Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
**Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz**

MeteoSchweiz

**Fachbericht MeteoSchweiz Nr. 260**

# Der Hitzesommer 2015 in der Schweiz

MeteoSchweiz

**ISSN: 2296-0058**

**Fachbericht MeteoSchweiz Nr. 260**

# Der Hitzesommer 2015 in der Schweiz

MeteoSchweiz

**Redaktion**
Dr. Stephan Bader, Dr. Erika Kienast, Dr. Simon Scherrer, Dr. Cornelia Schwierz

**Autoren**
Dr. Stephan Bader, Michael Begert, Dr. Jonas Bhend, Joël Fisler, Dr. Regula Gehrig, Dr. Sven Kotlarski, Dr. Mark Liniger, Dr. Felix Maurer, Daniel Murer, Dr. Rolf Philipona, Dr. Jan Rajczak, Gonzague Romanens, Dr. Simon Scherrer, Dr. Christoph Schmutz, Dr. Christoph Spirig

**Empfohlene Zitierung:**
MeteoSchweiz, 2016, Der Hitzesommer 2015 in der Schweiz, *Fachbericht MeteoSchweiz,* **260,** 68 pp.

**Herausgeber:**
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz, © 2016

**MeteoSchweiz**
Operation Center 1
CH-8044 Zürich-Flughafen
T +41 58 460 99 99
www.meteoschweiz.ch

# Zusammenfassung

Der Schweizer Sommer 2015 geht als Zweitwärmster in die 152-jährige Mess-Geschichte ein. Das Schweizer Temperaturmittel war im Vergleich zur Normperiode 1981–2010 2.4 Grad höher. Damit liegt der Sommer 2015 mehr als ein Grad über allen bisherigen Rekordsommern, mit Ausnahme des legendären Hitzesommers 2003, der nochmals rund ein Grad wärmer war als der Sommer 2015. Die Vorhersagen und Hitzewarnungen von MeteoSchweiz waren von hoher Qualität. Simulationen des zukünftigen Klimas zeigen, dass Häufigkeit und Intensität von Hitzewellen in Zukunft stark zunehmen werden.

**Zahlreiche neue Klima-Rekorde**

Die grosse Wärme setzte bereits zum Sommerbeginn ein. Mit einem Überschuss von 1.8 Grad gegenüber der Norm 1981–2010 wurde der viertwärmste Juni seit Messbeginn 1864 aufgezeichnet.

Zwei aussergewöhnliche Hitzeperioden, vom 1. bis 7. Juli sowie vom 16. bis 24. Juli, prägten den weiteren Verlauf. Vom 1. bis zum 7. Juli 2015 erlebte die Schweiz eine der extremsten Hitzewochen seit Messbeginn. Die durchschnittliche Tagesmaximum-Temperatur erreichte im Flachland der Alpennordseite 33 bis über 36 Grad. Am Messstandort Genf war es mit 36.3 Grad praktisch gleich heiss wie während der Rekordwoche im Sommer 2003, die 36.7 Grad brachte. Zum Abschluss dieser Hitzewoche registrierte Genf am 7. Juli 2015 mit 39.7 Grad die höchste je auf der Alpennordseite gemessene Temperatur. Sie liegt fast 1 Grad über dem bisherigen Rekord von 38.9 Grad vom 28. Juli 1921, gemessen ebenfalls in Genf.

Die Alpensüdseite erlebte die grosse Hitze ab Mitte Juli. Die heisseste Woche erstreckte sich vom 17. bis am 23. Juli. In Locarno-Monti stieg die durchschnittliche Tagesmaximum-Temperatur auf 34.7 Grad. Auch hier war es praktisch gleich heiss wie während der Rekordwoche vom August 2003, die 35.0 Grad zeigte. Das südalpine Hitzemaximum des Jahres 2015 wurde am 22. Juli mit einem Tagesmaximum von 36.8 Grad am Messstandort Locarno-Monti gemessen. Das ist der dritthöchste Messwert in der seit 1935 verfügbaren Messreihe von Locarno-Monti.

Der Juli war somit auf der Alpensüdseite, im Engadin, im Wallis und in der Westschweiz verbreitet der heisseste Monat seit Messbeginn. In den übrigen Gebieten gehörte er meist zu den drei heissesten Monaten in den über 150-jährigen Aufzeichnungen mit Monatstemperaturen 3 bis 4 Grad über der Norm. Zum Abschluss lieferte der Sommer 2015 den viertwärmsten August seit Messbeginn. Über die ganze Schweiz gemittelt stieg die Augusttemperatur 1.8 Grad über die Norm.

**Vorhersage und Warnungen von hoher Qualität**

In den Vorhersage-Modellen zeichnete sich der Beginn der ersten Hitzewelle von 1. bis 7. Juli bereits zehn Tage vor der ersten Hitzewoche gut ab. Der erste Warnausblick für eine mögliche Hitzewelle der Stufe 3 wurde am 26. Juni ausgegeben, also eine Woche vor Ereignisbeginn. Der Warnausblick

erstreckte sich über die Westschweiz und das Wallis mit der Gültigkeit vom 1. bis 3. Juli. Am 27. Juni wurde der Warnausblick auf die übrigen Regionen nördlich der Alpen und am 28. Juni auf den Zeitraum bis zum 4. Juli ausgedehnt.

Die Ausgabe der eigentlichen Warnungen startete am 29. Juni. Die Warnungen wurden täglich bestätigt und der Ausblick jeweils um einen Tag erweitert, bis sie am 7. Juli für die ganze Schweiz aufgehoben wurden. Dasselbe Verfahren wurde für die zweite Hitzewelle angewendet.

Die Verifikation des Warnablaufs zeigte, dass über die erste Hitzewelle vom 30. Juni bis am 7. Juli 2015 richtig gewarnt wurde. Die zweite Hitzewelle vom 15. bis am 24. Juli wurde nördlich der Alpen zur Hälfte überwarnt, also «überflüssig» gewarnt, denn die Schwellwerte wurden später nicht erreicht. Südlich der Alpen erwiesen sich die Warnungen stets als richtig.

Die Einsatzorganisation MeteoSchweiz (EO Met) war während 16 Tagen im Einsatz. Dank der koordinativen Tätigkeit der EO Met, insbesondere durch die regelmässigen und konsistenten Mitteilungen an die Medien, war die Sichtbarkeit von MeteoSchweiz schweizweit hoch. Die Informationskanäle (Webseite, Blog, Facebook, Twitter) wurden aktiv genutzt und optimal koordiniert, insbesondere mit den anderen Bundesämtern.

**Extreme Hitze und Trockenheit beeinträchtigten die Vegetation**

Die Anzahl Hitzetage hat in der Schweiz seit 1961 an allen Stationen zugenommen. Die mit Abstand meisten Hitzetage wurden in den Rekordsommern 2003 und 2015 gemessen. Fast überall in der Schweiz wurden im Jahr 2015 sogar noch mehr Tropennächte verzeichnet als im Jahr 2003. Auch die Nullgradgrenze lag in den beiden Sommern bei knapp 4000 m ü. M. aussergewöhnlich hoch, nämlich etwa 400 m über der Norm.

Alle drei Sommermonate wiesen zudem unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen auf. In der Schweiz erreichten die Sommerniederschläge verbreitet nur zwischen 60 und 80 Prozent der Norm. Einzig im Wallis und regional auf der Alpensüdseite fielen, über den ganzen Sommer gesehen, normale oder überdurchschnittliche Mengen – dies aber vor allem wegen der Niederschläge im August.

Die hohen Temperaturen wirkten sich bei der Vegetation vor allem auf den Beginn der Sommer- und Frühherbstphasen aus, die deutlich früher als im Mittel auftraten. Die Blattverfärbung trat ungefähr im normalen zeitlichen Rahmen auf und wies nicht so viele frühe Eintrittsdaten auf wie im Jahr 2003. Mögliche Gründe dafür war die geringere Trockenheit im Sommer 2015 (verglichen mit 2003) und die Temperaturen im September, die im Vergleich zur Norm zu kühl waren.

**Und in der Zukunft?**

Zur erwarteten Häufigkeit und Intensität von zukünftigen Hitzewellen wurden Simulationen mit insgesamt 14 regionalen Klimamodellen herangezogen. Diese zeigen deutliche und robuste Erhöhungen der mittleren Maximaltemperatur (Mittel über Perioden von jeweils 14 Tagen) von zum Teil über sechs Grad gegenüber heutigen Werten. Somit werden auch die Anzahl Hitzetage zunehmen. Heute treten Hitzeperioden seltener als 0.5 Mal jährlich auf. Für die Periode 2070–2099 zeigen Klimamodelle je nach Standort im Mittel zwischen 1 und 2.5 Ereignisse pro Jahr auf.

# Résumé

La Suisse a vécu son deuxième été le plus chaud depuis le début des mesures il y a 152 ans. Moyenné pour l'ensemble de la Suisse, l'excédent thermique s'est élevé à 2.4 degrés par rapport à la norme 1981-2010. Ainsi, cet été 2015 a été un degré plus chaud que les précédents étés les plus chauds. Seul l'exceptionnel été caniculaire 2003 fait figure d'exception. Celui-ci s'était montré près d'un degré encore plus chaud que l'été 2015. Les prévisions et les alertes de canicule émises par MétéoSuisse ont été de bonne qualité. Les simulations sur le climat du futur montrent que la fréquence et l'intensité des vagues de chaleur augmenteront fortement dans l'avenir.

**De nombreux nouveaux records climatiques**

Une forte chaleur s'était déjà installée au début de l'été. Avec un écart à la norme 1981-2010 de 1.8 degré, la Suisse a connu son quatrième mois de juin le plus chaud depuis le début des mesures en 1864.

Deux périodes caniculaires prononcées se sont manifestées, la première du 1er au 7 juillet, la deuxième du 16 au 24 juillet. Du 1er au 7 juillet 2015, la Suisse a vécu une des semaines caniculaires les plus extrêmes depuis le début des mesures. Les températures maximales journalières étaient comprises en moyenne entre 33 et plus de 36 degrés sur les régions de plaine du Nord des Alpes. A Genève, avec une valeur moyenne de 36.3 degrés, il a fait presque aussi chaud qu'en août 2003 où la température maximale moyenne était de 36.7 degrés. Cette semaine caniculaire s'est achevée avec une température de 39.7 degrés le 7 juillet 2015 à Genève, soit la température la plus élevée mesurée au Nord des Alpes. Ce nouveau record a battu de presque 1 degré le précédent de 38.9 degrés qui avait également été mesuré à Genève le 28 juillet 1921.

Au Sud des Alpes, la canicule s'est installée à partir de la mi-juillet. La semaine la plus torride s'est produite du 17 au 23 juillet. A Locarno-Monti, la température maximale journalière a été de 34.7 degrés en moyenne. Il s'agit d'une valeur quasiment équivalente à celle mesurée en août 2003 qui était de 35.0 degrés. La valeur la plus élevée au Sud des Alpes a été mesurée le 22 juillet à Locarno-Monti avec 36.8 degrés. Il s'agit de la troisième température maximale la plus élevée depuis le début de la série disponible de mesures de Locarno-Monti en 1935.

Ainsi, juillet 2015 a souvent été le mois le plus chaud depuis le début des mesures en 1864 en Suisse occidentale, en Valais, au Sud des Alpes et en Engadine. Pour les autres régions, il s'est souvent placé dans le top-3 des mois les plus chauds depuis le début des mesures il y a 150 ans. La température mensuelle a connu un excédent entre 3 et 4 degrés au-dessus de la norme 1981-2010. L'été 2015 s'est terminé avec le quatrième mois d'août le plus chaud depuis le début des mesures. Moyenné sur l'ensemble de la Suisse, l'excédent thermique s'est élevé à 1.8 degré au-dessus de la norme.

**Des prévisions et des alertes de bonne qualité**

Les modèles de prévision avaient prévu le début de la première vague de chaleur qui s'est produite du 1er au 7 juillet avec une avance de 10 jours déjà. Une perspective d'alerte canicule possible de degré 3 a été émise le 26 juin, soit une semaine avant le début de l'événement. Les régions averties concernaient la Suisse romande et le Valais avec une période de validité allant du 1er au 3 juillet. Le

27 juin, la perspective d'alerte canicule possible a été étendue à l'ensemble des régions du Nord des Alpes. Le 28 juin, la période d'alerte a été prolongée jusqu'au 4 juillet.

L'alerte aux autorités a été émise le 29 juin. Les alertes ont été confirmées tous les jours, tandis que la perspective d'alerte a été prolongée d'un jour à chaque fois. Ce n'est que le 7 juillet que les alertes de canicule ont été levées pour l'ensemble de la Suisse. Le même processus a été effectué pour la deuxième vague de chaleur.

La vérification du déroulement des alertes montre que la première vague de chaleur du 30 juin au 7 juillet 2015 a été correctement avertie. Pour la deuxième vague de chaleur au Nord des Alpes du 15 au 24 juillet, l'alerte a été considérée comme partiellement fausse, car les seuils d'alerte n'ont pas toujours été atteints. Au Sud des Alpes, les alertes ont été considérées comme correctes.

L'organe d'intervention de MétéoSuisse (EO Met) a été activé pendant 16 jours. Grâce aux activités de coordination de l'EO Met, en particulier à travers les communications régulières et consistantes aux médias, la visibilité de MétéoSuisse a été importante au niveau national. Les canaux d'information (site Internet, blog, Facebook, Twitter) ont été activement utilisés et coordonnés de matière optimale, notamment avec les autres offices fédéraux.

**Végétation affectée par la chaleur extrême et la sécheresse**

Depuis 1961, le nombre de journées tropicales en Suisse a augmenté dans toutes les stations. C'est de loin avec les étés record de 2003 et 2015 que le nombre de journées tropicales a été le plus élevé. Presque partout en Suisse, il y a eu encore plus de nuits tropicales (températures minimales ne descendant pas au-dessous de 20 degrés) comptabilisées en 2015 qu'en 2003. L'isotherme du 0 degré s'est située à près de 4000 mètres au cours des deux étés, ce qui est exceptionnellement élevé, soit 400 mètres environ au-dessus de la normale.

Les trois mois de l'été ont connu des quantités de précipitations inférieures à la normale. Elles ont souvent atteint l'équivalent de 60 à 80% de la norme. Seuls le Valais et régionalement le Sud des Alpes ont recueilli des précipitations dans la norme, voire légèrement excédentaires, surtout en raison des précipitations en août.

Les températures élevées ont eu une influence sur la végétation, notamment sur le début des phases estivales et pré-automnales qui se sont produites nettement plus précocement que la moyenne. La coloration des feuilles s'est manifestée plus ou moins dans la période habituelle et pas aussi tôt qu'en 2003. Les raisons possibles seraient une sécheresse moins importante qu'en 2003 et des températures en septembre qui se sont retrouvées plus basses que la normale.

**Et dans le futur ?**

Afin d'estimer la fréquence et l'intensité des futures vagues de chaleur, des simulations avec 14 modèles climatiques régionaux ont été effectuées. Ceux-ci montrent une augmentation nette et robuste de la température maximale moyenne (moyenne sur une période de 14 jours à chaque fois) de plus de 6 degrés par rapport aux valeurs actuelles. Ainsi, le nombre de journées tropicales augmentera également. Actuellement, les périodes de canicule ont une fréquence inférieure à 0.5 fois par année. Pour la période 2070-2099, les modèles climatiques montrent, selon les emplacements, une fréquence moyenne de 1 à 2.5 événements par année.

# Riassunto

In Svizzera l'estate 2015 è risultata la seconda più calda dall'inizio delle misurazioni nel 1864. La temperatura media ha superato di 2,4 °C i valori normali del periodo di riferimento 1981–2010. L'estate 2015 è quindi stata di oltre 1 °C più calda di tutte le estati da record registrate sinora, fatta eccezione per la leggendaria estate 2003, a sua volta di circa 1 °C più calda dell'estate 2015. Le previsioni e le allerte di canicola di MeteoSvizzera sono state di elevata qualità. Le simulazioni del clima futuro mostrano come nei prossimi decenni le ondate di caldo saranno molto più frequenti e intense.

**Numerosi nuovi record climatici**

Il gran caldo si è manifestato fin dall'inizio dell'estate. Con uno scarto positivo di 1,8 °C rispetto alla norma 1981–2010, il mese di giugno è risultato essere il quarto più caldo della statistica.

L'ulteriore andamento dell'estate è stato caratterizzato da due periodi di canicola eccezionali, dall'1 al 7 luglio e dal 16 al 24 luglio. Dall'1 al 7 luglio 2015 la Svizzera ha vissuto una delle settimane di canicola più estreme dall'inizio delle misurazioni. A Nord delle Alpi la media delle temperature massime in pianura ha raggiunto i 33 - 36 °C, con una punta massima di 36,3 °C a Ginevra, di poco inferiore a quella che caratterizzò la settimana da record dell'estate 2003, quando si arrivò a 36,7 °C. Sul finire di questa settimana di canicola, il 7 luglio a Ginevra si è registrata una temperatura massima giornaliera di 39,7 °C, di quasi 1 °C superiore al precedente record di 38,9 °C misurato sempre a Ginevra il 28 luglio 1921, e in assoluto la massima più alta mai misurata a Nord delle Alpi.

A Sud delle Alpi il periodo canicolare più intenso si è manifestato a partire dalla metà di luglio. La settimana più calda si è verificata dal 17 al 23. A Locarno-Monti la media delle temperature massime giornaliere ha toccato 34,7 °C, valore di poco inferiore al primato del periodo di 7 giorni più torrido stabilito nell'agosto 2003 con 35,0 °C. La temperatura massima giornaliera più alta del 2015 è stata misurata a Sud delle Alpi il 22 luglio a Locarno-Monti con 36,8 °C e rappresenta il terzo valore più elevato della serie di misure per questa stazione, iniziata nel 1935.

A Sud delle Alpi, in Engadina, in Vallese e nella Svizzera romanda, il mese di luglio è stato in assoluto il più caldo dall'inizio delle misurazioni. Nelle altre regioni della Svizzera, il luglio 2015 è stato per lo più tra i tre più caldi degli ultimi 150 anni, con temperature mensili di 3 - 4 °C sopra la norma. L'estate 2015 si è conclusa con il quarto mese di agosto più caldo dall'inizio delle misurazioni, superando la norma di 1,8 °C a livello svizzero. In questo mese si è verificato a Sud delle Alpi un terzo periodo di canicola, anche se meno intenso rispetto ai due precedenti di luglio.

**Previsioni e allerte di elevata qualità**

L'inizio della prima ondata di caldo dal 1 al 7 luglio è stato preannunciato dai modelli di previsione con circa dieci giorni di anticipo. Il primo bollettino "Prospettiva di maltempo" per una possibile ondata di caldo di livello 3 è stato emesso il 26 giugno, ovvero una settimana prima dell'inizio dell'evento. Le regioni inizialmente coinvolte sono state la Svizzera romanda e il Vallese per il periodo compreso dall'1 al 3 luglio; il 27 giugno si è estesa la "Prospettiva di maltempo" anche alle altre regioni e il 28 giugno la si è prolungata fino al 4 luglio.

L'emissione delle allerte vere e proprie per l'intera Svizzera è avvenuta il 29 giugno. Le allerte sono state in seguito aggiornate giornalmente e estese in funzione del prolungarsi dell'andata di caldo, per essere poi revocate per tutta la Svizzera il 7 luglio. La stessa procedura è stata applicata per la seconda ondata di caldo.

La verifica della procedura di allerta ha dimostrato come le informazioni diffuse per la prima ondata di caldo dal 30 giugno al 7 luglio 2015 sono state corrette. A Nord delle Alpi l'allerta per la seconda ondata di caldo dal 15 al 24 luglio è risultata superflua per circa il 50% del territorio in quanto i valori soglia non furono raggiunti ovunque. A Sud delle Alpi le allerte si sono sempre dimostrate corrette.

L'organizzazione d'intervento di MeteoSvizzera (EO Met) è rimasta operativa per 16 giorni. L'attività di coordinamento di EO Met, e in particolare i comunicati regolari e coerenti ai media, ha dato grande visibilità a MeteoSvizzera in tutta la Svizzera. I canali di diffusione (sito web, blog, Facebook, Twitter) sono stati utilizzati attivamente e coordinati in modo ottimale, soprattutto con gli altri uffici federali.

**Il caldo estremo e la siccità hanno messo in difficoltà la vegetazione**

In Svizzera, dal 1961 il numero di giornate tropicali è aumentato in tutte le stazioni. La maggior parte delle giornate tropicali è stata di gran lunga rilevata nelle estati da primato 2003 und 2015. Nel 2015 si sono addirittura registrate quasi ovunque in Svizzera più notti tropicali che nel 2003. Anche l'isoterma di zero gradi, situato a quasi 4000 m slm, è risultato eccezionalmente elevato in entrambe le estati, ovvero circa 400 metri al di sopra della norma.

In tutti e tre i mesi estivi i quantitativi di precipitazione sono stati inferiori alla norma. In Svizzera le precipitazioni estive hanno raggiunto quasi ovunque solo il 60-80% della norma. Solo in Vallese e in alcune regioni a Sud delle Alpi si sono registrati, sull'arco di tutta l'estate, quantitativi normali o superiori alla media – ma questo soprattutto a seguito delle precipitazioni di agosto.

Per quel che riguarda la vegetazione, le temperature elevate hanno avuto ripercussioni specialmente sull'inizio della fase estiva e di quella d'inizio autunno, manifestatesi molto prima rispetto alla media. La colorazione delle foglie è iniziata attorno al normale periodo e rispetto al 2003 il numero di località con colorazione delle foglie precoce è risultato inferiore a quello del 2003. Ciò può essere attribuito alla minore siccità dell'estate 2015 (rispetto al 2003) e alle temperature di settembre, inferiori alla norma.

**E in futuro?**

Per una previsione della frequenza e dell'intensità delle ondate di caldo in futuro, si è fatto ricorso a simulazioni con complessivamente 14 modelli climatici regionali. Queste mostrano un chiaro e deciso aumento della media delle temperature massime (media su periodi di 14 giorni) di oltre 6 °C rispetto ai valori attuali entro la fine del secolo in corso. Anche il numero di giorni tropicali è quindi destinato ad aumentare. Oggi i periodi di canicola si verificano meno di 0,5 volte all'anno. Per il periodo 2070 – 2099 i modelli climatici prospettano, a dipendenza della località, in media da 1 a 2,5 eventi all'anno.

# Inhaltsverzeichnis


**Zusammenfassung** **V**

**Résumé** **VII**

**Riassunto** **IX**

**1 Einleitung** **1**

**2 Klimatologische Einordnung des Witterungsverlaufs Juni bis August** **2**
2.1 Zweitwärmster Sommer seit Messbeginn 2
2.2 Juni 2015 3
2.3 Rekordmonat Juli 2015 4
2.4 August 2015 6

**3 Meteorologischer Ablauf** **8**
3.1 Charakterisierung von Hitzewellen 8
3.2 Verlauf der Hitzewellen im Juli 2015 8

**4 Vorhersage und Warnungen** **12**
4.1 Ensemble-Ansatz 12
4.2 Früherkennung der Hitzewelle 12
4.3 Operationelle Warnungen 16
4.4 Einsatzorganisation MeteoSchweiz, EO Met 20

**5 Temperatur-Extreme im Sommer 2015** **22**
5.1 Wärmster Hochsommer seit Messbeginn 22
5.2 Wärmster Monat seit Messbeginn 23
5.3 Zwei extreme Hitzewochen 23
5.4 Temperaturrekord auf der Alpennordseite 26

**6 Klimaindikatoren zum Hitzesommer** **27**
6.1 Hitzetage 27
6.2 Verlauf der Nullgrad-Grenze 31
6.3 Trockenheit 34
6.4 Die Entwicklung der Vegetation 37

**7 Hitzesommer in der Vergangenheit** **40**
7.1 Der Rekordsommer 2003 40
7.2 Anhaltende Wärme und Niederschlagsarmut 1947 42

**8 Hitze und Klimaänderung** **43**
8.1 Häufigkeit und Intensität von Hitzewellen in einer wärmeren Zukunft 43

| | | |
|---|---|---|
| 8.2 | Mehr Hitzetage bis Ende Jahrhundert | 47 |
| **9** | **Methoden** | **48** |
| 9.1 | Bemerkungen zu den Temperaturdaten | 48 |
| 9.1.1 | Temperaturmessung | 48 |
| 9.1.2 | Effekte der Homogenisierung von langjährigen Reihen | 49 |
| 9.2 | Erklärung der verwendeten Indizes | 50 |
| 9.2.1 | Berechnung des Hitzeindex (engl. Heat Index, HI) | 50 |
| 9.2.2 | Berechnung des Extreme Forecast Index (EFI) | 52 |
| 9.2.3 | Trockenheitsindikatoren SPI und SPEI | 52 |
| **Literaturverzeichnis** | | **53** |
| **A** | **Warnausgaben im Hitzesommer 2015** | **55** |

# 1 Einleitung

Von Ende Juni bis Mitte September des Jahres 2015 erlebte ganz Europa ungewöhnliche Hitzewellen mit Temperaturen, die den Hitzesommer 2003 teilweise in den Schatten stellten. Auch in der Schweiz waren zwei ausgeprägte Hitzephasen zu verzeichnen.

Im Vorfeld einer sich abzeichnenden extremen und potenziell gefährlichen Wetterlage steht neben der möglichst präzisen Prognose immer die Warnung der Bevölkerung und der betroffenen regionalen Einsatzkräfte im Vordergrund. Diese wichtige Aufgabe wird von den Prognosediensten von MeteoSchweiz und von der Einsatzorganisation MeteoSchweiz (kurz EO Met) wahrgenommen. Seit der Gründung der EO Met im Jahr 2012 war der Sommer 2015 das erste Hitzeereignis, für das sie im Einsatz war.

Der Sommer 2015 ist demnach für die Schweiz in meteorologischer, klimatologischer und auch in operationeller Hinsicht ein aussergewöhnliches Ereignis.

Bei der extremen Sommerhitze 2015 handelte es sich um ein meteorologisch langsam verlaufendes Ereignis. Darum konnten bereits relativ früh Beginn und Dauer der Hitze anhand der Prognose-Modelle präzise vorausgesagt werden. Dies ermöglichte sehr genaue Warnungen. Durch die frühe und sichere Prognose stand zudem genügend Zeit zur Verfügung, um bereits vor dem Eintreten der Hitze eine klimatologische Einordnung des zu erwarteten Ereignisses vorzunehmen.

Wegen der langsamen Entwicklung des Ereignisses stand die Einsatzorganisation EO Met mit einem tiefen Führungsrhythmus im Einsatz. Aufgrund der günstigen Informationslage – frühe Erkennung, präzise Vorhersage, aktive Warn- und Informationstätigkeit durch MeteoSchweiz – resultierte die für extreme Wetterlagen ungewöhnliche Situation, dass die Bevölkerung noch vor dem Hitzebeginn vollständig über die Dauer und Grössenordnung der erwarteten Hitzewelle informiert war.

Der vorliegende Bericht dokumentiert den Witterungsverlauf des Hitzesommers 2015. Dabei werden klimatologische Extreme wie Rekordtemperaturen sowie die historische Einordnung der Hitze in die über 150-jährige Schweizer Messgeschichte detailliert betrachtet.

Ein weiterer Fokus des Berichts liegt auf der Prognose und der Warnung vor Hitzewellen. Neben dem allgemeinen operationellen Vorgehen in solchen Fällen wird das Prognose- und Warn-Prozedere während des Hitzesommers 2015 umfassend dargestellt.

Schliesslich wird ein Blick in die Zukunft geworfen. Diskutiert wird die Entwicklung der Häufigkeit und der Intensität von Hitzewellen in der Schweiz unter dem Aspekt einer weiteren globalen Erwärmung.

Um den Bericht möglichst einfach lesbar zu gestalten, werden spezielle methodische und technische Aspekte ganz am Schluss des Berichts präsentiert.

# 2 Klimatologische Einordnung des Witterungsverlaufs Juni bis August

Der Sommer 2015 war der zweitwärmste Sommer seit Messbeginn in der Schweiz. Insbesondere der Monat Juli war von zwei aussergewöhnlichen Hitzeperioden geprägt, die erste von 1. bis 7. Juli und die zweite von 16. bis 24. Juli. Zwischen den Hitzeperioden führten Wetterstörungen zu einer temporären Abkühlung. Die Entwicklung im Süden und Norden verlief nicht zeitgleich.

## 2.1 Zweitwärmster Sommer seit Messbeginn

Der Schweizer Sommer 2015 (Juni bis August) geht als Zweitwärmster in die 152-jährige Mess-Geschichte ein (**Abbildung 1**)[1]. Im Mittel über die ganze Schweiz war er einen 2.4 Grad wärmer als die Norm 1981–2010 (ab hier wird für Norm 1981-2010 nur der Begriff Norm verwendet). Damit liegt der Sommer 2015 mehr als ein Grad über allen bisherigen Rekordsommern, mit Ausnahme des legendären Hitzesommers 2003. Dieser war nochmals rund ein Grad wärmer als der Sommer 2015.

In den meisten Gebieten lag die mittlere Sommertemperatur im Jahr 2015 zwischen 2.0 bis 2.5 Grad über der Norm, auf der Alpensüdseite waren es zwischen 1.6 und 2.3 Grad. Im Folgenden wird der Witterungsverlauf der einzelnen Sommermonate im Detail nachvollzogen und eine klimatologische Einordnung der Temperaturwerte vorgenommen.

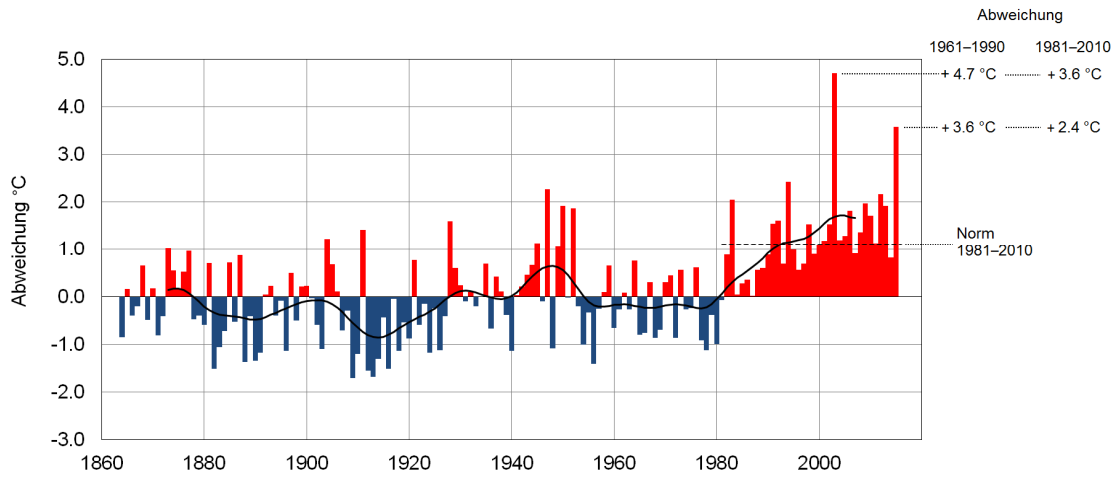


**Abbildung 1:** Abweichung der Sommertemperatur in der Schweiz vom langjährigen Durchschnitt (Norm 1961–1990). Überdurchschnittliche Sommertemperaturen sind rot, unterdurchschnittliche blau angegeben. Die schwarze Kurve zeigt den Temperaturverlauf gemittelt über 20 Jahre. Die gestrichelte Linie ab 1981 zeigt als Vergleich die Norm 1981–2010 (+1.1 Grad höher gegenüber der Norm 1961–1990). Rechts sind die Temperaturunterschiede der beiden Extremsommer 2003 und 2015 im Vergleich zu den Normen 1961–1990 und 1981–2010 angegeben.

[1] Im Text dieses Fachberichts werden die gemessenen Werten mit der Norm 1981–2010 verglichen, die das mittlere heutige Klima repräsentiert. Gemäss Empfehlungen der Welt-Meteorologie-Organisation (WMO; World Meteorological Organization) ist hingegen bei der Darstellung der langjährigen Klimaentwicklung die Normperiode 1961–1990 zu verwenden. Diese Empfehlung wird in den aufgeführten Graphiken zur Entwicklung der Temperatur seit Messbeginn 1864 entsprechend umgesetzt.

## 2.2 Juni 2015

Der Hitzesommer begann mit einem Junimonat, der über die ganze Schweiz gemittelt 1.8 Grad zu warm war im Vergleich zur Norm, und damit der viertwärmste Juni seit Messbeginn 1864. In der Westschweiz, im Wallis und am westlichen und zentralen Alpennordhang erreichte der Temperaturüberschuss 1.7 bis 2.2 Grad. In den übrigen Gebieten war dieser weniger ausgeprägt und bewegte sich meist zwischen 1.2 und 1.8 Grad über der Norm.

**Anhaltende Wärme in der ersten Juniwoche**

Der Juni 2015 startete mit sonnigem Hochdruckwetter. In der ganzen Schweiz lagen während der ersten Juniwoche die Tagesmittel-Temperaturen deutlich über der Norm. Die grössten Abweichungen von verbreitet +5 bis +8 Grad, vereinzelt gar über +9 Grad, gab es zwischen dem 3. und 7. Juni. Beidseits der Alpen erreichten die Tagesmaximum-Temperaturen 30 bis 33 Grad.

Diese hochsommerliche Woche endete mit kräftigen Gewittern verbunden mit Starkniederschlägen und Hagel. Besonders heftig traf es am 6. Juni das Aaretal zwischen Thun und Bern und am 7. Juni die Region von der Innerschweiz über das Reusstal bis ins Limmattal. Die starken Gewitterregen führten lokal zu Überschwemmungen.

Eine Bisenlage brachte anschliessend vom 8. bis 10. Juni kühlere und zum Teil stark bewölkte Verhältnisse. Auf der Alpennordseite sanken die Tagesmittel-Temperaturen verbreitet 1 bis 3 Grad unter die Norm während sie auf der Alpensüdseite und in den Bergen meist 1.5 bis 3.5 Grad darüber blieben.

**Nochmals viel Wärme zur Monatsmitte**

Mit der Umstellung auf eine Südwestlage floss vom 11. bis zum 14. Juni feuchtwarme, zu Gewittern neigende Mittelmeerluft zu den Alpen. Die Tagesmittel-Temperaturen stiegen verbreitet 3 bis 5 Grad, in den Föhngebieten 6 bis knapp 8 Grad über die Norm. Auf der Alpensüdseite brachte die Südwestströmung zunehmend Staubewölkung mit Niederschlag, und die Tagesmittel-Temperaturen lagen nur noch wenig über oder sogar etwas unter der Norm. Die Tagesmaximum-Temperaturen erreichten im Norden nochmals 28 bis 30 Grad, im Süden 27 bis 29 Grad. Zum Abschluss dieser Wärmeperiode entwickelte sich am 14. Juni in der ganzen Schweiz eine intensive Gewitteraktivität. Besonders heftige Gewitterniederschläge gab es dabei in der Ostschweiz zwischen Winterthur und dem Bodensee.

**Anhaltend kühl und regnerisch, in den Bergen Schnee**

Vom 15. bis zum 23. Juni war die Witterung vorwiegend tiefdruckbestimmt und die Tagesmittel-Temperaturen blieben mehrheitlich unter der Norm. Mit dem Durchzug einer Kaltfront aus Nordwesten sank die Schneefallgrenze am 18. gegen 2500 m ü. M. hinunter, in der anhaltenden feuchtkühlen Nordwestströmung am 20. Juni im Osten sogar unter 2000 m ü. M. Die Tagesmittel-Temperaturen lagen am 20. und 21. auf der Alpennordseite verbreitet 3 bis 4.5 Grad, vereinzelt auch 5 bis 6 Grad unter der Norm. Im Osten erreichten die Tagesmaximum-Temperaturen nur noch 17 bis 19 Grad, im Westen mit mehr Sonne 21 bis 24 Grad. Auf der Alpensüdseite hingegen gab es mit Nordwind und deutlich mehr Sonne bis 26 Grad.

Eine weitere Kaltfront aus Nordwesten liess die Tagesmittel-Temperaturen am 23. Juni im Norden abermals 2.5 bis 4.5 Grad unter die Norm sinken. Die Tagesmaximum-Temperaturen blieben dabei im Norden meist unter 20 Grad, während auf der Alpensüdseite, wiederum mit Nordwind, sommerliche 27 bis 28 Grad gemessen wurden.

**Wieder sonnig und warm**

Ab dem 24. Juni kehrten mit zunehmendem Hochdruckeinfluss die sommerlichen Verhältnisse zurück. Bis am 29. erreichten die Tagesmaximum-Temperaturen auf der Alpennordseite 25 bis 29 Grad, auf der Alpensüdseite 30 Grad. Heiss wurde es am 30. Juni mit verbreitet 29 bis 31 Grad, in Genf mit 32 und im Wallis mit 32 bis 33 Grad.

## 2.3 Rekordmonat Juli 2015

Die grösste Sommerhitze entwickelte sich im Juli. Die Monatstemperaturen lagen 3 bis 4 Grad über der Norm. Der landesweite Mittelwert lag 3.6 Grad über der Norm, der Juli war damit der wärmste seit Messbeginn. Auf der Alpensüdseite, im Engadin, im Wallis und in der Westschweiz wurde der Juli 2015 zum heissesten Monat seit Messbeginn im Jahr 1864. In den übrigen Gebieten gehörte er meist zu den drei heissesten Monaten in den über 150-jährigen Aufzeichnungen. Vom 1. bis zum 7. Juli 2015 erlebte die Schweiz zudem eine der extremsten Hitzewochen seit Messbeginn, und zum Abschluss der Hitzewoche registrierte Genf die höchste je auf der Alpennordseite gemessene Temperatur. Die Details dazu sind in den Kapiteln 5.2 bis 5.4 zusammengestellt.

**Kurze Abkühlung**

Mit kühler Luft aus Nordwesten und regional etwas Niederschlag sanken die Tagesmaximum-Temperaturen vom 8. bis 10. Juli auf der Alpennordseite verbreitet auf 22 bis 28 Grad, im Wallis auf 27 bis 30 Grad. Auf der Alpensüdseite fielen sie nur am 8. und am 10. Juli geringfügig unter 30 Grad, bevor die zweite, für den Süden nun intensivere Hitzewelle anrollte.

**Hitzewelle zur Monatsmitte auf der Alpensüdseite**

Ab dem 11. Juli gelangte die Schweiz erneut unter hochsommerlichen Hochdruckeinfluss. Während die Tagesmaximum-Temperaturen auf der Alpennordseite zunächst um 30 Grad oder darunter lagen, stiegen sie auf der Alpensüdseite deutlich über die 30-Grad-Marke. In Locarno-Monti bewegten sie sich vom 13. bis am 20. Juli meist um 34 Grad. Das Hitzemaximum lieferte der 22. Juli mit 36.8 Grad. Das ist der dritthöchste Messwert in der seit 1935 verfügbaren Messreihe von Locarno-Monti. Der Rekordwert von 37.9 Grad stammt vom 11. August 2003, und geringfügig heisser mit 37.3 Grad war es hier am 29. Juli 1983.

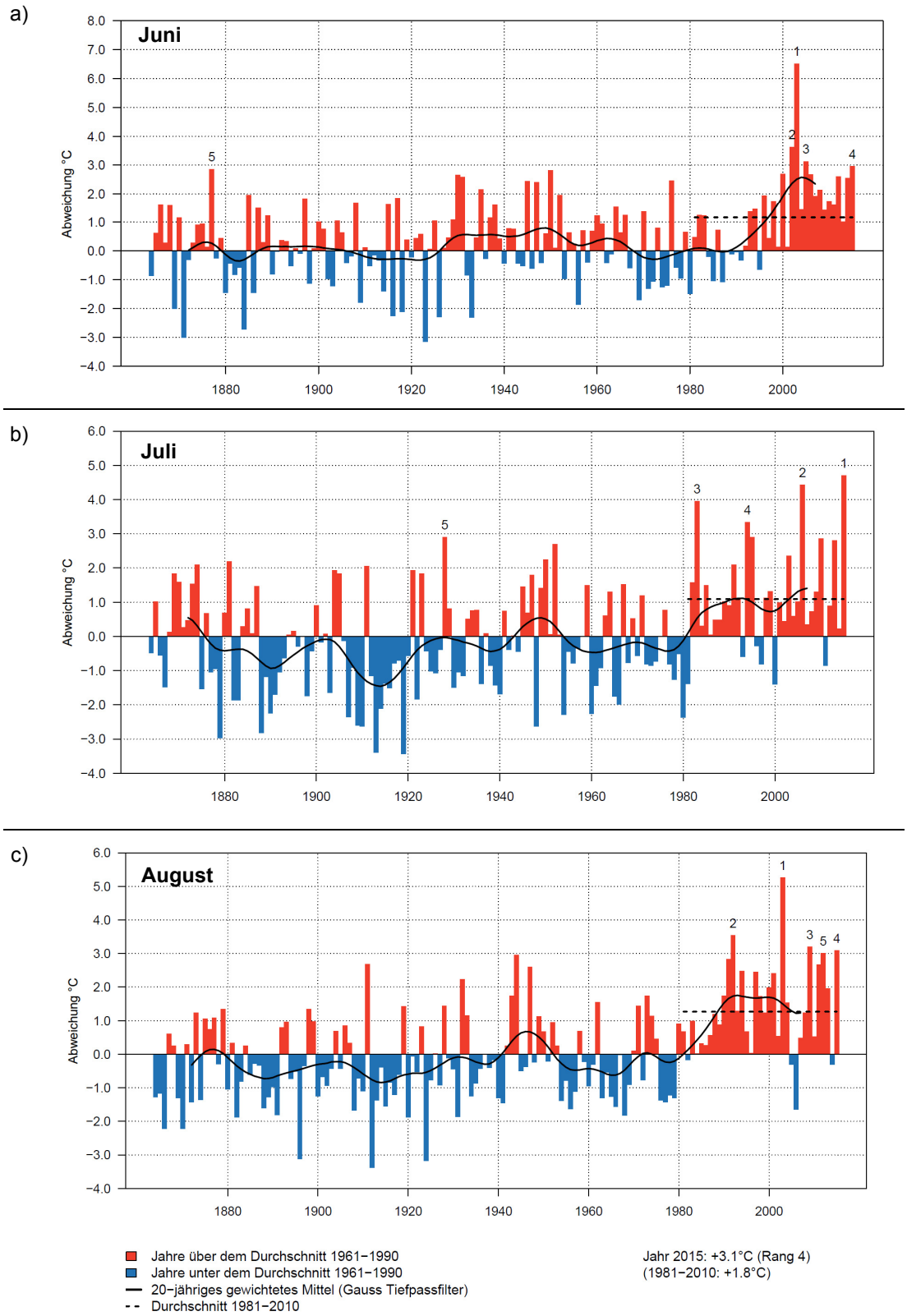


**Abbildung 2:** Abweichung der Juni (a)-, Juli (b) – und Augusttemperatur (c) vom langjährigen Durchschnitt (Norm 1961–1990) in der ganzen Schweiz. Zu warme Temperaturen sind rot, zu kalte blau angegeben. Die schwarze Kurve zeigt den Temperaturverlauf gemittelt über 20 Jahre.

**Kühlere Luft verdrängt Hitze**

Der Zustrom kühlerer Luft aus Nordwesten liess am 25. Juli die Tagesmaximum-Temperaturen nördlich der Alpen auf 20 bis 25 Grad sinken. Auf der Alpensüdseite fielen sie auf 28 bis 30 Grad zurück. Am 26. sowie am 29. und 30. Juli sanken die Tagesmitteltemperaturen auf der Alpennordseite und in den Alpen 3 bis knapp 6 Grad unter die Norm, im Wallis 1.5 bis 3.5 Grad. Auf der Alpensüdseite bewegten sie sich im Bereich der Norm. Niederschlagszonen brachten zudem vom 26. auf den 27. Juli sowie am 29. Juli verbreitet etwas Regen.

Gleichsam, als Kontrapunkt zur extremen Hitze, sank am letzten Julitag in La Brévine im Jura (1050 m ü. M.) die Temperatur nach einer klaren Nacht mit guter Abstrahlung am frühen Morgen für kurze Zeit bis auf -1.5 Grad. Minimum-Temperaturen unter dem Gefrierpunkt sind in La Brévine im Juli im langjährigen Durchschnitt etwa alle drei bis vier Jahre zu erwarten.

**Wenig Regen**

Auf Grund der anhaltenden Schönwetterlagen brachte der Juli 2015 insgesamt deutlich unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Im Jura erreichten sie 50 bis 90 Prozent der Norm. Im Wallis und im Engadin gab es 60 bis 100 Prozent, lokal mit mehr Gewittertätigkeit bis 150 Prozent der Norm. In den übrigen Gebieten der Schweiz lagen die Juli-Summen nur zwischen 25 und 50 Prozent, mit mehr Gewittern lokal bei 80 Prozent, im Tessin bei 150 Prozent der Norm. Im zentralen und östlichen Mittelland war es mancherorts der trockenste Juli in den homogenen Datenreihen seit 1959.

**Dem Jura entlang sonnigster Monat seit Messbeginn**

Die Sonnenscheindauer erreichte meist 120 bis 140 Prozent der Norm. Im Wallis, auf der Alpensüdseite und im Engadin gab es Werte zwischen 110 und 130 Prozent der Norm. Von Genf bis Basel war der Juli 2015 der sonnigste Monat seit dem Beginn der homogenen Messreihen der Sonnscheindauer im Jahr 1959. In Genf und Nyon wurden 332 bzw. 338 Sonnenstunden aufgezeichnet. Die bisherigen Rekorde von 324 bzw. 325 Stunden stammen hier vom Juni 2003. In Neuchâtel gab es 323 Stunden, in Basel 311 Stunden. Die bisherigen Rekorde lagen hier bei 305 Stunden (Neuchâtel, April 2007) und bei 309 Stunden (Basel, Juli 2006).

In Payerne am Jurasüdfuss lieferte der Juli 2015 mit 327 Stunden praktisch gleich viel Sonne wie der Rekordmonat Juni 2006 mit 329 Stunden. Gleiches lässt sich für Pully am Genfersee feststellen. Der Juli 2015 liegt hier mit 320 Stunden nur geringfügig hinter dem Rekordmonat Juli 1976 mit 322 Stunden. Homogene Daten zur Sonnenscheindauer sind für Payerne seit 1964, für Pully seit 1959 verfügbar.

## 2.4 August 2015

Nach den beiden sehr warmen Sommermonaten Juni und Juli lieferte auch der August viel Wärme. Über die ganze Schweiz gemittelt lag die Monatstemperatur 1.7 Grad über der Norm. Damit war es der viertwärmste Augustmonat seit Messbeginn vor 152 Jahren. Weite Landesteile blieben im August zu trocken, während das Wallis und regional auch die Alpensüdseite deutlich überdurchschnittliche Niederschlagsmengen erhielten.

### Nach kühlem Start sehr heiss

Eingebettet in eine tiefdruckbestimmte Südwestströmung zeigte sich das 1.-August-Wetter überall in der Schweiz kühl, trüb und nass. Die Tagesmittel-Temperaturen lagen verbreitet 1.5 bis 3.5 Grad unter der Norm. Auf der Alpensüdseite sanken sie lokal gar mehr als 4 Grad darunter. Die Tageshöchstwerte erreichten beidseits der Alpen maximal 21 bis 22 Grad. Es war der Abschluss einer einwöchigen Phase mit Kaltluftzufuhr.

Vom 3. bis am 8. August herrschten wieder meist sonnige und hochsommerlich heisse Verhältnisse. Unter Hochdruckeinfluss stiegen die Tagesmittel-Temperaturen zunächst meist 2 bis 4 Grad, in den Bergen 4 bis 5 Grad über die Norm. Sehr heiss wurde es vom 6. bis am 8. August. Auf der Alpennordseite und in den Alpen bewegten sich die Tagesmittel-Temperaturen 6 bis 9 Grad über der Norm, auf der Alpensüdseite waren es 4 bis 6 Grad. Die Tageshöchstwerte erreichten verbreitet zwischen 32 und 36 Grad, am Nordrand der Schweiz und im Wallis lokal auch 37 Grad.

Nach einem dreitägigen Unterbruch mit Schauern und Gewitter floss ab dem 11. August subtropische Warmluft aus Südwesten zur Schweiz. Am 12. und 13. August lagen die Tagesmittel-Temperaturen verbreitet 5 bis 6 Grad, lokal auch 6 bis 7 Grad über der Norm. Im Wallis und auf der Alpensüdseite verzeichnete man zwischen 3 und knapp 5 Grad höhere Temperaturen als in der Norm. Die Tageshöchstwerte stiegen auf der Alpennordseite über 34 Grad, auf der Alpensüdseite auf knapp 33 Grad. In der schwülheissen Luftmasse entwickelten am 13. August. zunächst in der Westschweiz, am 14. dann in der ganzen Schweiz Gewitter mit zum Teil kräftigen Sturmböen von 80 bis 100 km/h.

### Erneute Abkühlung

Am 15. und 16. August zog eine Niederschlagszone über die Schweiz. Dahinter folgte aus Nordwesten kühlere Luft. Bis am 20. August lagen die Tagesmittel-Temperaturen verbreitet 2 bis 4 Grad unter der Norm. Die Tageshöchstwerte sanken auf der Alpennordseite auf 18 bis 22 Grad, im Wallis und auf der Alpensüdseite erreichten sie 22 bis 27 Grad. Dabei blieb es oft trüb begleitet von Schauern.

Nach zwei sonnigen Hochdrucktagen mit Tagesmaximum-Temperaturen von 24 bis 28 Grad beidseits der Alpen wurde die Schweiz am 23. und 24. August aus Westen von einer Tiefdruckzone überquert. Die Alpensüdseite erhielt Niederschlagsmengen von 30 bis 75 mm, in der Westschweiz waren es 30 bis 50 mm. In der Ostschweiz blieben die Mengen vielerorts unter 10 mm.

### Heisses Monatsende

Vom 26. bis zum 31. August lag die Schweiz unter Hochdruckeinfluss. Sehr sonnige Verhältnisse und aus Südwesten zufliessende subtropische Warmluft liessen die Tagesmittel-Temperaturen auf der Alpennordseite und in den Alpen 5 bis 9 Grad, auf der Alpensüdseite 3 bis 5 Grad über die Norm steigen. Die Tageshöchstwerte erreichten auf der Alpennordseite und im Wallis verbreitet 31 bis 33 Grad, in der Nordschweiz lokal auch um 34 Grad. Auf der Alpensüdseite gab es Höchstwerte zwischen 30 und 31 Grad.

# 3 Meteorologischer Ablauf

## 3.1 Charakterisierung von Hitzewellen

Extreme Hitzeperioden existieren in der Schweiz praktisch ausschliesslich bei mehrtägigen, sehr stabilen Hochdrucklagen (häufig sogenannte Omega-Lagen) im Hochsommer. In ihnen ist die Aufheizung tagsüber deutlich höher als die nächtliche Abkühlung. Bei diesen, manchmal über fünf Tage oder länger andauernden Hochdrucklagen, sind grossräumig kaum dynamische Prozesse oder grössere Luftmassenwechsel von Bedeutung. Die Luftmasse im Hochdruckgebiet stagniert mehr oder weniger und ist vor allem durch die tageszeitliche Erwärmung geprägt. Je trockener die Erdoberfläche, umso rascher erfolgt die Erwärmung der darüber liegenden Luftmasse, da entsprechend weniger Energie zur Verdunstung der Bodenfeuchte verwendet wird. Die meteorologischen Bedingungen im Sommer 2015 entsprachen deutlich diesem Muster.

## 3.2 Verlauf der Hitzewellen im Juli 2015

**Vorgeschichte bis zur ersten Hitzewelle**

Der letzte bedeutende Niederschlag fiel etwa eine Woche vor Beginn der Hitzewelle, weshalb die Böden entsprechend trocken waren. Dieser Umstand begünstigte die beginnende Hitzewelle.

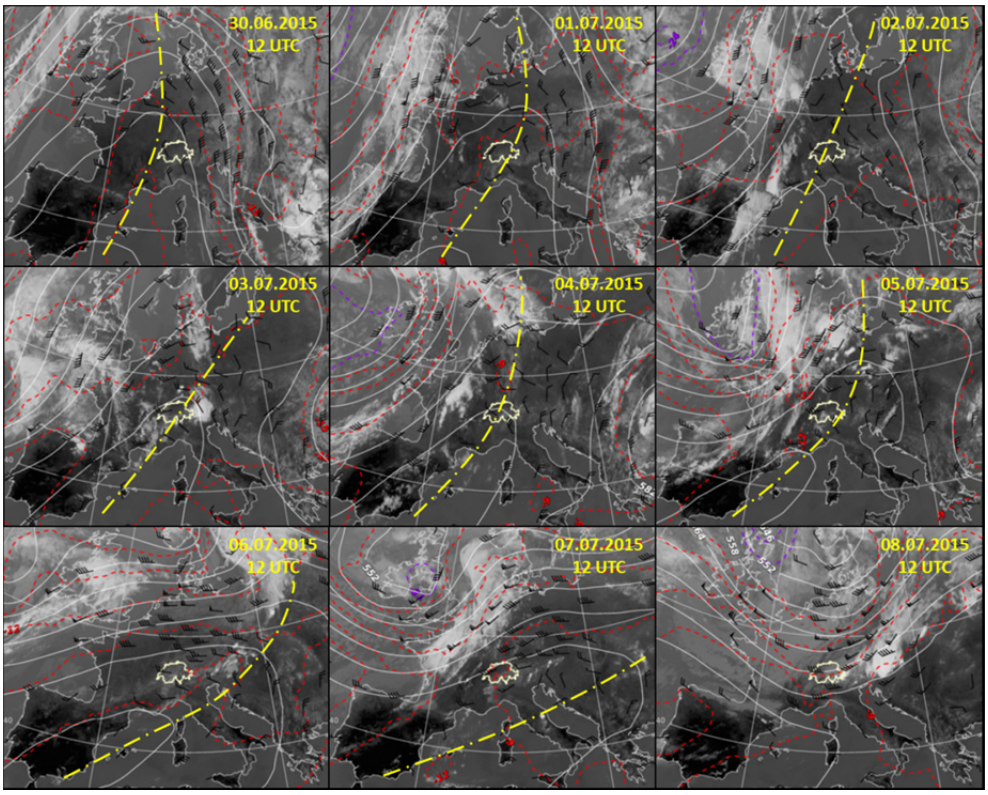


**Abbildung 3:** Ablauf der ersten Hitzewelle Anfang Juli 2015, dargestellt durch Satellitenbilder (Infrarotkanal) von EUMETSAT, überlagert mit Modellfeldern des ECMWF (500 hPa Geopotential und Wind). Gelb eingezeichnet die Rückenachse des Hochs.

### Erste Hitzewelle vom 1. bis 7. Juli 2015

Am 30. Juni 2015 dehnte sich ein kräftiger Hochdruckrücken von Südeuropa über ganz Mitteleuropa nordwärts aus (Abbildung 3). Mit der Verschiebung der Rückenachse zum Alpenraum gelangte heisse und relativ trockene Luft aus Südwesteuropa und Nordafrika in die Schweiz. Dieser Zustrom subtropischer Luft hielt bis am 4. Juli an und brachte nördlich der Alpen vorerst einen Höhepunkt der Hitzewelle. Bis dahin traten nur wenige isolierte Gewitter auf, so wie beispielsweise am 2. Juli im Jura oder am 3. Juli im Unterengadin. Nach dem 4. Juli verlagerte sich die Rückenachse allmählich ostwärts und mit der langsam zyklonal werdenden südwestlichen Höhenströmung wurde aus Westen etwas feuchtere Luft herangeführt. Am 5. Juli war es tagsüber noch sehr heiss und es bildeten sich gegen Abend vermehrt, teils auch heftige Gewitter, sowohl nördlich als auch südlich der Alpen. In der Nacht auf den 6. Juli folgten mit dem Kaltfrontdurchgang weitere ausgedehnte Gewitterzellen, die allerdings weniger Blitzaktivität aufwiesen. Dabei drehte die Strömung von Südwest auf West und führte etwa 9 Grad kühlere Atlantikluft zur Alpennordseite. Da die Kaltfront die Schweiz lediglich streifte, machte sich die Abkühlung vor allem im Norden bemerkbar. Anschliessend drehte die Strömung wieder auf Südwest und führte am 7. Juli im Vorfeld eines ausgedehnten Troges über dem nahen Atlantik wieder trockene und recht heisse Luft zur Schweiz. Damit erreichte die Hitzewelle nördlich der Alpen ihren Höchststand, in Genf wurde die Rekordtemperatur von 39.7 Grad gemessen (siehe auch Kapitel 2.3)

Zur Einordnung der Hitzebelastung und für die Bestimmung von Warnstufen wird der Heat Index (Definition Kapitel 9.2.1) verwendet. Abbildung 4 zeigt den Verlauf des beobachteten Heat Index für die oben beschriebene erste Hitzewelle, überlagert mit den Warnstufen. In allen Regionen ist – mit Ausnahme des 6. Julis im Norden – die deutliche Zunahme des Heat Index ersichtlich. Dies führte landesweit zu den Warnstufen 3 und schliesslich 4 (vgl. auch Kapitel 4.3).

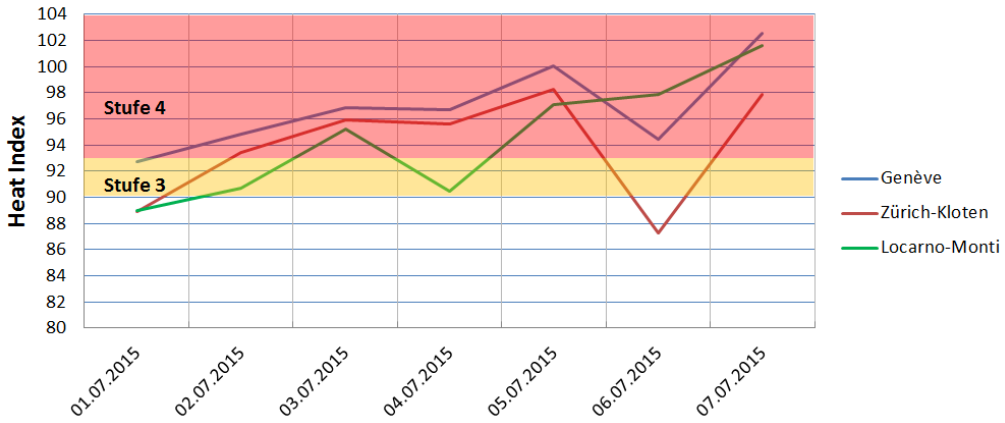


**Abbildung 4** Berechneter Heat Index (HI) aus relativer Feuchtigkeit (%) und Temperatur (°C) vom 1. bis 7. Juli 2015 für drei Stationen aus den verschiedenen Landesteilen. Eingefärbt die Bereiche des Heat Index für die Warnstufe 3 und 4.

## Zweite Hitzewelle vom 16. bis 24. Juli 2015

Nach einer Phase mit weniger heissen Temperaturen, aber dennoch mit Hitzetagen, folgte eine zweite markante Hitzewelle. Diese wirkte sich besonders auf die Regionen südlich der Alpen aus, da sich der Hochdruckrücken nun mehr über Südeuropa positionierte (Abbildung 5). Am 16. Juli wurden nördlich der Alpen nochmals verbreitet 32 bis 35 Grad und in Genf ein Höchstwert von 37.5 Grad registriert. Am 17. Juli verlagerte sich der Höhenrücken ostwärts, womit es in den Alpen rasch zur Labilisierung und Anfeuchtung der Luft, und damit zur Gewitterbildung kam. Im Flachland dagegen blieb die Luftmasse recht trocken und die Temperaturen erreichten wiederum Werte von 32 bis 36 Grad. Am 18. und 19. Juli verlagerte sich ein Höhentrog von der Nordsee zur Ostsee. Mit dem Durchgang eines abgeschwächten Gewitterkomplexes wurde die Luftmasse auf den 18. Juli besonders nördlich der Alpen stabilisiert und etwas abgekühlt, so dass die Temperaturen dort kaum mehr 30 Grad erreichten. Im weiteren Verlauf erfolgte insbesondere ab dem 20. Juli, mit der Verlagerung und Verstärkung eines neuen Hochdruckrückens von Spanien zum westlichen Mittelmeerraum, wieder ein Anstieg der Temperatur. Die Höchstwerte von 32 bis 35 Grad wurden am 22. Juli erreicht. Bis dahin hatte sich der Rücken mittlerweile nach Osteuropa verlagert und die Hitzephase wurde durch kräftige Gewitter beendet.

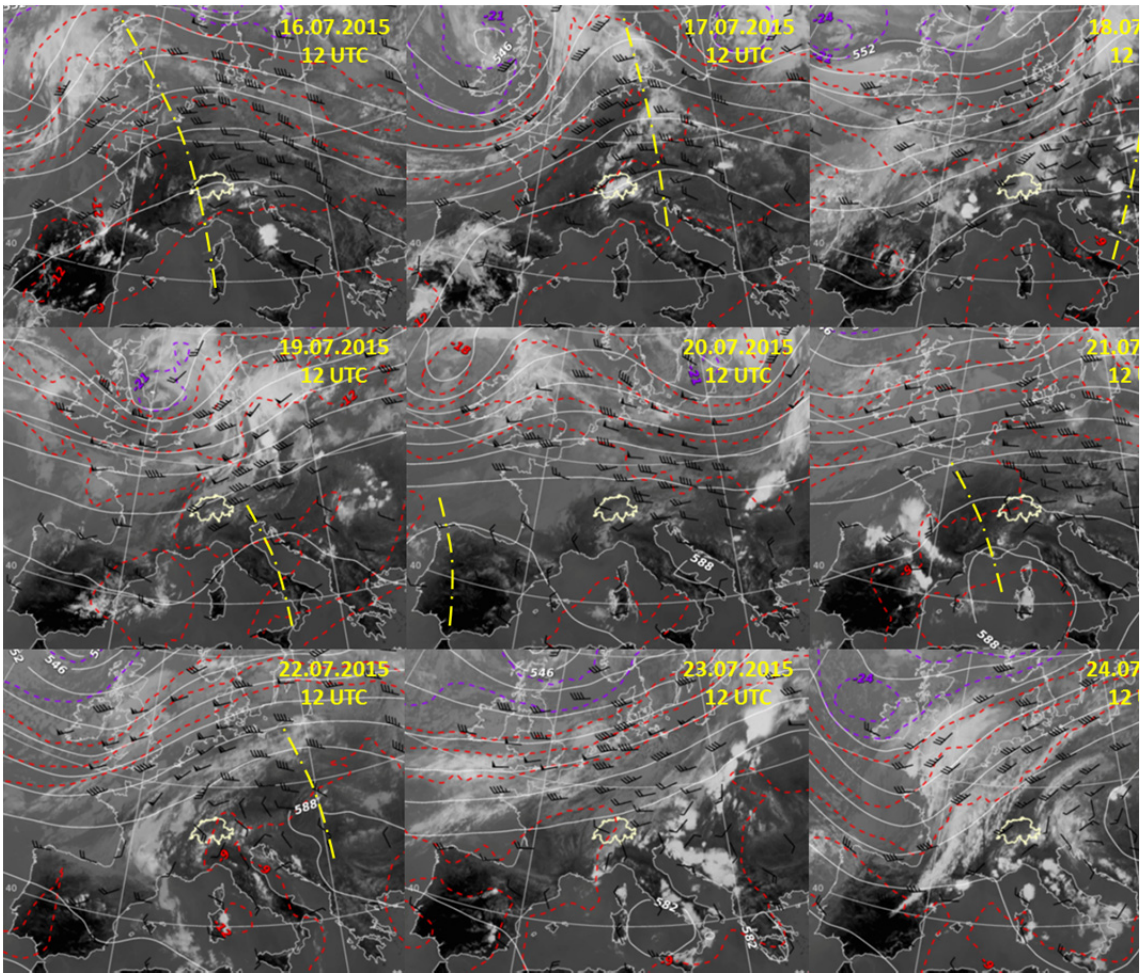


**Abbildung 5:** Ablauf der zweiten Hitzewelle Mitte Juli 2015, dargestellt durch Satellitenbilder (Infrarotkanal) von EUMETSAT, überlagert mit Modellfeldern des ECMWF (500 hPa Geopotential und Wind). Gelb eingezeichnet jeweils die Rückenachse des Hochs.

Im Vorfeld eines Troges über der Biskaya brachte die Südwestströmung am 24. Juli noch ein letztes Mal Temperaturen von 29 bis 33 Grad. Danach erfolgte für längere Zeit die Advektion aus West bis Nordwest und leitete für die Alpennordseite eine deutlich kühlere Phase ein. Im Schutze der Alpen und dank der Nähe zum Hoch, blieben die Temperaturen im Süden bis am 23. Juli mit meist über 33 Grad praktisch unverändert hoch. Dementsprechend war die Hitzebelastung dort während der ganzen Periode deutlich höher als im Norden (Abbildung 6). Klar erkennbar ist dort die «Abkühlung» am 18. und am 23. Juli, während im Süden die ganze Episode über eine deutlich höhere Hitzebelastung zu verzeichnen war.

**Dritte und kürzere Hitzewelle im August**

Vom 5. bis zum 9. August gelangte der Alpenraum noch einmal auf die Rückseite eines stabilen Hochdruckrückens über Osteuropa, und damit in den Bereich einer Südwestströmung, mit welcher trockene, subtropische Luft zur Schweiz geführt wurde. Dies verursachte eine weitere Hitzewelle, die etwas kürzer und weniger ausgeprägt in Erscheinung trat als diejenigen im Juli.

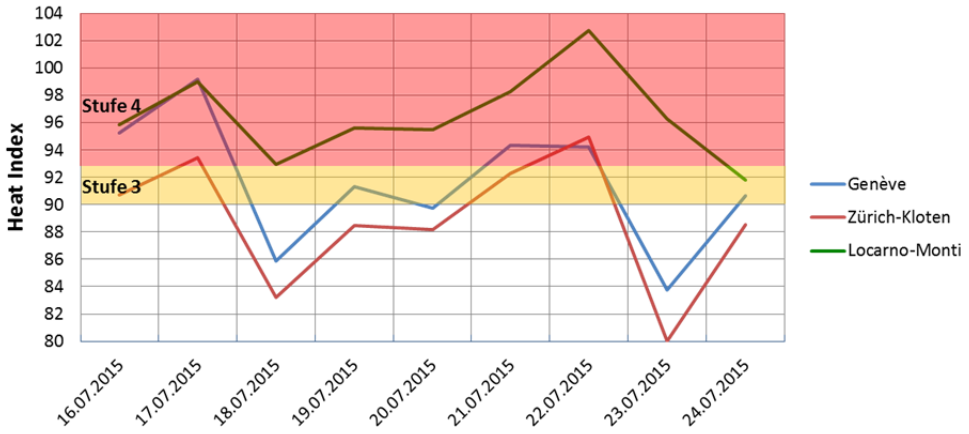


**Abbildung 6:** Berechneter Heat Index (HI) aus relativer Feuchtigkeit (%) und Temperatur (°C) vom 16. bis 24. Juli 2015 für drei Stationen aus den verschiedenen Landesteilen. Eingefärbt die Bereiche des Heat Index für die Warnstufe 3 und 4.

# 4 Vorhersage und Warnungen

Ausgeprägte Hitzewellen können nachteilige Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung, auf die Natur und auf die Infrastruktur zur Folge haben. MeteoSchweiz nimmt den gesetzlichen Auftrag wahr, vor extremen Ereignissen zu warnen (Bundesgesetz über die Meteorologie und Klimatologie sowie Alarmierungsverordnung). Daher ist eine akkurate und möglichst langfristige Prognose von Hitzewellen von besonderer Bedeutung. Im Sommer 2015 traten zwei Hitzewellen auf, vor denen gewarnt werden musste. In diesem Kapitel werden die Langfristprognosen, die Verifikation der Vorhersage und der Warnungen aufgrund verschiedener Indikatoren sowie das konkrete Vorgehen der Einsatzorganisation bei den Warnungen der Hitzewellen 2015 beschrieben.

## 4.1 Ensemble-Ansatz

Temperatur-Vorhersagen über mehrere Wochen geben die Wahrscheinlichkeit an, mit der für den vorhergesagten Zeitraum die Temperatur über oder unter dem langjährigen Durchschnitt zu erwarten ist. Im Gegensatz zur Wettervorhersage für die nächsten Tage machen solche Langfristprognosen Aussagen über das mittlere Wettergeschehen und nicht zu einzelnen Ereignissen oder Extremen. Der Monatsausblick der MeteoSchweiz wird regelmässig auf dem Internet publiziert[2].

Um Unsicherheiten abschätzen zu können, werden Prognosen häufig mit sogenannten Ensemble-Vorhersagen erstellt, wobei mit dem identischen Vorhersagemodell eine grosse Anzahl (= Ensemble) von Vorhersagen aus leicht unterschiedlichen Anfangsbedingungen gerechnet wird. Weil die Unsicherheit von Langfristvorhersagen mit dem Zeithorizont der Prognose rasch zunimmt, zeigt sich oft nur für die nächste Woche eine klare Tendenz. Die weiteren Wochen nähern sich jeweils rasch der Klimatologie an, also den durchschnittlich zu erwartenden Verhältnissen.

## 4.2 Früherkennung der Hitzewelle

In den Karten, die MeteoSchweiz ausgehend von Ensemble-Vorhersagen des Europäischen Zentrums für kurz- und mittelfristige Wettervorhersage (EZMW, England) erstellt, verdichteten sich für die erste Juliwoche 2015 schon relativ früh die Anzeichen einer überdurchschnittlich warmen Woche (Abbildung 7). Die stark überdurchschnittlichen Temperaturen in der ersten Juliwoche haben sich in den Vorhersagen ab dem 22. Juni deutlich abgezeichnet, also rund zehn Tage im Voraus, und zwar für ganz West- und Mitteleuropa.

Am Beispiel der Vorhersagen für Zürich vom 15. Juni bis Ende Juni 2015 können die Langfristprognosen gut illustriert werden (Abbildung 8). Am 15. Juni waren noch keine Anzeichen für Temperaturen über 30 Grad in der Vorhersage enthalten. In der Vorhersage vom 18. Juni gab es erste Modelläufe, die die 30-Grad-Grenze knackten. Doch die Streuung und damit die Unsicherheit in der Ensemble-Vorhersage war noch gross. Ab dem 22. Juni erreichten bereits knapp die Hälfte der Modelläufe über 30 Grad, die Unsicherheit war bereits geringer. Erst wenige Tage im Voraus wurden dann auch mit grosser Sicherheit Temperaturen über 30 Grad vorhergesagt.

2 http://www.meteoschweiz.ch > klima > zukunft > monatsausblick

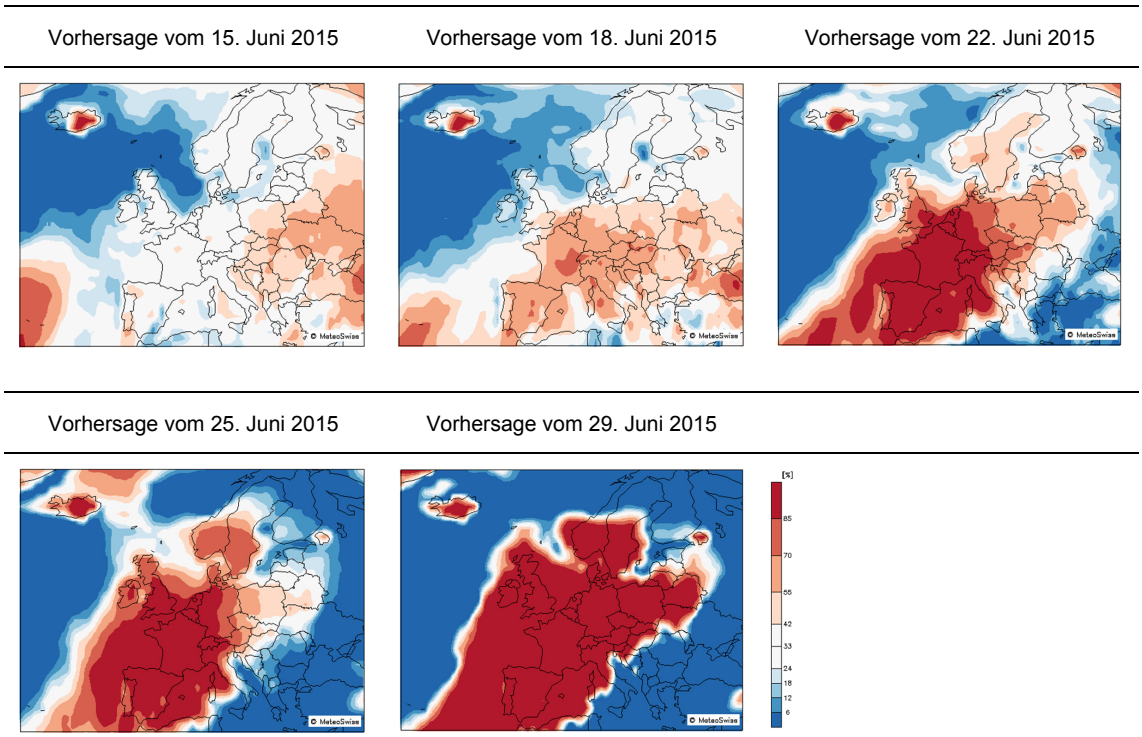


**Abbildung 7:** Entwicklung der ECMWF-Monatsvorhersage gültig für die Woche von Montag, dem 29. Juni 2015, bis am Sonntag, dem 6. Juli 2015. Die Vorhersagen zeigen die Wahrscheinlichkeit, dass die Temperatur wärmer ausfällt als normal. Der rote Teil der Farbskala zeigt hohe Wahrscheinlichkeiten (42 bis 90 Prozent), blaue Farben tiefe Wahrscheinlichkeiten (weniger als 25 Prozent).

Das Auftreten von Hitzewellen zeichnet sich in den meisten Fällen sehr früh ab, weil die aktuellen globalen Modelle in der Lage sind, sehr stabile Hochdrucklagen (siehe auch Kap. 3.1) mit einer Vorlaufzeit von mehr als sechs Tagen und mit recht hoher Zuverlässigkeit vorauszuberechnen.

Für die Vorhersage vom 22. Juni 2015 lässt sich dies gut erkennen (Abbildung 9)**.** Der Beginn der ersten Hitzewelle vom 1. bis zum 7. Juli wurde bereits neun Tage im Voraus mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit vorhergesagt. Ab dem Tag +13 waren die Abweichungen deutlich höher (sowohl negativ wie positiv) und die zweite Hitzewelle ab dem 16. Juli konnte mit der Ensembleprognose vom 22. Juni nicht mehr erkannt werden.

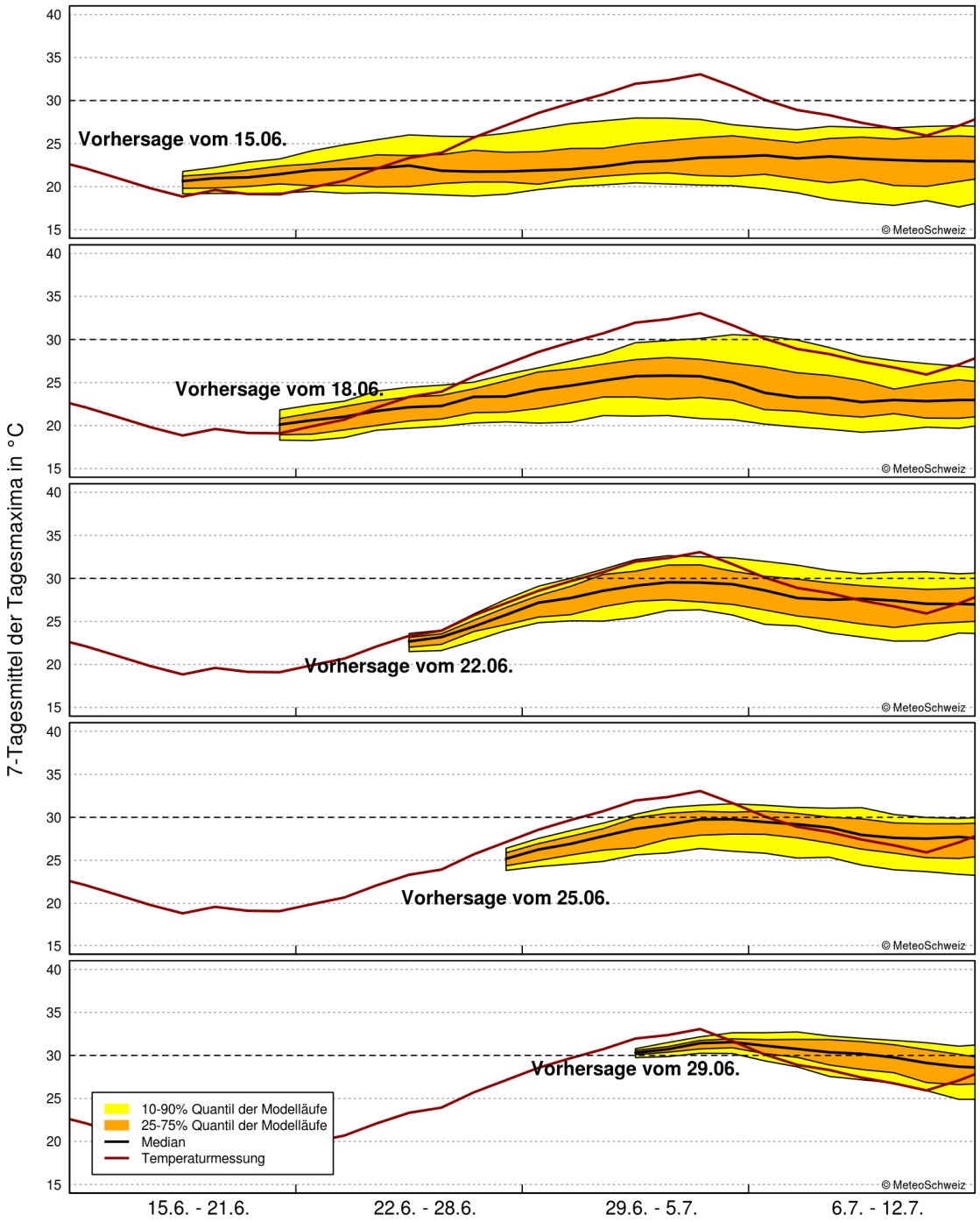


**Abbildung 8:** Vergleich der ECMWF-Monatsvorhersagen für Anfang Juli 2015. Gezeigt ist das gleitende 7-Tage-Mittel der vorhergesagten Maximaltemperatur in Zürich der Vorhersagen vom 15.–29. Juni.

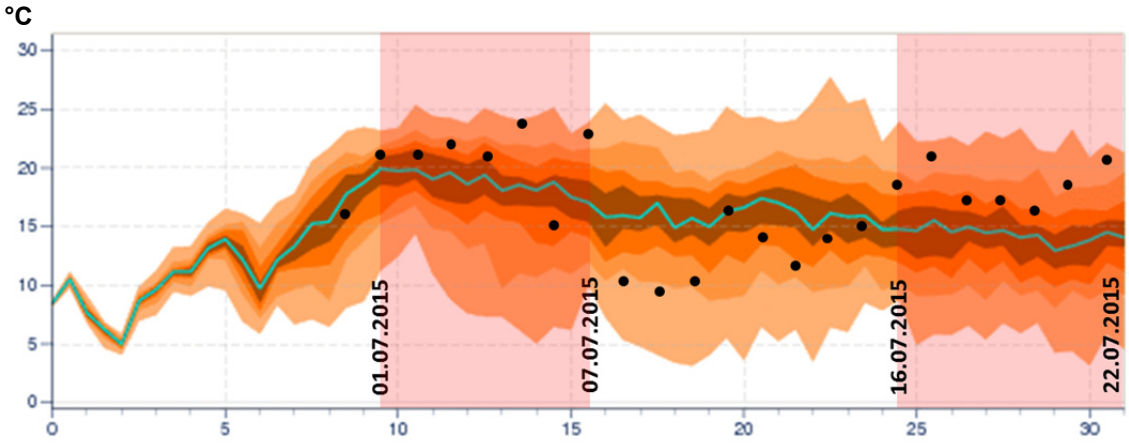


**Abbildung 9:** Ensemble-Vorhersage des ECMWF der Temperatur auf 850 hPa für Zürich, gestartet am 22. Juni 2015. Gezeigt ist der Median (grüne Linie), sowie die Spannweite der 51 Mitglieder des Ensembles (farbigen Bereiche um den Median). Unterschieden werden dabei die zentral um den Median gelegenen 25%, 50% und 75% der Mitglieder, das äusserste Band beschreibt die Spannweite des gesamten Ensembles. Die schwarzen Punkte repräsentieren die Werte aus der jeweiligen Analyse des ECMWF am betreffenden Tag. Rot hinterlegt sind die beiden Hitzeperioden.

### Klimatologische Einschätzung mittels Extreme Forecast Index

Mit der Berechnung des EFI (Extreme Forecast Index, Definition siehe Kap. 9.2.2) aus den mittelfristigen Ensemble-Vorhersagen des ECMWF gibt es eine weitere Möglichkeit, prognostisch ein Extremereignis in Bezug auf die Klimatologie einzuordnen. Dies erlaubt es, frühzeitig aussergewöhnliche Ereignisse zu bemerken und gegebenenfalls Warnungen vorzubereiten. Bei der ersten Hitzewelle beispielsweise zeigte der EFI spätestens zwei Tage vorher, dass für West- und Mitteleuropa ein sehr seltenes Hitze-Ereignis bevorstand (Abbildung 10). Der Wert 1 (in rot dargestellt) bedeutet, dass in diesen Regionen so hohe Temperaturen in den letzten 20 Jahren äusserst selten bis niemals vorgekommen sind.

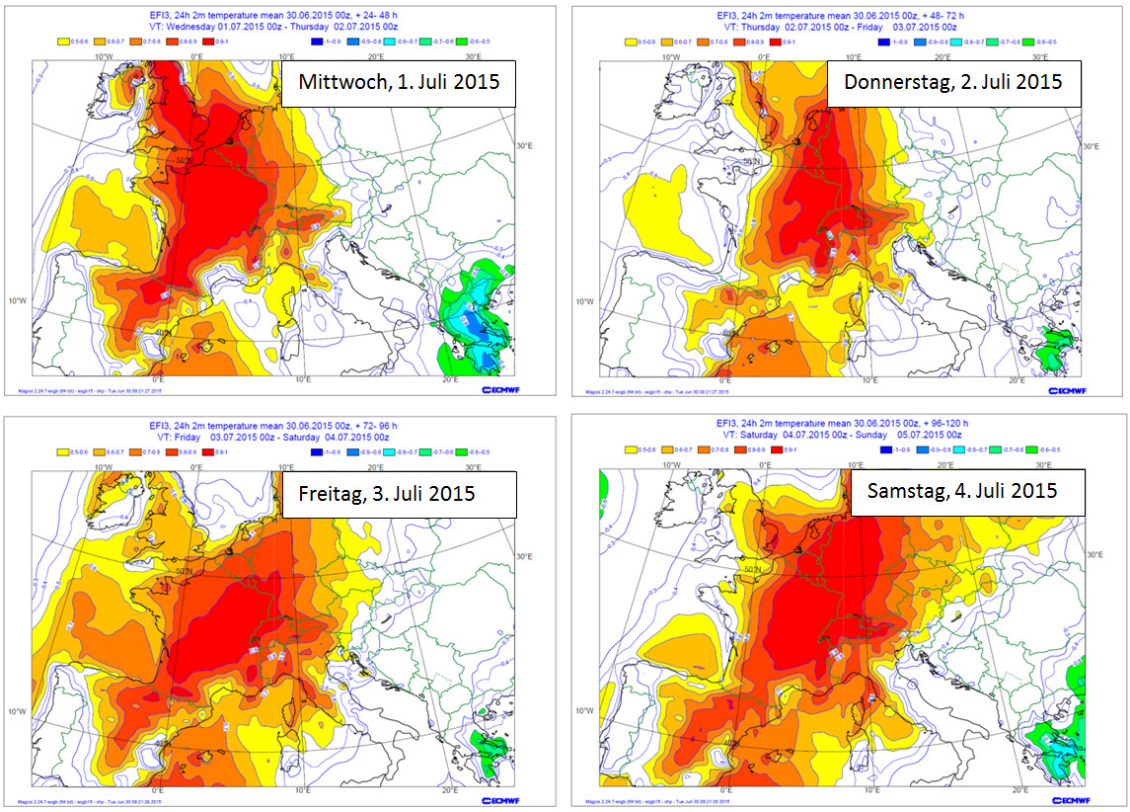


**Abbildung 10:** Vorhersage des EFI (Extreme Forecast Index) des ECMWF betreffend Höchsttemperatur vom 30. Juni 2015 für den 1. bis 4 Juli 2015. Rot eingefärbte Zonen weisen auf ungewöhnlich hohe Temperaturen, grün-blaue Zonen auf ungewöhnlich tiefe Temperaturen hin.

## 4.3 Operationelle Warnungen

Gemäss der Alarmierungsverordnung, dem MetG (Bundesgesetz über die Meteorologie und Klimatologie) und der MetV (Verordnung über die Meteorologie und Klimatologie) warnt MeteoSchweiz vor den Gefahren des Wetters. Deshalb erstellt MeteoSchweiz in Situationen, in welchen eine Hitzewelle erwartet wird, Warnungen. Diese richten sich einerseits an die Behörden, sind aber auch für die Öffentlichkeit verfügbar. Nachfolgend wird beschrieben, anhand welcher Entscheidungsgrundlagen und wie gewarnt wird. Zusätzlich wird die Qualität der Hitze-Warnungen 2015 überprüft.

### Entscheidungsgrundlagen

Als Grundlage für die Einordnung einer Hitzeepisode und die Evaluierung einer möglichen Warnsituation wird die Prognose des Hitzeindex (HI, siehe Kap. 9.2.1) herangezogen. Die vom Hitzeindex abgeleiteten Warnschwellen wurden von MeteoSchweiz auf bis zu 4 Stufen festgelegt und gelten für die Niederungen unterhalb von 600 m ü. M. (Tabelle 7). Die Warnungen der Stufe 4 müssen mindestens einmal pro Tag bestätigt werden, damit sie weiterhin Gültigkeit haben.

### Warnablauf

In Bezug auf mögliche Warnereignisse wird täglich eine Beurteilung der nächsten fünf Tage ab der Stufe 3 vorgenommen. Liegt die Wahrscheinlichkeit eines zukünftigen Ereignisses höher als 40 %, erfolgt die Ausgabe des sogenannten Warnausblicks. Seit Mitte Dezember 2014 wird dieser in grafischer Form, unter anderem auf der damals neu lancierten Webseite der MeteoSchweiz dargestellt[3].

Falls die betroffene Region über das Zuständigkeitsgebiet eines Regionalzentrums hinausgeht, wird der Warnausblick gemeinsam ausgegeben. Sobald eine Zeitspanne von 24–36 Stunden vor Ereignisbeginn erreicht wird, ist die Ausgabe einer Warnung notwendig, sofern die Eintreffwahrscheinlichkeit der Überschreitung der Warnschwellen mindestens 70 % beträgt.

Die Verantwortung der Warnausgabe liegt dabei bei demjenigen Regionalzentrum, das die Federführung bei diesem Ereignis hat. Der genaue Ablauf wird jeweils gemäss dem definierten Standardverfahren mittels Checkliste durchgeführt.

Im Falle der Stufe 4-Warnung wird zusätzlich die Einsatzorganisation EO Met aufgeboten (siehe Kapitel 4.4). In dieser Gruppe hat die Einsatzleiterin oder der Einsatzleiter Wetter (EL Wet) die Koordinationsaufgabe zwischen Prognosedienst und EO Met und stellt den fachlichen Informationsfluss sicher. Zudem unterstützt und entlastet diese Person den Prognosedienst in der Erstellung und Aussendung der Warnprodukte.

### Warnausgaben im Hitzesommer 2015

Der chronologische Ablauf der Warnungen während der Hitzewellen im Sommer 2015 zeigt die Entscheidungswege und Warnaktivitäten im Detail (siehe auch Tabelle 9 im Anhang A). Der erste Warnausblick für eine mögliche Hitzewelle der Stufe 3 wurde bereits am 26. Juni 2015 ausgegeben. Dieser erstreckte sich über die Westschweiz und das Wallis mit der Gültigkeit vom 1. Juli, 12 Uhr bis 3. Juli 2015, 24 Uhr. Am 27. Juni wurde dieser Warnausblick mit den übrigen Regionen nördlich der Alpen ergänzt. Am 28. Juni wurde der Zeitraum des Warnausblicks auf den 4. Juli ausgedehnt.

Am 29. Juni erfolgten die Warnausgaben: eine Stufe 4 für westliche Regionen, das Wallis und die Alpensüdseite, sowie eine Stufe 3 für die übrigen Regionen der Niederungen für den Zeitraum vom 1. Juli, 12 Uhr bis 5. Juli, 18 Uhr. Am 30. Juni wurde die Stufe 4 gemäss Warnablauf bestätigt (die Stufe 3 muss nicht bestätigt werden). Am 1. Juli wurde die Stufe 3 Warnung ebenfalls auf die Stufe 4 erhöht und die bestehende Stufe 4 Warnung mit Gültigkeit vom 2. Juli, 12 Uhr bis am 6. Juli, 20 Uhr bestätigt (Abbildung 11). Gleichzeitig wurde im Anschluss noch der Warnausblick der Stufe 4 bis zum 7. Juli ausgegeben. So wurden die Warnungen der Stufe 4 täglich bestätigt und der Ausblick jeweils um einen Tag erweitert, bis man am 6. Juli den Ausblick gültig für den 7. bis 9. Juli für die Regionen nördlich der Alpen aufheben konnte. Derjenige südlich der Alpen wurde aufrecht erhalten. Am 7. Juli 2015 wurde die Stufe 4-Warnung aufgehoben.

3 http://www.meteoschweiz.admin.ch/home.html?tab=alarm

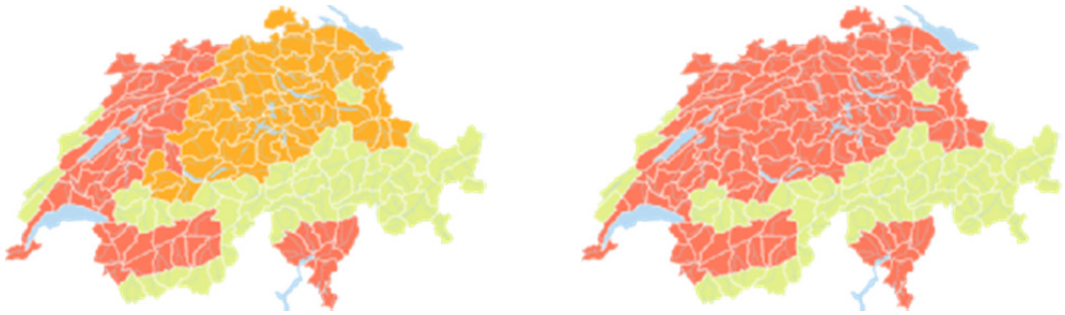

**Abbildung 11:** Hitzewarnungen der Stufe 3 und 4 am 30. Juni (links) und 1. Juli 2015 (rechts).

In den Folgetagen blieb der Warnausblick für Hitzewelle der «Stufe 3 möglich» weiterhin bestehen. Am 13.Juli wurde die nächste Warnung der «Stufe 3 gültig» vom 14. bis 18.Juli für die Alpensüdseite erstellt. Einen Tag später am 15. Juli folgte auch eine «Stufe 3»- Warnung für die übrigen Gebiete der Schweiz. Schon am 16. Juli musste die Warnung für die Alpensüdseite auf die Stufe 4 erhöht werden. Am 18. Juli konnte wegen der vorübergehenden Stabilisierung und leichten Abkühlung die Hitzewarnung der Stufe 3 nördlich der Alpen (inkl. Wallis) aufgehoben werden. Bereits am 20. Juli erfolgte für das Wallis wieder eine Stufe 3-Warnung, die am 22. Juli wieder entwarnt wurde. Im Süden wurde das Stufe 4.-Ereignis nach täglichem Update erst am 24. Juli abends beendet.
Die Hitzewelle vom August wurde nur für die Alpensüdseite gewarnt. Nördlich der Alpen übertraf der Heat Index weniger deutlich und nicht grossflächig den Schwellwert von 90 über 3 Tage. Die Warnausgabe der Stufe 3 für die Alpensüdseite erfolgte am 4. August mit der Gültigkeit für den Zeitraum vom 5. bis zum 8. August. Am 8. August wurde die Warnung wieder aufgehoben.
Die Warnungen werden der Öffentlichkeit über das Naturgefahrenprotal[4] und die Website und App der MeteoSchweiz zur Verfügung gestellt (Abbildung 12).

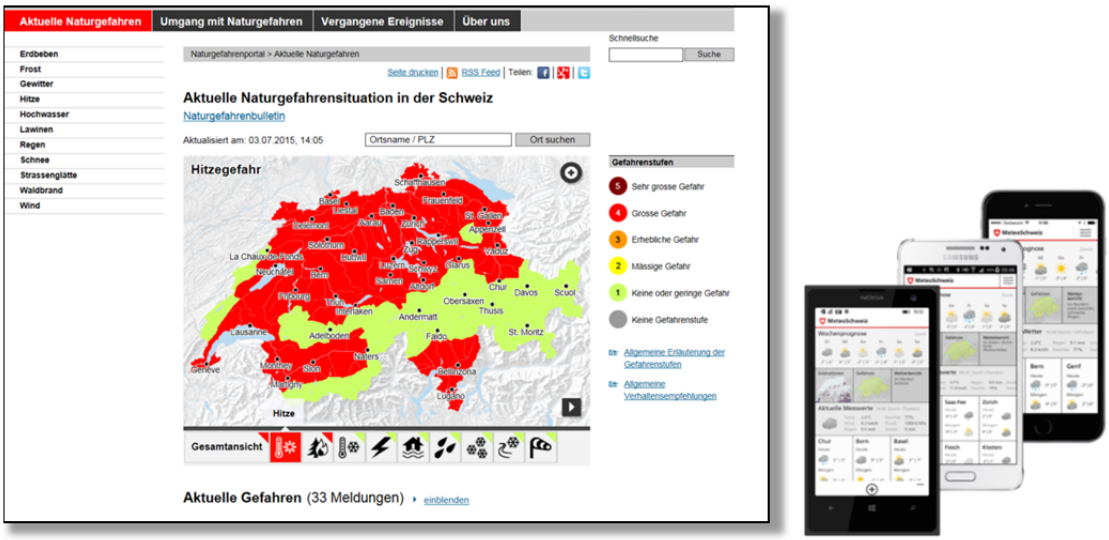


**Abbildung 12:** Bereitstellung der Warnungen für die Öffentlichkeit.

[4] www.naturgefahren.ch

### Beurteilung der Warnungen

Die Verifikationen der Warnungen ab Stufe 3 werden durch die drei Regionalzentren nach gleichen Bewertungsgrundlagen separat durchgeführt.

Die Verifikationsergebnisse zeigen, dass vor der ersten Hitzewelle (30. Juni–7. Juli) richtig gewarnt wurde (Tabelle 1). Die zweite Hitzewelle (15.–24. Juli) wurde nördlich der Alpen zur Hälfte überwarnt, hauptsächlich deshalb, weil nur an 2 von 3 Tagen der Heat Index von 90 erreicht oder überschritten wurde. Südlich der Alpen wurde vor dieser zweite Hitzewelle richtig gewarnt. Auch die dritte Hitzewelle im August wurde im Tessin richtig gewarnt.

**Tabelle 1:** Bewertung der Warnleistungen der beiden Hitzewellen im Sommer 2015

| Datum | Regionalcenter | Stufe | Treffer | Falschalarm | Verpasst |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.–7. Juli | Zürich-Kloten | 4 | 100 % | 0 % | 0 % |
| 1.–7. Juli | Genève | 4 | 100 % | 0 % | 0 % |
| 30. Juni–7. Juli | Locarno-Monti | 3 -> 4 | 100 % | 0 % | 0 % |
| 16.–18. Juli | Zürich-Kloten | 3 | 50 % | 50 % | 0 % |
| 16.–18. Juli | Genève | 3 | 50 % | 50 % | 0 % |
| 15.–24. Juli | Locarno-Monti | 3 -> 4 | 100 % | 0 % | 0 % |
| 5.–8. August | Locarno-Monti | 3 | 100 % | 0 % | 0 % |

### Mögliche Massnahmen zur Verbesserung des Warnablaufs

Aus den Ereignissen der beiden Hitzewellen des Jahres 2015 haben sich mit deren Bewältigung im Warnbereich folgende Erkenntnisse und daraus abgeleitete mögliche Massnahmen ergeben:

- Für ein Ereignis wie die Hitzewelle, das vom Wetterablauf her wenig Dynamik enthält und somit gut vorhersagbar ist, sollten die Warnausgaben soweit wie möglich reduziert werden. Tägliche Warnungen bringen inhaltlich kaum einen Mehrwert und führen zu einer Übersättigung in der Verbreitung. Eine Überprüfung der Abläufe und daraus entsprechende Anpassungen sollen deshalb vorgenommen werden.

- Die Warnschwellen für den Heat Index sollten überprüft und angepasst werden. Die Abstufung der Stufe 3 (HI ≥ 90) zu 4 (HI ≥ 93) ist zu gering. Bei einigen Stationen wurde ein HI von ≥ 100 erreicht (siehe auch Abbildung 5). Nebst der Anpassung der Schwellen für die Stufen 3 und 4 sollte auch die Einführung der Stufe 5 in Betracht gezogen werden. Eine entsprechende Massnahme müsste vorgängig mit den Kantonen und der Fachstelle des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) gemeinsam erarbeitet werden.

Weiterführende Informationen zum Thema Optimierung der Warnung und Alarmierung sind im Fachbericht Nr. 259 der MeteoSchweiz zu finden (Kube et al. 2016).

## 4.4 Einsatzorganisation MeteoSchweiz, EO Met

**Funktion und Leistungsprofil**

Bei einer Naturgefahrenwarnung der Stufen 4 oder 5 kann gemäss der Alarmierungsverordnung (AV) eine verbreitungspflichtige Bevölkerungswarnung angeordnet werden. Diese muss über die Rundfunkveranstalter entweder sofort oder bei nächster Gelegenheit ausgestrahlt werden. Die verbreitungspflichtigen Bevölkerungswarnungen werden unter den Naturgefahrenfachstellen des Bundes auch SOV-Warnungen genannt (SOV für Single Official Voice).

Eine solche Massnahme hat somit eine grosse Tragweite. Es wird deshalb jeweils im Einzelfall explizit entschieden, ob, wann und wie eine solche verbreitungspflichtige Bevölkerungswarnung ausgegeben werden muss. Dieser Entscheid wird im Rahmen der Einsatzorganisation MeteoSchweiz (EO Met) unter Berücksichtigung der relevanten[5] Informationen getroffen. Diese Organisation unterstützt den Entscheidungsträger (z. B. den Direktor oder ein dediziertes Mitglied der Geschäftsleitung) bei der Entscheidungsfindung. Obwohl die EO Met eine Krisenorganisation mit einem breiten Einsatzspektrum ist, kommen Einsätze im Zusammenhang mit der Ausgabe von Warnungen der Stufe 4 und 5 am häufigsten vor. Im Schnitt geschieht dies mehrmals jährlich.

Die EO Met ist rund um die Uhr über den Single Point of Contact (SPOC EO Met) erreichbar. Die SPOC Funktion wird von Kadermitarbeitenden von MeteoSchweiz wahrgenommen. Im Einsatz übernimmt der aktuelle SPOC dann die Funktion des Stabschefs, der die Organisation aufbietet, führt und zugunsten des Entscheidungsträgers die notwendigen Fakten, Lösungsalternativen, Planungen u. ä. vorbereiten lässt. Damit MeteoSchweiz jederzeit geführt und als Einheit agieren kann, rapportieren im Einsatz alle für die jeweilige Fragestellung relevanten Fachgebiete in die EO Met.

Die Methoden und Organisationsweise der EO Met sind die gleichen, wie sie bei zivilen Führungsorganen (oft auch als Krisenstäbe betitelt) der verschiedenen Verwaltungsstufen verwendet werden. Die EO Met wird durch die Experten des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz beraten, unterstützt und ausgebildet. Damit kann auf der Führungsstufe eine hohe Interoperabilität zwischen den verschiedenen Institutionen erreicht werden.

**Die EO Met Einsätze während der Hitzewellen im Juni und Juli 2015**

Die EO Met war in zwei Phasen aktiv, vom 29. Juni bis zum 6. Juli sowie vom 16. bis zum 23. Juli. Gemäss den MeteoSchweiz-internen Richtlinien wurde der SPOC EO Met durch den Prognosedienst jeweils informiert, wenn mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 40 % mit Hitzewarnungen der Stufe 4 gerechnet werden muss. Entsprechend wurde die EO Met durch den jeweiligen SPOC hochgefahren. Die entsprechenden Mitarbeitenden wurden informiert. Da die Prognostizierbarkeit der Hitzewellen sehr gut war (siehe dazu Kapitel 4.2) und damit genügend Vorlauf vorhanden war, musste die EO Met nicht unter Zeitdruck aufgeboten werden. Die Stabsprozesse unterlagen damit in der Ausprägung nicht dem sonst üblichen sehr hohen zeitlichen Druck, wie beispielsweise beim Entscheid der Ausgabe einer SOV-Warnung im Zusammenhang mit einem Sturmereignis.

In beiden Fällen wurde explizit darauf verzichtet, eine SOV-Warnung auszugeben. Die Erörterungen dazu waren zusammengefasst die folgenden:

[5] Fachlich-meteorologische Abwägung, Gefährlichkeit des Phänomens, Ausdehnung des Phänomens, antizipierte Nützlichkeit, kommunikative Aspekte

- Es handelte sich um ein Ereignis, das sich langsam aufbaute und somit keine zeitlich akute Gefahr darstellte.
- Die Bevölkerung wurde über die Medien bereits breit über die Gefahr informiert.
- Die SOV-Warnung könnte nicht über die gesamte Dauer des Ereignisses aufrecht erhalten werden; in diesem Sinne wäre eine SOV-Warnung nur zu Beginn sinnvoll gewesen.
- Bei der zweiten Hitzewelle kam hinzu, dass die Kriterien für Warnungen der Stufe 4 regional auf die Südschweiz beschränkt war, was eine SOV-Warnung nicht sinnvoll macht.

Die EO Met erarbeitete für den weiteren Verlauf der Hitzewelle folgende Ziele und Beschlüsse:

- Die MeteoSchweiz informiert die Bevölkerung durch regelmässige und konsistente Mitteilungen an die Medien weiterhin angemessen über die Bedingungen und die zu erwartenden Entwicklungen.
- Die Informationen der MeteoSchweiz zeichnen sich weiterhin durch Professionalität und Detailtiefe aus. Besonders von Bedeutung ist dabei die klimatologische Einordnung des Ereignisses.
- Die Informationskanäle (Webseite, Blog, Facebook, Twitter) werden weiterhin genutzt und koordiniert.

Im Verlauf des Einsatzes erhielt die Koordination mit anderen Bundesstellen wie dem Bundesamt für Umwelt (BAFU), dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) und dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) eine zunehmend grössere Bedeutung.

Die EO Met war während 16 Tagen mit einem relativ tiefen Führungsrhythmus im Einsatz. Zu Beginn gab es tägliche Rapporte. Später wurden die Lagerapporte zur Steuerung der Einsätze nur noch alle paar Tage angesetzt. Im Einzelfall gab es trotzdem Spitzen zu absorbieren, vor allem in der Kommunikation.

Abschliessend lässt sich ein positives Fazit aus den EO Met Einsätzen ziehen. Die gewünschte Aussenwirkung gemäss den oben formulierten Zielsetzungen wurde erreicht. Die Zusammenarbeit mit den Bundesbehörden verlief reibungslos. Die personellen und technischen Ressourcen wurden optimal eingesetzt. Aus den wertvollen Erfahrungen dieses Ereignisses und den Feedbacks der Beteiligten wurden Massnahmen abgeleitet, um den Prozess weiter zu optimieren.

# 5 Temperatur-Extreme im Sommer 2015

Im Sommer 2015 wurden in der Schweiz einige Temperatur-Extreme verzeichnet, die neue Rekorde setzten. So lieferte der Sommer 2015 den wärmsten Hochsommer, regional den wärmsten Monat und auf der Alpennordseite die höchste Tagesmaximum-Temperatur seit Messbeginn. Extrem, aber nur lokal im Rekordbereich, waren die beiden Hitzewochen im Juli. Sowohl nördlich als auch südlich der Alpen gehören sie zu den heissesten seit Messbeginn vor über 150 Jahren. Dieses Kapitel gibt eine Übersicht der verzeichneten Rekorde, räumlich differenziert und für unterschiedliche Zeitperioden (Hochsommer- bis Wochenbasis), und liefert Vergleiche mit vergangenen Werten.

## 5.1 Wärmster Hochsommer seit Messbeginn

Der Hochsommer 2015 war zusammen mit dem Hochsommer 2003 der wärmste seit Messbeginn 1864 (Abbildung 13). Über die beiden Hochsommer-Monate, Juli und August 2015, ergibt sich für die Schweiz im Durchschnitt eine 2.7 Grad höhere Temperatur im Vergleich zur Norm. Der Hitzesommer 2003 zeigte im Hochsommer mit 2.6 Grad einen vergleichbaren Wärmeüberschuss. Die zwei aussergewöhnlichen Ereignisse (die Hochsommer 2003 und 2015) liegen rund ein Grad über allen anderen sehr warmen Hochsommern seit dem Messbeginn vor 152 Jahren

In mittleren und hohen Lagen brachte der Hochsommer 2015 neue Rekordtemperaturen. Der Durchschnitt der beiden Monate Juli und August lag an einzelnen Messstandorten mehr als ein halbes Grad über den Werten des Hochsommers 2003, so zum Beispiel auf dem Säntis oder auf dem Jungfraujoch (nicht abgebildet).

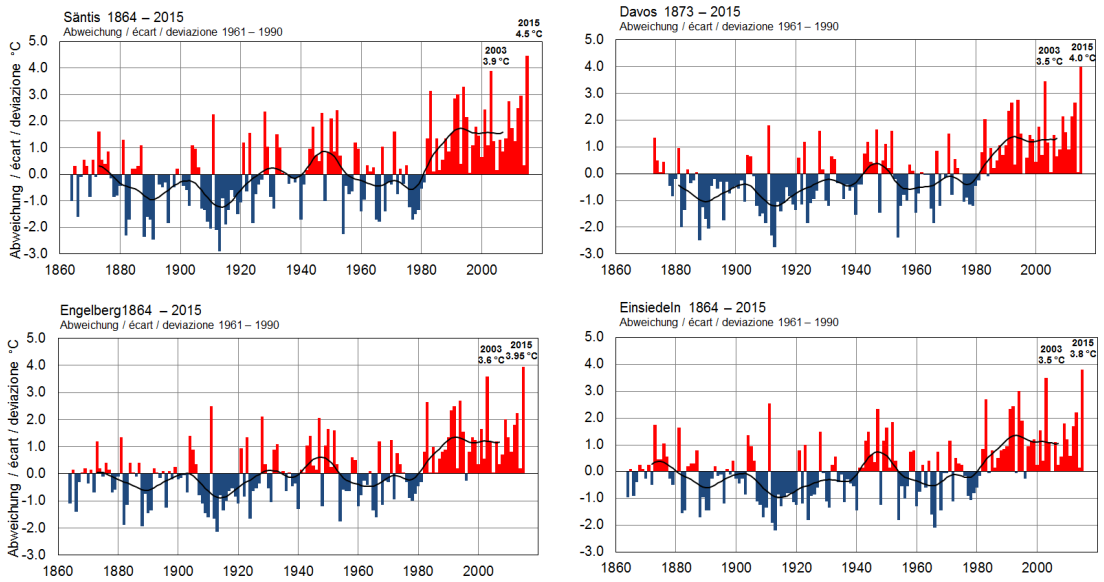


**Abbildung 13:** Abweichung der Hochsommer-Temperatur (Mittel Juli–August) vom langjährigen Durchschnitt (Norm 1961–1990) an vier Messstandorten in mittleren und höheren Lagen. Überdurchschnittliche Temperaturen sind rot, unterdurchschnittliche blau angegeben. Die schwarze Kurve zeigt den Temperaturverlauf gemittelt über 20 Jahre.

## 5.2 Wärmster Monat seit Messbeginn

Der Juli 2015 schlug im Engadin, auf der Alpensüdseite, im Wallis und in der Westschweiz verbreitet die bisherigen Monatsrekorde. Lokal lieferte er hier eine um etwa 1 Grad höhere Monatstemperatur gegenüber dem bisherigen Höchstwert. An einzelnen Messstandorten wurde der bisherige Monatsrekord hingegen nur knapp überboten oder sogar nur egalisiert. Die höchsten bisherigen Monatstemperaturen stammen in der Schweiz überwiegend vom Juli 2006 und August 2003. Ganz vereinzelt treten noch der Juni 2003 und der Juli 1983 als Rekordhalter auf (Tabelle 2).

**Tabelle 2:** Die neuen Rekordwerte vom Juli 2015 im Vergleich mit den bisher höchsten Monatsmittel-Temperaturen und deren Datum. Der Eintrag «Messreihe seit» steht für «homogene Messreihe verfügbar seit».

| ENGADIN | | Rekord bisher | | Messreihe seit |
|---|---|---|---|---|
| Buffalora | 14.3 °C | 7.2006 | 13.3 °C | 1917 |
| Piz Corvatsch | 6.2 °C | 8.2003 | 5.5 °C | 1979 |
| Samedan | 15.4 °C | 7.2006 | 14.9 °C | 1864 |
| Scuol | 18.6 °C | 8.2003 | 18.3 °C | 1959 |
| Segl-Maria | 14.8 °C | 8.2003 | 14.7 °C | 1864 |

| WALLIS | | Rekord bisher | | Messreihe seit |
|---|---|---|---|---|
| Col du Grand St-Bernard | 11.9 °C | 8.2003 | 11.8 °C | 1818 |
| Sion | 24.0 °C | 7.2006 | 23.3 °C | 1864 |
| Ulrichen | 17.3 °C | 7.2006 | 17.2 °C | 1981 |
| Visp | 22.6 °C | 7.2006 | 22.3 °C | 1959 |
| Zermatt | 16.7 °C | 7.2006 | 16.6 °C | 1959 |

| ALPENSÜDSEITE | | Rekord bisher | | Messreihe seit |
|---|---|---|---|---|
| Acquarossa / Comprovasco | 22.3 °C | 8.2003 | 22.3 °C | 1959 |
| Locarno / Monti | 25.8 °C | 8.2003 | 25.3 °C | 1882 |
| Lugano | 25.8 °C | 7.1928 | 25.0 °C | 1864 |
| Magadino / Cadenazzo | 24.9 °C | 6.2003 | 24.2 °C | 1959 |
| Piotta | 20.8 °C | 7.2006 | 20.3 °C | 1979 |
| Poschiavo / Robbia | 19.4 °C | 8.2003 | 18.9 °C | 1959 |
| Sta. Maria, Val Müstair | 18.6 °C | 8.2003 | 18.4 °C | 1959 |
| Stabio | 24.7 °C | 7.2006 | 23.7 °C | 1981 |

| WESTSCHWEIZ | | Rekord bisher | | Messreihe seit |
|---|---|---|---|---|
| Aigle | 22.8 °C | 6.2003 | 21.9 °C | 1981 |
| Bern / Zollikofen | 22.0 °C | 7.2006 | 21.8 °C | 1864 |
| Fribourg / Posieux | 21.9 °C | 7.2006 | 21.8 °C | 1959 |
| Genève-Cointrin | 24.2 °C | 7.2006 | 23.7 °C | 1753 |
| Neuchâtel | 23.6 °C | 7.2006 | 23.4 °C | 1864 |
| Nyon / Changins | 23.7 °C | 8.2003 | 23.6 °C | 1965 |
| Payerne | 22.5 °C | 7.2006 | 22.5 °C | 1964 |
| Pully | 24.0 °C | 8.2003 | 24.0 °C | 1959 |

| ÜBRIGE SCHWEIZ | | Rekord bisher | | Messreihe seit |
|---|---|---|---|---|
| Engelberg | 18.7 °C | 8.2003 | 18.7 °C | 1864 |
| Interlaken | 22.2 °C | 7.2006 | 21.7 °C | 1959 |
| Jungfraujoch | 3.5 °C | 8.2003 | 3.0 °C | 1933 |
| Langnau i.E. | 20.2 °C | 8.2003 | 20.1 °C | 1959 |
| Meiringen | 21.1 °C | 7.1983 | 21.1 °C | 1889 |
| Weissfluhjoch | 9.7 °C | 8.2003 | 9.6 °C | 1959 |

## 5.3 Zwei extreme Hitzewochen

Der Juli 2015 brachte sowohl nördlich als auch südlich der Alpen eine der extremsten Hitzewochen seit dem Messbeginn vor über 150 Jahren. Auf der Alpennordseite stellte sich die grösste Hitze gleich zum Monatsbeginn ein, während sie auf der Alpensüdseite nach der Monatsmitte folgte.

### Alpennordseite

Vom 1. bis zum 7. Juli 2015 erreichte die durchschnittliche Tagesmaximum-Temperatur im Flachland der Alpennordseite 33 bis über 36 Grad. Am Messstandort Genf stieg das 7-Tagesmittel des Tagesmaximums mit 36.3 Grad auf den zweithöchsten Wert in der über 150-jährigen Messreihe. Die Hitzewoche vom 1. bis zum 7. Juli 2015 war in Genf damit praktisch gleich heiss wie die Rekord-Hitzewoche im August des Hitzesommers 2003, welche 36.7 Grad brachte (Abbildung 14, oben).

Am Messstandort Basel lieferte neben dem Hitzesommer 2003 auch die letzte Juliwoche des Sommers 1947 heissere Verhältnisse (Abbildung 14, unten), und die erste Juliwoche 1952 war hier ebenso heiss wie in diesem Jahr. An den Messstandorten Neuchâtel, Bern, Luzern und Zürich – alles

Messreihen mit langen homogenen Daten zur Maximum-Temperatur – gab es in den Sommern 1947 und 2003 heissere Wochen als im Sommer 2015.

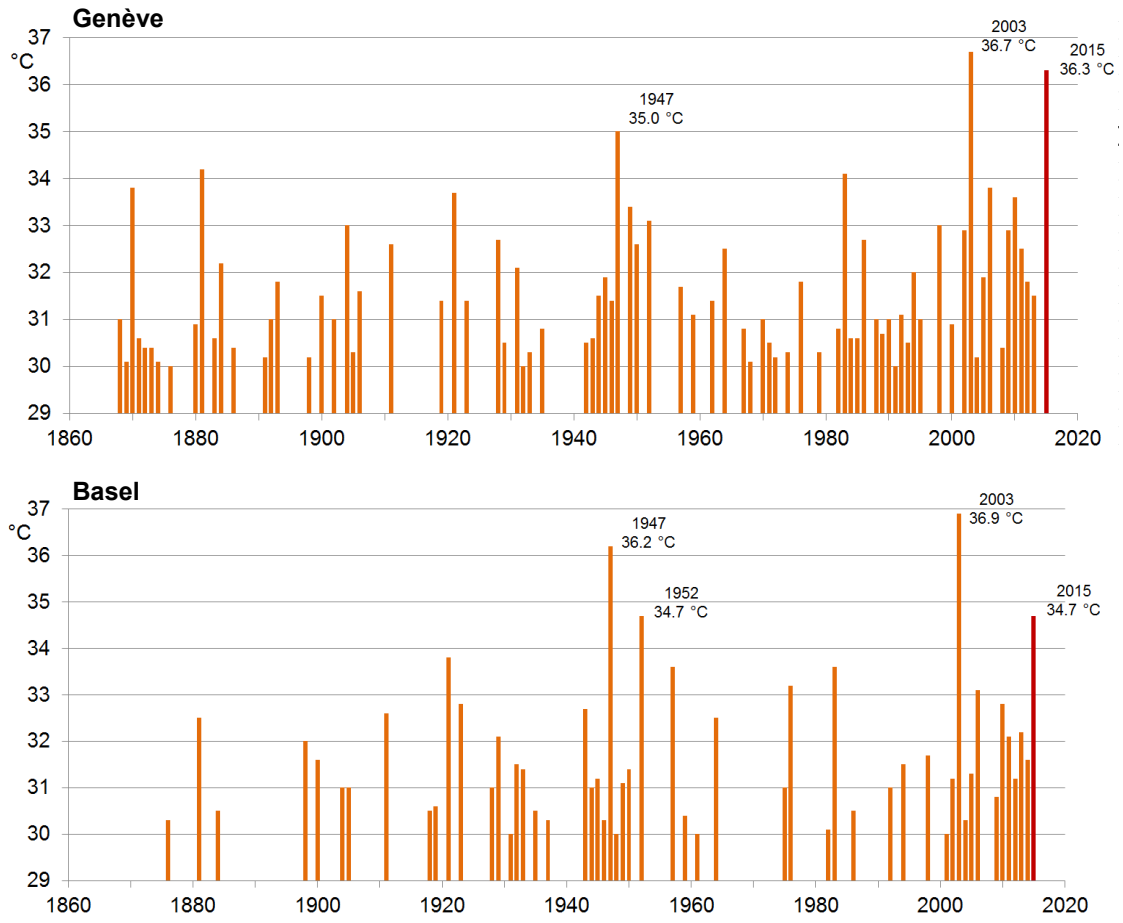


**Abbildung 14:** Intensivste jährliche 7-tägige Hitzeperiode mit einem mittleren Tagesmaximum von 30 Grad oder mehr. Messstandort Genève 1864–2014 (oben) und Messstandort Basel 1876–2014 (unten). Verwendet wurden homogene Tagesmaximum-Temperaturen. Die Hitzeperiode vom 1. bis 7. Juli 2015 ist in roter Farbe dargestellt.

## Alpensüdseite

Extreme Hitzeperioden zeigen sich in der Regel deutlicher in der West- und Nordwestschweiz, und etwas weniger intensiv auf der Alpensüdseite (vgl. Abb. Abbildung 14 und Abbildung 15). Auch während den ganz grossen Hitzewellen 2003 und 1947 lagen auf der Alpensüdseite die wöchentlichen Maximum-Temperaturen tiefer als nördlich der Alpen.

Während der Hitzewoche vom 1. bis zum 7. Juli 2015 erreichte das Wochenmittel des Tagesmaximums auf der Alpensüdseite 31 bis 32 Grad. Die heisseste Woche auf der Alpensüdseite erstreckte sich jedoch vom 17. bis zum 23. Juli. In Locarno-Monti stieg das Wochenmittel des Tagesmaximums auf 34.7 Grad (Abbildung 15). Damit war die Woche hier praktisch gleich heiss wie die Rekordwoche vom August 2003 mit 35.0 Grad.

In Lugano erreichte das 7-Tagesmittel des Tagesmaximums 32.9 Grad. Deutlich heisser war hier nur die 7-Tagesperiode im August 2003 mit 33.9 Grad, und ähnlich heisse 7-Tagesperioden mit 33.1 bzw. ebenfalls 32.9 Grad gab es im Juli 1945 und im Juli 1881.

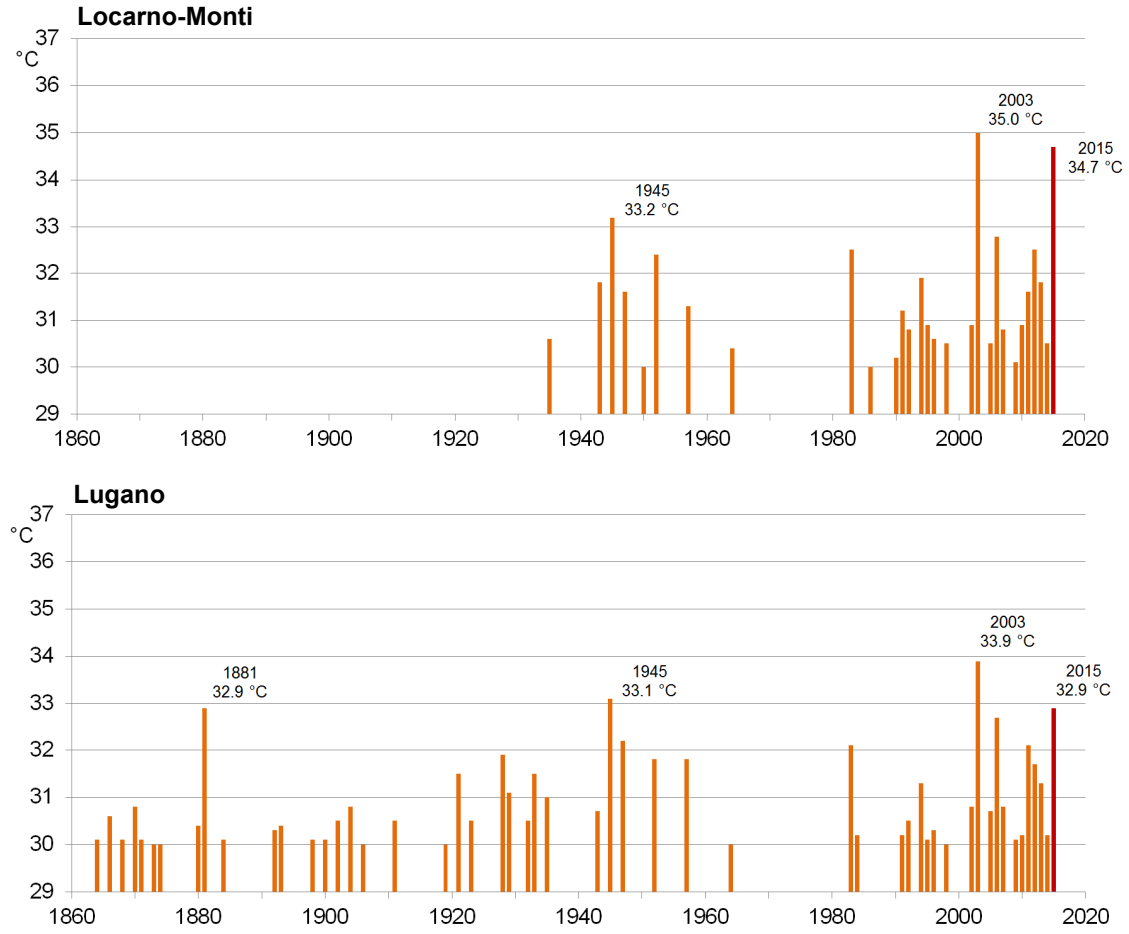


**Abbildung 15:** Intensivste jährliche 7-tägige Hitzeperiode mit einem mittleren Tagesmaximum von 30 Grad oder mehr. Messstandort Locarno-Monti 1935–2015 (oben) und Messstandort Lugano 1864–2015 (unten). Verwendet wurden homogene Tagesmaximum-Temperaturen. Die Hitzeperiode vom 17. bis 23. Juli 2015 ist in roter Farbe dargestellt.

### Weniger intensive Hitzewelle im August

Eine weitere Hitzewelle setzte anfangs August 2015 ein. Sie war weniger intensiv als die beiden vorangehenden Hitzewellen im Juli. Ab dem 03. August 2015 stieg die Tagesmaximum-Temperatur beidseits der Alpen während knapp einer Woche auf 30 Grad oder höher. In Lugano erreichte das höchste 7-Tagesmittel des Tagesmaximums 32.2 Grad, in Locarno-Monti 30.9 Grad. Das sind rund 2 Grad weniger als zur Zeit der grössten Hitze in der zweiten Julihälfte. Genf registrierte als höchstes 7-Tagesmittel des Tagesmaximums 31.7 Grad, Basel 31.4 Grad. Das sind 3 bis über 4 Grad weniger als während der extremen Hitzewoche anfangs Juli 2015.

**Hitzeperioden werden häufiger**

Intensive einwöchige Hitzeperioden sind gemäss dieser Betrachtung in den letzten Jahrzehnten häufiger geworden. In Regionen, die immer wieder davon betroffen waren, wie zum Beispiel der Westschweiz, folgen sie sich heute in kürzeren Zeitabständen. Regionen, die in der Vergangenheit kaum solche Hitzeperioden registrierten, müssen auch heute mehr oder weniger regelmässig damit rechnen.

Gemäss den vorliegenden Klima-Szenarien ist in der Schweiz bis Ende Jahrhundert eine starke Zunahme von Hitzewellen sehr wahrscheinlich (MeteoSchweiz 2014). Mehr dazu in Kapitel 8.

## 5.4 Temperaturrekord auf der Alpennordseite

Zum Abschluss der nordalpinen Hitzewoche registrierte Genf am 7. Juli mit 39.7 Grad die höchste je in der Schweiz auf der Alpennordseite gemessene Temperatur. Sie liegt fast 1 Grad über dem bisherigen Alpennordseiten-Rekord von 38.9 Grad, gemessen am 28. Juli 1921 ebenfalls in Genf. Von den zehn höchsten gemessenen Temperaturen stammen sieben aus der West- und Nordwestschweiz (Tabelle 3). Das unterstreicht die weiter oben aufgeführte Feststellung, dass sich extreme Hitze in der Regel am intensivsten in der West- und Nordwestschweiz zeigt.

**Tabelle 3:** Die zehn bisher höchsten erfassten Tagesmaximum-Temperaturen im Messnetz der MeteoSchweiz . Die Tagesmaxima von Genève sind bis 1864, jene von Basel bis 1876 zurück verfügbar. Die übrigen aufgeführten Messreihen umfassen 55 Jahre oder weniger. Verwendet wurden homogene Tagesmaximum-Temperaturen.

| Mess-standort | Datum | Rang | Tagesmaximum in Grad C | Mess-standort | Datum | Rang | Tagesmaximum in Grad C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Grono | 11.8.2003 | 1 | 41.5 | Grono | 9.8.2003 | 6 | 38.5 |
| Genève | 7.7.2015 | 2 | 39.7 | Basel | 31.7.1983 | 7 | 38.4 |
| Genève | 28.7.1921 | 3 | 38.9 | Basel | 28.7.1921 | 8 | 38.4 |
| Delémont | 31.7.1983 | 4 | 38.8 | Chur | 28.7.1983 | 9 | 38.1 |
| Basel | 13.8.2003 | 5 | 38.6 | Nyon | 7.7.2015 | 10 | 38.0 |

# 6 Klimaindikatoren zum Hitzesommer

## 6.1 Hitzetage

**Zeitliche Entwicklung seit 1961**

Die sommerliche Anzahl Hitzetage (Tage mit Maximumtemperatur grösser gleich 30° C) hat im Zeitraum 1961 bis 2015 an allen Stationen der tieferliegenden Regionen der Schweiz deutlich zugenommen (Abbildung 16). An hochliegenden Stationen (über 1500–2000 m ü. M.) treten bisher noch kaum Hitzetage auf. Die Trends sind je nach Region und Höhenlage etwas verschieden, aber überall positiv und statistisch hochsignifikant (Tabelle 5). Die grössten Trends in absoluten Zahlen findet man im Tessin und Wallis (3–4.4 Tage/10 Jahre). Relativ gesehen sind die Trends auch in etwas höheren Lagen sehr gross (z.B. + 370 % in Engelberg, 1036 m ü. M.). Die mit Abstand meisten Hitzetage wurden in den Sommern 2003 und 2015 registriert, wobei im Sommer 2003 je nach Region leicht bis deutlich mehr Hitzetage registriert wurden als 2015 (Abbildung 16).

Tropennächte (Tage mit Minimumtemperatur grösser gleich 20° C) sind ausser für das tiefliegende Tessin, der Genferseeregion sowie einigen Föhntälern in der Beobachtungsperiode mit 0.1 bis 1 Tropentagen pro Jahr im Mittel und entsprechend vielen Jahren mit null Tropennächten noch sehr selten. Trotzdem gibt es eine klare Tendenz für eine signifikante Zunahme in der Anzahl Tropennächte über die Zeit an allen Stationen (Tabelle 4). Die Trendzahlen (absolut und relativ) sind zum Teil sehr gross und nicht sehr aussagekräftig. Wie bei den Hitzetagen wurden in den Sommern 2003 und 2015 die mit Abstand meisten Tropennächte registriert.

**Tabelle 4:** Trends (absolut [Tage/10 Jahre] und relativ [% des Mittels 1961–2015]) sowie p-Wert der Anzahl Hitzetage und Tropennächte im Juni, Juli und August für den Zeitraum 1961-2015. Der Trend ist an allen Stationen signifikant (p-Wert kleiner als 0.05).

| Station | **Hitzetage** | | | **Tropennächte** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | abs. Trend [Tage/10J] | rel. Trend [%] | p-Wert | abs. Trend [Tage/10J] | rel. Trend [%] | p-Wert |
| Genève-Cointrin | 1.6 | 69 | 0.025 | 0.2 | 288 | 0.017 |
| Sion | 3.0 | 114 | $<10^{-3}$ | >10 | $>10^{4}$ | 0.028 |
| Lugano | 4.4 | 409 | $<10^{-3}$ | 4.1 | 248 | $<10^{-3}$ |
| Basel/Binningen | 1.9 | 118 | 0.002 | 1.7 | 1597 | $<10^{-3}$ |
| Zürich/Fluntern | 1.9 | 214 | $<10^{-3}$ | 1.0 | 1453 | 0.005 |
| Engelberg | 0.5 | 370 | 0.044 | >10 | $>10^{4}$ | 0.009 |

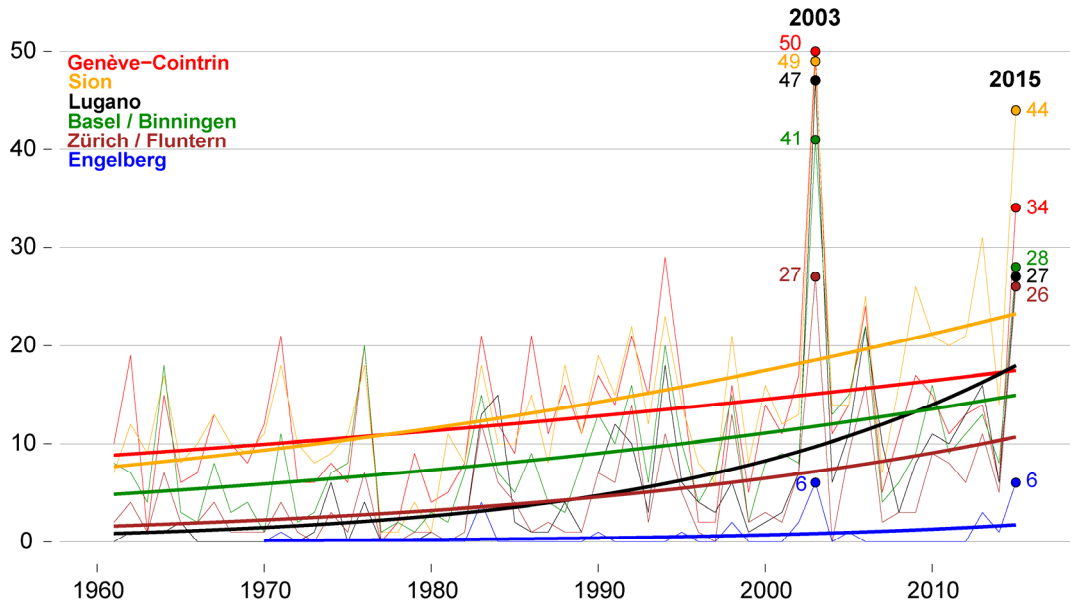


**Abbildung 16:** Verlauf der Anzahl Hitzetage ($T_{max}$≥30°C) in den Sommermonaten Juni, Juli und August für die Jahre 1961 bis 2015 an den MeteoSchweiz Stationen Genève-Cointrin (rot), Sion (orange), Lugano (schwarz), Basel/Binningen (grün), Zürich/Fluntern (braun) und Engelberg (blau). Die dicken Linien zeigen den Trend (logistische Regression). Für die Jahre 2003 und 2015 sind die Anzahl Hitzetage angegeben.

### Vergleich der Sommer 2015 und 2003

Tabelle 5 vergleicht die Anzahl Hitzetage und Tropennächte in den Sommern 2015 und 2003. Bei den Hitzetagen liegen die Werte von 2015 in Genève-Cointrin, Basel/Binningen und Lugano deutlich unter den Höchstwerten von 2003 (~13 bis 20 Tage weniger Hitzetage als 2003). In Sion, Zürich/Fluntern und in Engelberg, war die Anzahl Hitzetage 2015 aber fast gleich gross wie 2003 (~0 bis 5 Tage weniger Hitzetage als 2003). Anders das Bild bei den Tropennächten. So wurden im Tessin zwar im Jahr 2015 zwar deutlich weniger Tropennächte registriert als 2003, aber an den Nordschweizer Stationen z. T. deutlich mehr (z. B. 9 statt 2 Tropennächte in Zürich/Fluntern).

Um die räumlichen Unterschiede besser zu erkennen sind die Anzahl Hitzetage (Abbildung 17) und Tropennächte (Abbildung 18) kartografisch dargestellt. Und zwar für die Sommer 2015, 2003 sowie die Differenz 2015-2003 basierend auf MeteoSchweiz Gitterdaten mit einer Auflösung von 2 km x 2 km.

Wie bei den Stationsdaten, wurden im Sommer 2015 in den meisten Regionen weniger Hitzetage registriert als im Sommer 2003. Die Differenzkarte verdeutlicht, dass die Unterschiede (übereinstimmend mit Tabelle 5) in der West-, Nordwest- und Südschweiz am grössten sind. So wurden in tiefen Lagen der West- und Nordwestschweiz im Sommer 2015 10 bis 20 Hitzetage, entlang der Aare und in Tieflagen des Tessins z. T. mehr als 20 Hitzetage weniger registriert als 2003. Es gibt aber Regionen, wo die Sommer 2015 und 2003 ähnlich viele Hitzetage aufweisen (weiss bis leicht rot), so in Teilen des Jura, in der Lavaux, im Wallis, entlang der Voralpen sowie im Mittelland in der Region

Bern, Burgdorf, Langental sowie in einem Steifen der Regionen um Luzern, Zug, Einsiedeln, Zürich und Winterthur bis zum Bodensee.

**Tabelle 5:** Anzahl Hitzetage und Tropennächte im Juni, Juli und August für die Jahre 2015, 2003 sowie Differenz 2015 minus 2003 an den sechs MeteoSchweiz-Stationen.

| Station | **Hitzetage** | | | **Tropennächte** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2015 | 2003 | 2015-2003 | 2015 | 2003 | 2015-2003 |
| Genève-Cointrin | 34 | 50 | **-16** | 4 | 4 | 0 |
| Sion | 44 | 49 | **-5** | 5 | 0 | **5** |
| Lugano | 27 | 47 | **-20** | 28 | 45 | **-17** |
| Basel/Binningen | 28 | 41 | **-13** | 9 | 7 | **2** |
| Zürich/Fluntern | 26 | 27 | **-1** | 9 | 2 | **7** |
| Engelberg | 6 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Ebenfalls übereinstimmend mit den Stationsdaten, wurden im Sommer 2015 in mehreren Regionen mehr Tropennächte registriert als im Sommer 2003. Dies betrifft vor allem die Dreiseenregion, grosse Teile der Nordwestschweiz und das Luzerner Mittelland, die Gestade des Vierwaldstättersees sowie das Mittelland östlich der Reuss sowie das Churer Rheintal. Im Tessin und in der Genferseeregion wurden 2015 allerdings 5 bis 25 Tropennächte weniger vermerkt als 2003.

Karten der Differenzen der Maximum- und Minimumtemperaturen an Hitzetagen zeigen, dass im Sommer 2015 die Maximaltemperaturen in den meisten Regionen bis 1 Grad tiefer waren als 2003. Die Minimumtemperaturen hingegen waren in den meisten Regionen im Sommer 2015 an heissen Tagen höher (0.5–3 Grad), was gut mit der leicht höheren Anzahl Tropennächte im Sommer 2015 übereinstimmt.

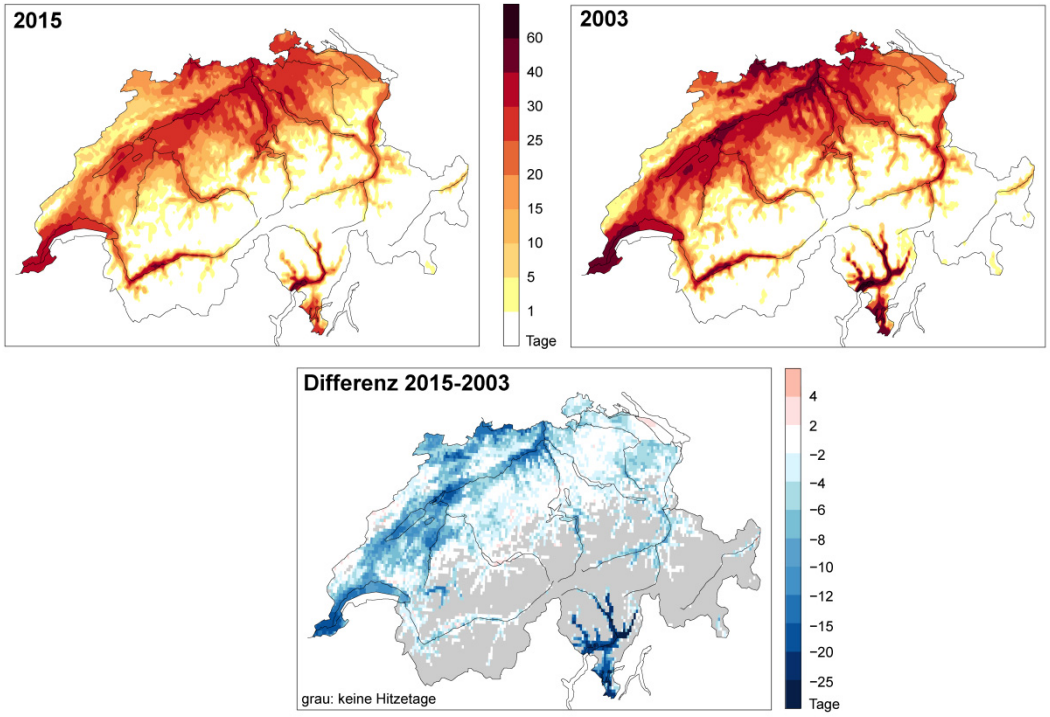


**Abbildung 17:** Karte der Anzahl Hitzetage ($T_{max}$≥30°C) in den Sommermonaten Juni, Juli und August für das Jahr 2015 (oben links), 2003 (oben rechts) und die Differenz 2015 minus 2003. Grau: Regionen ohne Hitzetage.

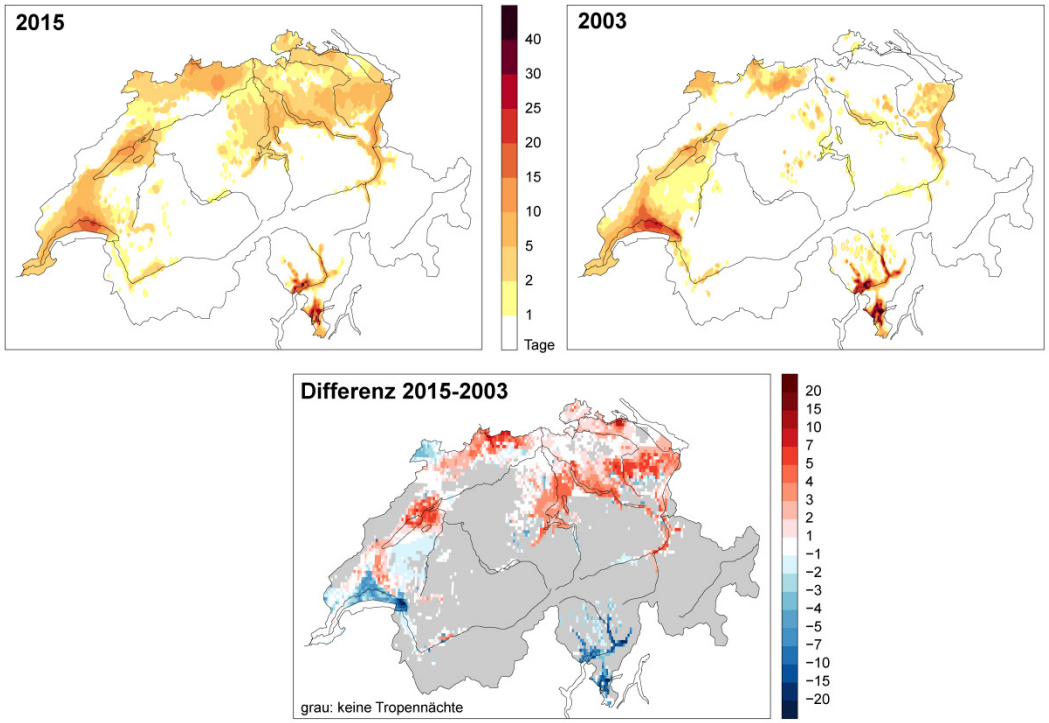


**Abbildung 18:** Wie Abbildung 17, aber für die Tropennächte ($T_{min}$≥20°C).

## 6.2 Verlauf der Nullgrad-Grenze

Der Verlauf der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre, die aus den täglichen Ballonsondierungen in Payerne um 00:00 und 12:00 UTC ermittelt werden, widerspiegelt die jeweils hohen Sommertemperaturen in den Jahren 2003 und 2015. Abbildung 19 zeigt den Verlauf der Tagesmittelwerte im Vergleich zu den Medianwerten der Nullgradgrenze über die Referenzperiode 1981–2010, für den Sommer 2003 (oben) und den Sommer 2015 (unten). Im Vergleich hatte der Monat Juni im Jahre 2003 bereits eine sehr hohe Nullgradgrenze, während 2015 lediglich einige Tage über dem Mittelwert lagen. Im Gegenzug zeigt der Juli 2015 eine konstante sehr hohe Nullgradgrenze. Im August weist das Jahr 2003 wieder eine eher höhere Nullgradgrenze aus. Der Medianwert der Nullgradgrenze war im Sommer 2003 mit 3954 m ü. M., leicht höher als im Sommer 2015 mit 3941 m ü. M., jedoch liegen beide Wert um mehr als 400 m über dem Median der Referenzperiode 1981–2010 mit 3535 m ü. M.

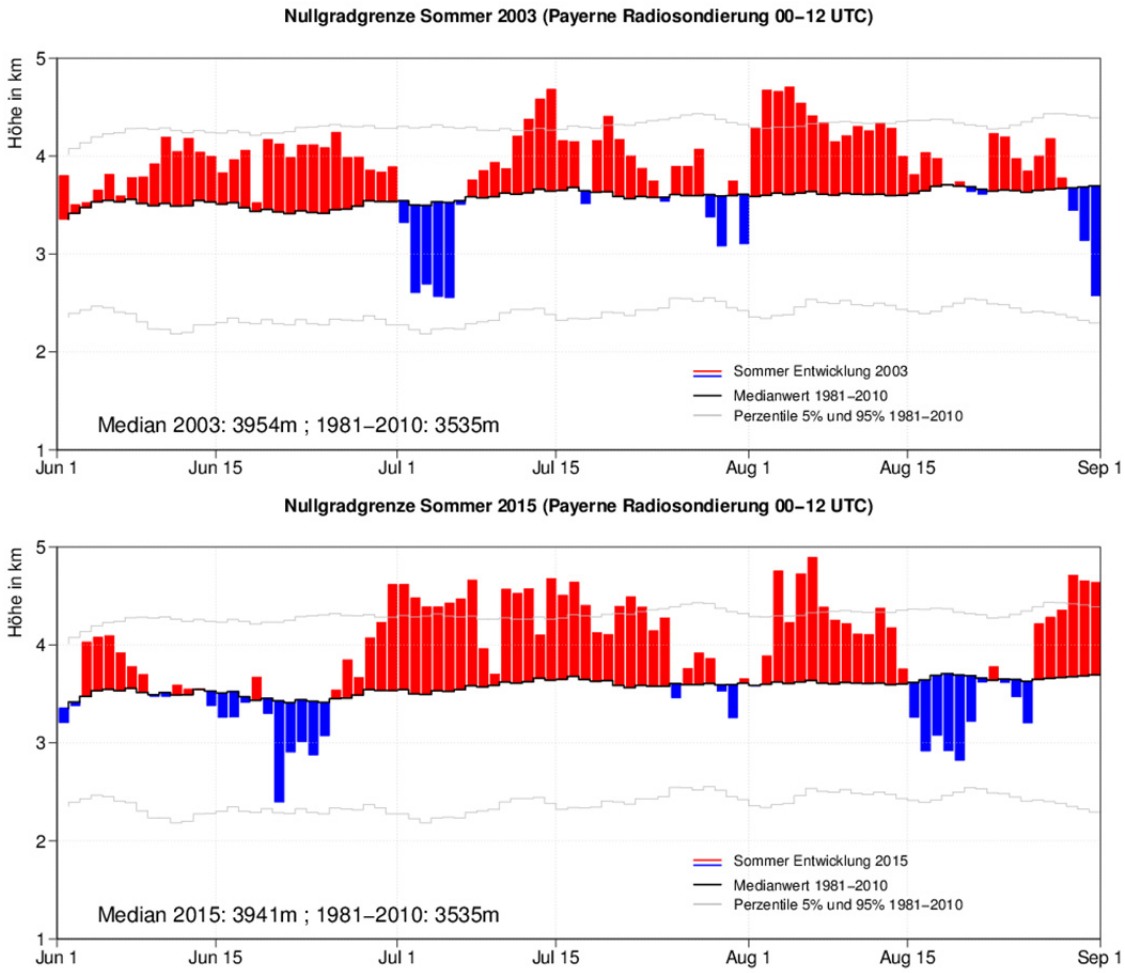


**Abbildung 19:** Tägliche Höhe der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre über Payerne im Sommer 2003 (oben) und 2015 (unten), ermittelt aus den aerologischen Radiosonden Messungen 00 UTC und 12 UTC. Die Nullgradgrenze ist für jeden Tag ausgehend von den Medianwerten der Referenzperiode 1981–2010 aufgetragen. Der Sommer Medianwert liegt für beide Jahre mehr als 400 Meter über dem Sommermedian der Referenzperiode 1981–2010.

## Nullgradgrenze an der Station Jungfraujoch

Im Vergleich zur Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre sind die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur auf dem Jungfraujoch interessant, die im Sommer in der Nähe von Null Grad liegen. Abbildung 20 zeigt den Verlauf der Tagesmittelwerte der Temperatur auf dem Jungfraujoch im Vergleich zu den Medianwerten der Tagesmittel über die Referenzperiode 1981-2010, für den Sommer 2003 (oben) und den Sommer 2015 (unten). In beiden Jahren, 2003 wie auch 2015, weisen die Nullgradgrenze in der freien Troposphäre und die Lufttemperatur auf dem Jungfraujoch grosse Ähnlichkeit auf (Abbildung 19 und Abbildung 20). Der Medianwert der Tagesmitteltemperaturen im Sommer 2003 liegt bei 2.05 Grad, während er für das Jahr 2015 bei 1.30 Grad liegt. Der Medianwert der Lufttemperatur der Referenzperiode 1981–2010 ist -0.26 Grad. Rechnet man mit einem Temperaturgradienten von 0.65° C/100 m , ist die Nullgradgrenze 40 m unter der Messhöhe von 3580 m ü. M. auf dem Jungfraujoch und daher für die Referenzperiode auf einer Höhe von 3540 m ü. M. Im Vergleich ist somit die Nullgradgrenze über die Referenzperiode 1981–2010, und über Land gemessen 5 m höher als in der freien Troposphäre. Für den Sommer 2003 war die Nullgradgrenze auf dem Jungfraujoch auf 3895 m ü. M. und für Sommer 2015 auf 3780 m ü. M., also jeweils etwas tiefer als in der freien Troposphäre gemessen wurde.

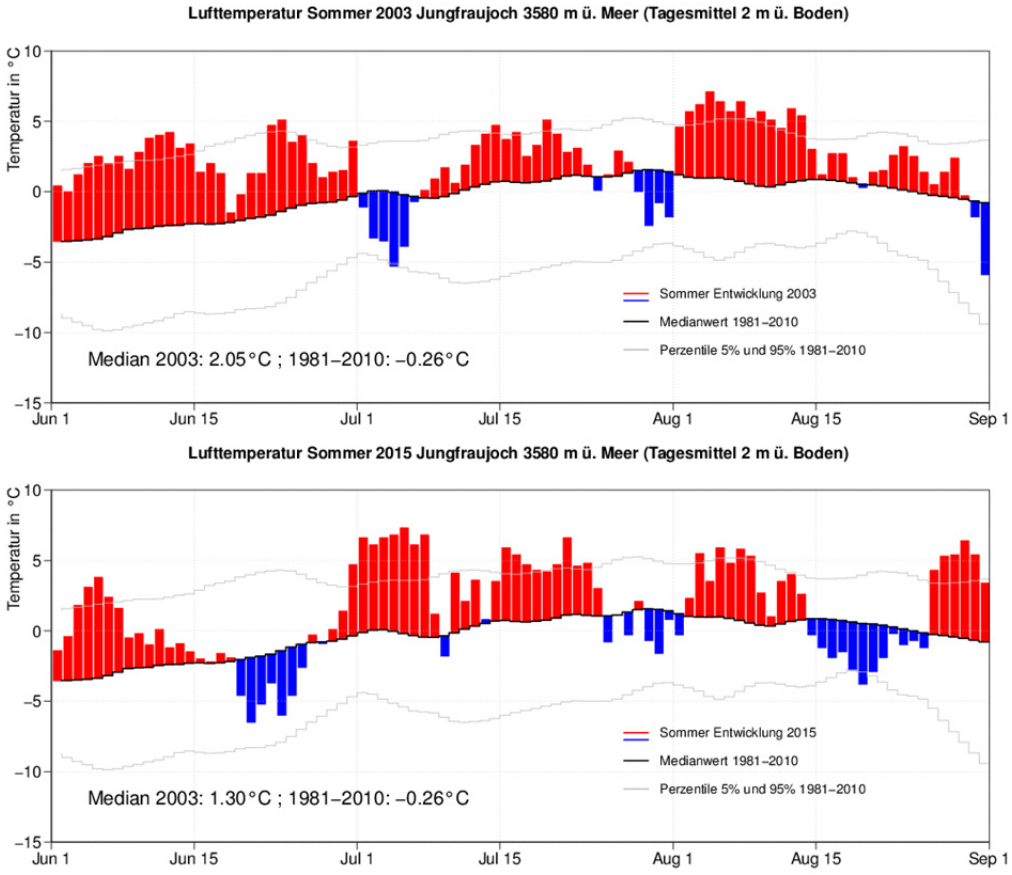


**Abbildung 20:** Tagesmittelwerte der Temperatur auf dem Jungfraujoch im Sommer 2003 (oben) und Sommer 2015 (unten). Die Tagestemperaturen sind im Verhältnis zu den Medianwerten der Referenzperiode 1981–2010 aufgetragen. Der Sommer Medianwert der Lufttemperatur liegt für beide Jahre deutlich über dem Sommermedian der Referenzperiode.

### Trend der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre und auf dem Jungfraujoch

Die Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre sowie auch die Temperatur auf dem Jungfraujoch zeigen beide einen deutlichen Anstieg seit 1981. Abbildung 21 oben zeigt die Sommer Mittelwerte der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre, die um 68 m/Dekade ansteigen. Der Sommer Mittelwert 2015 ist sogar leicht höher als im Jahr 2003, im Gegensatz zum Medianwert. Auf dem Jungfraujoch steigt der Mittelwert der Sommertemperatur um 0.42° C/Dekade. Mit dem oben angegebenen Temperaturgradienten von 0.65° C/100 m stieg die Nullgradgrenze auf dem Jungfraujoch somit um 65 m/Dekade an. Daraus wird ersichtlich, dass die Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre im Vergleich zur Temperatur gemessen über Land, in den letzten 25 Jahren im Sommer sehr ähnlich angestiegen ist.

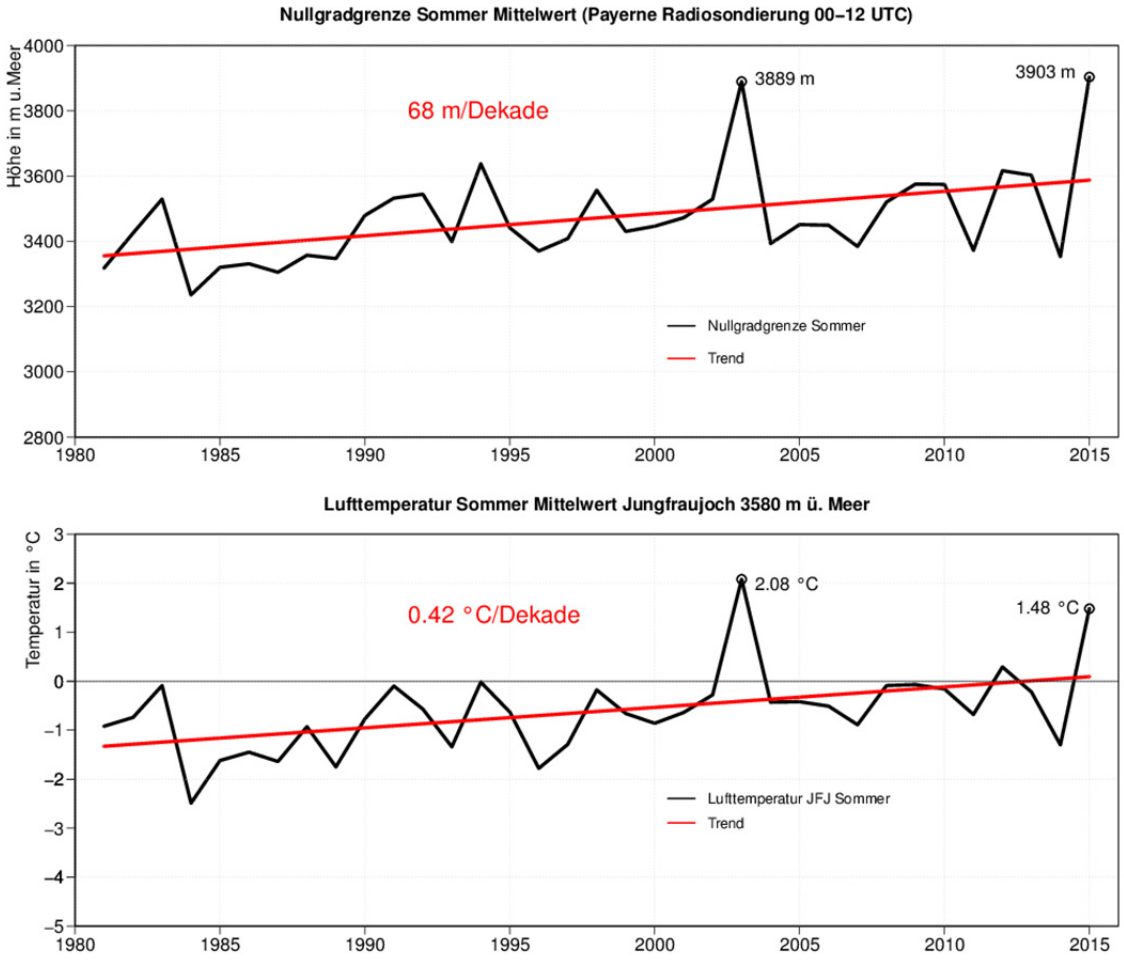


**Abbildung 21:** Sommer Mittelwerte der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre sowie Trendlinie 1981–2015 (oben). Sommer Mittelwerte der Lufttemperatur gemessen auf dem Jungfraujoch und Trendlinie 1981–2015 (unten). Die beiden Figuren zeigen den sehr ähnlichen Anstieg der Nullgradgrenze und der Temperatur in der freien Atmosphäre und über Land.

## 6.3 Trockenheit

**Deutliches Niederschlagsdefizit**

Die Niederschlagsmenge lag im Sommer 2015 deutlich unterhalb der der Norm 1981–2010 (Abbildung 22). Alle drei Sommermonate lieferten verbreitet unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen, wobei insbesondere der Juli praktisch in der ganzen Schweiz sehr trocken war, mit weniger als der Hälfte der normalen Regenmenge im gesamten Mittelland und verschiedenen Regionen mit weniger als einem Drittel der üblichen Mengen. Nur im August verzeichneten das Wallis und regional auch die Alpensüdseite überdurchschnittliche Werte. Dies sind auch die einzigen Gebiete, die für den Sommer normale oder – wie in Teilen des Wallis – leicht überdurchschnittliche Niederschlagssummen aufweisen.

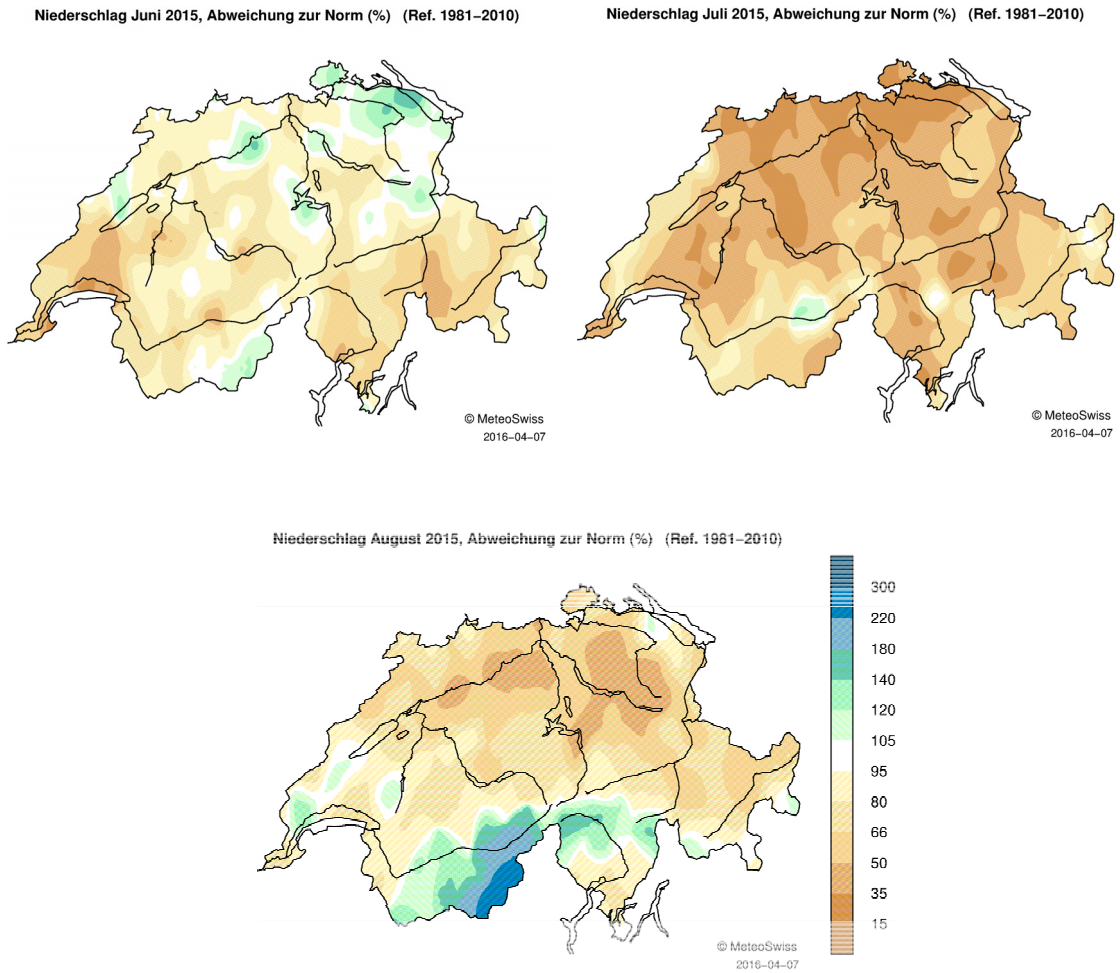


**Abbildung 22:** Monatliche Niederschlagsanomalien (in % der Norm 1981–2010) der Monate Juni, Juli und August 2015.

Im Vergleich mit dem Sommer 2003 bewegten sich die Niederschlagsanomalien über die Sommermonate Juni bis August 2015 in einem ähnlichen Rahmen, mit verbreitet stark unterdurchschnittlichen Werten von zwei Dritteln bis zur Hälfte der üblichen Mengen (Abbildung 23).

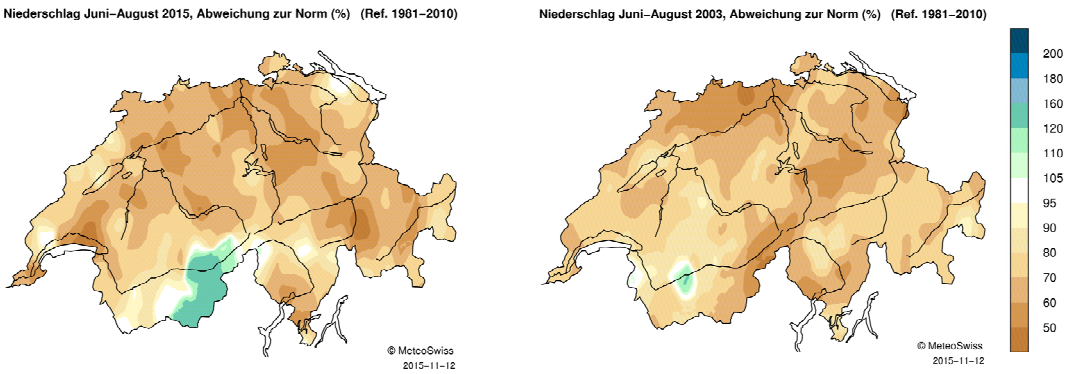


**Abbildung 23:** Vergleich der Sommer-Niederschläge der Jahre 2015 (links) und 2003 (rechts).

Am Beispiel der Station Zürich werden im Folgenden die Zeitverläufe des Trockenheitsindikators SPEI (siehe Kapitel 9.2.3) im Sommer 2015 mit jenen des Sommer 2003 verglichen. Es zeigt sich, dass sowohl 2003 und 2015 extrem trockene Werte erreicht wurden (Abbildung 24). Im Jahr 2003 war aber bereits der Frühling sehr trocken, so dass im August 2003, in Summen über 1 bis 6 Monate betrachtet, extrem trockene Verhältnisse vorherrschten. 2015 war aber der Frühling verhältnismässig feucht, so dass im Sommer 2015 nur die monatliche Wasserbilanz extrem trockene Verhältnisse erreichte, die Bilanz über 3 und 6 Monate hingegen noch keine extremen Werte aufwies. Dies änderte sich dann im weiteren Jahresverlauf, als in der Folge des trockenen Herbsts die Bilanz über 3 und 6 Monate 2015 extremere Werte erreichte als 2003.

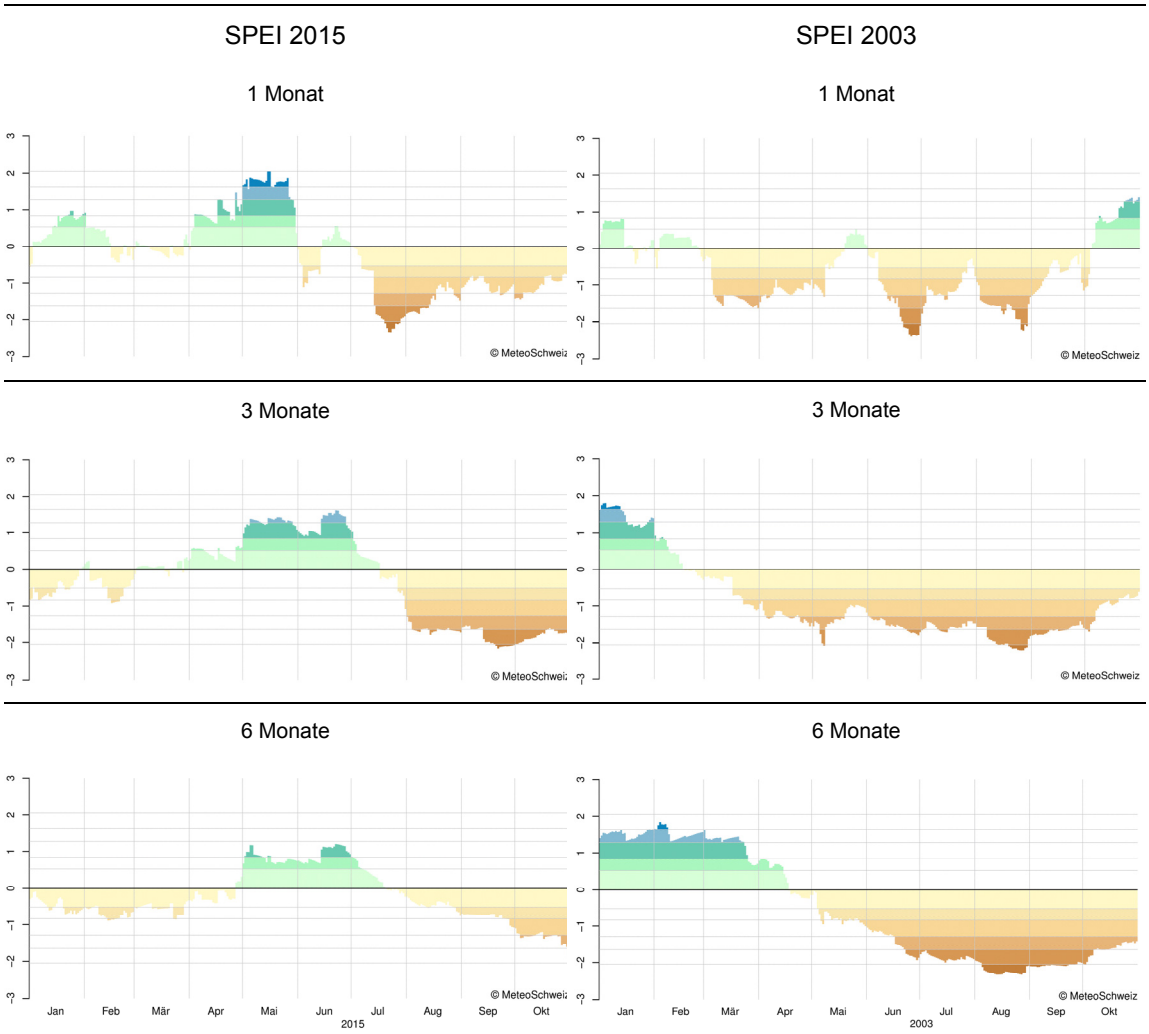


**Abbildung 24:** Wasserbilanz-Indikator (SPEI) auf Zeitbasis von 1, 3 und 6 Monaten an der Station Zürich für die Jahre 2015 (links) und 2003 (rechts).

## 6.4 Die Entwicklung der Vegetation

**Zusammenhang von Temperatur und Phänologie**

Der Entwicklungsstand der Vegetation wird im phänologischen Beobachtungsnetz von MeteoSchweiz an rund 160 Stationen beobachtet. Die phänologischen Eintrittstermine werden stark durch die Lufttemperatur beeinflusst. Dieser Zusammenhang ist für die Frühlings- und Frühsommerphasen sehr deutlich (Menzel et al. 2006), während er für die Herbstphasen nicht eindeutig ist. Herbstphasen werden zudem durch die Tageslänge und Trockenheit beeinflusst. Allgemein führen warme August- und Septembertemperaturen zu einer verspäteten Blattverfärbung; warme Mai- und Junitemperaturen und ein trockener September verfrühen die Blattverfärbung (Estrella und Menzel 2006). Defila (2004) konnte für den Hitzesommer 2003 viele neue Rekorde der Sommer- und Herbstphasen im phänologischen Messnetz nachweisen. Verglichen mit der gesamten Messreihe traten gehäuft sehr frühe Termine auf.

Die phänologischen Phasen im Sommer umfassen die Fruchtreife von Rotem und Schwarzem Holunder und Vogelbeere. Im Herbst wird die Blüte der Herbstzeitlose, die Weinlese und die Blattverfärbung verschiedener Bäume beobachtet. Da der Blattfall der Bäume weniger auf das vergangene Wetter als auf das aktuelle Wetter wie Stürme, Frost oder Schneefall reagiert, wird diese Phase nicht in diese Analyse mit einbezogen. Einige der Phasen werden seit 1951 beobachtet, während viele Phasen der Blattverfärbung erst seit 1996 im phänologischen Programm enthalten sind. Für die Analysen wurden Stationen berücksichtigt, die während den langen Datenreihen seit 1951 mindestens 20 Beobachtungsjahre und bei den kurzen Datenreihen ab 1996 mindestens 15 Jahre aufweisen. Das Jahr 2015 wird dabei mit allen vorhandenen Daten der Stationen verglichen. Die Klassen sehr früh, früh, normal, spät und sehr spät werden mit Quantilen der gesamten Datenreihe gebildet (Klassengrenzen bei 10 %, 25 %, 75 %, 90 %).

**Vegetation im Sommer 2015**

Vor dem Beginn der Sommerhitze betrug der Vorsprung der Vegetation im Juni im Mittel 9 Tage gemessen an der gesamten Datenreihe seit 1951 und 7 Tage im Vergleich mit der Normperiode 1981–2010 (Blüte des Schwarzen Holunders, Sommer- und Winterlinde und Weinrebe). Dabei lagen 61 % der Meldungen in den Klassen früh und sehr früh und 36 % in der Klasse normal. Die Fruchtreife des Schwarzen Holunders (August und September) wird erst seit 1996 beobachtet. An 17 % der Stationen fand sie während diesen 20 Jahren noch nie so früh statt wie im Jahr 2015; eine Auswirkung der sehr hohen Temperaturen im Sommer. Allerdings betrug der mittlere Vorsprung aller Stationen nur 4 Tage und an 44 % der Stationen fand die Fruchtreife zu einem mittleren Termin statt, bei 40 % mit einem frühen bis sehr frühen Termin. Beim Roten Holunder (Mitte Juni bis Ende August) wurden an 4 Stationen neue Rekorde erreicht (8 %); im Mittel betrug der Vorsprung 6 Tage mit 59 % aller Beobachtungen in der normalen Klasse. Sehr früh blühten die Herbstzeitlosen im August und September: 11 % der Stationen mit neuen Rekorden seit 1951 und zusätzlich 9 % mit Rekorden im Vergleich mit der Normperiode 1981–2010. Der mittlere Vorsprung auf die Periode seit 1951 betrug 7 Tage. Sehr früh fand auch die Weinlese mit einem Vorsprung von 16 Tagen statt und fast alle Stationen meldeten ein frühen oder sehr frühen Beginn. Im Jahr 2003 betrug dieser Vorsprung jedoch 23 Tage.

Im Gegensatz zum Hitzesommer 2003 wurden bei der Blattverfärbung nur sehr wenige neue Rekorde beobachtet. Im Mittel trat die Laubverfärbung der Bäume genau zu einem mittleren Zeitpunkt auf. Nur die Blattverfärbung der Rosskastanie setzte 7 Tage früher ein als im Mittel, wobei 47 % der Stationen frühe bis sehr frühe Beobachtungen meldeten. Bei der Rosskastanie wird die Blattverfärbung jedoch zusätzlich durch einen Schädling, der Miniermotte beeinflusst. Bei allen Bäumen streuten die Beobachtungen stark: einzelne Stationen meldeten den frühsten Termin der Blattverfärbung seit Beobachtungsbeginn, während andere den spätesten dieser Periode beobachteten. Bei den langen Beobachtungsreihen der Buche und der Rosskastanie seit 1951 gab es kaum Rekorde, während bei Arten, die erst seit 1996 beobachtet werden, etwas mehr Rekorde auftraten, sei es das früheste oder späteste Auftreten. Am häufigsten traten Rekorde bei der Sommerlinde und der Lärche auf und es meldeten 5 (9 %) beziehungsweise 7 Stationen (8 %) den frühesten Eintritt seit 1996. Hitze und Trockenheit wirkten sich demnach nur lokal auf die Herbstverfärbung aus, während sie an den meisten Standorten kaum Einfluss zeigten.

Deutliche Unterschiede zum Sommer 2003 gab es bei der Blattverfärbung vor allem in der Häufigkeit der sehr frühen Daten. Der Vorsprung des 10 %-Quantilwerts mit den frühesten aller Meldungen von Buche und Rosskastanie belief sich im Sommer 2003 auf 37 Tage auf das Mittel, während es im Sommer 2015 bei der Rosskastanie nur 25 Tage und bei der Buche nur 10 Tage waren. Dasselbe Bild zeigte sich auch bei den seit 1996 beobachteten Phasen: 17 Tage im Jahr 2003 und nur 11 Tage im Jahr 2015. Die Sommer- und Frühherbstphasen fanden im Jahr 2003 im Mittel rund 4–6 Tage früher statt als im Jahr 2015.

Während dem Hitzesommer 2015 wirkten sich die hohen Temperaturen vor allem auf den Beginn der Sommer- und Frühherbstphasen aus, die deutlich früher als im Mittel auftraten. Die Blattverfärbung trat ungefähr im normalen zeitlichen Rahmen auf und wies nicht so viele sehr frühe Eintrittsdaten auf wie im Jahr 2003. Ein Grund dafür war vermutlich die geringere Trockenheit im Sommer 2015 und die Temperaturen im September, die im Vergleich zur Normperiode 1981–2010 zu kühl waren.

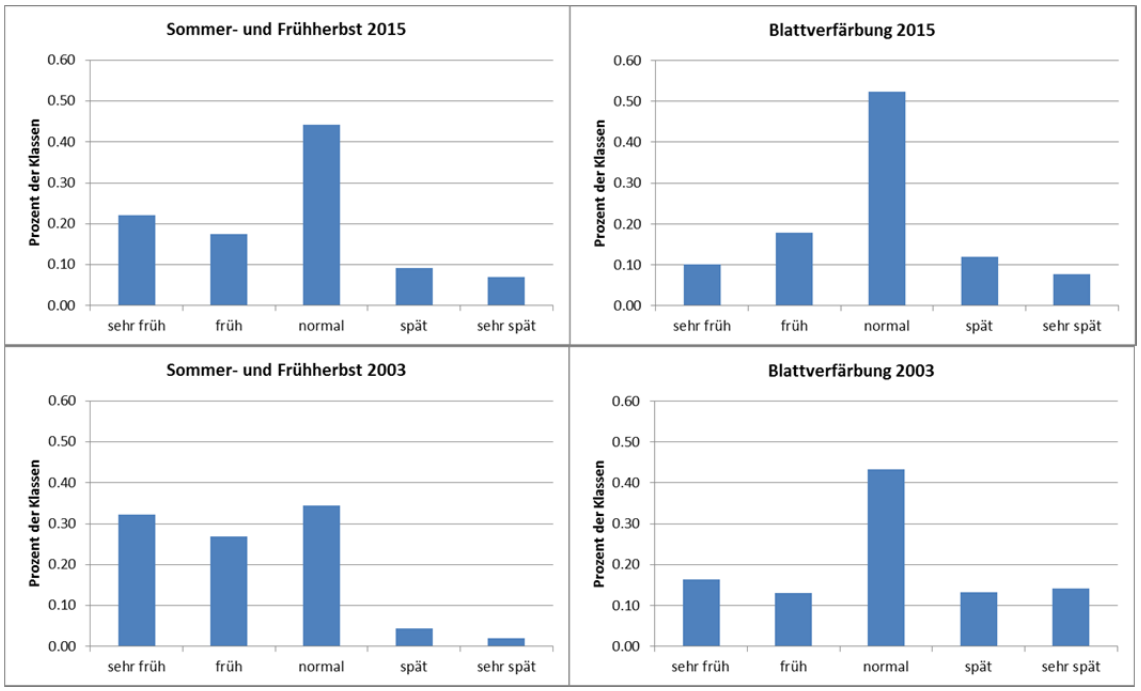


**Abbildung 25:** Häufigkeit der phänologischen Sommer- und Herbstphasen in den verschiedenen Klassen 2015 verglichen mit 2003.

# 7 Hitzesommer in der Vergangenheit

## 7.1 Der Rekordsommer 2003

Der aussergewöhnliche Hitzesommer 2003 stellt bezüglich Temperatur-Extreme ohne Frage das herausragende Ereignis der Messgeschichte dar. Der heisseste je registrierte Juni und August sowie die mit 41.5 Grad höchste je in der Schweiz gemessene Temperatur sind eine einmalige Anhäufung von Temperaturrekorden.

Besonders spektakulär zeigte sich der Juni 2003. Landesweit gemittelt lag die Monatstemperatur 5.4 Grad über der Norm 1981–2010. Dieser Wert liegt 3 Grad über allen übrigen Junimonaten in der Messreihe seit 1864 (Abbildung 2). In vielen Regionen der Schweiz wurde der Juni 2003 für kurze Zeit der wärmste Monat seit Messbeginn 1864. In Juni und Juli stiegen die 14-Tagesmittel der Tagesmaximum-Temperatur regional über 30 Grad.

Im August 2003 stieg das landesweite Monatsmittel nochmals 4 Grad über die Norm 1981–2010. Das liegt rund 2 Grad über allen übrigen Augustmonaten seit Messbeginn 1864 (Abbildung 2). Wie bereits im Juni 2003 war das eigentlich Extreme an der Hitze deren Dauer, und weniger die erreichten Maximum-Temperaturen (Bader 2004; MeteoSchweiz 2004; BUWAL, BWG, MeteoSchweiz 2004). Damals blieb es über zwei Wochen hinweg so heiss wie im Sommer 2015 über eine Woche. In Genf erreichte das höchste 14-Tagesmittel 35.2 Grad, in Basel 35.0, in Bern 33.4 Grad, in Lugano 33.0 Grad und in Zürich 32.7 Grad. Als Folge der bis zum Monatsende anhaltenden sehr hohen Temperatur wurde vielerorts im August 2003 der Rekord vom Juni 2003 bereits wieder überschritten. Das höchste Tagesmaximum von 41.5 Grad registrierte Grono im Misox (GR) auf der Alpensüdseite am 11. August 2003. Es war die höchste je im offiziellen Messnetz der Schweiz gemessene Temperatur.

Die beiden Extremmonate Juni und August 2003 führten zu einer Sommertemperatur weit über den damaligen Erfahrungswerten. Der landesweite Mittelwert lag 5.5 Grad höher als die Norm 1981–2010, das sind rund 1 Grad mehr als im Sommer 2015 und rund 2 bis 2.5 Grad mehr als in allen übrigen Sommern seit Messbeginn 1864.

Die Ursache für die anhaltende Hitze im Juni 2003 war das fast permanent über Europa wirkende Hochdruckgebiet. Im August 2003 stand die Hitze mit einem blockierenden Hochdruckgebiet über Nordeuropa in Verbindung (Omega-Lage). Sowohl im Juni 2003 als auch im August 2003 führten die Hochdruckgebiete dazu, dass die atlantischen Störungen, die Niederschlag und Abkühlung gebracht hätten, weit nach Norden abgelenkt wurden.

Die anhaltende Hitze im Sommer 2003 führte nicht nur in der Schweiz, sondern gesamteuropäisch zu Temperatur-Rekorden. Gemäss Rekonstruktionen der europäischen Sommertemperatur bis zurück ins Jahr 1500 war es in Europa bei weitem der wärmste Sommer der letzten 500 Jahre (Luterbacher et al. 2004 und Abbildung 26).

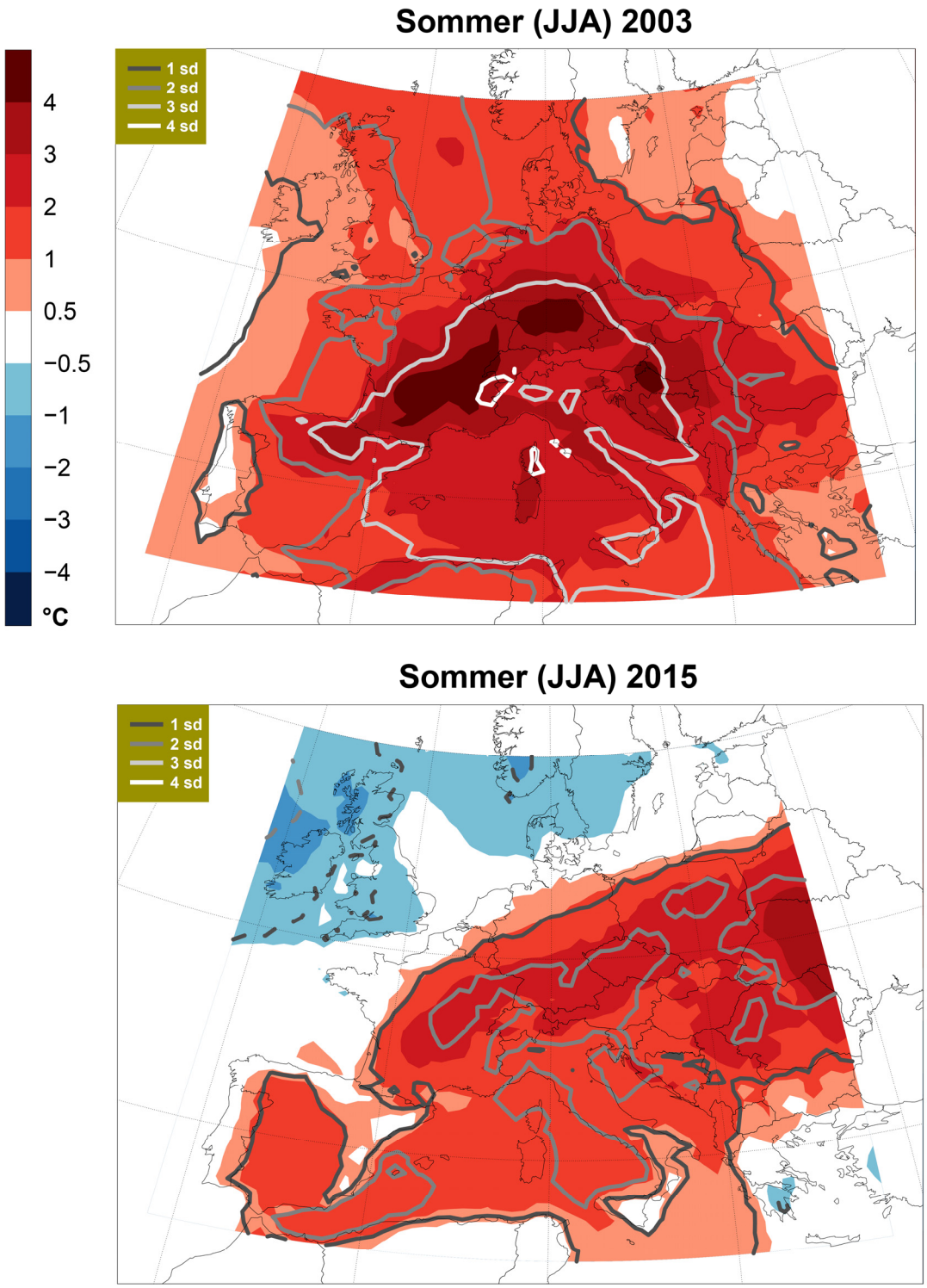


**Abbildung 26:** Abweichungen der Sommertemperatur (Juni-Juli-August-Mittel) vom Mittel 1981–2010 für die Jahre 2003 (oben) und 2015 (unten) [Farbskala in °C]. Die Kontourlinien zeigen die Abweichung in Anzahl Standardabweichungen. Die Standardabweichung wurde für die Jahre 1981–2010 berechnet. Datengrundlage: NASA MERRA Reanalyse.

## 7.2 Anhaltende Wärme und Niederschlagsarmut 1947

Spannt man den Begriff Sommer weiter als nur über die drei klassischen meteorologischen Sommermonate Juli bis August und betrachtet das ganze Sommerhalbjahr April bis September, so fällt neben den jüngsten sehr warmen Sommerhalbjahren 2015, 2011, 2009 und 2003 auch das Sommerhalbjahr 1947 auf. Über die ganze Schweiz gemittelt zeigte es sich ebenso warm wie die Sommerhalbjahre 2015 und 2009 (Abbildung 27). Deutlich wärmer war hingegen das Sommerhalbjahr 2003. Bemerkenswert an der ungewöhnlichen Wärme des Sommerhalbjahres 1947 waren nicht in erster Linie die absoluten Extremwerte, sondern vielmehr die enorm lange Dauer der massiv überdurchschnittlich warmen Verhältnisse (MZA 1948).

Neben der Wärme zeichnete sich das Sommerhalbjahr 1947 vor allem durch die ausgeprägte Niederschlagsarmut auf der Alpennordseite aus. Vom Genfersee bis zum Bodensee fielen von April bis September verbreitet nur 300 bis 400 mm Niederschlag. Zwischen dem Neuenburgersee und dem Kanton Aargau waren es weniger als 300 mm, in der Region Basel nur um 200 mm. Das Sommerhalbjahr 2003 brachte zwischen Genfersee und Bodensee 400 mm bis 500 mm und in der Region Basel um 300 mm Niederschlag (Bader 2004; BUWAL, BWG, MeteoSchweiz 2004). Im Sommerhalbjahr 2015 fielen zwischen Genfersee und Bodensee verbreitet Niederschlagssummen zwischen 500 und 600 mm, von der Region Basel bis in den Kanton Schaffhausen um 400 mm.

Über die ganze Schweiz gemittelt erreichte die Niederschlagsmenge im Sommerhalbjahr 1947 nur 63 Prozent der Norm 1981–2010. Im Sommerhalbjahr 2003 waren es 72 Prozent, und das Sommerhalbjahr 2015 brachte dank des niederschlagsreichen Monats Mai 87 Prozent der Norm. Bezüglich Niederschlagsarmut belegt das Sommerhalbjahr 1947 Rang zwei seit Messbeginn 1864. Weniger Niederschlag mit 59 Prozent der Norm 1981–2010 wurde nur im Sommerhalbjahr 1870 registriert.

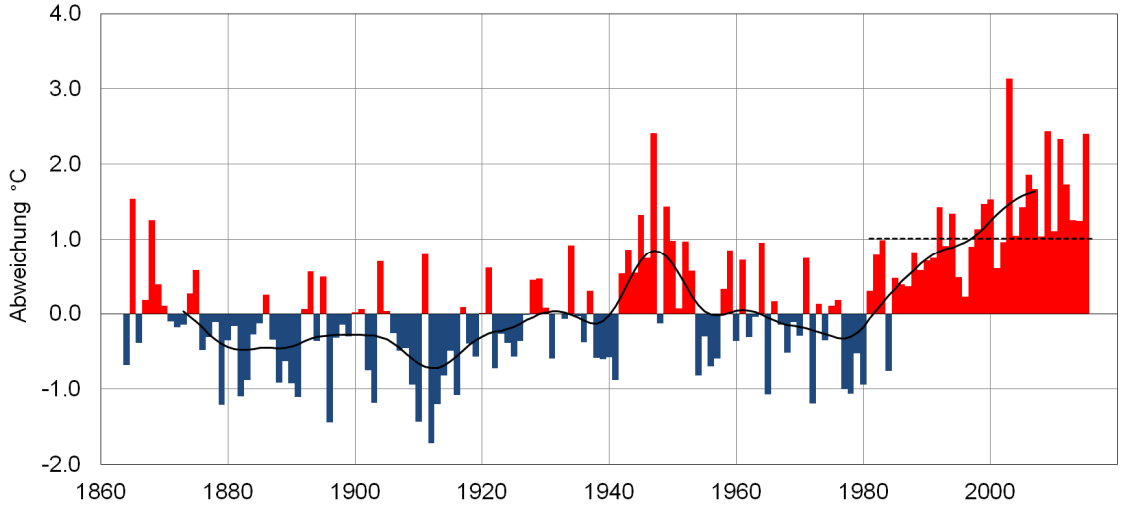


**Abbildung 27:** Abweichung der Temperatur des Sommerhalbjahres in der Schweiz vom langjährigen Durchschnitt (Norm 1961–1990). Überdurchschnittliche Temperaturen sind rot, unterdurchschnittliche blau angegeben. Die schwarze Kurve zeigt den Temperaturverlauf gemittelt über 20 Jahre. Die gestrichelte Linie ab 1981 zeigt die Norm 1981–2010 (+1 Grad höher gegenüber der Norm 1961–1990).

# 8 Hitze und Klimaänderung

## 8.1 Häufigkeit und Intensität von Hitzewellen in einer wärmeren Zukunft

Zwei Hitzewellen hatten die Schweiz im Juli 2015 fest im Griff. Neben der klimatologischen Einordnung und dem Vergleich zum Hitzesommer 2003 kam dabei auch wiederholt die Frage nach möglichen zukünftigen Änderungen von Häufigkeit und Intensität von Hitzeperioden auf. Mit der erwarteten generellen Erwärmung scheint die Lage klar: Höhere Temperaturen entsprechen häufigeren und intensiveren Hitzeperioden.

Diese Aussage kann als erste Näherung dienen. Bei genauer Betrachtung erkennt man jedoch schnell, dass die Situation deutlich komplexer ist. So spielen neben einer durchschnittlichen Erwärmung auch der Jahresgang sowie Faktoren wie Änderungen in der Persistenz (d.h. der Beständigkeit) von Hitzeperioden und unterschiedliche Entwicklungen von Minimal-, Mittel- und Maximaltemperaturen eine Rolle.

Eine erste quantitative Analyse – gemeinsam durchgeführt vom Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich und der MeteoSchweiz – zeigt dabei in der Tat, dass sowohl Häufigkeit als auch Intensität von sommerlichen Hitzeperioden deutlich zunehmen werden. Hitzewellen mit einer Dauer von 7 Tagen und mehr, die heute im Mittelland nur alle 3 Jahre oder noch seltener auftreten, werden Ende des 21. Jahrhunderts zur Normalität. Die maximalen Temperaturen während solcher Ereignisse werden ansteigen.

**Änderung der Intensität**

Exemplarisch werden für die drei Stationen Zürich, Basel und Lugano zunächst zukünftige Änderungen des maximalen 14-Tage-Mittelwertes der Maximaltemperatur als Mass für die Intensität von Hitzewellen betrachtet (Abbildung 28)[6]. Im heutigen Klima liegt dieser Wert – als Mittel über die 30 Jahre 1980-2009 – je nach Station zwischen ca. 27.5 und 29 Grad (offene Kreise, Abbildung 28). Die Sommer 2003 (Dreiecke) und 2015 bis zum 20. Juli (gefüllte Kreise) liegen deutlich über diesem 30-jährigen Durchschnitt, was ihren extremen Charakter untermauert.

Die Simulationen von insgesamt 14 regionalen Klimamodellen (Abbildung 28) stimmen recht gut mit den Beobachtungen überein und zeigen im Laufe des 21. Jahrhunderts deutliche und robuste Erhöhungen dieser maximalen 14-tägigen Temperatur. Gegen Ende des Jahrhunderts ergeben sich für alle drei Stationen und für fast alle Modelle Werte von deutlich über 30 Grad mit Maximalwerten von mehr als 36 Grad in Basel und Lugano. Dies bedeutet eine Erhöhung von mehr als 6 Grad gegenüber heutigen Verhältnissen.

[6] Es gilt zu beachten, dass dies eine andere Definition ist, als momentan von MeteoSchweiz für Warnungen verwendet wird.

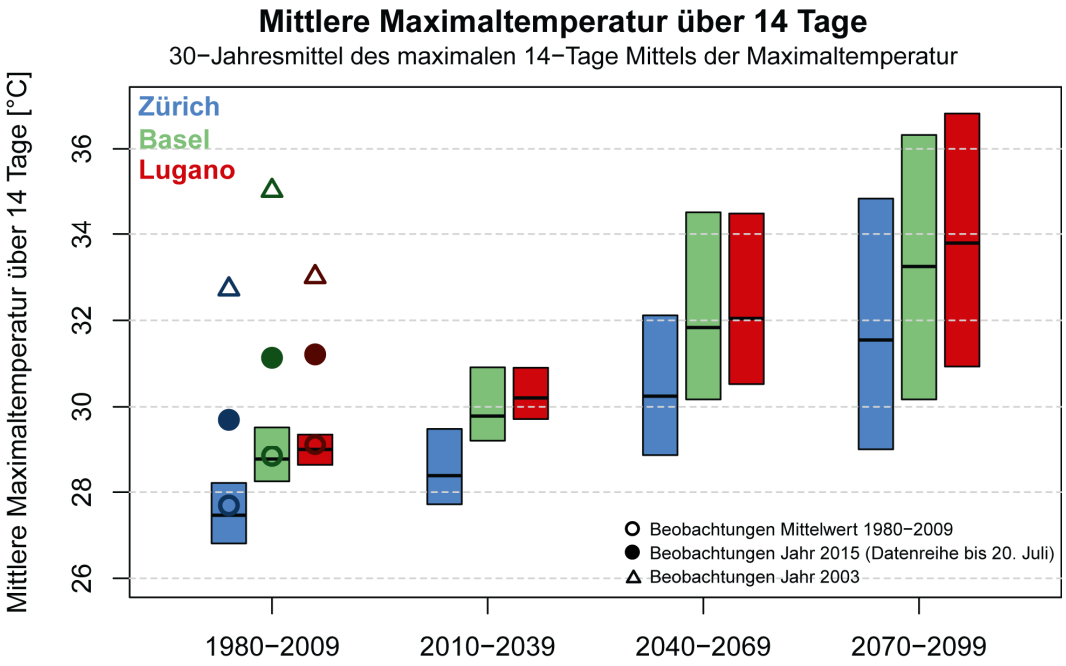


**Abbildung 28:** Projektionen der mittleren Maximumtemperatur über 14 Tage. Dargestellt sind der 30-jährige Durchschnitt der jährlich höchsten, über 14−Tage gemittelten, Maximaltemperatur. Datenquelle: 14 regionale Klimasimulationen des ENSEMBLES Projektes, basierend auf dem SRES A1B Emissionsszenario. Die Balken kennzeichnen die Spannweite der 14 Simulationen, die horizontale schwarze Linie den Median.

### Änderung der Häufigkeit

Verbunden mit hohen Maximaltemperaturen können bereits Hitzeperioden von weniger als 14 Tagen Länge deutliche und extreme Auswirkungen haben. In einem zweiten Schritt werden deshalb mögliche Änderungen der Häufigkeit von Hitzeperioden mit Längen ab 7 Tagen analysiert. Hierzu wird die Definition des Hitzetages, d. h. eines Tages mit einer Maximaltemperatur von 30 Grad oder mehr, verwendet. Eine ununterbrochene Aneinanderreihung von Hitzetagen stellt dann eine Hitzeperiode mit gegebener Länge dar.[7]

Für die drei bereits beschriebenen exemplarischen Stationen zeigen sowohl Beobachtungen als auch die Klimamodelle ein relativ seltenes Auftreten solcher Ereignisse im heutigen Klima mit durchweg weniger als 0.5 Ereignissen pro Jahr (bzw. weniger als einem Ereignis pro zwei Jahren). Bis Ende des 21. Jahrhunderts zeigen sich deutliche Häufigkeitszunahmen. Für den Zeitraum 2070–2099 liegt der Mittelwert aller 14 Simulationen für Zürich bei ca. einem Ereignis pro Jahr, für Basel und Lugano sogar deutlich darüber. Spitzenwerte werden in Lugano mit ca. 2.5 Ereignissen pro Jahr erreicht (Abbildung 29).

[7] Es gilt wiederum zu beachten, dass dies eine andere Definition ist, als momentan bei MeteoSchweiz für Warnungen verwendet wird.

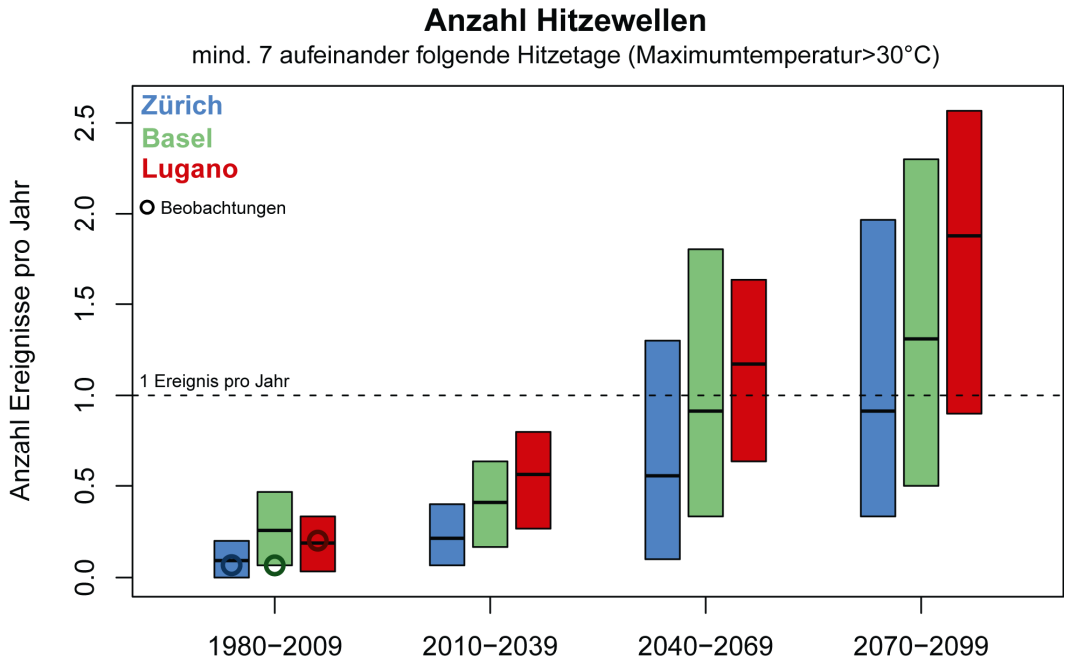


**Abbildung 29:** Projektionen der Anzahl Hitzewellen mit mindestens sieben aufeinander folgenden Hitzetagen (Maximumtemperatur >30 °C). Datenquelle: 14 regionale Klimasimulationen des ENSEMBLES Projektes, basierend auf dem SRES A1B Emissionsszenario. Die Balken kennzeichnen die Spannweite der 14 Simulationen, die horizontale schwarze Linie den Median.

Das räumliche Muster der Änderung der Anzahl von Hitzewellen (Abbildung 30) weist hohe absolute Zunahmen von mehr als 1.6 Ereignissen pro Jahr (Mittel der 14 Simulationen) in den südlichen und südwestlichen Landesteilen auf, also in Regionen die bereits im heutigen Klima recht häufig von Hitzewellen betroffen sind. Auch in der Nord- und Nordostschweiz werden Zunahmen von zum Teil mehr als einem Ereignis pro Jahr erwartet. Lediglich höher gelegene Gebirgsstationen verzeichnen kaum Änderungen, da hier auch in einem zukünftigen Szenario kaum Tagesmaximaltemperaturen von mehr als 30 Grad erreicht werden.

**Datengrundlage**

Datengrundlage dieser Analyse sind 14 regionale Klimasimulationen des europäischen Forschungsprojektes ENSEMBLES (van der Linden and Mitchell 2009), die den Alpenraum und die Schweiz mit einer räumlichen Auflösung von 25 km abdecken und bereits zur Erstellung der CH2011-Klimaszenarien (CH2011 2011) verwendet wurden. Alle Simulationen basieren auf dem SRES A1B-Treibhausgas-Emissionsszenario des IPCC (IPCC 2013), dem ein rasches ökonomisches Wachstum und ein Nebeneinander fossiler und erneuerbarer Energieträger zugrunde liegt. Um systematische Modellfehler zu korrigieren und die Simulationsergebnisse auf die Skala einzelner Messstationen der MeteoSchweiz herunterzubrechen, wurde ein spezielles statistisches Verfahren (das sog. Quantile Mapping) angewandt.

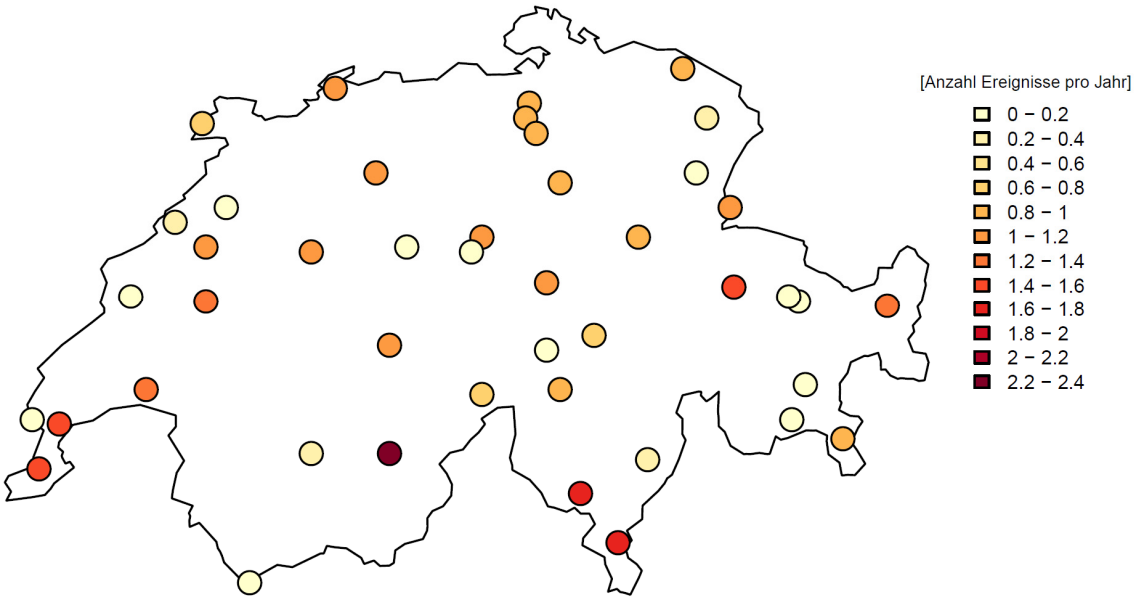


**Abbildung 30:** Absolute Änderung Anzahl Hitzewellen (1980–2009 bis 2070–2099) mindestens sieben aufeinanderfolgenden Hitzetagen (Maximumtemperatur > 30 °C). Datenquelle: 14 regionale Klimasimulationen des ENSEMBLES Projektes, basierend auf dem SRES A1B Emissionsszenario. Die Farbe der Punkte kennzeichnet den Mittelwert der 14 (fehlerkorrigierten) Simulationen.

### Unsicherheiten der Projektionen

Auswertungen globaler und regionaler Klimaprojektionen – wie hier gezeigt – sind mit Unsicherheiten behaftet, die aufgegriffen und bei der Interpretation und Einordnung der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen. Diese Unsicherheiten sind zum Teil darin begründet, dass auch komplexe Klimamodelle immer nur ein vereinfachtes Abbild der Realität darstellen können und viele Prozesse zwar physikalisch basiert aber nur angenähert beschreiben. Dies ist in diesen Analysen durch die farbigen Balken illustriert, die die Spannweite der Ergebnisse von 14 unterschiedlichen Kombinationen globaler und regionaler Klimamodelle kennzeichnen. Trotz aller Modellunsicherheit ist die zukünftige Zunahme von Intensität und Häufigkeit von Hitzewellen ein robustes Signal, lediglich in der konkreten Ausprägung dieser Zunahme unterscheiden sich die Modelle voneinander. Eine weitere Unsicherheitsquelle, die in unseren Analysen nicht berücksichtigt wird, ist das den Simulationen zugrundeliegende Emissionsszenario. Hier wird nur ein einziges Szenario (SRES A1B), dem vergleichsweise optimistische Annahmen zugrunde liegen, betrachtet. Für stärkere Emissionsszenarien sind prinzipiell auch grössere zukünftige Änderungen von Hitzewellenparametern zu erwarten.

## 8.2 Mehr Hitzetage bis Ende Jahrhundert

Heute sind im langjährigen Durchschnitt in Tieflagen auf der Alpennordseite 10 bis 15, auf der Alpensüdseite um 15 und im Wallis bis 16 Hitzetage pro Jahr zu erwarten (Norm 1981–2010). Als Hitzetage gelten jene, an denen eine Maximum-Temperatur von 30 Grad oder mehr erreicht wird.

Gemäss einem von MeteoSchweiz berechneten mittleren Szenario werden es in Tieflagen auf der Alpennordseite und im Wallis bis Ende Jahrhundert 30 bis 40, regional auch über 40 Hitzetage pro Jahr sein. Auf der Alpensüdseite werden bis Ende Jahrhundert regional sogar 60 bis 80 Hitzetage erwartet.

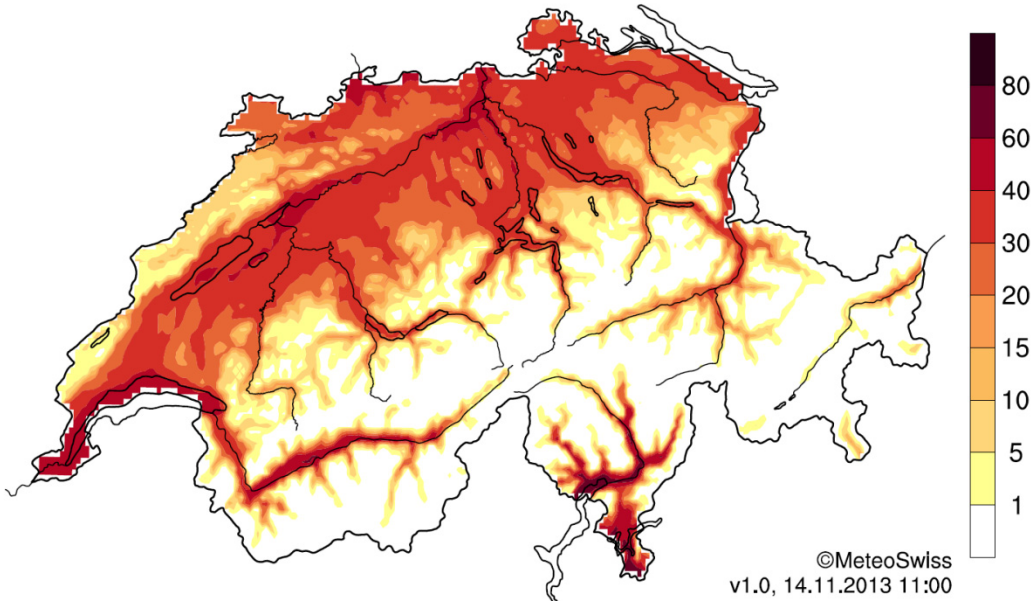


**Abbildung 31:** Mittleres Szenario zur Anzahl Hitzetage pro Jahr (Skala rechts) in der Schweiz für die Periode 2070 bis 2099.

# 9 Methoden

## 9.1 Bemerkungen zu den Temperaturdaten

### 9.1.1 Temperaturmessung

MeteoSchweiz misst die Temperatur gemäss den Vorgaben der Weltmeteorologischen Organisation WMO. Diese beschreibt im sogenannten «CIMO Guide»[8] nach welchen Kriterien eine Temperaturmessung für klimatologische und meteorologische Zwecke erfolgen muss.

Insbesondere folgende Punkte sind für eine korrekte Temperaturmessung relevant und werden im Normalfall von MeteoSchweiz bei den eigenen Messstationen auch berücksichtigt:

- Instrument: Der Sensor muss aktiv belüftet und von einem weissen, wetterfesten Gehäuse umgeben sein oder – bei manuellen Geräten – im Schatten stehen (Wetterhütte/Stevenson-Hütte). Messungen direkt an der Sonne sind nicht zulässig. Das Messgerät muss eine Genauigkeit von mindestens 0.1° C aufweisen.
- Standort: Gemessen wird die Temperatur 2 m über Boden auf einem ebenen und von natürlichem Bewuchs (typischerweise eine regelmässig geschnittene Wiese) umgebenen Standort. Idealerweise sind im Umkreis von mindestens 30 m keine Wärmequellen (betonierte Flächen wie Parkplätze, Flugpisten oder auch Gebäude) oder kühlenden Elemente (Seen, Flüsse).
- Wartung: Jede Station hat einen Stationswart, der sich regelmässig um die Pflege und Kontrolle der Messgeräte kümmert und allfällige Probleme frühzeitig entdeckt und meldet.
- Parallelmessung: An klimatologisch wichtigen Stationen finden typsicherweise zwei Temperaturmessungen statt um eine allfällige Panne oder Drift der Messinstrumente frühzeitig erkennen zu können.
- Datenanalyse: Eine automatische Datenanalyse stellt sofort fest ob ein Sensor defekt ist, physikalisch unmögliche oder nicht plausible Werte liefert und löst eine entsprechende Intervention beim Betriebsteam aus. Die fehlerhaften Daten werden automatisch oder manuell korrigiert.

MeteoSchweiz orientiert sich an all diesen Vorgaben und stellt beispielweise keine Messstationen in Städten auf, weil diese Standorte keine Erfassung des natürlichen Klimas erlauben. So stehen die SwissMetNet-Stationen oft in der Landwirtschaftszone und Verträge über 30 Jahre stellen sicher, dass in der Umgebung einer Messstation keine störenden Hindernisse errichtet werden dürfen. So ist eine langfristige Temperaturmessung unter vergleichbaren Bedingungen gewährleistet.

Eine Karte inklusive Fotos aller automatischen Messstationen von MeteoSchweiz, das sogenannte SwissMetNet, findet sich auf der MeteoSchweiz-Website[9].

8 CIMO Guide: https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/CIMO-Guide.html

9 http://www.meteoschweiz.ch > mess-und-prognosesysteme > bodenstationen > automatisches-messnetz

**Abbildung 32:** Luftaufnahme der SwissMetNet-Station Altdorf.

### 9.1.2 Effekte der Homogenisierung von langjährigen Reihen

Veränderungen an den Messstationen, wie zum Beispiel die Verschiebung des Standortes oder der Übergang zu einem neuen Instrumententyp, können dazu führen, dass historische und aktuelle Messwerte nicht mehr direkt miteinander vergleichbar sind. Anschaulich zeigt sich diese Problematik bei einer räumlichen Verschiebung der Temperaturmessung, die mit einem Höhenunterschied verbunden ist. Da die Temperatur im Mittel mit zunehmender Höhe abnimmt, ergibt sich bei einer solchen Verschiebung eine abrupte Veränderung in der Messreihe, die nicht der tatsächlichen und natürlichen Entwicklung entspricht. Mit statistischen und physikalischen Methoden wird versucht, solche Inhomogenitäten in den Messreihen zu finden und zu korrigieren. Das Ziel dabei ist, Messreihen zu erhalten, die frei von künstlichen Einflüssen sind und nur die effektive Klimaentwicklung zeigen.

Aufgrund dieser sogenannten Homogenisierung, welche an der MeteoSchweiz regelmässig durchgeführt wird, können und werden sich in Publikationen abgedruckte Werte oder frühere Meldungen von Rekordwerten gelegentlich ändern. Beispielsweise erwähnen die Annalen der MeteoSchweiz 2003 (S. 49) als absoluten nordalpinen Höchstwert 39.0 Grad, gemessen in Basel im Juli 1952 und in Delémont im Juli 1983 (MeteoSchweiz 2004). Die damals in Wetterhütten gemessenen Rekorde lassen sich nicht direkt mit den heute üblichen Messungen an automatischen Stationen vergleichen. Da die Homogenisierung der Temperaturmaxima erst nach der Publikation der Annalen 2003 erfolgte, sind diese Rekordmeldungen im Vergleich mit heutigen Messungen nicht mehr gültig.

Die Homogenisierung erfolgt auf der Basis von Monatswerten. Um Aussagen auf Tagesbasis machen zu können (dazu gehören auch Tagesmaximum-Temperaturen), werden die monatlichen Homogenisierungsbeträge umgelegt und auf Tagesbasis verwendet (Begert et al. 2003; Vincent et al. 2002). Da die Variabilität auf Tagesbasis deutlich grösser ist, fällt die Unsicherheit dieser Anpassung ebenfalls grösser aus. Es zeigt sich allerdings, dass die Vergleichbarkeit der Tagesmaximum-Temperaturen verschiedener Messbedingungen durch die Homogenisierung trotzdem deutlich zunimmt. Einerseits steigt die räumliche und zeitliche Konsistenz von Rekordwerten verschiedener Stationen, was die theoretische Erwartung erfüllt, wonach Hitzewellen gleichzeitig eine grössere Region bzw. mehrere Stationen betreffen. Andererseits wurde nach dem Hitzesommer 2003 mit aufwändigeren Modellen und Methoden untersucht, wie sich Extremwerte von alten und neuen Bedingungen vergleichen lassen (Z'graggen 2006). Die errechneten Korrekturen für die historischen Extrema sind sehr ähnlich oder sogar identisch mit denjenigen aus der Umlegung der monatlichen Homogenisierungsbeträge.

MeteoSchweiz verwendet heute aus diesen Gründen die homogenen Tagesmaximum-Temperaturen zur Einordnung und Kommunikation von Rekordwerten.

## 9.2 Erklärung der verwendeten Indizes

### 9.2.1 Berechnung des Hitzeindex (engl. Heat Index, HI)

Der Heat Index (HI, cf. **Rothfusz 1990**, Steadman 1979) wird nach untenstehender Formel mittels Temperatur und Feuchte berechnet.

$$\boldsymbol{HI} = c1 + c2\,T + c3\,R + c4\,T\,R + c5\,T^2 + c6\,R^2 + c7\,T^2R + c8\,T\,R^2 + c9\,T^2\,R^2$$

dabei ist T = Lufttemperatur und R = relative Luftfeuchtigkeit (%). Je nach verwendeter Temperaturskala sind folgende Konstanten c1 bis c9 einzusetzen:

**Tabelle 6**: Parameter zur Berechnung des Hitzeindex.

| | c1 | c2 | c3 | c4 | c5 |
|---|---|---|---|---|---|
| **in °C** | −8.784695 | 1.61139411 | 2.338549 | −0.14611605 | $-1.2308094 \cdot 10^{-2}$ |
| **in °F** | −42.379 | 2.04901523 | 10.1433127 | −0.22475541 | $-6.83783 \cdot 10^{-3}$ |
| | **c6** | **c7** | **c8** | **c9** | |
| **in °C** | $-1.6424828 \cdot 10^{-2}$ | $2.211732 \cdot 10^{-3}$ | $7.2546 \cdot 10^{-4}$ | $-3.582 \cdot 10^{-6}$ | |
| **in °F** | $-5.481717 \cdot 10^{-2}$ | $1.22874 \cdot 10^{-3}$ | $8.5282 \cdot 10^{-4}$ | $-1.99 \cdot 10^{-6}$ | |

Daraus ergibt sich eine Tabelle mit dem berechneten Heat Index in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Feuchtigkeit (Abbildung 33). Sie ist bei Temperaturen von mindestens 26,7 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von mindestens 40 % anwendbar.

| Relative Feuchtigkeit in % | Temperatur in °C | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 |
| 30 | 79.6 | 80.8 | 82.2 | 83.8 | 85.5 | 87.5 | 89.6 | 91.9 | 94.4 | 97.1 | 100 |
| 35 | 79.9 | 81.2 | 82.8 | 84.5 | 86.5 | 88.6 | 91 | 93.7 | 96.5 | 99.5 | 102.8 |
| 40 | 80.4 | 81.8 | 82.5 | 85.4 | 87.6 | 90.1 | 92.8 | 95.8 | 99 | 102.5 | 106.2 |
| 45 | 80.8 | 82.5 | 84.4 | 86.6 | 89.1 | 91.8 | 94.9 | 98.3 | 101.9 | 105.8 | 110 |
| 50 | 81.4 | 83.2 | 85.4 | 87.9 | 90.7 | 93.9 | 97.3 | 101.1 | 105.2 | 109.6 | 114.4 |
| 55 | 81.9 | 84.1 | 86.6 | 89.4 | 92.6 | 96.2 | 100.1 | 104.3 | 108.9 | 113.9 | 119.2 |
| 60 | 82.5 | 85 | 87.9 | 91.9 | 94.7 | 98.7 | 103.1 | 107.9 | 113.1 | 118.6 | 124.6 |
| 65 | 83.2 | 86.1 | 89.3 | 93 | 97.1 | 101.6 | 106.5 | 111.9 | 117.6 | 123.8 | 130.4 |
| 70 | 83.9 | 87.2 | 90.9 | 95.1 | 99.7 | 104.7 | 110.2 | 116.2 | 122.6 | 129.5 | |
| 75 | 84.7 | 88.4 | 92.6 | 97.3 | 102.5 | 108.2 | 114.2 | 120.9 | 128 | | |
| 80 | 85.5 | 89.8 | 94.5 | 99.8 | 105.6 | 111.9 | 118.7 | 126 | | | |

**Abbildung 33:** Heat Index in Abhängigkeit von Temperatur (°C) und relativer Feuchtigkeit (%) . Eingefärbt die Warnstufen 3 (orange) und 4 (rot) durch MeteoSchweiz .

Die Warnstufen basieren auf der Dauer und der Stärke des Hitzeereignisses und sind durch MeteoSchweiz wie in Tabelle 7 festgelegt. Dabei tritt die Warnstufe 3 ein, wenn ein HI den Schwellwert von 90 für mindestens drei Tage überschreitet, die Stufe 4 wird ausgerufen, wenn ein HI für mindestens fünf Tage über 93 liegt. Eine Stufe 5 wurde bislang nicht definiert, könnte aber im Hinblick auf die Klimaänderung durchaus sinnvoll sein.

**Tabelle 7:** Warnschwellen.

| | **Stufe 3** | **Stufe 4** |
|---|---|---|
| Heatindex und Dauer | **HI > 90 über min 3 Tage** | **HI > 93 über min 5 Tage** |

Auch bei der Prognose von Hitzewellen gilt das Hauptaugenmerk der Temperatur und der Feuchte in den Niederungen. Die Temperaturprognose basiert hauptsächlich auf einem statistisch gewichteten Modell (MOS) und/oder einem deterministischen Modell (COSMO2 mit Kalman gefilterten Temperaturen). Bei Wetterlagen, die im jahreszeitlich üblichen Bereich liegen, ist die Temperaturvorhersage des MOS die beste Grundlage. Bei Extremsituationen wie den Hitzewellen 2015 sind die Prognosewerte der Temperatur des MOS in der Regel zu tief. Deswegen wird auch die Persistenz berücksichtigt, da diese für die Vorhersage bei sehr stabilen Hochdrucklagen eine wesentliche Rolle spielt. Für die Berechnung des Heat Index wird zudem die Feuchtigkeit berücksichtigt, die von den Modellen in der Regel weniger präzise vorhergesagt wird, als die Temperatur. Die relative Feuchtigkeit bzw. die Taupunkte werden deswegen im Berechnungstool des Heat Index durch die Prognostiker manuell eingegeben.

### 9.2.2 Berechnung des Extreme Forecast Index (EFI)

Der Extreme Forecast Index (EFI) des ECMWF zeigt das Verhältnis der Ensemble Vorhersagen zur Modellklimatologie ungefähr der vergangenen 20 Jahre. Die zugrunde liegende Annahme ist, dass wenn eine Prognose in Bezug auf das Modellklima anomal oder extrem ist, das reale Wetter im Vergleich mit dem realen Klima wahrscheinlich auch anomal oder extrem sein wird. Der berechnete Wert liegt dabei zwischen -1 und 1. Der Wert 1 bedeutet, dass in diesen Regionen so hohe Temperaturen in den letzten 20 Jahren äusserst selten bis niemals vorgekommen sind. Der Wert 0 bedeutet, dass die Situation dem üblichem Mittel der Jahreszeit entspricht und Werte unter 0 zeigen entsprechend für die Jahreszeit zu kühle Bereiche an.

### 9.2.3 Trockenheitsindikatoren SPI und SPEI

Der Trockenheitsindikator SPI (Standardized Precipitation Index, WMO 2012) zeigt die standardisierte Abweichung der Niederschlagsmengen im langjährigen Vergleich. Er ist so definiert, dass sein Wert direkt anzeigt, wie aussergewöhnlich ein Defizit (oder Überschuss) im aktuellen Monat im Vergleich zur gesamten Messreihe ausfällt (Tabelle 8). Der SPI wird für Niederschlagssummen über verschiedene Zeitperioden berechnet, über einen Monat bis mehrere Jahre. Der Index SPEI (Standardized Precipitation Evapotransporation Index, Begueria et al., 2014) ist analog zum SPI, einfach für die Wasserbilanz anstelle der Niederschlagsmenge. Die Wasserbilanz ergibt sich aus der Summe der Niederschläge minus der potenziellen Evapotranspiration (= Verdunstung plus potenzielle Transpiration).

**Tabelle 8:** Definition der Kategorien für die standardisierten Indizes SPI und SPEI. Angegeben ist eine Häufigkeit bezüglich des jeweiligen Monats, sie muss immer bezogen auf das jeweilige Datum verstanden werden. Es handelt sich also nicht um eine „return period“.

| Index-Wert | Farbe | Kategorie | Häufigkeit |
|---|---|---|---|
| > 2 | | extrem nass | 1 x in 50 Jahren oder seltener |
| 1.6 bis 1.99 | | enorm nass | 1-2 x in 40 Jahren |
| 1.3 bis 1.59 | | stark nass | 1-2 x in 20 Jahren |
| 0.8 bis 1.29 | | mässig nass | 1-2 x in 10 Jahren |
| 0.5 bis 0.79 | | leicht nass | 1-2 x in 5 Jahren |
| 0.49 bis -0.49 | | normal | |
| -0.5 bis -0.79 | | leicht trocken | 1-2 x in 5 Jahren |
| -0.8 bis -1.29 | | mässig trocken | 1-2 x in 10 Jahren |
| -1.3 bis -1.59 | | stark trocken | 1-2 x in 20 Jahren |
| -1.6 bis -1.99 | | enorm trocken | 1-2 x in 40 Jahren |
| < - 2 | | extrem trocken | 1 x in 50 Jahren oder seltener |

# Literaturverzeichnis

**Bader S, 2004:** Die extreme Sommerhitze im aussergewöhnlichen Witterungsjahr 2003. Arbeitsberichte der MeteoSchweiz, 200, 23 pp.

**Begert M, Baudraz G, Moesch M, Musa M, Schlegel T, Seiz G, 2003:** Homogenisierung von Klimamessreihen der Schweiz und Bestimmung der Normwerte 1961-1990. Schlussbericht des Projekts NORM90. Veröffentlichungen der MeteoSchweiz 67, 170 pp.

**Beguería S, Vicente-Serrano SM, Reig F, Latorre B, 2014:** Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. Int. J. Climatol. 34, 3001–3023.

**BUWAL, BWG, MeteoSchweiz, 2004:** Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. Schriftenreihe Umwelt Nr. 369. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 174 pp.

**CH2011, 2011**: Swiss Climate Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. http://www.ch2011.ch/

**Defila C, 2004**: Der Sommer und Herbst 2003 aus phänologische Sicht. Schweiz. Z. Forstwes., 155, 142-145.

**Estrella N, Menzel A, 2006:** Responses of leaf colouring in four deciduous tree species to climate and weather in Germany. Climate research, Vol 32, 253-267.

**IPCC, 2013:** Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

**Kube M, Ambühl J, Appenzeller C, Binder P, Comment T, Félix C, Fisler J, Frei C, Gaia M, Germann U, Grüter E, Hering A, Keller F, Mayoraz L, Meier D, Nisi L, Panziera L, Reiniger T, Romang H, Reynolds S, Schmutz C, Stoll M, Vogt S und Calpini B, 2016:** Optimierung der Warnung und Alarmierung vor Naturgefahren bei MeteoSchweiz, Fachbericht MeteoSchweiz, 259, 136 pp.

**Luterbacher J, Dietrich D, Xoplaki E, Grosjean M, Wanner H, 2004:** European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500, Science, 303, 1499–1503.

**MeteoSchweiz, 2004:** Annalen der MeteoSchweiz 2003. MeteoSchweiz, Zürich.

**MeteoSchweiz, 2014:** Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz, 243, 36 pp.

**Menzel, A, et al., 2006:** European phenological response to climate change matches the warming pattern. Glob. Chang. Biol. 12 (10), 1969–1976. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x.

**MZA, 1948:** Die Dürre des Sommers 1947. In: Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt 1947. 84. Jahrgang, Zürich 1948.

**Rothfusz LP, 1990:** National Weather Service (NWS) Technical Attachment, SR 90-23.

**Steadman RG, 1979:** The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. J. Appl. Meteor., 18, 861-873.

**van der Linden P, Mitchell JFB, (eds.) 2009:** ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160pp. http://ensembles-eu.metoffice.com/

**Vincent LA, Zhang X, Bonsal BR, Hogg WD, 2002:** Homogenization of Daily Temperatures over Canada. Journal of Climate, 15, 1322-1334.

**Z'graggen L, 2006:** Die Maximaltemperaturen im Hitzesommer 2003 und Vergleich zu früheren Extremtemperaturen. Arbeitsberichte der MeteoSchweiz, 212, 74 pp.

# A Warnausgaben im Hitzesommer 2015

**Tabelle 9:** Tabelle mit allen Warnausgaben vom 26. Juni 2015 bis zum 24. Juli 2015. Chronologische Übersicht der Warnausgaben für Hitze (für die Niederungen unterhalb 600 m ü. M.). Die Warnungen der Stufe 4 müssen mind. 1 mal pro Tag bestätigt werden.

| Datum | Warntyp | Stufe | Gültig bis | Regionen |
|---|---|---|---|---|
| 26.6.2015 | Warnausblick | 3 | 4.7. 00h | Westschweiz und Wallis |
| 27.6.2015 | Warnausblick | 3 | 4.7. 20h | Deutschschweiz |
| 28.6.2015 | Warnausblick | 3 | 5.7. 20h | Alpennordseite und Wallis |
| 29.6.2015 | Vorwarnung | 3 | 5.7. 20h | Deutschschweiz |
| 29.6.2015 | Vorwarnung | 4 | 5.7. 20h | West-, NW-Schweiz, westl. BE, SO, VS, Alpensüdseite |
| 30.6.2015 | Warnung | 3 | 5.7. 20h | Deutschschweiz |
| 30.6.2015 | Warnung | 4 | 5.7. 20h | West-, NW-Schweiz, westl. BE, SO, VS, Alpensüdseite |
| 1.7.2015 | Warnausblick | 4 | 6.7. 20h | Ganze Schweiz |
| 1.7.2015 | Warnung | 4 | 5.7. 20h | Deutschschweiz |
| 1.7.2015 | Warnung | 4 | 5.7. 20h | West-, NW-Schweiz, westl. BE, SO, VS, Alpensüdseite |
| 2.7.2015 | Warnausblick | 4 | 7.7. 20h | Ganze Schweiz |
| 2.7.2015 | Warnung | 4 | 6.7. 20h | Ganze Schweiz |
| 3.7.2015 | Warnausblick | 4 | 8.7. 20h | Ganze Schweiz |
| 3.7.2015 | Warnung | 4 | 7.7. 20h | Ganze Schweiz |
| 4.7.2015 | Warnausblick | 4 | 9.7. 20h | Alpensüdseite |
| 4.7.2015 | Warnung | 4 | 7.7. 20h | Ganze Schweiz |
| 5.7.2015 | Warnausblick | 3 | 10.7. 20h | Alpensüdseite |
| 5.7.2015 | Warnung | 4 | 7.7. 20h | Ganze Schweiz |
| 6.7.2015 | Warnausblick | 3 | 11.7. 20h | Alpensüdseite |
| 6.7.2015 | Warnung | 4 | 7.7. 20h | Ganze Schweiz |
| 7.7.2015 | Warnausblick | 3 | 12.7. 20h | Alpensüdseite |
| 7.7.2015 | Entwarnung | 4 | - | Ganze Schweiz |
| 8.7.2015 | Entwarnung | 3 | - | Alpensüdseite |
| 9.7.2015 | Warnausblick | 3 | 15.7. 20h | Alpensüdseite |
| 11.7.2015 | Warnausblick | 3 | 19.7. 11h | Westschweiz, Wallis |
| 12.7.2015 | Warnausblick | 3 | 19.7. 12h | Alpensüdseite |
| 12.7.2015 | Warnausblick | 3 | 19.7. 20h | Alpennordseite und Wallis |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 13.7.2015 | Warnung | 3 | 18.7. 20h | Alpensüdseite |
| 14.7.2015 | Warnung | 3 | 18.7. 20h | Wallis |
| 14.7.2015 | Warnausblick | 3 | 19.7. 20h | Alpensüdseite |
| 15.7.2015 | Warnung | 3 | 18.7. 20h | Wallis, Genferseeregion |
| 15.7.2015 | Warnung | 3 | 18.7. 20h | Deutschschweiz, Westschweiz |
| 15.7.2015 | Warnung | 3 | 19.7. 20h | Alpensüdseite |
| 15.7.2015 | Warnausblick | 3 | 20.7. 20h | Alpensüdseite |
| 16.7.2015 | Warnung | 4 | 20.7. 20h | Alpensüdseite |
| 16.7.2015 | Warnausblick | 4 | 21.7. 20h | Alpensüdseite |
| 16.7.2015 | Warnausblick | 3 | 22.7. 00h | Westschweiz, Wallis |
| 16.7.2015 | Warnausblick | 4 | 21.7. 20h | Westschweiz, Wallis |
| 16.7.2015 | Warnausblick | 3 | 24.7. 12h | Westschweiz, Wallis |
| 17.7.2015 | Warnausblick | 3 | 23.7. 00h | Alpennordseite und Wallis |
| 17.7.2015 | Warnausblick | 4 | 22.7. 20h | Alpensüdseite |
| 17.7.2015 | Warnung | 4 | 21.7. 20h | Alpensüdseite |
| 18.7.2015 | Warnung | 4 | 22.7. 20h | Alpensüdseite |
| 18.7.2015 | Warnausblick | 3 | 23.7. 20h | Alpennordseite und Wallis |
| 18.7.2015 | Entwarnung | 3 | - | Deutschschweiz, Westschweiz |
| 18.7.2015 | Entwarnung | 3 | - | Wallis, Genferseeregion |
| 18.7.2015 | Warnausblick | 4 | 23.7. 20h | Alpensüdseite |
| 19.7.2015 | Warnung | 4 | 23.7. 20h | Alpensüdseite |
| 19.7.2015 | Warnausblick | 3 | 24.7. 20h | Alpensüdseite |
| 20.7.2015 | Warnung | 3 | 22.7. 20h | Westschweiz, Wallis |
| 20.7.2015 | Warnung | 4 | 23.7. 20h | Alpensüdseite |
| 20.7.2015 | Warnausblick | 3 | 25.7. 20h | Alpensüdseite |
| 21.7.2015 | Warnung | 4 | 23.7. 20h | Alpensüdseite |
| 21.7.2015 | Warnausblick | 3 | 26.7. 20h | Alpensüdseite |
| 22.7.2015 | Warnung | 4 | 23.7. 20h | Alpensüdseite |
| 22.7.2015 | Warnausblick | 3 | 25.7. 20h | Alpensüdseite |
| 23.7.2015 | Warnung | 4 | 24.7. 20h | Alpensüdseite |
| 23.7.2015 | Warnausblick | 3 | 25.7. 20h | Alpensüdseite |
| 24.7.2015 | Warnung | 4 | 24.7. 20h | Alpensüdseite |
| 24.7.2015 | Entwarnung | 4 | - | Alpensüdseite |
| 4.8.2015 | Warnung | 3 | 8.8. 17h | Alpensüdseite |
| 8.8.2015 | Entwarnung | 3 | - | Alpensüdseite |

**MeteoSchweiz**
Operation Center 1
CH-8044 Zürich-Flughafen
T +41 58 460 99 99
www.meteoschweiz.ch

**MeteoSvizzera**
Via ai Monti 146
CH-6605 Locarno Monti
T +41 58 460 97 77
www.meteosvizzera.ch

**MétéoSuisse**
7bis, av. de la Paix
CH-1211 Genève 2
T +41 58 460 98 88
www.meteosuisse.ch

**MétéoSuisse**
Chemin de l'Aérologie
CH-1530 Payerne
T +41 58 460 94 44
www.meteosuisse.ch