmen der Aufstiege der Wetterballone durchgeführt. Die Daten erlauben, die zeitliche Entwicklung der Ozonmenge in den verschiedenen

Atmosphärenschichten nachzuvollziehen. Abbildung 2.9 zeigt den detaillierten Verlauf für das Jahr 2011. Im der untersten Höhenlage (925 hPa, Bodennähe) tritt das Ozonmaximum als Folge der starken Sonneneinstrahlung in Kombination mit der Luftbelastung (ozonfördernd) im Sommer auf. Im obersten Bereich der wetteraktiven Atmosphärenschicht (Troposphäre) in rund 9 km Höhe (300 hPa) ist das Sommermaximum stark abgeflacht, da hier die Bedingungen zur Ozonbildung (Energie- und Sauerstoffverfügbarkeit) nicht optimal sind. Die kräftigen Ausschläge sind Ozoneinträge aus grösseren Höhen. Auf rund 18 km (40 hPa) wird der Ozon-Jahresgang durch den Ozontransport aus nordpolaren Regionen dominiert, wo die höchste Ozonkonzentration gegen Ende der Polarnacht, also im frühen Frühjahr erreicht wird. Die starke Einstrahlung führt schliesslich in der höchsten Höhenlage (15 hPa, rund 25 km Höhe) zu einem Ozonmaximum im Sommer.

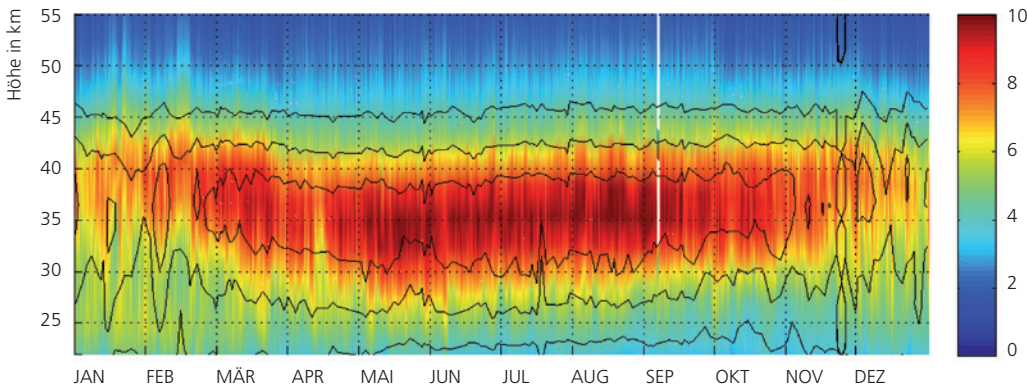


Abbildung 2.8: Jahresverlauf der vertikalen Ozonverteilung 2011, gemessen mit einem Mikrowellen-Radiometer am Standort Payerne. Dargestellt ist das Volumenmischungsverhältnis (VMR) in parts per million (ppm) des Spurengases Ozons (Skala rechts zwischen 0 und 10 ppm).

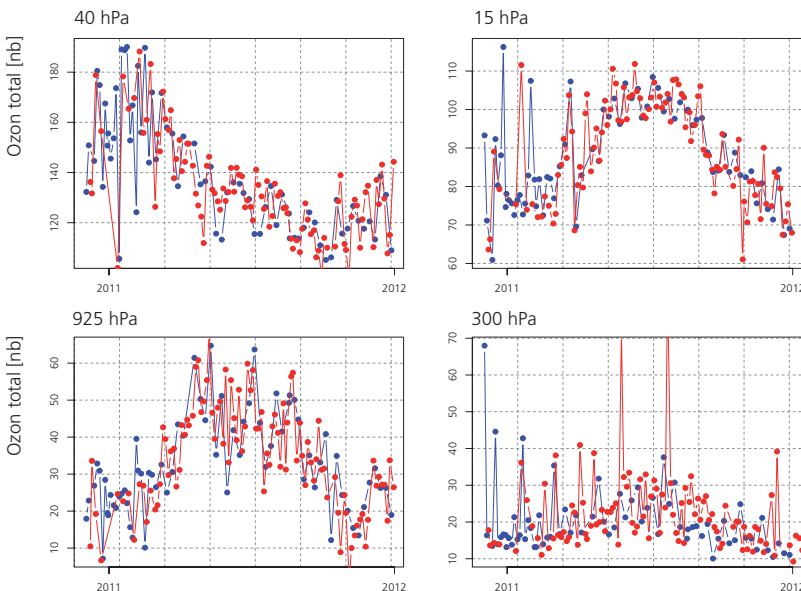


Abbildung 2.9: Verlauf der Ozonkonzentration (Partialdruck in nanobar) im Jahr 2011 in verschiedenen Höhenlagen der Troposphäre (< 10 km, 925 hPa, 300 hPa) sowie der Stratosphäre im Bereich der Ozonschicht (18-24 km, 40 hPa, 15 hPa). Blau sind die Daten von neuen Messsonden, rot die Daten von wieder verwendeten Messsonden aufgezeichnet.

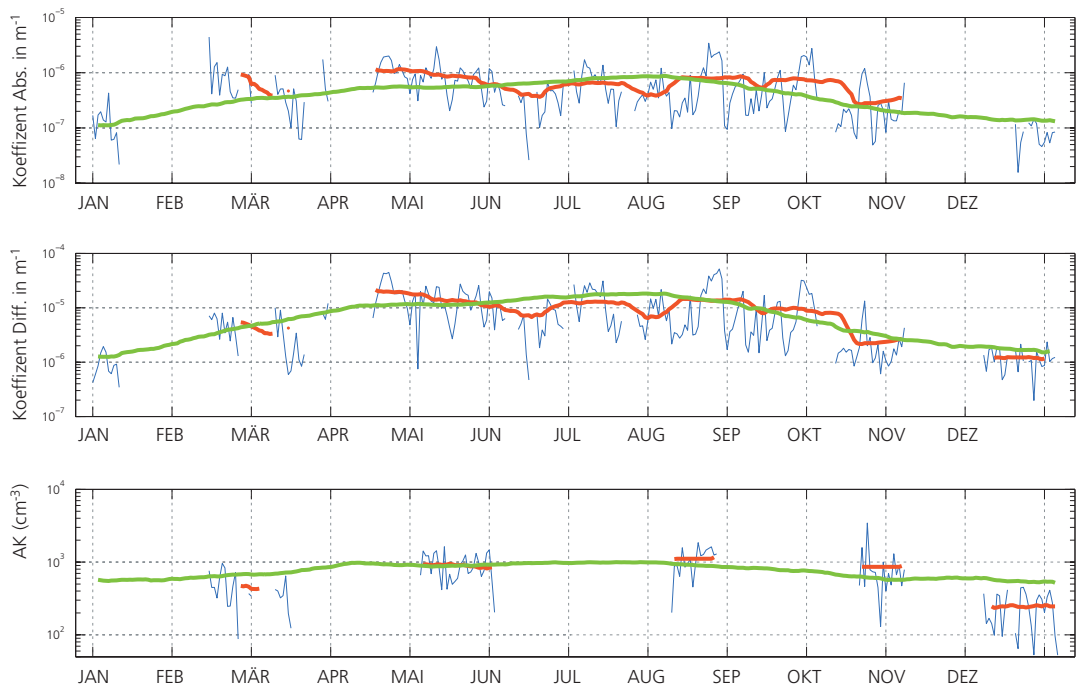
Aerosolmessungen Jungfrauoch

Aerosole beeinflussen die Atmosphäre durch ihre direkten (Streuung und Rückstreuung der Sonneneinstrahlung) und indirekten Effekte (Wolkenbildung). Die Größenordnung dieser Effekte bezüglich Erwärmung bzw. Abkühlung ist nach wie vor eine der grössten Unsicherheiten in den Klimamodellen [15]. Die seit 1995 auf dem Jungfrauoch durchgeführten Aerosolmessungen repräsentieren eine der längsten Messreihen der Welt [16].

Aerosole sammeln sich vor allem in der planetaren Grenzschicht, der Grundsicht der Atmosphäre, welche typischer Weise 1.5 bis 2 km mächtig ist. Mit der sommerlichen Erwärmung setzt die thermische Konvektion ein, wodurch Aerosole in grössere Höhen verfrachtet werden und damit das Jungfrauoch stärker in den Einflussbereich der planetaren Grenzschicht gelangt. Im Winter steht das Jungfrauoch vor allem im Einflussbereich der freien Troposphäre [27].

Die Jahressgänge der Aerosolparameter 2011 auf dem Jungfrauoch zeigen die typischen sommerlichen Maxima und winterlichen Minima. Die Konzentration von Aerosolen in der Atmosphäre ist Ausdruck der Luftbelastung durch Abgase.

Abbildung 2.10: Verlauf 2011 der Absorptions- (oben) und Streu-, Rückstreu-Koeffizienten (Mitte) bei verschiedenen Wellenlängen sowie die Anzahlkonzentration (unten) der Aerosolmessungen Jungfrauoch. Rote Kurve: gleitendes Monatsmittel. Grüne Kurve: gleitendes Monatsmittel der Periode 1995-2010. Im Jahr 2011 konnten die Messwerte über längere Perioden nicht verwendet werden, da sie zu stark durch die Emissionen von Tunnel-Vortriebsarbeiten beeinflusst waren.







3 | Besonderheiten 2011

3.1 Wärmstes Jahr seit Messbeginn

Im Jahresdurchschnitt Januar bis Dezember (Kalenderjahr) war 2011 das wärmste Jahr seit Aufnahme der systematischen Messungen im Jahr 1864. Zu diesem Rekord beigetragen haben insbesondere der rekordwarme Frühling und der ebenfalls sehr warme Herbst.

Der bisherige Jahres-Rekordhalter war das Jahr 1994, welches nur gerade einen Zehntel Grad hinter 2011 zurückliegt. Da Messungen immer auch mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet sind, müssten grundsätzlich die beiden Jahre 2011 und 1994 als gleich warm betrachtet werden. Mit der grossen Wärme 2011 setzt sich die ausgeprägte Warmperiode seit Ende der 1980er Jahre ungebremst fort.

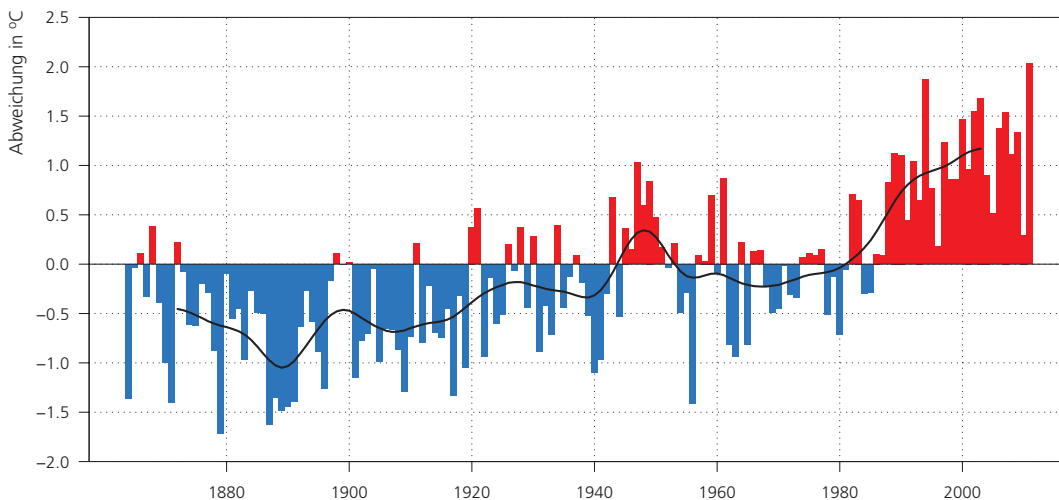


Abbildung 3.1: Langjähriger Verlauf der Jahres-Temperatur gemittelt über die gesamte Schweiz. Dargestellt ist die jährliche Abweichung der Temperatur von der Norm 1961-1990 (rot = positive Abweichungen, blau = negative Abweichungen). Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige, gewichtete Mittel. Als Datenbasis dienen die verfügbaren 12 homogenen Messreihen der Schweiz.

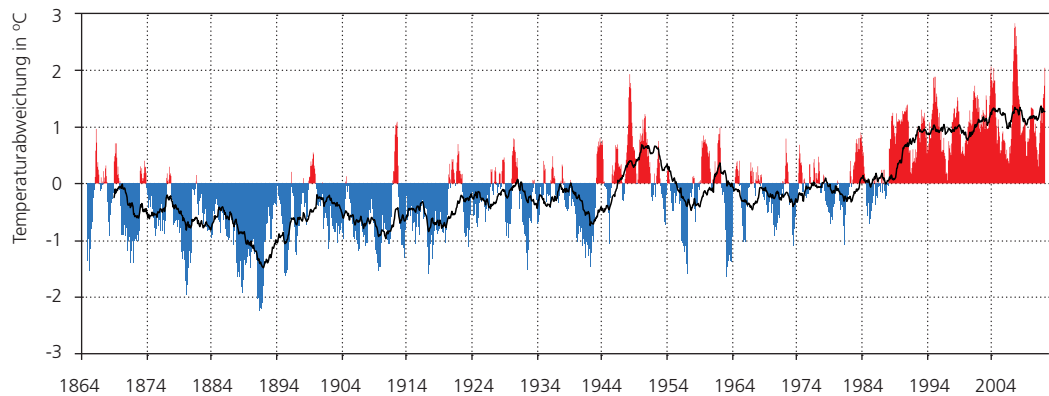
Wärmstes Kalenderjahr, aber nicht die wärmste 12-Monatsperiode

Das Jahr 2011 war wohl das wärmste Kalenderjahr in der Messreihe seit 1864. Objektiv betrachtet ist aber das Kalenderjahr eine zufällige Wahl einer 12-Monatsperiode. Das meteorologische oder klimatologische Jahr umfasst die zwölf Monate Dezember bis November, das heisst die vollständigen meteorologischen/klimatologischen Jahreszeiten Winter, Frühling Sommer und Herbst. Das hydrologische Jahr beginnt in der Schweiz mit dem Oktober und endet im September, da der hochalpine Niederschlag ab Oktober meist als Schnee zurückgehalten wird und erst Monate später bei der Schneeschmelze in den hydrologischen Zyklus zurückkehrt.

Werden alle möglichen 12-Monatsperioden betrachtet zeigt es sich, dass das Jahr 2011 nicht die wärmste 12-Monatsperiode war (Abbildung 3.2). Während der beiden Jahre

2006 und 2007 traten wärmere 12-Monatsperioden auf als das Kalenderjahr 2011. So brachten die Perioden von Juni 2006 bis Mai 2007 und von Juli 2006 bis Juni 2007 den bisher grössten Temperaturüberschuss von 2.8 Grad gegenüber der Norm 1961-1990. Zwischen 2002 und 2004 sowie vom April 1947 bis März 1948 sind 12-Monatsperiode mit ähnlichen Temperaturüberschüssen wie 2011 zu finden.

Abbildung 3.2:
Gleitendes 12-Monatsmittel und 60-Monatsmittel der monatlichen mittleren Temperaturabweichung in der Schweiz.
Rote und blaue Säulen:
Gleitendes 12-Monatsmittel, Abweichung von der Norm 1961-1990;
rot = positive Abweichungen, blau = negative Abweichungen. Schwarze Kurve:
Gleitendes 60-Monatsmittel (5 Jahre), Abweichung von der Norm 1961-1990. Als Datenbasis dienen die verfügbaren 12 homogenen Messreihen der Schweiz.



3.2 Rekordwarmer Frühling

Die Schweiz erlebte den wärmsten Frühling seit Messbeginn im Jahr 1864. Im Vergleich zur Norm 1961-90 war die Jahreszeit über die ganze Schweiz gemittelt 3.5 Grad zu warm. Der bisherige Rekord aus dem Jahr 2007 (3.3 Grad zu warm) wurde damit bereits wieder gebrochen. Der Frühling macht in jüngster Zeit einen beachtlichen Erwärmungsschub durch, traten doch die vier wärmsten Frühlinge seit Messbeginn in den vergangenen 10 Jahren auf.

Speziell der April 2011 brachte einen extremen Wärmeüberschuss. Verbreitet waren es 4 bis 5 Grad. Im Jura, auf den Voralpengipfeln und in den Tessiner Bergen lagen die Temperaturen gar bis 6 Grad über der Norm 1961-1990. Seit Messbeginn 1864 war nur der April 2007 noch wärmer.

Auch der Mai 2011 gehörte mit einem Wärmeüberschuss von 2 bis 4 Grad ebenfalls zu den Wärmsten seit Messbeginn 1864. Auf der Alpennordseite war nur der Mai 1868 noch deutlich wärmer. In den Maimonaten 1999, 2001 und 2009 gab es eine vergleichbare Wärme wie im Mai 2011. In Lugano war der Mai 2011 zusammen mit dem Mai 1868 und dem Mai 2009 der Wärmste der Messreihe.

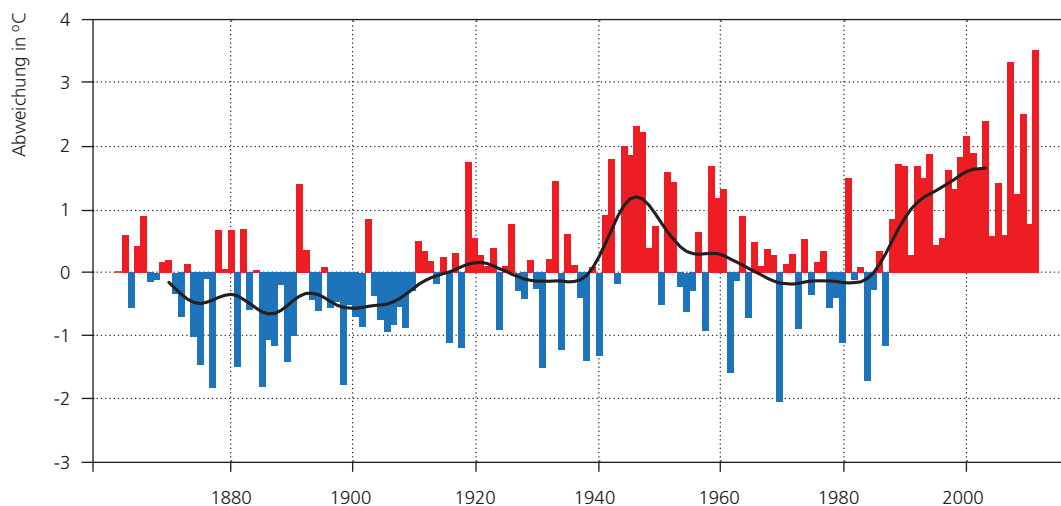


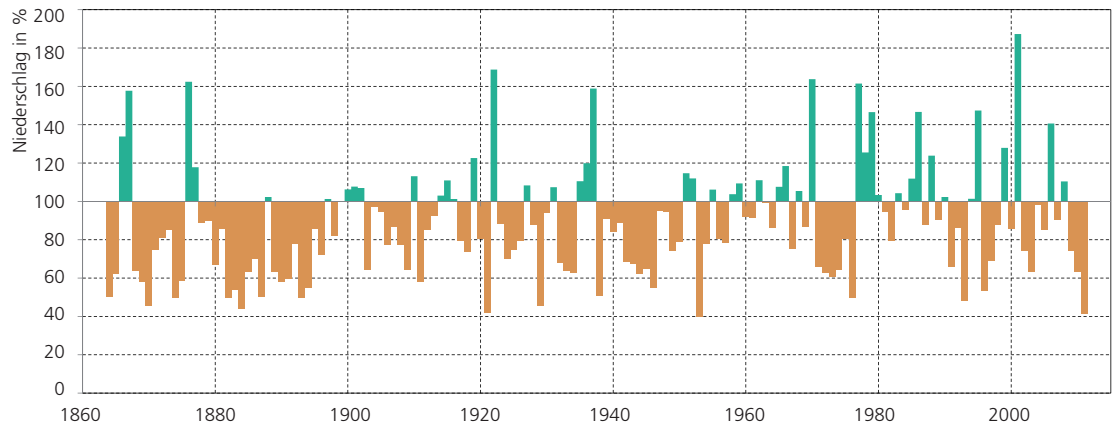
Abbildung 3.3:
Die jährliche Abweichung der Frühlings-Temperatur in der Schweiz vom lang-jährigen Durchschnitt (Norm 1961-1990). Die zu warmen Monate sind rot, die zu kalten Monate blau angegeben. Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige, gewichtete Mittel.

3.3 Die Trockenheit in der ersten Jahreshälfte 2011

Ab Januar 2011 stellte sich in der Schweiz bis im April eine anhaltende Trockenheit ein. Gemittelt über das Mittelland der Schweiz fielen in dieser Zeit nur gerade 41 Prozent der üblichen Niederschlagsmengen. Damit bewegten sich die Niederschlagsmengen auf einem rekordtiefen Niveau für diese Periode seit Messbeginn 1864. Ähnlich geringe Mengen wurden nur 1953 (40 Prozent) und 1921 (42 Prozent) gemessen.

Die Trockenheit von Januar bis April nahm im langjährigen Vergleich nicht überall dieselbe extreme Position ein. In den Regionen Bern, Engelberg und Obere Engadin war es der trockenste Jahresbeginn seit Messbeginn 1864. In Zürich war es Rang 3, auf dem Chaumont im Jura Rang 4, in Genève Rang 7 und in der Region Davos Rang 8. Im Wallis und im Tessin fielen zwar auch nur geringe Niederschlagsmengen, doch sind hier die ersten vier Monate oft niederschlagsarm, so dass die Situation 2011 im Vergleich zu den langjährigen Aufzeichnungen weniger extrem ausfiel.

Abbildung 3.4:
Januar-April Niederschlags-
summen in Prozent der
Norm 1961-1990 im Mittel-
land der Schweiz (Mittel
der Messstationen Genève,
Bern, Basel und Zürich).
Die zu trockenen Perioden
sind braun, die zu nassen
grün angegeben.



3.4 Vom extrem trockenen Herbst zum nassen Jahresende

In den letzten zwei Monaten des Jahres 2011 bewegten sich einzelne Regionen der Schweiz von einem Trockenheitsrekord unmittelbar in einen Nässe rekord. Ab dem 19. Oktober bis zum Novemberende blieben vor allem in der Region vom Wallis über die Zentralschweiz bis zum Bodensee die Niederschläge praktisch gänzlich aus.

Der Monat November brachte in diesem Gebiet an einigen Messstandorten gar keinen Niederschlag. So blieb zum Beispiel am Messstandort Engelberg in der Innerschweiz der Monat November 2011 vollständig trocken, was die Messreihe der Novemberrückstände in Engelberg bisher noch nie zeigte. Mit nur 4 mm Monatsniederschlag war allerdings der November 1920 vergleichbar trocken (Abbildung 3.5).

Nach wochenlanger Herbsttrockenheit brachte dann der Dezember 2011 am Messstandort Engelberg Rekordniederschläge (Abbildung 3.6). Nur unbedeutend weniger nass war hier der Dezember 1918. Der Dezember 2011 zeigte sich vor allem auf der Alpennordseite und in den inneren Alpen extrem niederschlagsreich. Rekord-Dezembersummen fielen auch auf dem Säntis (Messbeginn im Jahr 1882), in Chateau d'Oex (Messbeginn 1875) und in La Chaux-de-Fonds (Messbeginn 1900). In Bern gab es seit Messbeginn 1864 nur im Dezember 1909 und 1868 noch mehr Niederschlag, in Zürich nur 1918 und 1919, auf dem Chaumont einzig im Dezember 1919 und in Sion nur 1918. Unterdurchschnittliche Dezember-Mengen fielen hingegen im Val Müstair, im Oberengadin und in den Tälern der Alpensüdseite mit Ausnahme des nördlichen Tessin. Vom Lago Maggiore südwärts kamen sogar nur 10 bis 30 Prozent der normalen Niederschlagsmengen zusammen.

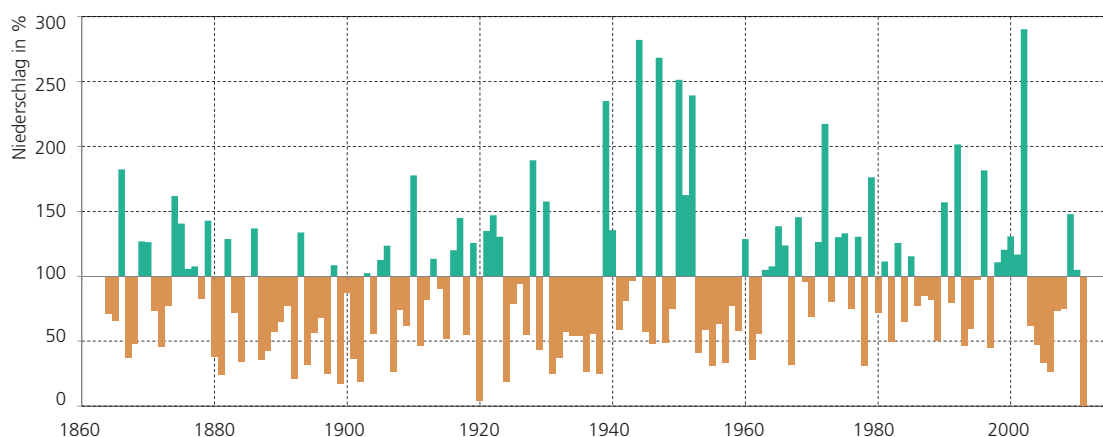


Abbildung 3.5:
November Niederschlags-
summe in Prozent der
Norm 1961-1990 am
Messstandort Engelberg.
Die zu trockenen Perioden
sind braun, die zu nassen
grün angegeben.

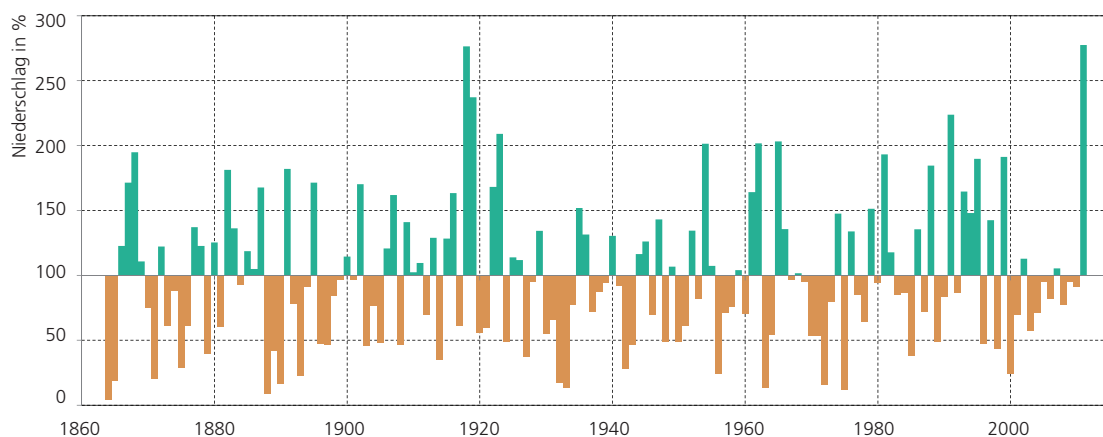


Abbildung 3.6:
Dezember Niederschlags-
summe in Prozent der
Norm 1961-1990 am
Messstandort Engelberg.
Die zu trockenen Perioden
sind braun, die zu nassen
grün angegeben.



4 | Globaler Witterungsverlauf 2011

Ein kurzer Überblick

Weltweit war das Jahr 2011 das elftwärmste seit Messbeginn 1880, wie die Weltmeteorologie-Organisation (WMO) mitteilt [25]. Die globale Mitteltemperatur lag 0.40 Grad (± 0.09 Grad) über dem langjährigen (1961-1990) Mittelwert von 14 Grad. Überdurchschnittliche Jahresmitteltemperaturen wurden auf dem grössten Teil der Landoberflächen gemessen. Die folgende Zusammenstellung basiert hauptsächlich auf dem jährlichen Klimastatus-Bericht der Welt Meteorologie Organisation (WMO) [25].

4.1 Erneut sehr warmes Jahr

Das Jahr 2011 fügt sich nahtlos in die ununterbrochene Serie sehr warmer Jahre seit Ende des 20. Jahrhunderts. Die grössten positiven Abweichungen mit Werten von +3 bis +5 Grad im Vergleich zur Normperiode 1961-1990 zeigten Nordkanada und Nordsibirien. In Zentraleuropa lagen die Abweichungen zwischen +1 und +3 Grad. Unterdurchschnittliche Temperaturen von -0.5 bis -1 Grad wurden in weiten Teilen des östlichen und südlichen Pazifiks, im südlichen Atlantik sowie in den Meeresgebieten rund um die Antarktis registriert. Deutlich unterdurchschnittlich mit Werten von -1 bis -3 Grad blieben auch die Jahrestemperaturen in einem grösseren Gebiet von Nordaustralien [25].

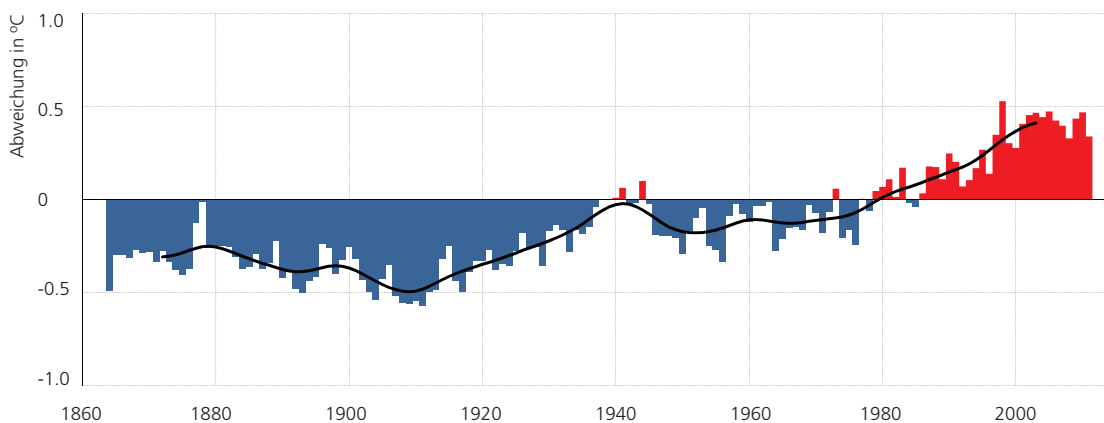


Abbildung 4.1: Langjähriger Verlauf der globalen Mitteltemperatur (Land- und Wasserflächen). Dargestellt ist die jährliche Abweichung der Temperatur von der Norm 1961-1990 (rot = positive Abweichungen, blau = negative Abweichungen). Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige, gewichtete Mittel. Daten: University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

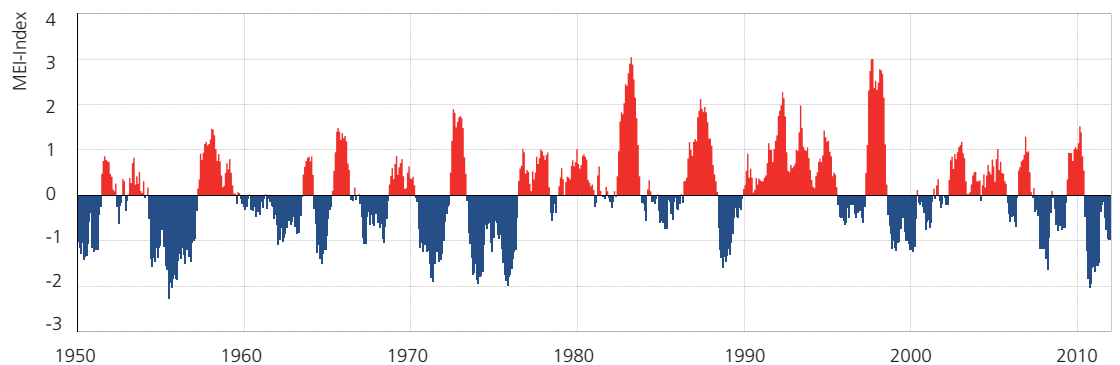
4.2 Der Einfluss von La Niña

Das globale Witterungsgeschehen stand 2011 unter dem starken Einfluss eines kräftigen La Niña Ereignisses (kalte Klimaanomalie im äquatorialen Pazifik), welches sich im Jahr 2010 bildete und das ganze Jahr 2011 anhielt (Abbildung 4.2). Ein ähnlich starkes La Niña Ereignis wurde letztmals in der Periode 1973-1976 registriert. Die kräftige La Niña 2011 wird für mehrere extreme Witterungsbedingungen verantwortlich gemacht [25]: In Australien wurden ungewöhnlich heftige Regenfälle im Sommerhalbjahr 2010/2011 registriert. Der australische Sommer wurde zum zweit nässesten, das Jahr zum dritt nässesten seit Messbeginn 1901.

In Südostasien brachte der Sommer 2011 ungewöhnlich heftige Monsun-Regenfälle. In Thailand trugen diese neben einem heftigen tropischen Wirbelsturm wesentlich zur schlimmsten Flutkatastrophe seit 1942 bei.

Ostafrika schliesslich wurde von der extremsten Dürreperiode seit 1950 erfasst. Regional brachten hier die beiden Jahre 2010 und 2011 die trockenste 12-Monatsperiode seit Aufnahme der Messungen.

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



4.3 Weitere besondere Ereignisse

Das zentrale, westliche und südwestliche Europa erlebte den wärmsten Frühling seit Messbeginn. Im August 2011 folgte hier eine der ausgeprägtesten Hitzewellen bzw. Trockenperioden seit Beginn der Messungen. In einigen europäischen Regionen wurde 2011 schliesslich zum wärmsten oder zweitwärmsten Jahr in den Messreihen. Als interessante Gegebenheit sei hier Norwegen erwähnt, welches ebenfalls das wärmste Jahr (gemeinsam mit 1990 und 2006), gleichzeitig aber auch den nässesten Sommer in der gesamten Messreihe seit 1900 verzeichnete.

Grosse Gebiete im mittleren Westen, im Süden und im Osten der USA registrierten den wärmsten Sommer seit über 100 Jahren. In Kanada in der Region der Grossen Seen wütete ein F3-Tornado (Windgeschwindigkeiten über 250 km/h), der heftigste seit zehn Jahren.

4.4 Meereis mit extrem tiefer sommerlicher Ausdehnung

Die Fläche des arktischen Meereises erreichte während der sommerlichen Schmelzperiode 2011 die zweit geringste Ausdehnung in der verfügbaren Satelliten-Messreihe seit 1979. Das Rekord-Minimum stammt vom Sommer 2007. Allerdings ist festzuhalten, dass die Schmelzperiode 2011 bereits auf einem sehr tiefen Niveau startete, war doch die winterliche Maximalausdehnung 2010/2011 ebenfalls die zweit geringste seit 1979.

Die geringste winterliche Maximalausdehnung datiert aus dem Jahr 2006. In der Antarktis wurde während der sommerlichen Schmelzperiode 2010/2011 die dritt geringste Meereisfläche verzeichnet.





5| Klimamonitoring

Ein kurzer Überblick

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

Gegliedert wird das Kapitel nach der GCOS-Struktur (Global Climate Observing System) der essentiellen Klimavariablen [22]. Behandelt werden die Bereiche Atmosphäre und Landoberfläche (Tabelle 5.1), und daraus als Schwerpunkt der Teilbereich bodennahe Beobachtungen. Es handelt sich dabei um die klassischen Messreihen von Temperatur und Niederschlag und die daraus abgeleiteten Parameter. Um bei den einzelnen Parametern den Fokus möglichst direkt auf der Klimaentwicklung zu haben, werden die Datengrundlagen und Methoden gesondert im Abschnitt 5.3 behandelt.

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

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

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

Tabelle 5.2:
Verwendete Klimaindikatoren aus den behandelten Bereichen Atmosphäre und Landoberfläche. Die WMO-Indikatoren sind definiert in WMO/ETCCDI [4].

Die Temperatur und der Niederschlag stellen gemäss GCOS zwei Hauptindikatoren für die Veränderungen des Klimas dar [22]. Daraus abgeleitet hat die Welt Meteorologie Organisation (WMO; World Meteorological Organization) ein Set von spezifisch definierten Klimaindikatoren [4] mit dem Ziel, die Entwicklung des Temperatur- und Niederschlags-

regimes detailliert und global einheitlich zu erfassen, wie z.B. die Frosthäufigkeit oder die Häufigkeit von starken Niederschlägen (Bereich Atmosphäre, bodennah). Zusätzlich werden hier weitere für die Schweiz spezifische Klimaindikatoren diskutiert, unter anderem die für ein Alpenland wichtige Schneebedeckung (Bereich Landoberfläche).

5.1 Atmosphäre

5.1.1

Bodennahe Beobachtungen

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

Temperatur

Das Jahr 2011 brachte im gesamtschweizerischen Mittel einen Rekordüberschuss von 2 Grad im Vergleich zur Normperiode 1961-1990 (Abbildung 5.1). Damit liegt es knapp über dem Jahr 1994, welches einen Überschuss von 1.9 Grad zeigte. Die beiden Jahre liegen deutlich über dem Niveau der anderen sehr warmen Jahre in den letzten zwei Dekaden. Mit Ausnahme des zu kühlen Juli waren 2011 alle Monate überdurchschnittlich warm, der Frühling war landesweit der wärmste, der Herbst der zweitwärmste seit Messbeginn (Abbildung 5.2).

Der langjährige gesamtschweizerische Trend der Jahrestemperatur liegt bei $+1.2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ Jahre}$ ($+0.12\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ Jahre}$), was einer Gesamtänderung von $+1.7\text{ Grad}$ entspricht (1864 bis 2011). Die saisonalen Trends liegen zwischen $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}/100$ und $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}/100$. Eine Gesamtübersicht zu den Temperaturtrends gibt Tabelle 5.3.

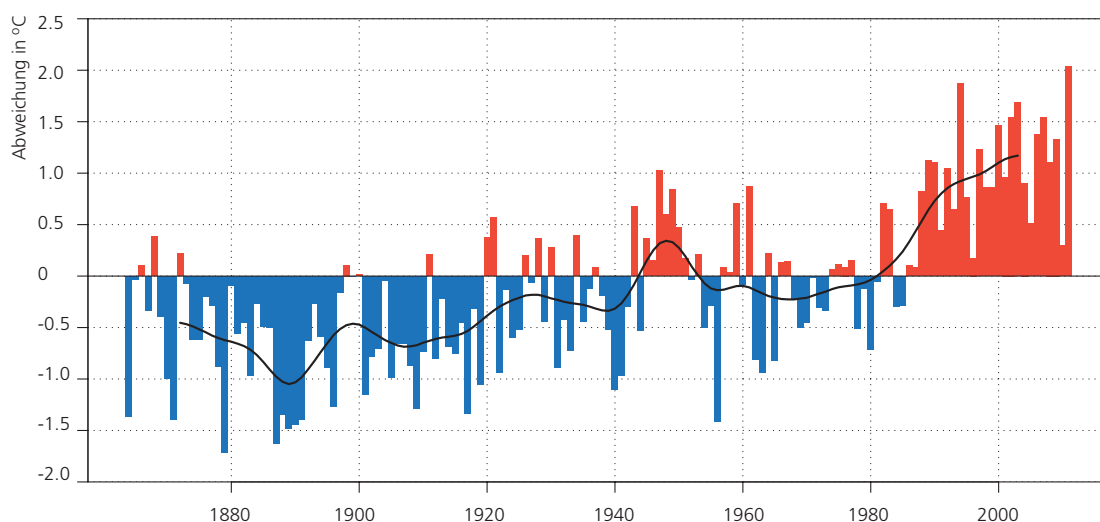


Abbildung 5.1: Langjähriger Verlauf der Jahres-Temperatur gemittelt über die gesamte Schweiz. Dargestellt ist die jährliche Abweichung der Temperatur von der Norm 1961-1990 (rot = positive Abweichungen, blau = negative Abweichungen). Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige, gewichtete Mittel. Als Datenbasis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

Abbildung 5.2:
Langjähriger Verlauf der jahreszeitlichen Temperatur gemittelt über die gesamte Schweiz. Dargestellt ist die jährliche Abweichung der saisonalen Temperatur von der Norm 1961-1990 (rot = positive Abweichungen, blau = negative Abweichungen). Als Datenbasis dienen die verfügbaren 12 homogenen Messreihen der Schweiz. Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige, gewichtete Mittel.

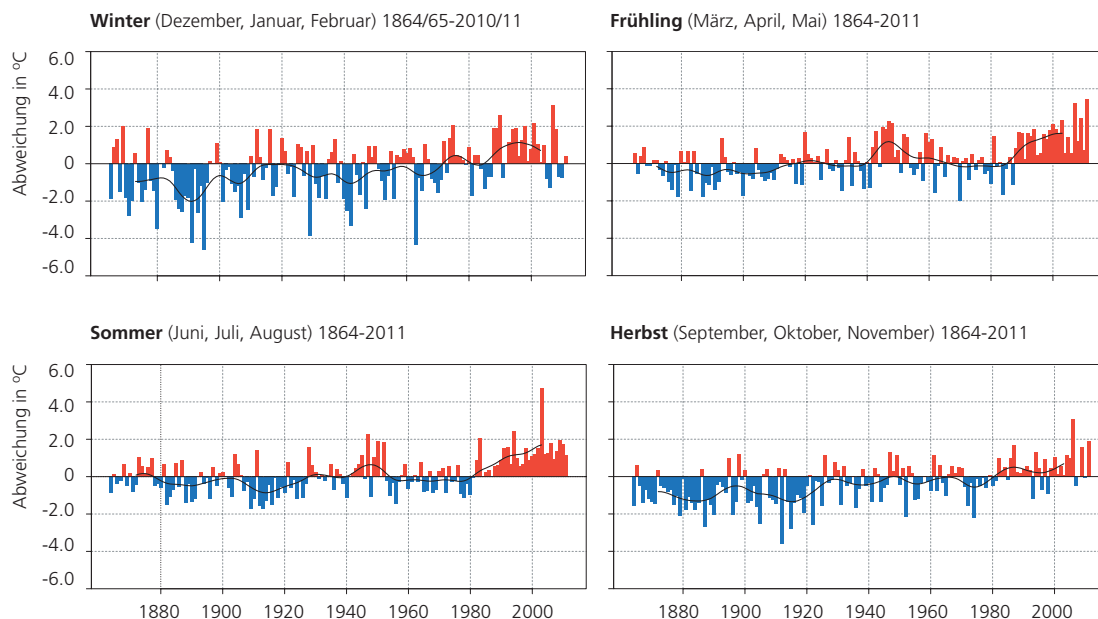


Tabelle 5.3:
Saisonale und jährliche Temperaturtrends in Grad Celsius pro 10 Jahre in den Perioden 1864-2011, 1901-2011 und 1961-2011, berechnet jeweils für die ganze Schweiz.

Periode	Frühling März-Mai	Sommer Juni-August	Herbst September-November	Winter Dezember-Februar	Jahr Januar-Dezember
1864-2011	+ 0.11 °C stark signifikant	+ 0.10 °C stark signifikant	+ 0.12 °C stark signifikant	+ 0.13 °C stark signifikant	+ 0.12 °C stark signifikant
1901-2011	+ 0.15 °C stark signifikant	+ 0.17 °C stark signifikant	+ 0.17 °C stark signifikant	+ 0.15 °C stark signifikant	+ 0.16 °C stark signifikant
1961-2011	+ 0.51 °C stark signifikant	+ 0.49 °C stark signifikant	+ 0.23 °C stark signifikant	+ 0.29 °C stark signifikant	+ 0.38 °C stark signifikant

Ohne global wirksame Interventionsmassnahmen wird für die Schweiz bis 2050 eine weitere deutliche Erwärmung erwartet. Bis 2099 soll die Erwärmung laut den aktuellen Klimaszenarien, ausgehend vom Mittel 1980-2009, rund 3 Grad betragen. Die stärkste Erwärmung von über 4 Grad erfährt dabei der Sommer, wobei in den südlichen Landesteilen die Werte bis gegen +5 Grad gehen [23].

Die zukünftig erwartete starke Erwärmung deckt sich mit der Entwicklung in den letzten zwei Jahrzehnten. Jahre mit einer stark überdurchschnittlichen Temperatur haben sich ab Ende der 1980er Jahre gehäuft. Von den 20 wärmsten Jahren seit Messbeginn 1864 sind 16 seit 1990 aufgetreten.

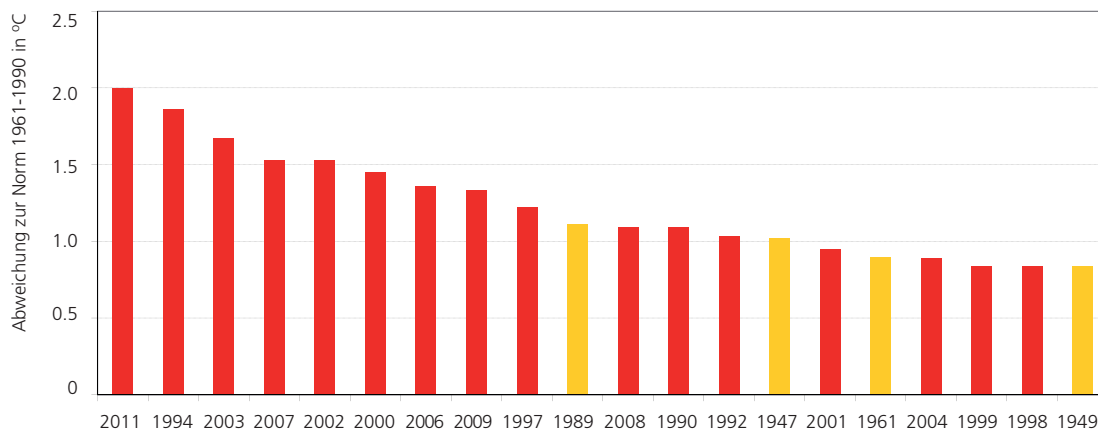


Abbildung 5.3:
Rangliste der 20 wärmsten Jahre seit 1864. Die Balken zeigen die Abweichung der mittleren Schweizer Jahrestemperatur zur Norm 1961-1990. Jahre seit 1990 sind rot dargestellt.

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

Das Muster der langjährigen Temperaturentwicklung in der Schweiz mit der Häufung sehr warmer Jahre in jüngster Zeit findet sich auch im globalen Kontext (Abbildung 5.4). Die Trends der globalen Jahrestemperatur zeigt Tabelle 5.4. Die

Gesamtänderung der globalen Temperatur von 1864 bis 2011 beträgt +0.73 Grad. Die globale Durchschnittstemperatur liegt bei rund 15 Grad (Norm 1961-1990).

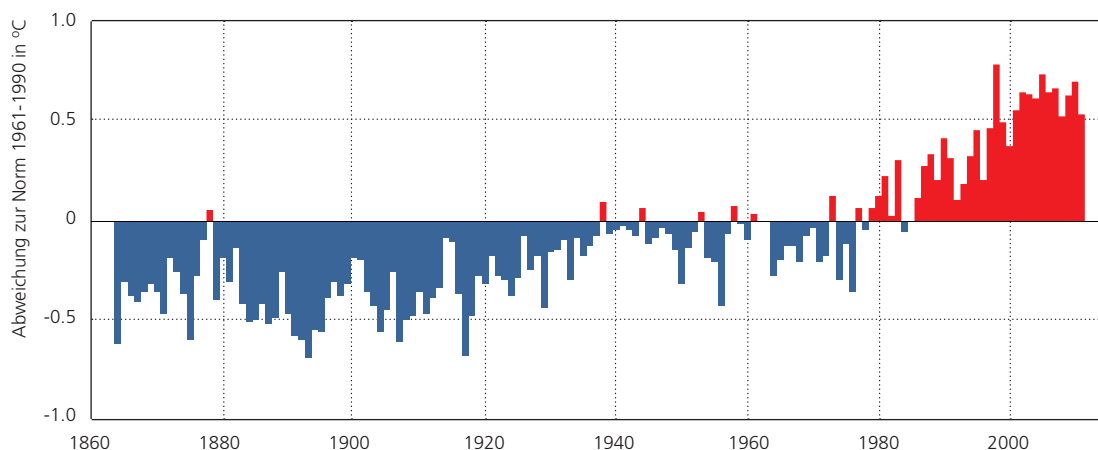


Abbildung 5.4: Langjähriger Verlauf der globalen Jahres-Temperatur gemittelt über die Landflächen. Dargestellt ist die jährliche Abweichung der Temperatur von der Norm 1961-1990 (rot = positive Abweichungen, blau = negative Abweichungen). Daten: University of East Anglia, 2012 [14].

Periode	Land- und Wasseroberfläche		Landoberfläche	
	°C/10 Jahre	°C/100 Jahre	°C/10 Jahre	°C/100 Jahre
1864-2011	+ 0.05	+ 0.50	+ 0.06	+ 0.63
1901-2011	+ 0.08	+ 0.76	+ 0.09	+ 0.86
1961-2011	+ 0.14	-	+ 0.19	-

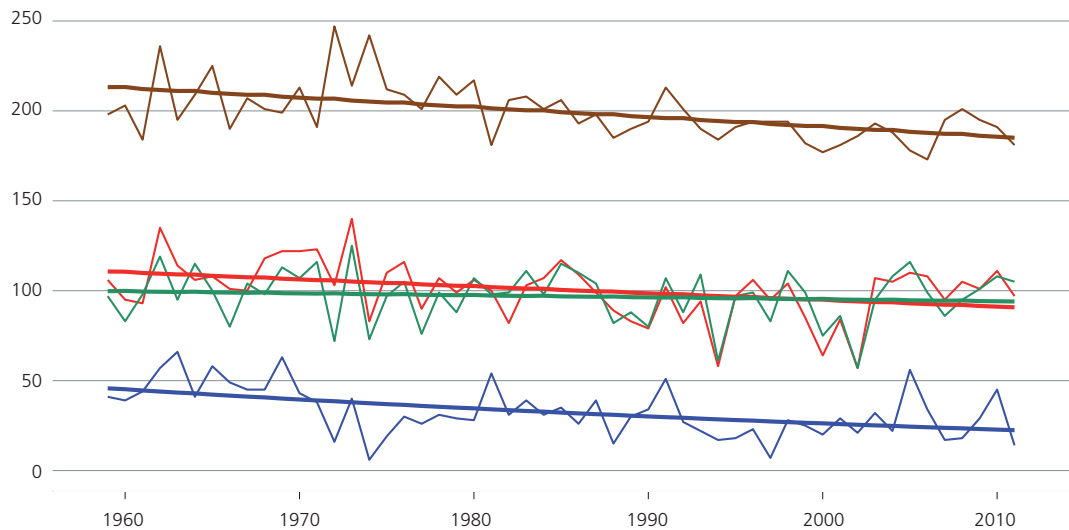
Tabelle 5.4:
Trends der globalen Jahres-temperatur in den Perioden 1864-2011, 1901-2011 und 1961-2011, berechnet für die Land- und Wasseroberflächen insgesamt und nur für die Landoberflächen. Basisdaten: University of East Anglia, 2012 [14].

Frosttage

Die Anzahl Frosttage bewegte sich 2011 in den Tieflagen der Nordschweiz (Bern) und im Wallis (Sion) mit rund 100 im normalen Bereich. In den höheren Lagen der Ostalpen (Davos) war sie etwas unterdurchschnittlich (179/Norm 203), in der Südschweiz (Lugano) massiv unterdurchschnittlich (12/Norm 35).

Als Folge der kräftigen Wintererwärmung seit Ende der 1980er Jahre ist ein Rückgang der Anzahl Frosttage festzustellen. In den Messreihen Bern, Davos und Lugano ist dieser Trend signifikant. Pro Jahrzehnt werden hier vier bis fünf Frosttage weniger verzeichnet.

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



■ Bern-Zollikofen
■ Sion
■ Davos
■ Lugano

Sommertage

Das Wärmerekordjahr 2011 brachte im Wallis und im Tessin ungewöhnlich viele Sommertage. In Sion im Wallis war es die rekordhohe Anzahl von 101 (Norm 55). Das Jahr 2003 mit dem Hitzesommer lieferte hier allerdings mit 97 nur knapp weniger Sommertage. In Lugano reichte es mit 98 (Norm 50) für Rang zwei. Der Rekord wird hier nach wie vor vom Jahr 2003 mit 111 Sommertagen gehalten.

Viele, jedoch keine ungewöhnliche Anzahl Sommertage, lieferte das Jahr 2011 in Bern (45 / Norm 30). Hier hält das Hitzesommerjahr 2003 den einsamen Rekord von 84 Sommertagen. Ein ähnliches Muster zeigt Davos, auf Grund der Höhenlage von 1600 m ü.M. jedoch auf deutlich tieferem Niveau (6 / Norm 1.4), wobei das Hitzesommerjahr 2003 mit 16 Sommertagen weit weniger aus den anderen Jahren hervor sticht als in den tiefer gelegenen Messreihen.

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

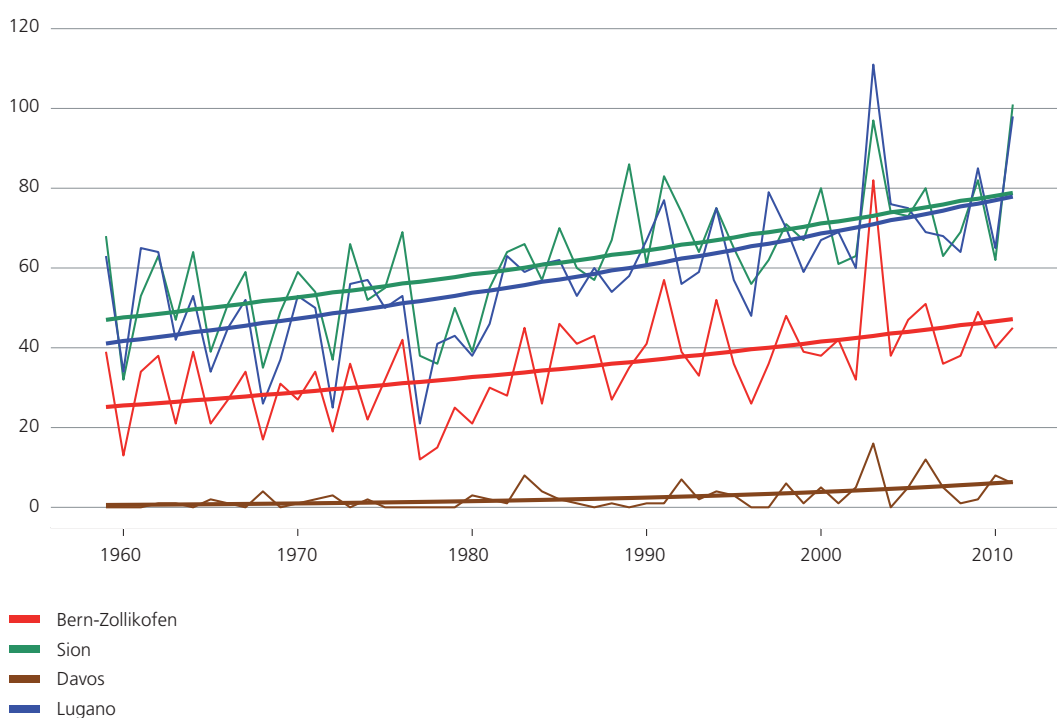


Abbildung 5.6:
Zeitlicher Verlauf der Sommertage (Tage des Kalenderjahres mit maximaler Temperatur $\geq 25^{\circ}\text{C}$) für die Stationen Bern, Sion, Davos und Lugano.

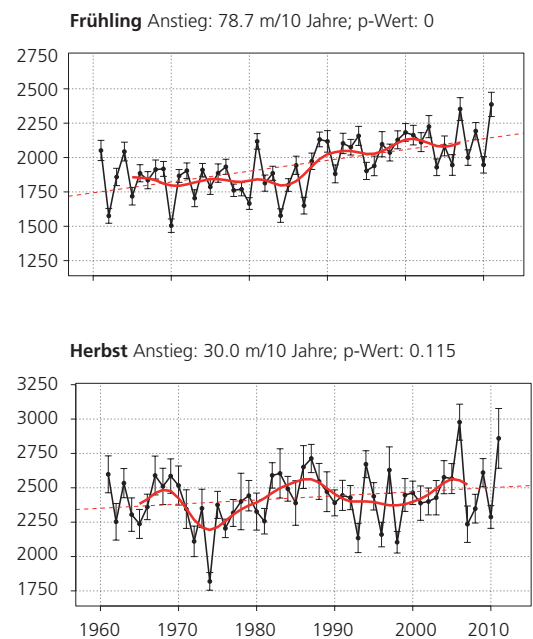
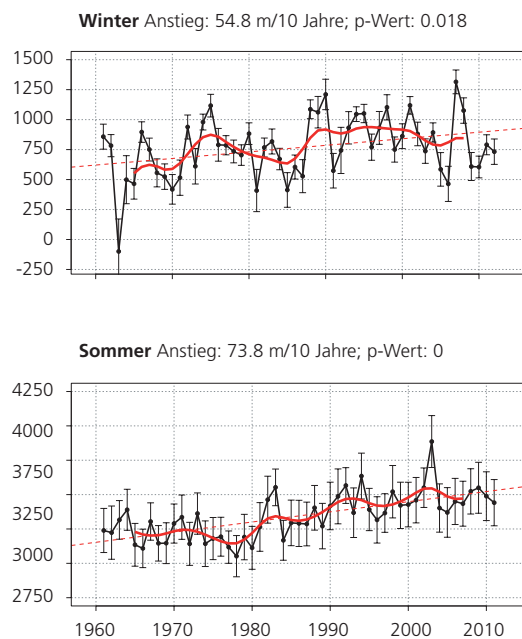
Nullgradgrenze

Die klimatologische Nullgradgrenze (hier bestimmt aus Bodenmessstationen als Mittel für die ganze Schweiz, siehe Anhang) liegt im Durchschnitt der Jahre 1961 bis 2011 im Winter bei rund 750 m, im Frühling bei 1900 m, im Sommer bei etwas über 3300 m und im Herbst um 2400 m. Im Winter 2010/2011, welcher Temperaturen im normalen Bereich brachte, lag sie im Bereich der Durchschnittshöhe. Im rekordwarmen Frühling erreichte auch die Nullgradgrenze eine saisonale Rekordhöhe von rund 2400 m ü.M., während der zweitwärmste Herbst die zweithöchste herbstliche Nullgradgrenze von über 2800 m ü.M. nach sich zog. Im Sommer mit seinen über weite Strecken oft regnerischen und

im Juli kühlen Witterungsbedingungen, Hitze gab es erst in der zweiten Augushälfte, bewegte sich die Nullgradgrenze mit einer Höhe von rund 3400 m ü.M. nur wenig über dem sommerlichen Durchschnitt.

Die Nullgradgrenze steigt in den Jahreszeiten Winter, Frühling und Sommer in der Periode 1961-2011 signifikant an. Der Anstieg bewegt sich je nach Jahreszeit zwischen rund 55 und rund 80 m pro 10 Jahre. Allgemein entsprechen diese Werte einem Anstieg der Nullgradgrenze von rund 150 bis 200 m pro Grad Erwärmung. Im Herbst ist keine signifikante Änderung vorhanden.

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



Niederschlag

Das Jahr 2011 war sowohl im nördlichen Flachland (Mittelland) wie auch in der Südschweiz mit nur rund 80 Prozent der normalen Niederschlagsmengen deutlich zu trocken (Abbildung 5.8, Abbildung 5.10). Ursache dafür waren in der Nordschweiz die beiden sehr niederschlagsarmen Jahreszeiten Frühling und Herbst. Im Sommer fielen hier normale Mengen, im Winter nur leicht unternormale (Abbildung 5.9). In der Südschweiz rührte das Niederschlagsdefizit vor allem vom sehr trockenen Frühling her (Abbildung 5.11) welcher nur gerade die Hälfte der normalen mengen lieferte. Solch trockene Verhältnisse im Frühling sind hier in jüngster Zeit mehrfach aufgetreten.

Im Mittelland ist ein langfristiger Niederschlagstrend (1864-2011) von $+7.0\%/100$ Jahre zu beobachten ($+0.7\%/10$ Jahre). Saisonal zeigt sich jedoch nur im Winter ein signifikanter Trend ($+20\%/100$ Jahre bzw. $+2.0\%/10$ Jahre). In den Jahreszeiten Frühling, Sommer und Herbst sind keine langfristigen Trends (1864-2011) zu eindeutig mehr oder weniger Niederschlag vorhanden. Die Südschweiz zeigt weder auf der jährlichen noch auf der saisonalen Basis langfristige Trends zu eindeutig mehr oder weniger Niederschlägen. Eine Gesamtübersicht zu den nordalpinen und südalpinen Niederschlagstrends geben Tabelle 5.5 und Tabelle 5.6.

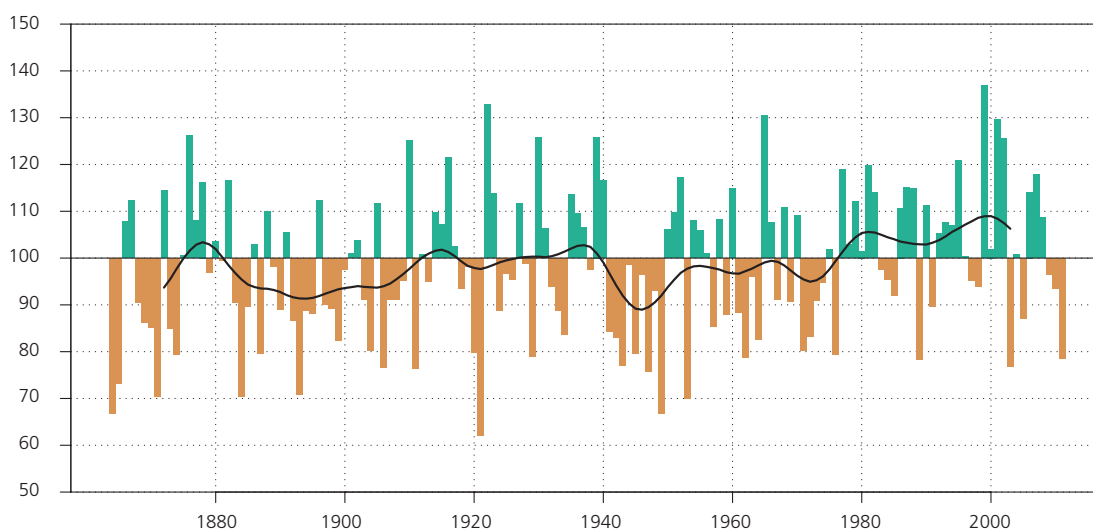


Abbildung 5.8: Jahres-Niederschlags-summe Mittelland in Prozent der Norm 1961-1990. Als Datenbasis dienen die homogenen Messreihen Genève, Basel, Bern und Zürich. Grün = positive, braun = negative Abweichungen; die schwarze Kurve zeigt das 20jährige, gewichtete Mittel.

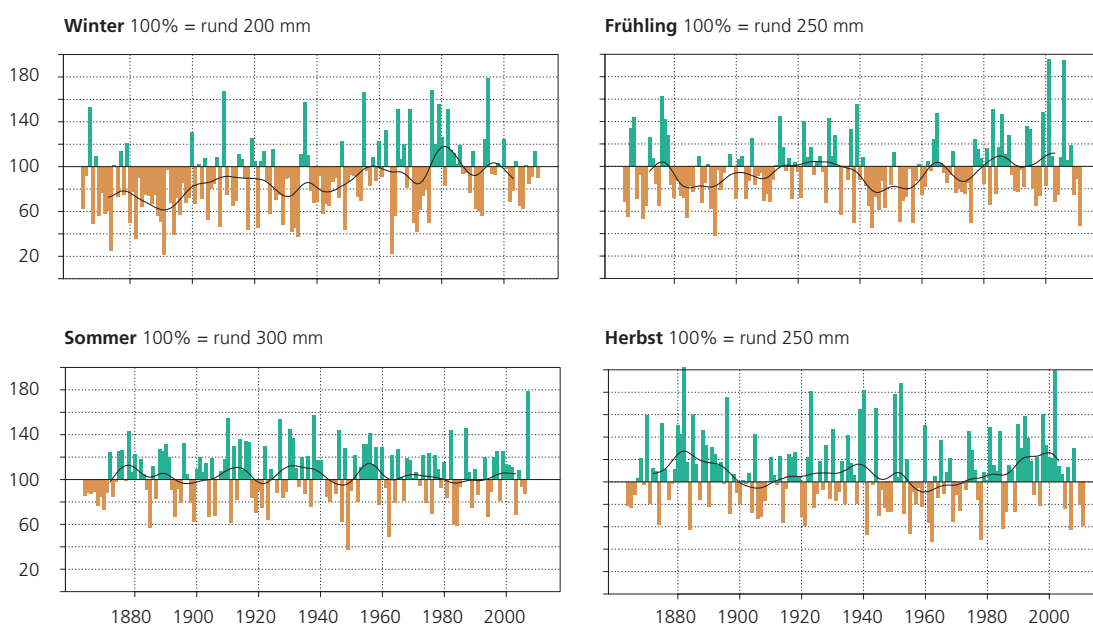


Abbildung 5.9: Jahreszeitliche Niederschlagssumme Mittelland in Prozent der Norm 1961-1990. Als Datenbasis dienen die homogenen Messreihen Genève, Basel, Bern und Zürich. Die schwarze Kurve zeigt das 20jährige, gewichtete Mittel. Man beachte, dass die Sommer 2008 bis 2011 100% Niederschlag lieferten, was in der Grafik als „fehlende“ Säulen zum Ausdruck kommt.

Abbildung 5.10:
Jahres-Niederschlags-
summe Lugano in Prozent
der Norm 1961-1990. Als
Datenbasis dient die
homogene Messreihen
Lugano. Die schwarze
Kurve zeigt das 20jährige,
gewichtete Mittel.

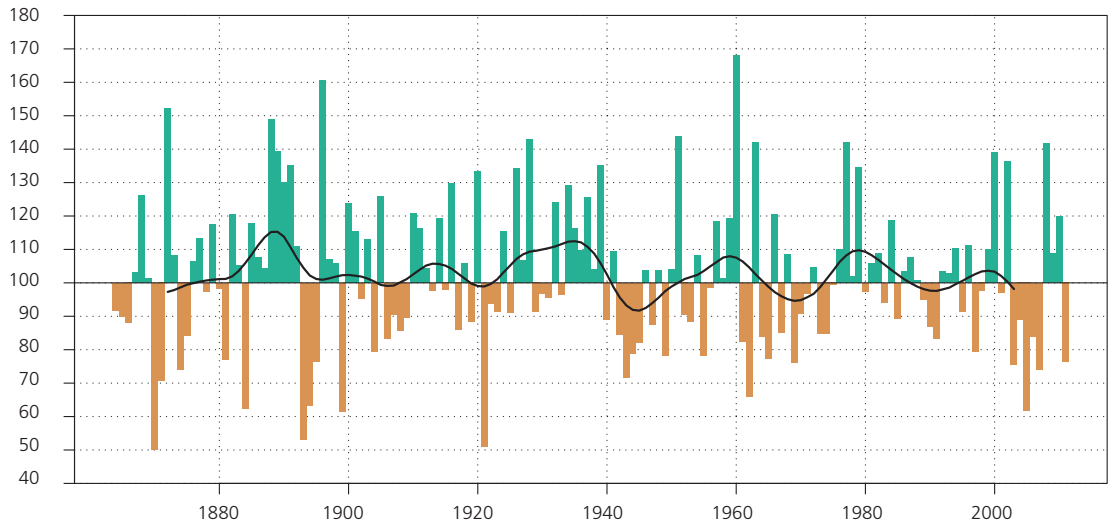
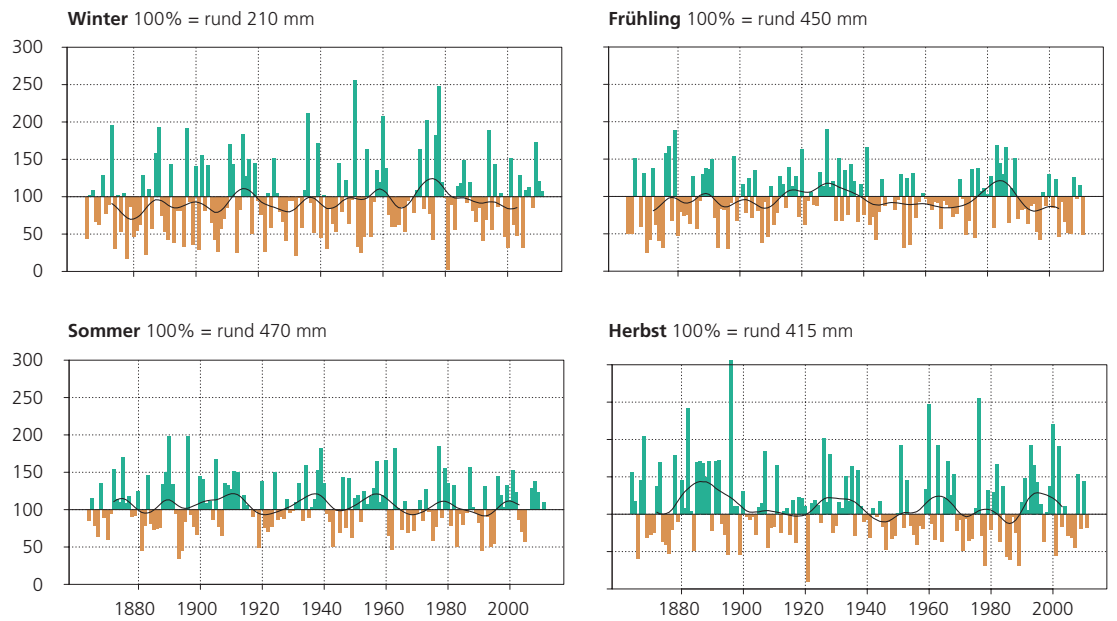


Abbildung 5.11:
Jahreszeitliche Nieder-
schlagssumme Lugano in
Prozent der Norm 1961-
1990 (grün = positive
Abweichungen, braun =
negative Abweichungen).
Die schwarze Kurve zeigt
das 20jährige, gewichtete
Mittel.



Periode	Frühling März-Mai	Sommer Juni-August	Herbst September-November	Winter Dezember-Februar	Jahr Januar-Dezember
1864-2011	+ 0.7% nicht signifikant	+ 0.2% nicht signifikant	- 0.1% nicht signifikant	+ 2.0% stark signifikant	+ 0.7% stark signifikant
1901-2011	+ 0.2% nicht signifikant	- 0.5% nicht signifikant	+ 0.9% nicht signifikant	+ 1.5% nicht signifikant	+ 0.7% nicht signifikant
1961-2011	- 0.9% nicht signifikant	+ 0.4% nicht signifikant	+ 4.2% nicht signifikant	- 1.5% nicht signifikant	+ 1.9% nicht signifikant

Tabelle 5.5:
Saisonale und jährliche Niederschlagstrends in Prozent pro 10 Jahre in den Perioden 1864-2011, 1901-2011 und 1961-2011, berechnet für das Mittelland.

Periode	Frühling März-Mai	Sommer Juni-August	Herbst September-November	Winter Dezember-Februar	Jahr Januar-Dezember
1864-2011	+ 0.1% nicht signifikant	+ 0.1% nicht signifikant	- 0.9% nicht signifikant	+ 1.2% nicht signifikant	+ 0.2% nicht signifikant
1901-2011	- 1.3% nicht signifikant	- 0.7% nicht signifikant	+ 0.4% nicht signifikant	+ 1.2% nicht signifikant	+ 0.4% nicht signifikant
1961-2011	- 1.7% nicht signifikant	+ 4.6% nicht signifikant	+ 1.2% nicht signifikant	- 2.1% nicht signifikant	+ 1.0% nicht signifikant

Tabelle 5.6:
Saisonale und jährliche Niederschlagstrends in Prozent pro 10 Jahre in den Perioden 1864-2011, 1901-2011 und 1961-2011, berechnet für die Südschweiz.



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

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

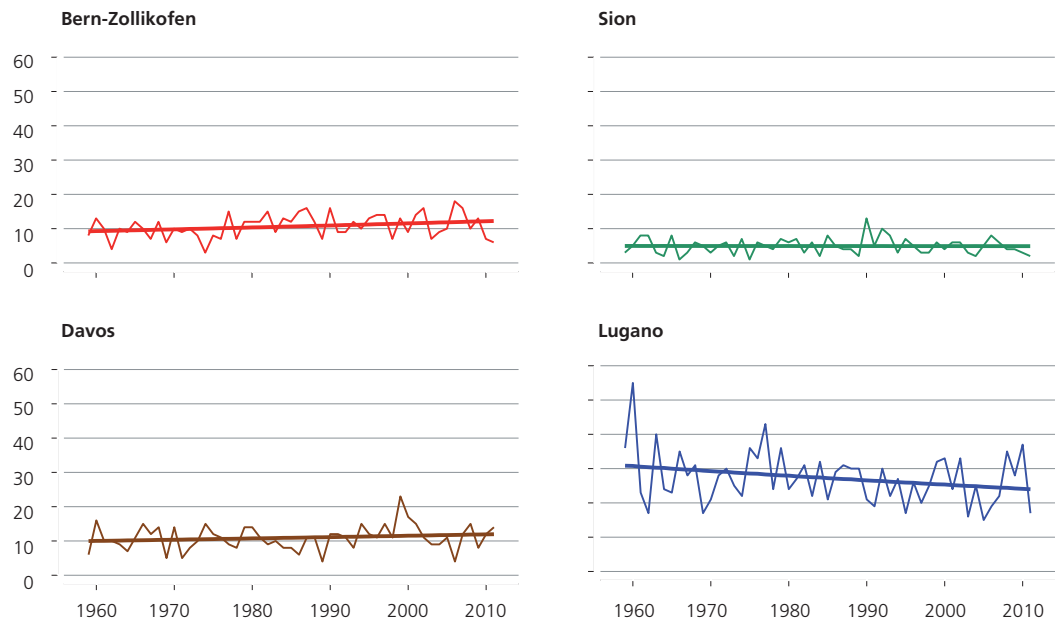
Ohne global wirksame Interventionsmassnahmen wird für die Schweiz ab 2050 im Sommer eine deutliche Niederschlagsabnahme erwartet. Bis 2099 soll diese laut den aktuellen Klimaszenarien, ausgehend vom Mittel 1980-2009, im Westen und Süden gegen 30 Prozent betragen. Tendenziell eher zunehmende Niederschlagssummen im Winter zeigen die Szenarien vor allem südlich der Alpen [23].

Tage mit starkem Niederschlag

Hinsichtlich der Niederschlags-Intensität verhielt sich das Jahr 2011 an den Messstandorten Bern, Sion und Lugano ruhig. Im Verhältnis zu den langjährigen Aufzeichnungen seit 1961 sind hier nur wenige Tage mit starkem Niederschlag aufgetreten. Am Messstandort Davos hingegen gehört 2011 zu den intensiveren Jahren.

Wie beim Niederschlagsregime generell sind bezüglich der Tage mit starkem Niederschlag keine signifikanten Trends feststellbar, wobei sie in Bern und Lugano nur knapp nicht signifikant sind. Auffallend ist die Feststellung, dass die langjährige Tendenz am Messstandort auf der Alpensüdseite im Gegensatz zu den anderen genannten Messstandorten in Richtung weniger Tage mit starkem Niederschlag weist. An anderen Südseiten-Messstandorten, wie z.B. Locarno Monti oder Airolo, ist diese abnehmende Tendenz nicht zu beobachten.

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



Niederschlag der sehr nassen Tage

Ganz analog zur Häufigkeit der Tage mit starkem Niederschlag verhielt sich im Jahr 2011 die Niederschlagssumme der sehr nassen Tage. An den Messstandorten Bern, Sion und Lugano lieferten die sehr nassen Tage eher geringe Niederschlagssummen, am Messstandort Davos hingegen eine der grössten seit 1961.

Im langfristigen Verlauf zeigt von den genannten Messreihen nur diejenige von Bern einen signifikanten Trend. Wie bereits bei der vorangehenden Diskussion der Tage mit starkem Niederschlag ist auch beim Niederschlag der sehr nassen Tage auffallend, dass die langjährige Tendenz am Messstandort in der Südschweiz im Gegensatz zu den anderen genannten Messstandorten in Richtung geringerer Mengen weist.

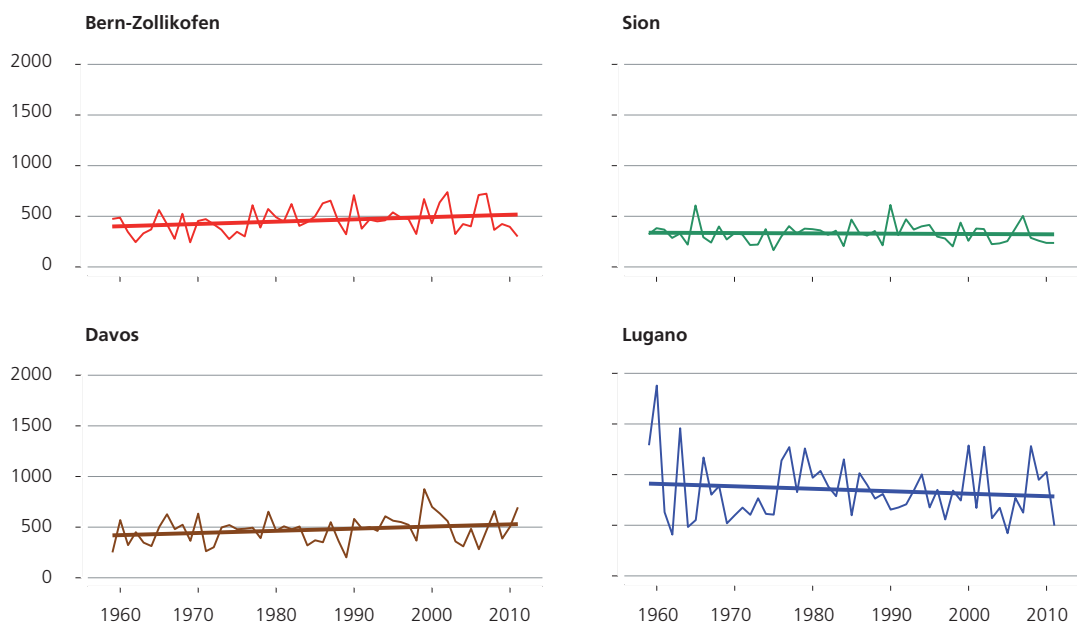


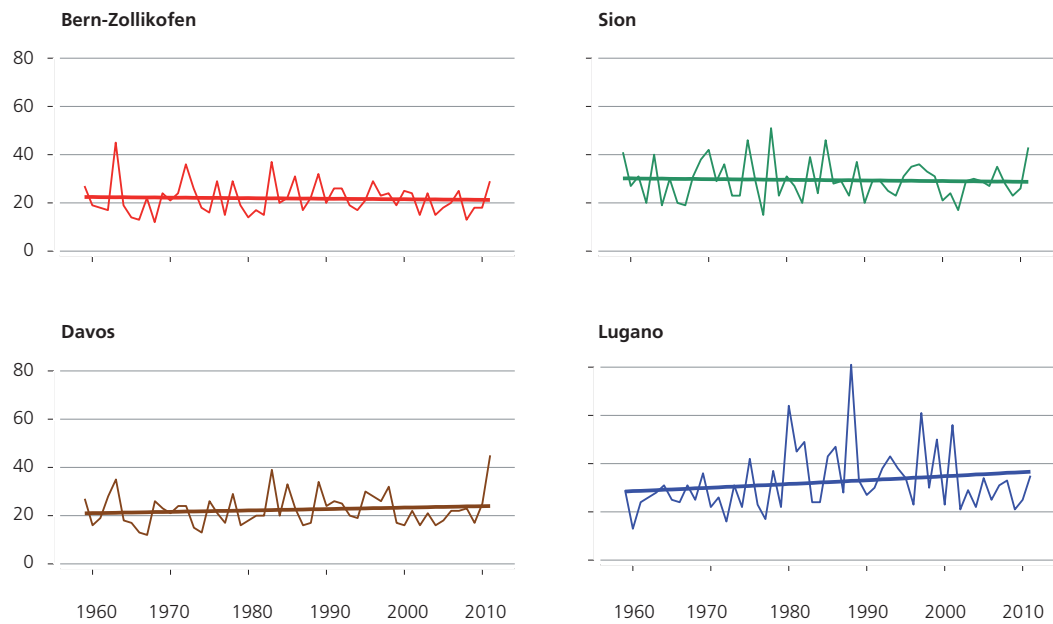
Abbildung 5.13: Jährliche Niederschlagssumme in mm aller sehr nassen Tage für die Stationen Bern, Sion, Davos und Lugano. Als sehr nasse Tage gelten jene, deren Tagesniederschlagssumme zu den 5% der höchsten Tagesniederschläge gehören. Als Referenzperiode gelten die Jahre 1961-1990.

Trockenperioden

Die bereits mehrfach in diesem Bericht erwähnte ausgeprägte Trockenheit im Jahr 2011 führte am Messstandort Davos zur deutlich längsten Trockenperiode in der Messreihe seit 1961. An den Messstandorten Sion und Bern trat letztmals vor mehr als 20 Jahren eine längere Trockenperiode auf. Am Messstandort Lugano auf der trockenheitsgewohnten Alpensüdseite hingegen brachte das Jahr 2011 keine ungewöhnlich langdauernde Trockenperiode.

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

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



Trockenheitsindex

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

Das Sommerhalbjahr (Vegetationsperiode) ist der entscheidende Zeitraum für die Landwirtschaft. Die aktuellen Daten weisen auf eine in den letzten Jahren anhaltende Trockenheit während der Vegetationsperiode hin. Die niedrigsten SPEI-Werte (1947, 1865, 2003, 1949, 1893, 1911) in dieser Reihe entsprechen genau denjenigen Jahren, in welchen die grössten landwirtschaftlichen Schäden auftraten. Die ausgeprägten Perioden mit negativem SPEI stimmen gut überein mit bekannten Dürreereignissen während der letzten 150 Jahre ([19], [18]).

Bern SPEI April-September

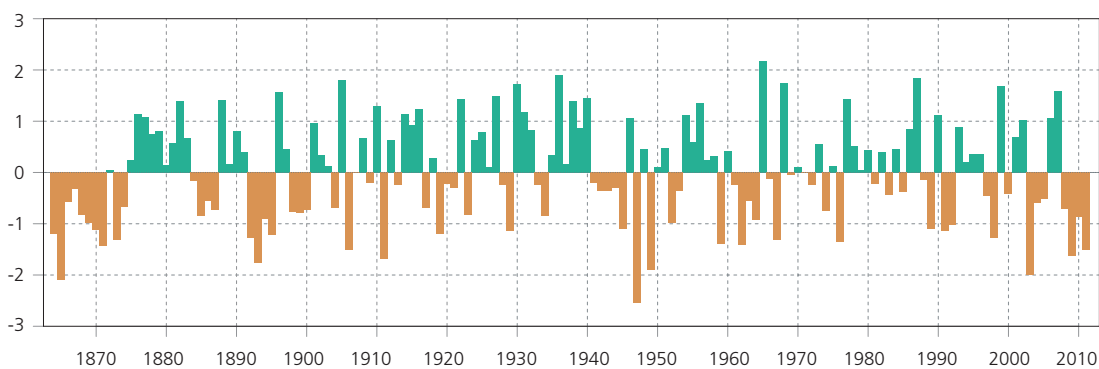


Abbildung 5.15:
SPEI über die gesamte Vegetationsperiode (6 Monate, April-September) an der Messstation Bern. Positive Werte bedeuten feuchtere und negative Werte trockenere Bedingungen als im Mittel.

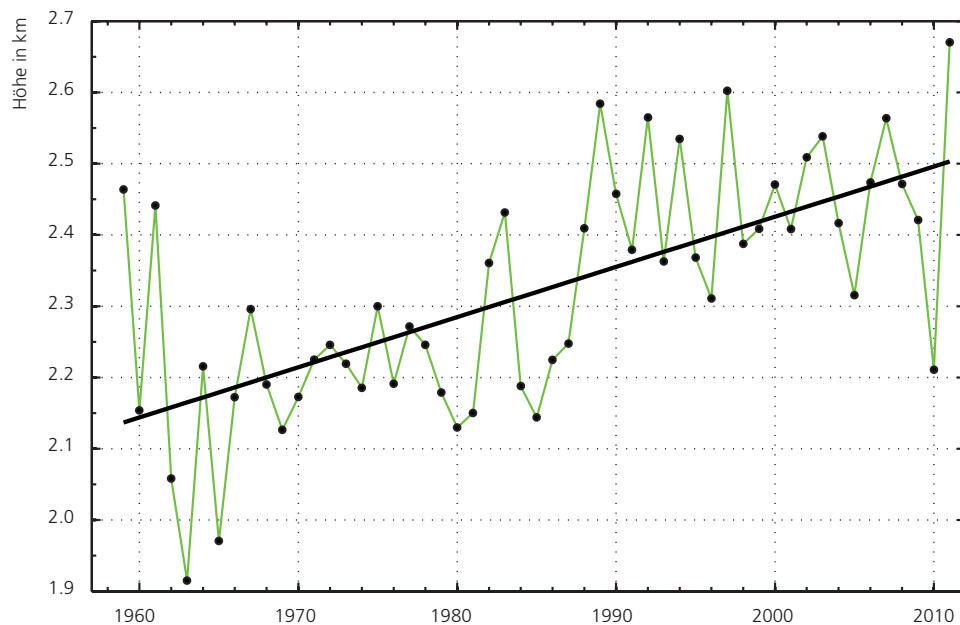
Freie Atmosphäre

Nullgradgrenze

Das Jahresmittel der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre, ermittelt aus den täglichen Ballonsondierungen, erreichte 2011 mit über 2650 m ü.M. den höchsten Wert in der Messreihe ab 1959. Die im Jahr 2011 an den Bodenmessstationen festgestellte Rekordwärme findet damit auch Ausdruck in der freien Atmosphäre.

Die hohe Lage der Nullgradgrenze 2011 folgt auf die ausgesprochen tiefe Lage im Vorjahr 2010, als der tiefste Wert seit über 20 Jahren registriert wurde. Die langjährige Entwicklung des Jahresmittels der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre verläuft praktisch identisch zur Entwicklung der Jahresmitteltemperatur der Schweiz. Sehr eindrücklich ist insbesondere die schnelle Änderung am Ende der 1980er Jahre erkennbar. Das Jahresmittel der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre steigt in der Periode 1959-2011 mit 70 m pro 10 Jahre signifikant an. Dies steht in guter Übereinstimmung mit den jahreszeitlichen Trends der Nullgradgrenze bestimmt aus Bodenmessstationen (Kapitel 5.1.1).

Abbildung 5.16:
Jahresmittel der Null-
gradgrenze 1959-2011
bestimmt aus den
täglichen Ballonsondierun-
gen der Aerologischen
Station Payerne.



5.1.3

Zusammensetzung der Atmosphäre**Ozonmessreihe Arosa**

Mit der Messreihe Arosa verfügt die Schweiz über die weltweit längste Messreihe des Gesamtozons der Atmosphäre. Die Messreihe zeigt ab Messbeginn 1927 bis etwa 1975 einen langjährigen Mittelwert von rund 330 DU. Zwischen 1975 und 1995 ergeben die Messungen eine signifikante Abnahme des Gesamtozons von rund 20 DU. Der stetige Rückgang des Gesamtozons über Arosa setzte in den 1970er Jahren ein, dem Zeitpunkt der starken Zunahme der Emissionen ozonabbauender Substanzen. In den letzten Jahren ist eine leichte Erholung zu beobachten [8]. Der Mittelwert zwischen 1995 und heute liegt bei rund 313 DU. Das Jahr 2011 brachte einen Jahreswert nahe diesem Mittelwert.

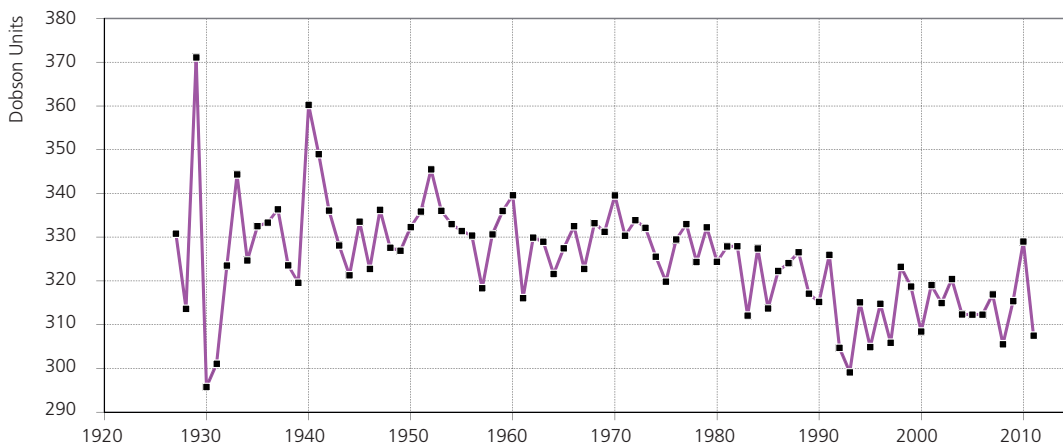
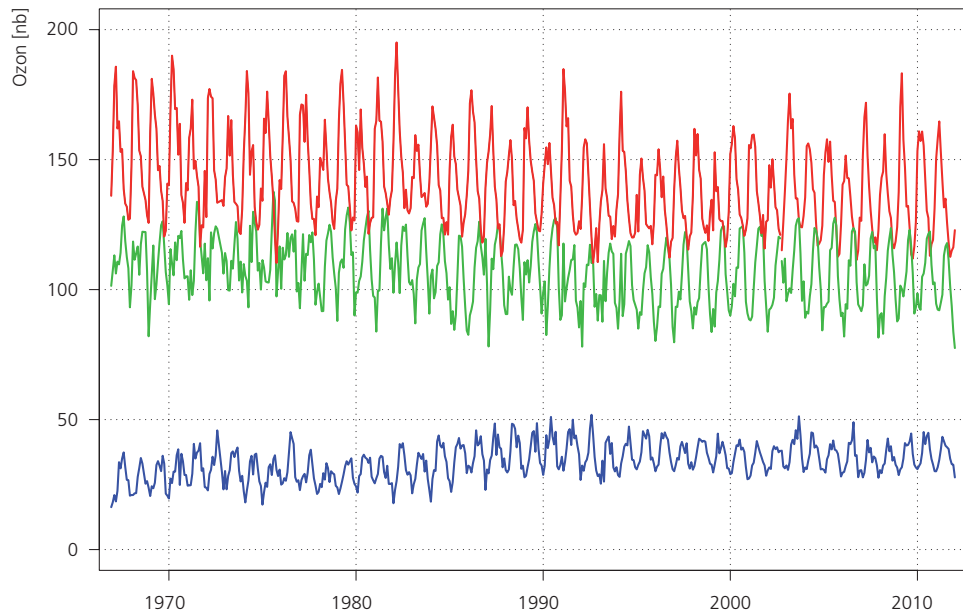


Abbildung 5.17:
Die Gesamtozon-Säule
Arosa 1927-2011. 100
Dobson Units (DU) = 1mm
reines Ozon bei 1013 hPa
und 0° C.

Seit 1968 werden Ozonmessungen mittels Ballonsonden von der Aerologischen Station der MeteoSchweiz in Payerne durchgeführt. Frühere Messungen stammen von der ETH Zürich. Diese ununterbrochene Sondierungsreihe ermöglicht es, die zeitliche Entwicklung der Ozonmenge in den verschiedenen Atmosphärenschichten nachzuvollziehen.

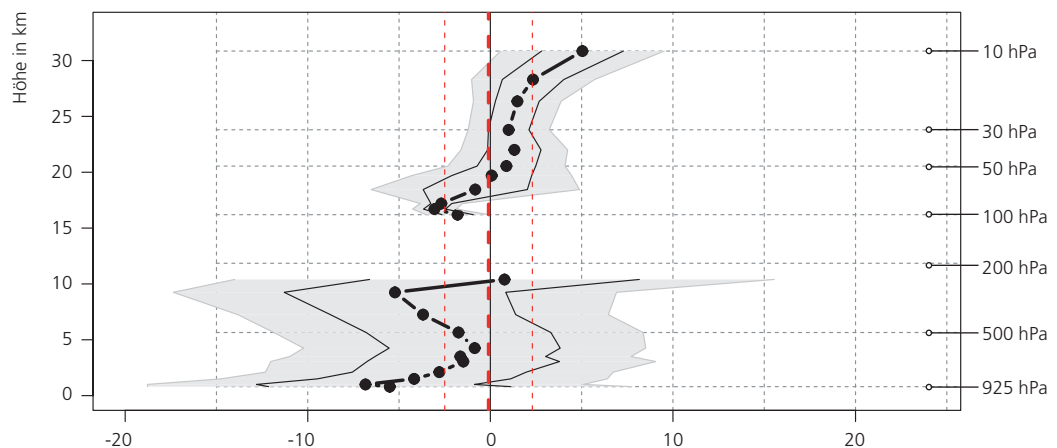
Abbildung 5.18:
Monatliche Ozonkonzentration auf den drei Höhen 3 km, 22 km und 27 km für die Periode 1967 bis 2011. Die Ozonkonzentration ist als Partialdruck in nanobar (nbar) angegeben.



Zwischen ca. 15 km und 18 km Höhe (untere Stratosphäre) ist in der Periode von 2001-2011 nach wie vor eine abnehmende Tendenz der Ozonkonzentration festzustellen (Abbildung 5.19). Oberhalb von 18 km (mittlere Stratosphäre) erscheint eine leicht zunehmende Tendenz, welche aber nicht signifikant ist. Der Bereich ohne Werte zwischen 10 km und 15 km kennzeichnet einen Höhenbereich, in dem keine Veränderungen gefunden werden. Unterhalb von 10 km (Troposphäre) ergeben sich abnehmende Tendenzen, welche aber auf den meisten Höhenniveaus nicht signifikant sind.

fikant ist. Der Bereich ohne Werte zwischen 10 km und 15 km kennzeichnet einen Höhenbereich, in dem keine Veränderungen gefunden werden. Unterhalb von 10 km (Troposphäre) ergeben sich abnehmende Tendenzen, welche aber auf den meisten Höhenniveaus nicht signifikant sind.

Abbildung 5.19:
Veränderung der Ozonkonzentrationen von 2001 bis 2011 in verschiedenen Höhen zwischen 0.5 km und 31 km, ausgedrückt in prozentualen Konzentrationsänderungen auf den entsprechenden Höhen pro 10 Jahr (%/10 Jahre).



Sahara-Staub

Mineralstaub ist ein wichtiger Bestandteil des atmosphärischen Aerosols und die Sahara ist die grösste Quelle von Mineralstaub. Sein Beitrag an der europäischen Aerosolbelastung wurde bislang abgeschätzt durch "roten Regen" oder den Staubanteil in Schnee und Eis. Kontinuierliche Messungen der Streuungs- und Absorptionskoeffizienten unterschiedlicher Wellenlängen werden seit 2001 an der hochalpinen Forschungsstation Jungfraujoch durchgeführt, die zentral in den Schweizer Alpen auf 3580 m über Meer gelegen ist.

Diese Multiwellenlängenmessungen erlaubten die Entwicklung einer neuen operationellen Methode, die das Auftreten von Saharastaub-Ereignissen (Saharan dust events, SDE) am Jungfraujoch mit einer stündlichen Zeitauflösung erkennen lassen. Somit kann nun die Häufigkeit von Mineralstaub-Ereignissen in den Alpen untersucht werden. Eine neunjährige Klimatologie der Saharastaub-Ereignisse wurde erstellt. Saharastaub-Ereignisse tragen im Allgemeinen während des Frühjahrs (März bis Juni) wie auch im Oktober und November stark zur Aerosolbelastung über den Alpen bei. Im Sommer gibt es nur wenige Ereignisse und im Winter sehr kurze.

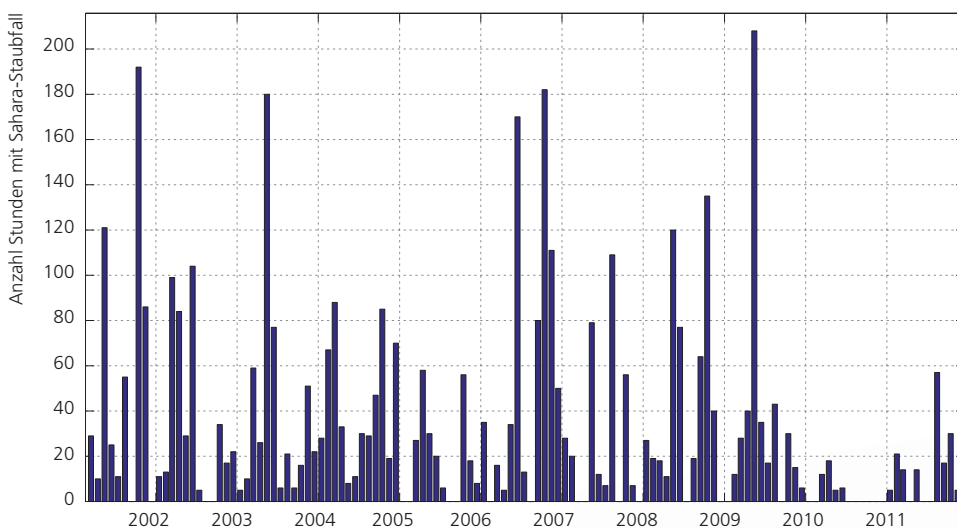


Abbildung 5.20:
Anzahl Stunden pro Monat mit Sahara-Staubfall (Saharan Dust Events SDE) am Messstandort Jungfraujoch 2001-2011. Im Jahr 2011 konnten die Messwerte über längere Perioden nicht verwendet werden. Die Erfassung der Saharastaub-Ereignisse war in diesen Perioden nicht möglich.



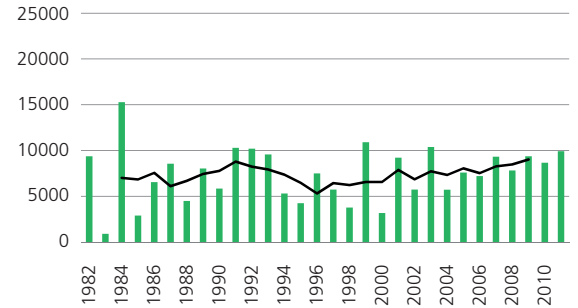
Pollenintensität

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 Heuschnupfen-symptome der Pollenallergiker.

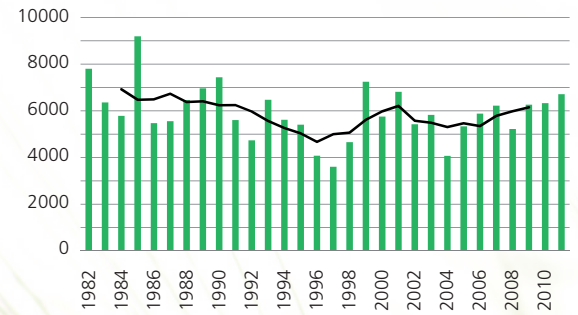
Bei der Birke hängt die Intensität der Pollensaison einerseits vom Wetter des Vorjahres ab, da die Blütenkätzchen schon im Sommer des Vorjahres angelegt werden. Warmes Wetter begünstigt die Anlage einer grösseren Zahl von Blütenkätzchen. Weiter hängt die Intensität auch vom Wetter während der Blütezeit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

Im Jahr 2011 wiesen Haseln, Buchen und Eichen eine sehr intensive Pollensaison auf. Dabei wurden an vielen Stationen die höchsten saisonalen Pollenindices (Summe der täglichen Pollenkonzentrationen) der Vergleichsperiode erreicht. Sehr unterschiedlich war die Intensität bei Erlen, Birken und Eschen: während in der Deutschschweiz meist sehr hohe Pollenmaxima und Pollenindices gemessen wurden, zeigte die Westschweiz und das Tessin eher eine schwache Saison der Baumpollen. Auch bei den Gräserpollen zeigte sich diese Zweiteilung: die Deutschschweiz und das Tessin hatten eine deutlich intensivere Gräserpollensaison als die Westschweiz. Die Beifusspollensaison lag ungefähr im Mittel, während die Ambrosiasaison an vielen Stationen zu den stärksten gehörte.

Zentral- und Ostschweiz



Zentral- und Ostschweiz



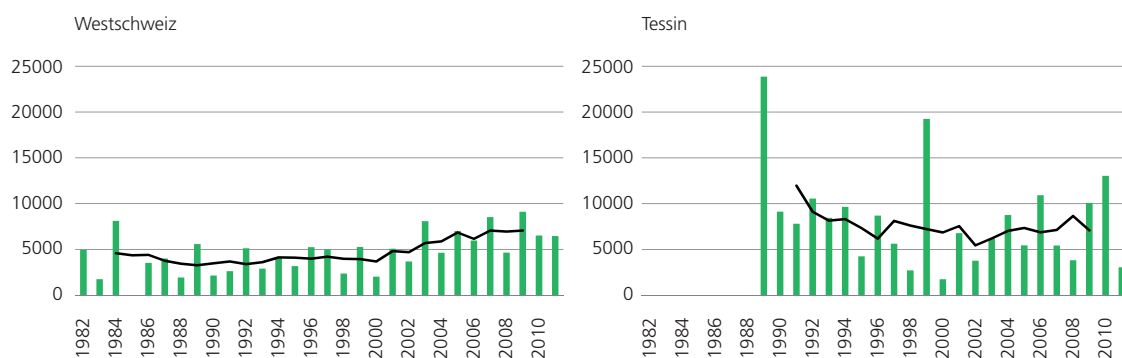


Abbildung 5.21: Intensität des Birkenpollenflugs in drei Regionen 1982-2011. Der saisonale Pollen Index ist die Summe der täglichen Pollenkonzentration.

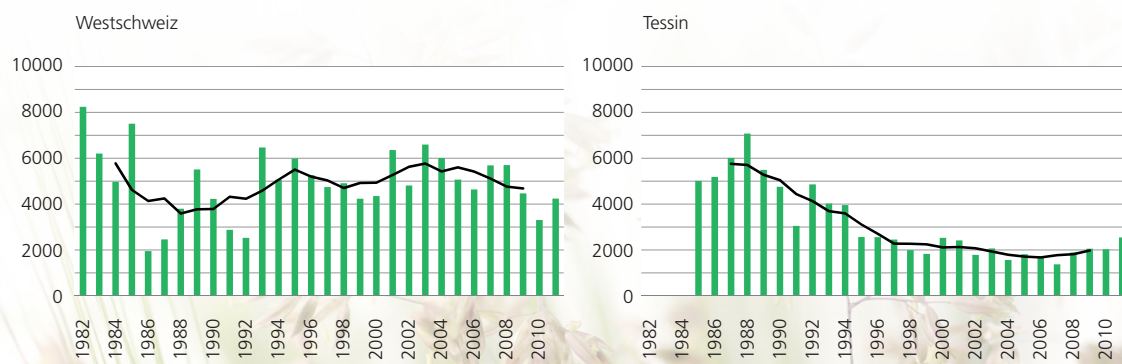


Abbildung 5.22: Intensität des Gräserpollenflugs in drei Regionen 1982-2011. Der saisonale Pollen Index ist die Summe der täglichen Pollenkonzentration.



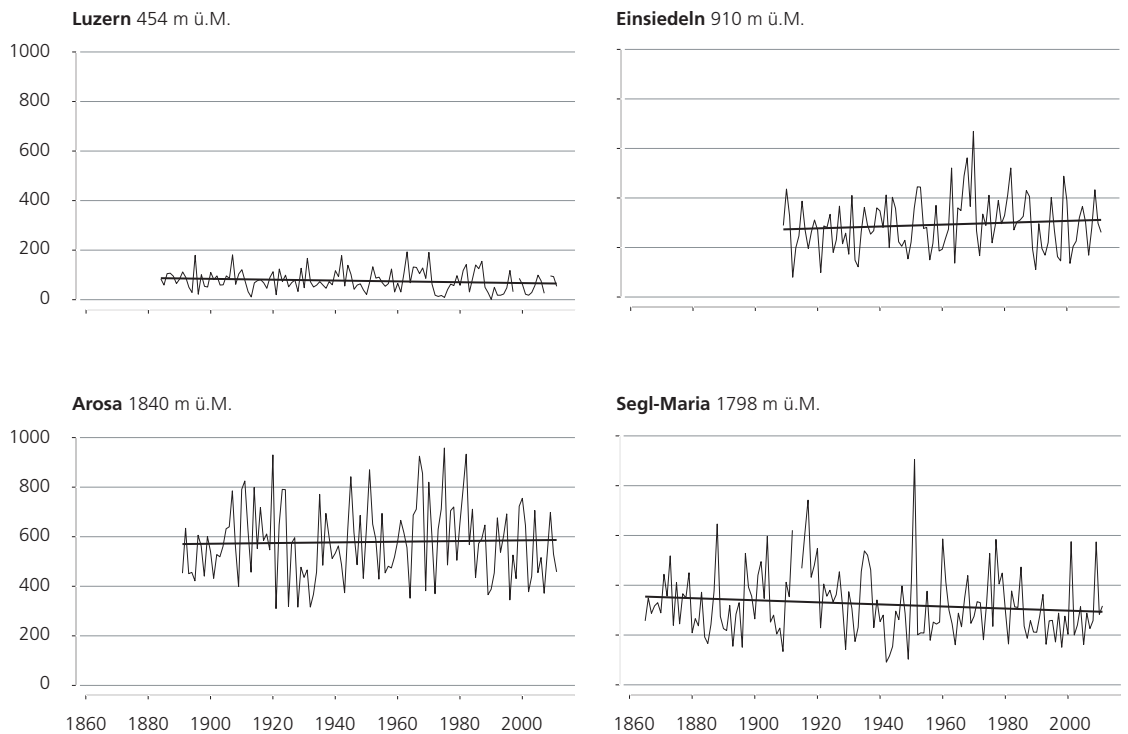
5.2 Landoberfläche

Neuschneesummen und Tage mit Neuschnee

Nach einem winterlich kalten und im Mittelland schneereichen Dezember 2010 herrschte im Januar und Februar 2011 sehr milde und niederschlagsarme Witterung, was nicht nur im Flachland, sondern auch in den Alpen zu einer ausgeprägten Schneearmut führte. In mittleren Höhenlagen um 2000 m ü.M. lag nur rund die Hälfte der üblichen Schneemenge. Erst im März gab es in den Bergen wieder Neuschneefälle von Bedeutung. Das Winterhalbjahr 2010/11 verzeichnete schliesslich unterdurchschnittliche Schneemengen, gehörte aber nicht zu den speziell schneearmen in den ab Ende des 19. Jahrhunderts verfügbaren Messreihen.

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

Abbildung 5.23:
Neuschneesummen in
cm im Winterhalbjahr
ab Messbeginn bis 2011
an den Messstationen
Luzern, Einsiedeln, Arosa
und Segl-Maria.



Die Anzahl Tage mit messbarem Neuschnee war an den alpinen Messstandorten Einsiedeln, Arosa und Segl-Maria etwas überdurchschnittlich, am Messstandort Luzern etwas unterdurchschnittlich im Vergleich zur jeweils gesamten Messperiode.

Einen signifikanten Trend zu mehr Tagen mit Neuschnee zeigen die Messreihen von Arosa (+1.8 Tage/10 Jahre) und Einsiedeln (+0.7 Tage/10 Jahre). Die genauere Betrachtung macht jedoch deutlich, dass hier insbesondere die Phase ab den 1960er Jahren bis in die 1980er Jahre mehr Tage mit Neuschnee lieferte, während die Werte vorher und nachher sichtbar tiefer liegen.

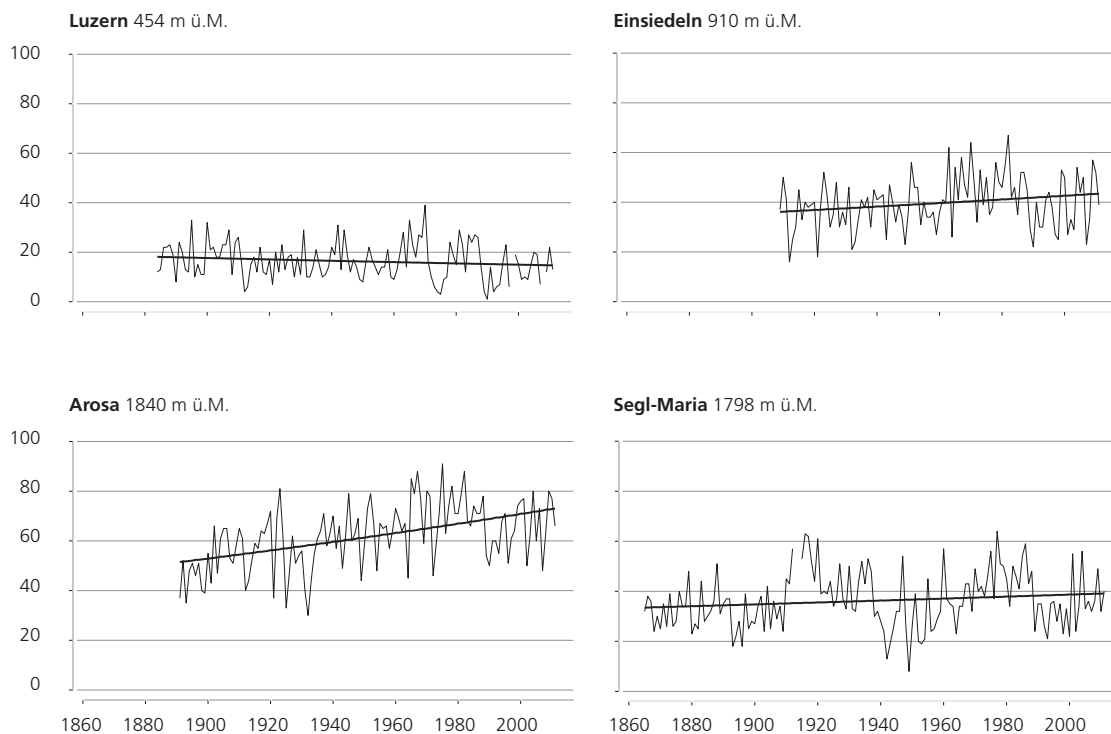
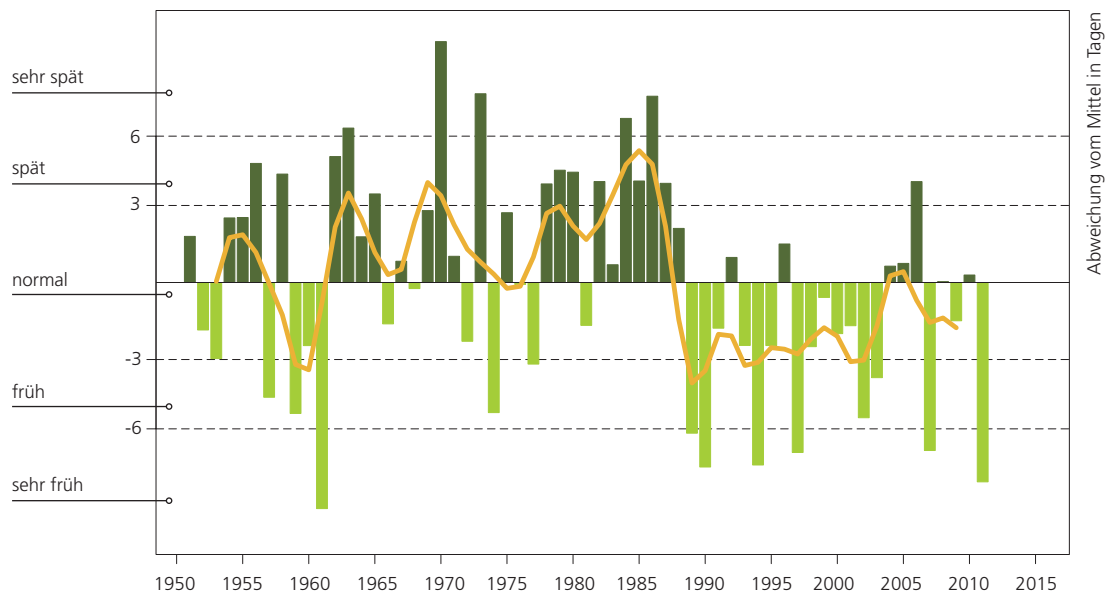


Abbildung 5.24:
Anzahl Tage mit Neuschnee im Winterhalbjahr ab Messbeginn bis 2011 an den Messstationen Luzern, Einsiedeln, Arosa und Segl-Maria.

Der Frühlingsindex wird als Masszahl verwendet, um den Stand der Vegetationsentwicklung im Frühling im Verhältnis zu den Vorjahren bzw. im Verhältnis zum langfristigen Mittel zu charakterisieren. Die Vegetationsentwicklung im Frühling ist hauptsächlich vom Gang der Winter- und Frühlingstemperatur abhängig [7]. Die milde Witterung im Januar und Februar 2011 sowie der extrem warme Frühling 2011 lösten eine extrem frühe Vegetationsentwicklung aus.

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) dargestellt als Abweichung in Tagen vom langjährigen Durchschnitt des Standes der Vegetationsentwicklung. Die ausgezogene Linie zeigt das 5jährige gewichtete Mittel.



Blattausbruch Rosskastanie Genf und Kirschblüte Liestal

Seit 1808 wird der Zeitpunkt des Blattausbruchs der Rosskastanie in Genf registriert. Dies ist die längste phänologische Messreihe der Schweiz. Ab etwa 1900 ist ein deutlicher Trend zu früheren Eintrittsterminen ersichtlich. Als Folge des im Vergleich zu den letzten zwei Jahrzehnten unterdurchschnittlich temperierten Winters 2010/2011 erfolgte der Blattausbruch Ende Februar 2011 eher spät.

Von ebenso grosser Bedeutung ist die zweite historische Zeitreihe, die Eintrittsdaten der Blüte der Kirschbäume bei der ländlichen Station Liestal, die seit 1894 existiert. Hier lässt sich erst ab etwa 1990 ein Trend zu früheren Eintrittsterminen feststellen. Der Eintrittstermin Anfang April 2011 liegt im Vergleich zu den letzten zwei Jahrzehnten im Mittelfeld.

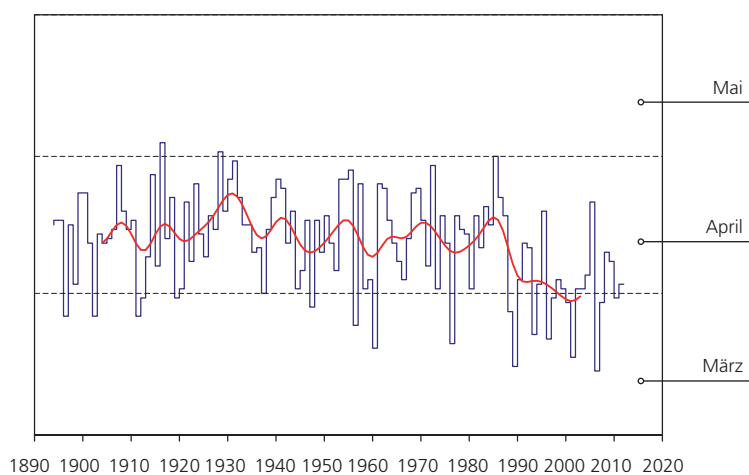
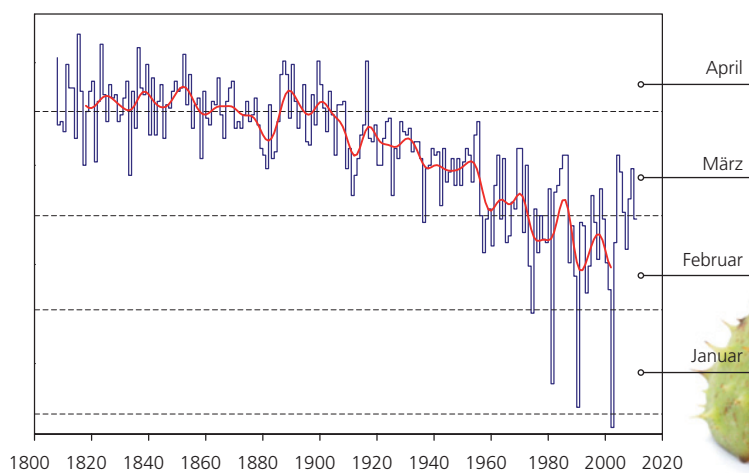


Abbildung 5.26:
Blüte der Kirschbäume
bei Liestal 1894-2011
(oben) und Blattausbruch
der Rosskastanie in Genf
1808-2011 (unten).



5.3 Datengrundlagen & Methoden

Ausgewählte Klimaindikatoren nach WMO

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

Temperatur

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

Nullgradgrenze bestimmt aus Bodenmessstationen

Der Berechnung der Nullgradgrenze liegt folgendes Vorgehen zu Grunde: Für jeden Zeitpunkt (hier saisonal, also z.B. Winter 1962) wird über eine lineare Regression zwischen homogenisierten Temperaturmittelwerten und Höhe über Meer die Höhe der Nullgradgrenze sowie eine Abschätzung deren Unsicherheit bestimmt [6]. Auf der Basis der einzelnen Jahreswerte wird die zeitliche Veränderung der Höhe der Nullgradgrenze berechnet (Trend in m/10 Jahre). Verwendet werden alle 29 Stationen aus dem Klimamessnetz (Swiss NBCN) [1]. Zu beachten ist, dass die Nullgradgrenzenbestimmung je nach Saison unterschiedlich stark fehlerbehaftet ist (graue Fehlerbalken in der Grafik). Im Frühling und Herbst ist die Bestimmung relativ genau möglich, da sowohl recht gute lineare Beziehungen zwischen Temperatur und Höhe besteht, wie auch die Nullgradgrenze noch in Höhen liegt, wo Messstationen vorhanden sind. Im Winter und speziell im Sommer ist die Bestimmung unsicherer, allerdings aus verschiedenen Gründen. Im Winter ist die Bestimmung schwierig, da Kaltluftseen und Nebel sowie Frontdurchgänge die Beziehung zwischen Temperatur und Höhe stark verwischen und keine schöne lineare Beziehung zwischen Temperatur und Höhe besteht. Im Sommer ist die Beziehung zwar ziemlich linear, doch die Höhe der Nullgradgrenze liegt weit über den verfügbaren Stationen. Damit haben kleinste Unsicherheiten der Temperatur-Höhen Beziehung grosse Auswirkungen auf den Fehlerbereich der Nullgradgrenze.

Niederschlag

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

Tage mit starkem Niederschlag

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

Niederschlag der sehr nassen Tage

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

Trockenheitsindex

Die Indizes SPI (standardized precipitation index) und SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index) zeigen die Abweichungen vom mittleren Niederschlag und der mittleren klimatischen Wasserbilanz (Differenz von Niederschlag und potenzieller Verdunstung) an. Positive Werte bedeuten feuchtere und negative Werte trockenere Bedingungen als im Mittel.

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

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

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

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

Pollenintensität

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

Neuschneesummen und Tage mit Neuschnee

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

Frühlingsindex

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

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

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

Referenzen

- [1] Begert M., Seiz G., Foppa N., Schlegel T., Appenzeller C., Müller G., 2007: Die Überführung der klimatologischen Referenzstationen der Schweiz in das Swiss National Climatological Network (Swiss NBCN). Arbeitsbericht MeteoSchweiz, 215.
- [2] Begert M., Seiz G., Schlegel T., Musa M., Baudraz G., Moesch M., 2003: Homogenisierung von Klimamessreihen der Schweiz und Bestimmung der Normwerte 1961-1990. Schlussbericht des Projekts NORM90. MeteoSchweiz, Zürich.
- [3] North N., Kljun N., Kasser F., Heldstab J., Maibach M., Reutimann J., Guyer M., 2007: Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Umwelt-Zustand Nr. 0728. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- [4] siehe <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/>
- [5] Frei C. and Schär C., 2001: Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitations in the Alpine region. *Journal of climate* 14: 1568-1584.
- [6] siehe <http://www.r-project.org>
- [7] Studer S., Appenzeller C. and Defila C., 2005: Inter-annual variability and decadal trends in Alpine spring phenology: A multivariate analysis approach. *Climatic Change* 73: 395-414.
- [8] Favaro G., Jeannet P., Stübi R., 2002: Re-evaluation and trend analysis of the Payerne ozone soundings. Veröffentlichungen der MeteoSchweiz Nr. 63. MeteoSchweiz, Zürich.
- [9] Beniston M., 1997: Variations of snow depth and duration in the swiss alps over the last 50 years: Links to changes in large-scale climatic forcings, *Climatic Change* 36 (1997), 281-300.
- [10] Scherrer S.C., Appenzeller C., Laternser M., 2004: Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and large-scale climate variability. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13215, doi: 1029/2004GL020255.
- [11] Laternser M., Schneebeli M., 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931-99). *International Journal of Climatology* 23: 733-750.
- [12] Marty C., 2008: Regime shift of snowdays in Switzerland, *Geophys. Res. Lett.* 35, L12501, doi: 10.1029/2008GL033998.
- [13] Wüthrich C., 2008: Lange Schneemessreihen der Schweiz, Aufarbeitung der längsten Schneemessreihen und Trendanalyse ausgewählter Schneeparameter, Geographisches Institut der Universität Bern, Diplomarbeit.
- [14] University of East Anglia, 2011: Temperature anomaly (from the base period 1961-90) datasets HadCRUT3 and CRUTEM3. <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#datdow>
- [15] IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [16] Collaud Coen M., Weingartner E., Nyeki S., Cozic J., Henning S., Verheggen B., Gehrig R., Baltensperger U., 2007: Longterm trend analysis of aerosol variables at the high alpine site Jungfraujoch. *Journal of Geophysical Research*, 112, D13213, doi: 10.1029/2006JD007995.
- [17] Begert M., Schlegel T., Kirchhofer W., 2005: Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. *International Journal of Climatology* 25: 65-80.
- [18] Calanca, P., 2007: Climate change and drought occurrence in the Alpine region: How severe are becoming the extremes? *Global and Planetary Change*, 57, 1-2, 151-160. doi: 10.1016/j.gloplacha.2006.11.001
- [19] Pfister, C., Rutishauser, M., 2000: Dürresommer im Schweizer Mittelland seit 1525. Workshopbericht „Trockenheit in der Schweiz“, Organe Consultatif sur les Changements Climatiques (OcCC), Bern. 17 S. und 2 Anhänge. (http://www.occc.ch/reports_e.html)
- [20] McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales, *Proc. 8th Conf. on Applied Climatology*, Jan.17-22, American Meteorological Society, Boston, pp. 179-184.

- [21] Vicente-Serrano S., Bugueria S., Lopez-Moreno J., 2010: A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, *J of Climate*, 23, 1696-1718, doi: 10.1175/2009JCLI2909.1
- [22] Seiz G., Foppa N., 2007: Nationales Klima-Beobachtungssystem (GCOS Schweiz). Publikation von MeteoSchweiz und ProClim, 92 S. http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_international/gcos/publikationen/Berichte.Par.0026.DownloadFile.tmp/seiz2007.pdf
- [23] CH2011, 2011: Swiss Climate Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. <http://www.ch2011.ch/>
- [24] WMO, 2003: GCOS-82. Second Report on the Adequacy of the Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC. WMO TD 1143.
- [25] WMO 2012: WMO statement on the status of the global climate in 2011. WMO Nr.-1085 http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/1085_en.pdf
- [26] MEI-Datenunter: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/people/klaus.wolter/MEI/table.html>
- [27] Collaud Coen M., Weingartner E., Furger M., Nyeki S., Prévôt A. S. H., Steinbacher M., and Baltensperger U., 2011: Aerosol climatology and planetary boundary influence at the Jungfraujoch analyzed by synoptic weather types. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 5931-5944, doi: 10.5194/acp-11-5931-2011.

Adressen

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

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

MeteoSvizzera
Via ai Monti 145
CH-6605 Lorcarno Monti
T +41 91 756 23 11

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

MétéoSuisse
Les Industries
CH-1530 Payerne
T +41 26 662 62 11

**Website**

www.meteoschweiz.ch

**Download**

www.meteoschweiz.ch

**Kontakt**

klimainformation@meteoschweiz.ch