



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

**Fachbericht MeteoSchweiz Nr. 248**

# **Die grössten wetterbedingten Temperatursprünge im automatischen Messnetz der MeteoSchweiz**

Simon Scherrer





ISSN: 2296-0058

Fachbericht MeteoSchweiz Nr. 248

# Die grössten wetterbedingten Temperatursprünge im automatischen Messnetz der MeteoSchweiz

Simon Scherrer

**Empfohlene Zitierung:**

Scherrer, S: 2014, Die grössten Temperatursprünge im automatischen Messnetz der MeteoSchweiz, *Fachbericht MeteoSchweiz*, **248**, 42 pp.

**Herausgeber:**

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz, © 2014

**MeteoSchweiz**

Krähbühlstrasse 58

CH-8044 Zürich

T +41 44 256 91 11

[www.meteoschweiz.ch](http://www.meteoschweiz.ch)



## Zusammenfassung

Der Bericht diskutiert die grössten wetterbedingten Temperatursprünge im Datensatz der Stundenmittelwerte des automatischen Messnetzes der MeteoSchweiz. Dabei werden die qualitätsgeprüften Stundenmittelwerte ([HH-1]:50 bis HH:40) an 61 automatische Stationen (SwissMetNet & ANETZ) aller Regionen und Höhenstufen der Schweiz über den Zeitraum 1981 bis Mitte 2013 analysiert. An Fallbeispielen werden die dahinter stehenden Wetterprozesse diskutiert. Zudem werden einige klimatologische Auswertungen für maximale Temperatursprünge mit 1 bis 72 Stunden Dauer gezeigt.

Die grössten Temperatursprünge der Stundenmittelwerte sind Erwärmungen. Sie treten in Gebirgstälern im Winter beim Ausräumen von Kaltluft an Kaltluftseestationen oder bei Föhnbeginn auf und erreichen Amplituden von +15 bis +17°C in der Stunde. Bei einer Analyse von gleitenden Stundenmittelwerten müsste mit noch deutlich höheren Werten gerechnet werden, eine umfassende Analyse ist aber aufgrund der nicht rigoros geprüften 10 Minutenwerte momentan nicht möglich. Zum Vergleich trotzdem ein Beispiel: So wurde in Ulrichen am 11.12.2005 eine Rekorderwärmung von +18.6°C in weniger als 10 Minuten bzw. +21.6°C in 30 Minuten registriert. Im Flachland an Hanglagen und auf Gipfeln sind die maximalen Erwärmungen deutlich kleiner. Die Exposition und die lokalen klimatologischen Gegebenheiten der Station spielen eine sehr wichtige Rolle. Die stärksten Erwärmungen treten an allen Stationen fast immer vormittags und im Winter oder Frühling auf.

Die grössten Abkühlungen der Stundenmittelwerte können durch drei verschiedene Prozesse ausgelöst werden, nämlich Gewitter, Föhnende und Kaltluftbildung. Sie zeigen ähnlich grosse Amplituden von je maximal -11 bis -12°C in einer Stunde. Sprünge dieser Grössenordnung können in Gebirgstälern und im Flachland im Sommer durch Gewitter sowie im Winter durch Föhnende oder Kaltluftbildung auftreten. An Hanglagen oder auf Berggipfeln sind die Amplituden meist deutlich kleiner. Die stärksten Abkühlungen treten fast immer nachmittags auf.

La Brévine zeigt die mit Abstand grössten Temperatursprünge über den gesamten Bereich von 1 bis 72 Stunden. Dies gilt für Temperaturzunahmen wie für Abnahmen. Andere von Kaltluftseen beeinflusste Stationen wie Samedan und Ulrichen zeigen ebenfalls aussergewöhnlich grosse Sprünge. Die kleinsten Temperatursprünge über weitere Bereiche von 1 bis 72 Stunden verzeichnete die Station Pully, eine Hangstation die stark vom dämpfenden Einfluss des Genfersees bestimmt wird. Die „Rangierung“ der grössten Temperatursprünge ändert für viele Stationen von den kurzen zu den langen Sprüngen. So zeigen Föhnstationen sehr grosse Sprünge im Bereich unter 12 Stunden, aber nur mittelgrosse bei längeren Zeiträumen. Genau umgekehrt ist die Situation bei Gipfelstationen.

## Abstract

This report discusses the largest weather related temperature jumps in the data set of the hourly averages of the automated measurement network of MeteoSwiss. It consists of an analysis of the quality checked hourly averages ([HH-1]:50 to HH:40) at 61 automated stations of the SwissMetNet and ANETZ in all regions and altitude levels of Switzerland. The time range considered is 1981 to mid-2013. We discuss the underlying weather phenomena doing case studies. In addition, we perform climatological analyses for the largest temperature jumps with duration of 1 to 72 hours.

The largest temperature jumps of the hourly averages are warmings. They are found in Alpine valleys in winter when a) very cold air in cold air pools is replaced by warmer advected air or b) when a Föhn event is triggered. In these cases top warmings of the order of +15 to +17°C per hour are observed. These values are expected to be considerably higher if running hourly averages instead of fixed averages would be used. An in depth analysis of this effect is not possible at the moment however, since the underlying 10 minute measurements have not been quality checked in a rigorous manner. For comparison however, we give an example: On the 11<sup>th</sup> December 2005, a record warming of +18.6°C in less than 10 minutes and +21.6°C in 30 minutes was registered in Ulrichen. On the Swiss Plateau, on slopes and on mountain summits, the largest warmings are much smaller. Exposition and the local climatological settings of the station play a very important role. The largest warmings are observed almost always in the morning and in winter or spring.

The largest temperature drops are essentially triggered by three different processes: thunder storms, Föhn breakdown and formation of cold air pools. All processes lead to temperature drops of maximum -11 to -12°C in one hour. Jumps of this order of magnitude can be found in mountain valleys and on the Swiss Plateau in summer triggered by thunder storms, Föhn breakdown or cold air pooling in winter. On slopes or on summits, the jumps are normally much smaller. The largest temperature drops are found almost always in the afternoon.

La Brévine is the station that shows by far the largest temperature jumps (warmings and temperature drops). This is the case for the analysed range of 1 hour to 72 hours. Other stations that are affected by cold air pooling like Samedan and Ulrichen also show extraordinarily large jumps. The smallest temperature jumps are found for the station Pully over a wide range of the analysed 1 to 72 hours. Pully is a slope station which is heavily influenced by the strongly dampening effect of Lake Geneva. The „ranking“ of the largest temperature jumps changes for many stations from the short to the longer jumps. Hence Föhn stations show very large jumps for time ranges below 12 hours but only average jumps for longer time ranges. The opposite situation is found for summit stations.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>V</b>
<b>Abstract</b>	<b>VI</b>
<b>1 Einleitung, Prozesse &amp; Methoden</b>	<b>1</b>
1.1 Einführungsbeispiel eines grossen Temperatursprungs	1
1.2 Beteiligte meteorologische Prozesse	2
1.3 Datenqualität	3
1.3.1 Allgemeine Bemerkungen	3
1.3.2 Datenqualität der Stundenmittel	4
1.4 Bemerkungen zur Stundenmittelanalyse	4
1.5 Verteilung und Zeitreihen der Temperatursprünge	5
1.6 Räumliche und prozessorientierte Einteilung der 61 SMN Stationen	6
<b>2 Grösste Erwärmungen der Stundenmittel</b>	<b>7</b>
2.1 Flachland	7
2.2 Mittlere Höhen	7
2.3 Hohe Lagen	9
2.4 Föhnregionen	9
2.5 Kaltluftseestationen	11
2.6 Gesamtübersicht	11
2.7 Fallbeispiele der drei grössten Stundenmittel Erwärmungen	12
2.7.1 Ausräumen Kaltluft mit Hintergrunderwärmung in La Brévine am 14.3.2005	12
2.7.2 Föhneinsatz mit Ausräumen von Kaltluft in Stabio am 27.12.1991	13
2.7.3 Ausräumen von Kaltluft in Ulrichen am 11.12.2005	15
<b>3 Grösste Abkühlungen der Stundenmittel</b>	<b>17</b>
3.1 Flachland	17
3.2 Mittlere Höhen	18
3.3 Hohe Lagen	18
3.4 Föhnregionen	20
3.5 Kaltluftseestationen	20
3.6 Gesamtübersicht	20
3.7 Fallbeispiele der drei grössten Stundenmittel Abkühlungen	21
3.7.1 Gewitterfront Wynau 5.7.2006	21
3.7.2 Föhnende in Visp am 9.12.2004	23
3.7.3 Kaltluftseebildung in La Brévine am 31.1.2010	23

<b>4</b>	<b>Zusammenfassung der grössten Temperatursprünge der Stundenmittel</b>	<b>25</b>
4.1	Übersicht nach Stationslage/typ	25
4.2	Zusammenhang mit der Stationshöhe	26
<b>5</b>	<b>Klimatologie der grössten Temperatursprünge von 1 bis 72h</b>	<b>27</b>
5.1	Klimatologie der Erwärmungen 1-72h	27
5.1.1	Wichtige Prozesse in Abhängigkeit von Sprungamplitude und Sprungdauer	28
5.2	Klimatologie der Abkühlungen 1-72h	29
5.2.1	Wichtige Prozesse in Abhängigkeit von Sprungamplitude und Sprungdauer	29
<b>6</b>	<b>Fazit</b>	<b>31</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>32</b>



# 1 Einleitung, Prozesse & Methoden

Grosse Temperatursprünge in einer meteorologischen Messreihe können Auskunft über schnelle Wetteränderungen geben. Solche grossen Wetteränderungen üben seit langer Zeit eine Faszination aus, haben aber auch eine gewisse praktische Relevanz, vor allem dann, wenn Wettergefahren damit verbunden sind, die von einem Wetterdienst so gut wie möglich prognostiziert werden sollten. Dies lokal zur richtigen Zeit mit der richtigen Stärke zu schaffen ist eine der schwierigsten Aufgaben der Wetterprognose und der numerischen Wettermodelle wie COSMO ([www.cosmo-model.org](http://www.cosmo-model.org)). Schnelle Temperatursprünge im automatischen Messnetz der MeteoSchweiz<sup>1</sup> wurden bisher noch nie systematisch dokumentiert. Das soll mit dieser Arbeit für die stärksten Temperatursprünge nachgeholt werden. Die Analyse der grössten Temperatursprünge ist eine grosse Herausforderung. Erfahrungsgemäss sind die extremsten Messwerte häufig Messfehler, die nichts über das Wetter aussagen. Deshalb sind hochqualitative Daten, die eine zuverlässige Datenqualitätskontrolle durchlaufen haben von höchster Wichtigkeit für eine systematische Auswertung (Perl, 2009; Scherrer et al., 2011).

In Kapitel 1 werden nach einem Einführungsbeispiel kurz die meteorologischen Prozesse vorgestellt, die in der Schweiz zu starken Temperatursprüngen führen können. Es wird danach die Wichtigkeit der Datenqualität erläutert und die Konsequenzen für die Analyse daraus gezogen. Die verwendeten Methoden um Sprünge systematisch zu untersuchen werden kurz vorgestellt. Weiter werden die Verteilung und Zeitreihen der Temperatursprünge für Stundenmittelwerte von 1981-2013 und eine geografische bzw. Wetterprozess-orientierte Einteilung der 61 untersuchten SwissMetNet (SMN) Stationen präsentiert.

In Kapitel 2 werden die Amplituden und Prozesse der grössten Erwärmungen der Stundenmittelwerte diskutiert und anhand von Fallbeispielen erläutert. Kapitel 3 macht dasselbe für die grössten Abkühlungen der Stundenmittelwerte. Kapitel 4 fasst die Erkenntnisse aus Kapitel 2 und 3 nach Stationstypeneinteilung sowie nach Höhenlage zusammen. In Kapitel 5 wird eine Klimatologie der grössten Temperatursprünge 1 bis 72h gezeigt und die wichtigen Prozesse in Abhängigkeit von Sprungamplitude und Sprungdauer diskutiert. Kapitel 6 fasst die Resultate noch einmal zusammen.

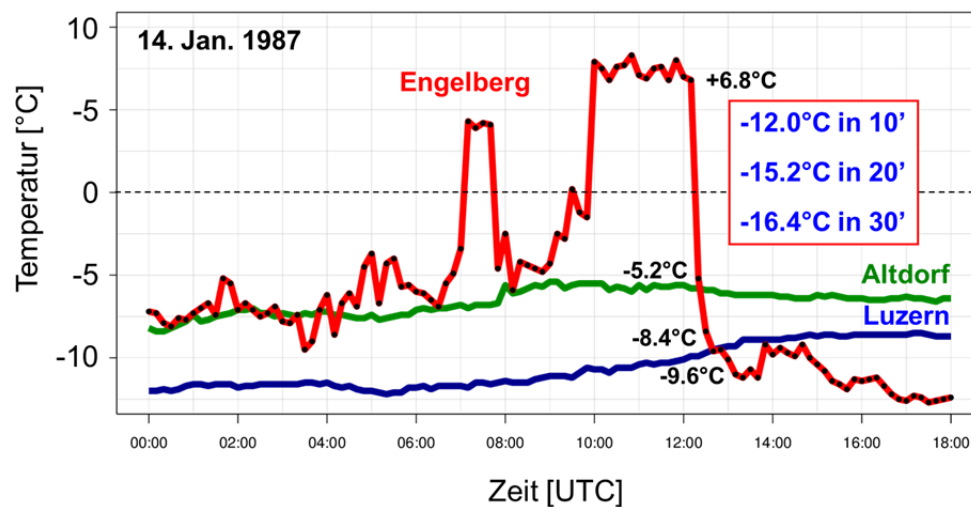
## 1.1 Einführungsbeispiel eines grossen Temperatursprungs

Im komplexen Terrain der Schweiz gibt es viele lokale meteorologische Effekte, die zu grossen Temperatursprüngen führen können. Ein Beispiel sind die zum Teil sehr lokal und sehr plötzlich auftretenden Fallwinde (z.B. Föhn, Gutermann et al., 2012). Ein bekannter sehr lokaler Föhnfall trat

---

<sup>1</sup> Informationen via <http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/messsysteme/boden/swissmetnet.html>

z.B. am 14. Jan. 1987 in Engelberg auf (vgl. Abb. 1)<sup>2</sup>. In diesem Fall trat der Föhn in der Zentralschweiz nur in Engelberg auf. Weder in Altdorf noch in Luzern gab es Föhn. Der Temperaturverlauf in Engelberg ist gekennzeichnet von zwei relativ kurzen Föhnstössen zwischen 07 und 08 UTC und zwischen 10 und 12 UTC. Der letztere Stoss ging mit einem Temperaturabfall von  $-12.0^{\circ}\text{C}$  in 10 Minuten,  $-15.2^{\circ}\text{C}$  in 20 Minuten und  $-16.4^{\circ}\text{C}$  in 30 Minuten sehr abrupt zu Ende. Solche abrupten Sprünge stellen die numerischen Modelle bis heute vor grosse Schwierigkeiten.



**Abbildung 1:** 2m Lufttemperaturverlauf (in  $^{\circ}\text{C}$  für 10 Min. Werte) am 14.1.1987 von 00:00 bis 18:00 UTC für die Stationen Engelberg (rot), Altdorf (grün) und Luzern (blau). Von 12:10 bis 12:20 UTC ist die Temperatur in 10 Min. um  $12.0^{\circ}\text{C}$  gefallen, von 12:10 bis 12:30 UTC also in 20 Min. um  $15.2^{\circ}\text{C}$  und von 12:10 bis 12:40 UTC also in 30 Min. um  $16.4^{\circ}\text{C}$ .

## 1.2 Beteiligte meteorologische Prozesse

Es gibt eine grosse Anzahl von meteorologischen Prozessen, die zu grossen Temperatursprüngen führen kann. Fast überall auf dem Globus führt der Tagesgang und die **kurzwellige Strahlung** einen Prozess dar, der zu Temperaturänderungen führt. In den Extratropen können Luftmassenwechsel durch **Wetterfronten** zu grossen Temperatursprüngen führen. So ist der grösste weltweit dokumentierte Temperatursprung von  $27^{\circ}\text{C}$  in 2 Minuten vom Januar 1943 in Spearfish SD, USA vermutlich zum grössten Teil durch eine Front mit sehr unterschiedlich warmen Luftmassen vor und nach der Front zu erklären (Hamann, 1943). Es ist möglich aber nicht gesichert, dass Fallwinde (Chinook) auch noch etwas zu den starken Temperatursprüngen beigetragen haben.

Weitere Prozesskandidaten für starke Sprünge sind **Gewitter** (nur Abkühlungen) und zum Teil topografisch bedingte Prozesse wie **Kaltluftseebildung und -ausräumung** sowie **Fallwinde** wie Föhn (vgl. Abb. 2). Die grössten Sprünge sind zu erwarten, wenn sich mehrere dieser Prozesse und Gegebenheiten verstärken. So kann man sich zum Beispiel vorstellen, dass das Ausräumen von Kaltluft überlagert wird von einer genereller Erwärmung oder dass der Föhndurchbruch noch ein

<sup>2</sup> Dank an Francis Schubiger und Peter Zbinden für den Hinweis zu diesem Fall.

Kaltluftreservoir wegschiebt und somit zu einem grossen Temperatursprung führt. Die vorliegende Auswertung zeigt, welche Kombinationen zu den grössten Sprüngen führen.



**Abbildung 2:** Meteorologische Prozesse, die zu grossen Temperatursprüngen führen können. Blaue (rote) Pfeile zeigen, dass der Prozess mit Abkühlung (Erwärmung) verbunden sein kann. Gewisse Prozesse treten praktisch weltweit auf, andere nur in den Extratropen, wieder andere nur in topografisch komplexen Regionen wie zum Beispiel in der Schweiz.

## 1.3 Datenqualität

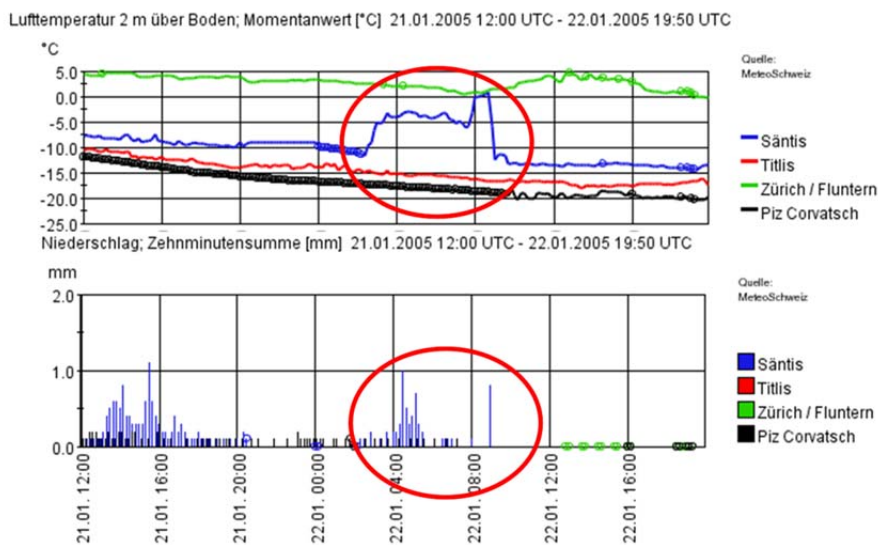
### 1.3.1 Allgemeine Bemerkungen

Diese Arbeit untersucht das grösste Promille (0.1%) bzw. den absolut grössten Sprung von fast 300'000 Stundenwerten an jeder automatischen MeteoSchweiz Station. Schon wenige Messfehler können die Analyse völlig nutzlos machen. Es ist deshalb von grösster Wichtigkeit, dass die Daten rigoros geprüft sind. Für die Stundenwerte wurde das von Anbeginn der automatischen Messungen zu Beginn der 1980er Jahre manuell gemacht. Deshalb beschränkt sich die vorliegende Auswertung auf Analysen der Stundenmittelwerte.

Noch schöner wäre natürlich die 10 Minuten Daten verwenden zu können. Diese wurden bis Ende 2003 nicht manuell geprüft. Entsprechend haben Stichproben der 10 Minuten Temperatursprünge grosse Fehler aufgewiesen. In Samedan waren alle 50 der 50 grössten 10' Temperaturzunahmen Messfehler und haben keinen Bezug zum aktuellen Wetter. In Zürich/Fluntern waren alle 10 der 10 grössten 10' Temperaturzunahmen, in Ulrichen 7 von 10 grössten Zunahmen Messfehler. Die meisten Probleme stammen aus der Frühzeit der Messungen, sprich den 1980er Jahren. Da die Daten bis 2003 nicht geprüft wurden, und die eine oder andere Art von Fehler auch später auftreten könnte, wurden in dieser Arbeit nur die Stundenmittel verwendet.

### 1.3.2 Datenqualität der Stundenmittel

Eine Stichprobenanalyse der Datenqualität der Stundenmittel hat ergeben, dass deren Qualität im Allgemeinen sehr gut ist und meist sogar die extremste Zu- bzw. Abnahme „real“, d.h. von einem meteorologischen Prozess verursacht, ist. Einzig in hohen Lagen gibt es einige Fälle, die nicht „real“ sind. Es handelt sich um Situationen, wo mit einem Messgerät namens THYGAN unter Bedingungen mit viel Wind, Niederschlag in Form von Schnee und Temperaturen um oder unter 0°C gemessen wurden. In solchen Fällen kann das THYGAN verstopfen und unrealistisch hohe Temperaturen generieren, die dann abrupt fallen, wenn der Schneepfropf abfällt und bald wieder die richtige Umgebungstemperatur gemessen wird. Ein Beispiel für den Säntis zeigt Abb. 3. Dieses Beispiel wurde inzwischen korrigiert. Es ist aber nicht klar, wie viele ähnliche Fälle es noch gibt. Es wurde keine zusätzliche rigorose Prüfung durchgeführt. Deshalb sind die Resultate für hohe Lagen mit einem gewissen Fragezeichen behaftet und sollten nicht auf die Kommastelle genau interpretiert werden. Aber auch wenn unter Umständen der grösste Wert nicht „real“ ist, dann ist es einer mit nur wenigen Zehntelgrad weniger.



**Abbildung 3:** Ein typisches Datenproblem der Temperaturmessung an Bergstationen mit dem Messgerät THYGAN. Hier ein Fall vom 22.1.2005. Es herrschten winterliche Verhältnisse mit Schneefall. Die Messung zwischen kurz vor 03:00 UTC und 09:00 UTC ist unrealistisch und wurde inzwischen auf der MeteoSchweiz Datenbank korrigiert.

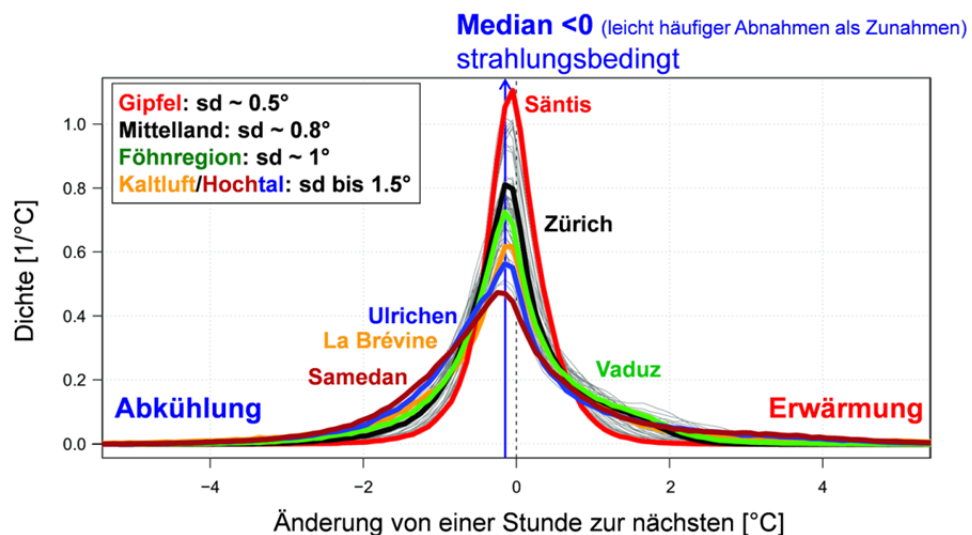
## 1.4 Bemerkungen zur Stundenmittelanalyse

Dargestellt werden jeweils Karten der grössten Stundenmittelsprünge (Erwärmungen bzw. Abkühlungen) an 61 SMN Station von Januar 1981- Juli 2013. Zudem werden Statistiken des grössten Promilles (0.1%) der Sprünge (etwa 240 Werte) über das Jahr und die Stunde des Auftretens gezeigt. Zeiten sind immer in UTC. Die Stundenmittel HH sind die Mittelwerte der 6 Zehnminutenwerte von [HH-1]:50 bis HH:40. Es werden also weder das bürgerliche Stundenmittel HH:10 bis (HH+1):00 noch gleitende Stundenmittel analysiert, was zu anderen Resultaten führen würde. Speziell bei gleitenden Stundenmittel müsste mit deutlich höheren Werten gerechnet werden.

Auf eine gleitende Stundenmittelbildung musste wegen der unsicheren Datenqualität der 10'-Werte verzichtet werden.

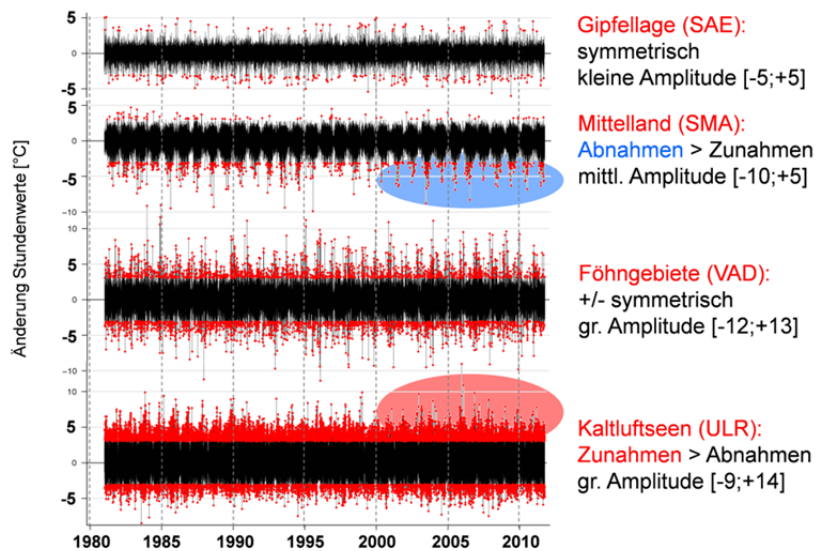
## 1.5 Verteilung und Zeitreihen der Temperatursprünge

Abb. 4 zeigt die Verteilung der Temperaturänderungen von einer Stunde zur nächsten für alle Werte von 1981-2013 und alle 61 untersuchten SMN Stationen. Der Median ist immer kleiner Null, d.h. die häufigste Änderung ist eine leichte Abnahme von meist -0.1 oder -0.2°C. Dies kann relativ einfach mit Strahlungsargumenten erklärt werden, da mehr Zeit des Tages Abkühlung stattfindet als Erwärmung. Die Verteilungen sind je nach Stationslage bzw. Stationstyp deutlich verschieden. Vor allem die Breite der Verteilung, charakterisiert durch die Standardabweichung, ist sehr verschieden. Gipfelstationen zeigen Standardabweichungen um 0.5°C, Flachlandstationen um etwa 0.8°C, Stationen in Föhnregionen um etwa 1°C und Kaltluftseestationen bzw. Hochtäler bis zu 1.5°C.



**Abbildung 4:** Verteilung (PDF) aller Temperaturänderungen von einer Stunde zur nächsten [Einheit: °C] für 61 SMN Stationen in der Periode 1981-2013. Gewisse Stationen, die verschiedene Stationstypen repräsentieren sind eingefärbt. Sântis als Gipfelstation (rot), Zürich/Fluntern als Flachlandstation (schwarz), Ulrichen (blau), La Brévine (orange) und Samedan (braun) als Kaltluftseestationen, Vaduz als Föhnstation (grün). Ebenfalls gezeigt sind typische Werte von Standardabweichungen in °C (Box links oben).

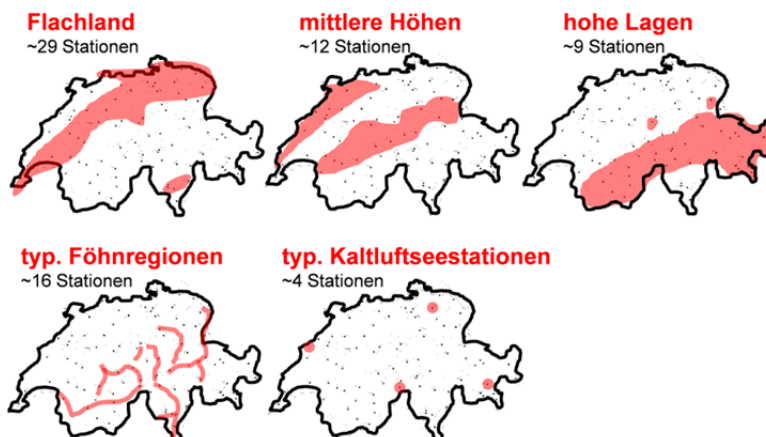
Die Verteilungen sind auch verschieden schief. Abb. 5 zeigt das im Detail. Gipfellagen zeigen bei kleiner Amplitude sehr symmetrische Temperaturänderungen von Stunde zu Stunde. Im Flachland sind die Temperaturabnahmen deutlich grösser als die Temperaturzunahmen. Für Stationen in Föhnregionen sind die Amplituden sehr gross aber relativ symmetrisch. Für Hochtäler und Stationen, die oft von Kaltluftseen beeinflusst sind, sind die Amplituden ebenfalls sehr gross, aber die Zunahmen stärker als die Abnahmen.



**Abbildung 5:** Zeitreihen der Stundenmitteländerungen für verschiedene Stationstypen von 1981-2011 (Einheit: °C). Von oben nach unten: Gipfellation (Säntis, SAE), Flachland (Zürich/Fluntern, SMA), Föhngebiet (Vaduz, VAD) und Kaltluftseestation (Ulrichen, ULR).

## 1.6 Räumliche und prozessorientierte Einteilung der 61 SMN Stationen

Aufgrund der grossen Unterschiede der Temperatursprünge der Stundenmittel und für eine bessere Übersichtlichkeit, sollen im Folgenden 5 Stationstypen unterschieden werden (vgl. Abb. 6): Flachland, mittlere Höhen, hohe Lagen, Föhnregionen und Kaltluftseestationen (u.a. Hochtäler). Da sich manche Stationen für Erwärmung bzw. Abkühlung verschieden verhalten ist die Zuordnung der Stationen nicht überall klar und die Anzahl zugeordneter Stationen kann etwas schwanken.



**Abbildung 6:** Subjektive Einteilung der 61 untersuchten SMN Stationen nach geografischen Einheiten und meteorologischen Eigenheiten. Flachland: etwa 29 Stationen, mittlere Höhen: etwa 12 Stationen, hohe Lagen: etwa 9 Stationen, Föhnregionen: etwa 16 Stationen und Kaltluftsee beeinflusst: etwa 4 Stationen. Da sich manche Stationen für Erwärmung bzw. Abkühlung verschieden verhalten ist die Zuordnung der Stationen nicht überall eindeutig und die Anzahl zugeordneter Stationen kann deshalb etwas schwanken.

## 2 Grösste Erwärmungen der Stundenmittel

In diesem Kapitel werden Karten der stärksten Erwärmungen zusammen mit deren jahreszeitlichem Auftreten, der Verteilung des grössten Promilles der Erwärmungen übers Jahr, der Tageszeit des Auftretens, den dahinter stehenden Prozessen und stationsspezifischen Eigenheiten präsentiert.

### 2.1 Flachland

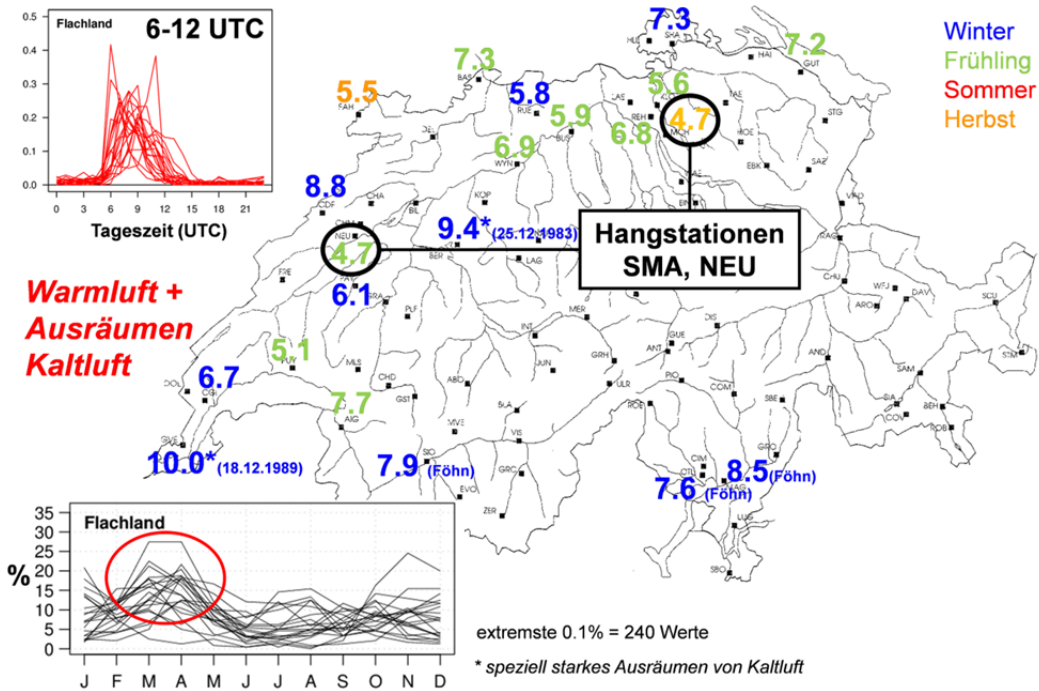
Die grössten Stundenmittel Erwärmungen im Flachland liegen zwischen 5 und 10°C. Die grosse Spannweite kommt daher, dass auch für Flachlandstationen verschiedene Expositionen auftreten, was grosse Auswirkungen auf die Spannweite hat. Die niedrigsten Werte findet man an Hangstationen (wie Neuchâtel und Zürich/Fluntern mit nur 4.7°C), besonders hohe Werte an Stationen, die zu Kaltluftansammlungen neigen (wie Bern oder La Chaux-de-Fonds). Ebenfalls hohe Werte findet man in Genf mit seiner speziellen Lage, wo kalte Luftmassen sehr schnell durch warme Luftmassen aus Frankreich ersetzt werden können. Sion, Locarno Monti und Magadino sind leicht föhn beeinflusst und zeigen deshalb etwas höhere Werte.

Die grössten Sprünge treten an fast allen Stationen im Winter oder Frühling auf. Die Verteilung der grössten Sprünge zeigt ein Maximum im März und April (vgl. Abb. 7 links unten). Fast alle Fälle treten vormittags zwischen 5 und 12 UTC auf. Dies sind alles Hinweise, dass der dahinter steckende Prozess Ausräumen von nächtlicher Kaltluft durch wärmere Luft ist.

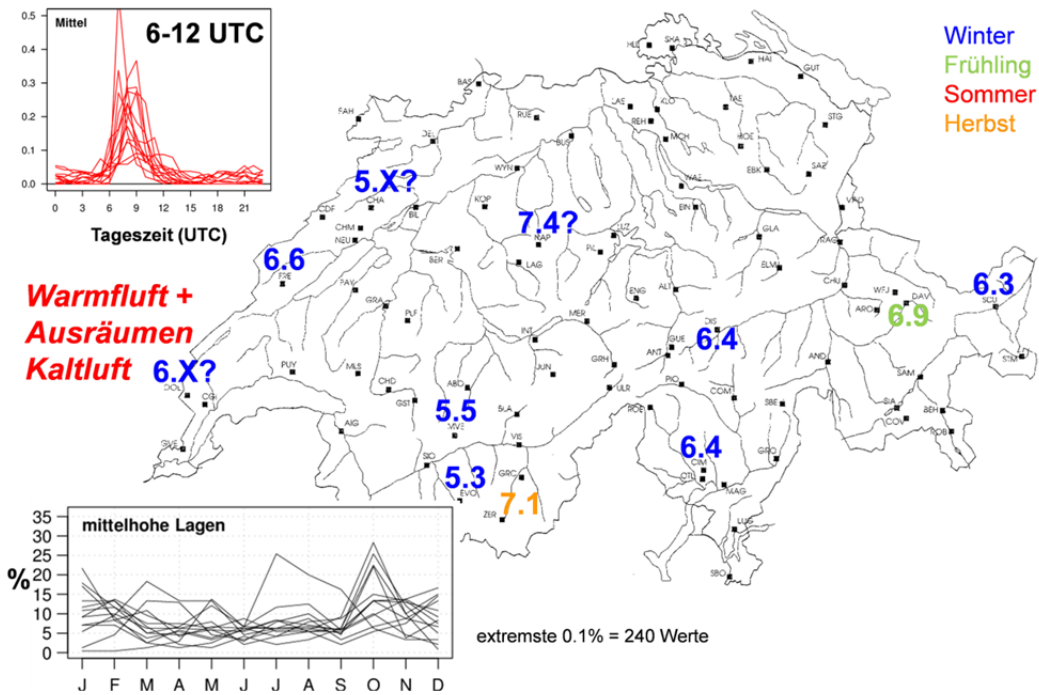
### 2.2 Mittlere Höhen

Die grössten Stundenmittel Erwärmungen in mittleren Höhen liegen zwischen 5 und 7°C (vgl. Abb. 8). Die Spannweite ist also deutlich kleiner als für Flachlandstationen. Auch für Stationen in mittleren Höhen spielt die Exposition und Lage eine Rolle. Die niedrigsten Werte findet man erneut an Hangstationen (wie Montana mit nur 5.5°C).

Die grössten Sprünge treten an fast allen Stationen im Winter auf. Die Verteilung der extremsten 0.01% der Fälle zeigt für einige Stationen ein Maximum im Oktober (vgl. Abb. 8 links unten). Fast alle Fälle treten vormittags zwischen 6 und 12 UTC auf. Dies sind alles Hinweise, dass der dahinter steckende Prozess auch hier Ausräumen von nächtlicher Kaltluft durch wärmere Luft ist.



**Abbildung 7:** Karte der grössten Stundenmittelerwärmungen an Flachlandstationen der SwissMetNet Stationen für die Periode 1981-2013 (Zahlen). Die Farbe der Zahlen zeigt die Jahreszeit an, in der der Rekord auftrat (blau: Winter, grün: Frühling, rot: Sommer und orange: Herbst). Der meteorologische Hauptprozess ist in rot angegeben. Unten wird die prozentuale Verteilung der 0.1% extremsten Werte (rund 240 Werte) für alle Monate (Jan-Dez) und alle 61 Stationen gezeigt. Oben links ist die Verteilung der extremsten 0.01% Werte mit der Tageszeit in UTC aufgezeichnet.



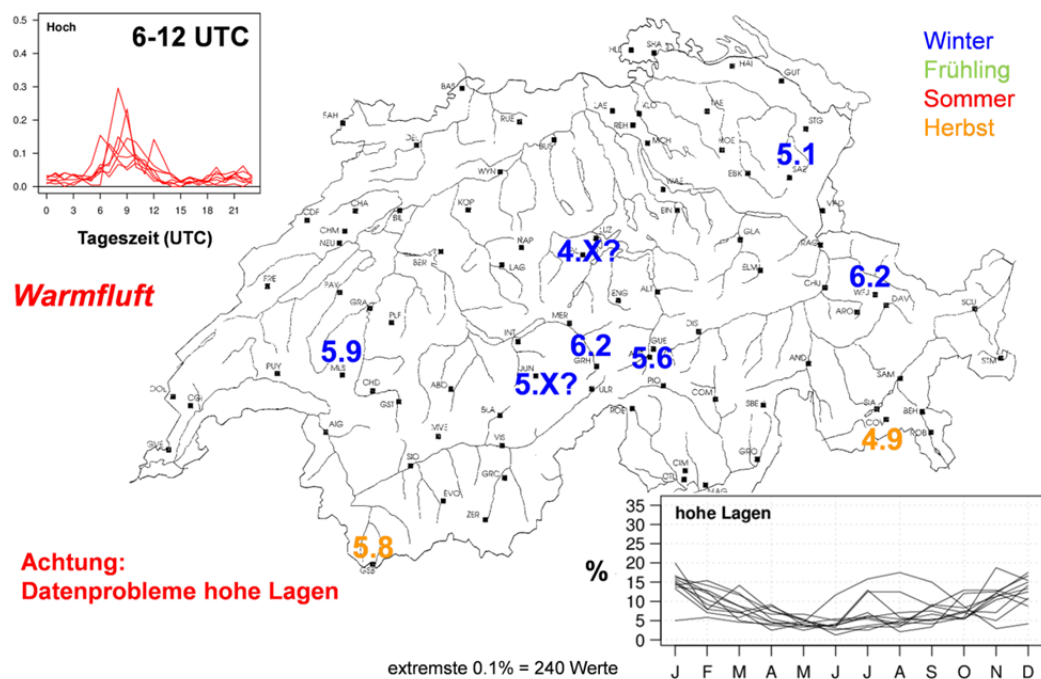
**Abbildung 8:** Wie Abbildung 7, aber für Stationen mittlerer Höhen.



**2 Grösste Erwärmungen der Stundenmittel****2.3 Hohe Lagen**

Die grössten Stundenmittel Erwärmungen in hohen Lagen liegen zwischen knapp 5 und 6°C (vgl. Abb. 9). Achtung: Die Werte sollten nicht auf die Kommastelle genau interpretiert werden, da für gewisse Fälle Datenqualitätsprobleme nicht ausgeschlossen werden können. Die Spannweite ist aber noch einmal deutlich kleiner als für Stationen mittlerer Höhe.

Die grössten Sprünge treten an fast allen Stationen im Winter auf. Die Verteilung der extremsten 0.01% der Fälle zeigen erhöhte Auftretenshäufigkeiten im Winterhalbjahr (vgl. Abb. 9 links unten). Fast alle Fälle treten vormittags zwischen 6 und 12 UTC auf. Der dahinter stehende meteorologische Prozess ist das Einfließen von Warmluft in der Höhe.



**Abbildung 9:** Wie Abbildung 7, aber für Stationen in hohen Lagen.

**2.4 Föhnregionen**

Die grössten Stundenmittel Erwärmungen in den Föhnregionen liegen grob zwischen 8 und fast 15°C. Die grosse Spannweite kommt daher, dass nicht alle Stationen gleich stark Föhnereignissen ausgesetzt sind und zudem gewisse Standorte auch noch zu Kaltluftseebildung neigen (z.B. Stabio) und der Temperatursprung bei einem Föhnstoss deshalb besonders hoch sein kann.

Die grössten Sprünge treten an fast allen Stationen im Herbst oder Winter auf. Die Verteilung der extremsten 0.01% der Fälle zeigt ein Maximum in den Herbst- und Wintermonaten (vgl. Abb. 10 links unten). Fast alle Fälle treten vormittags zwischen 6 und 11 UTC auf. Der dahinter stehende Prozess ist Föhn, genauer gesagt der am Anfang stehende erste Föhnstoss bzw. Föhndurchbruch. Mehr Details dazu in den Fallbeispielen weiter unten.

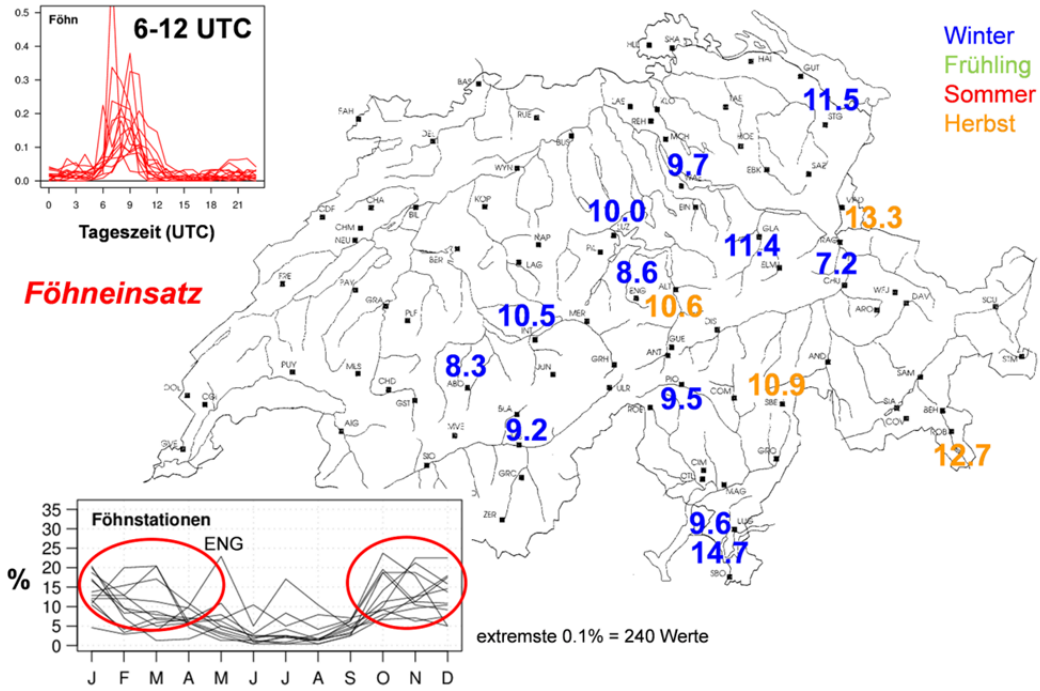


Abbildung 10: Wie Abbildung 7, aber für Föhnstationen.

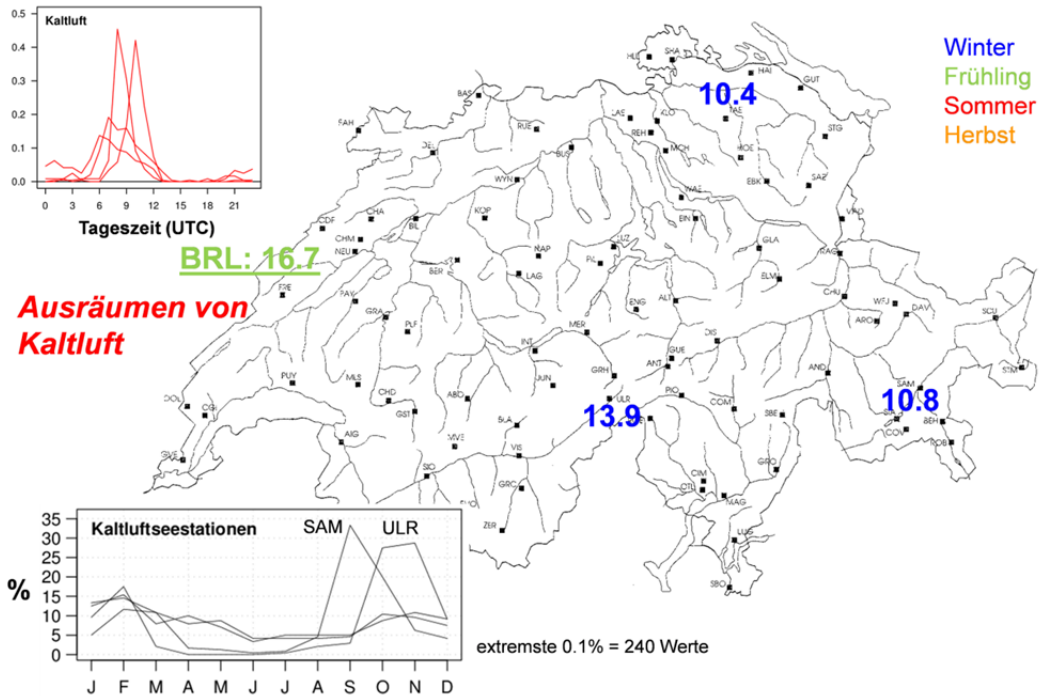


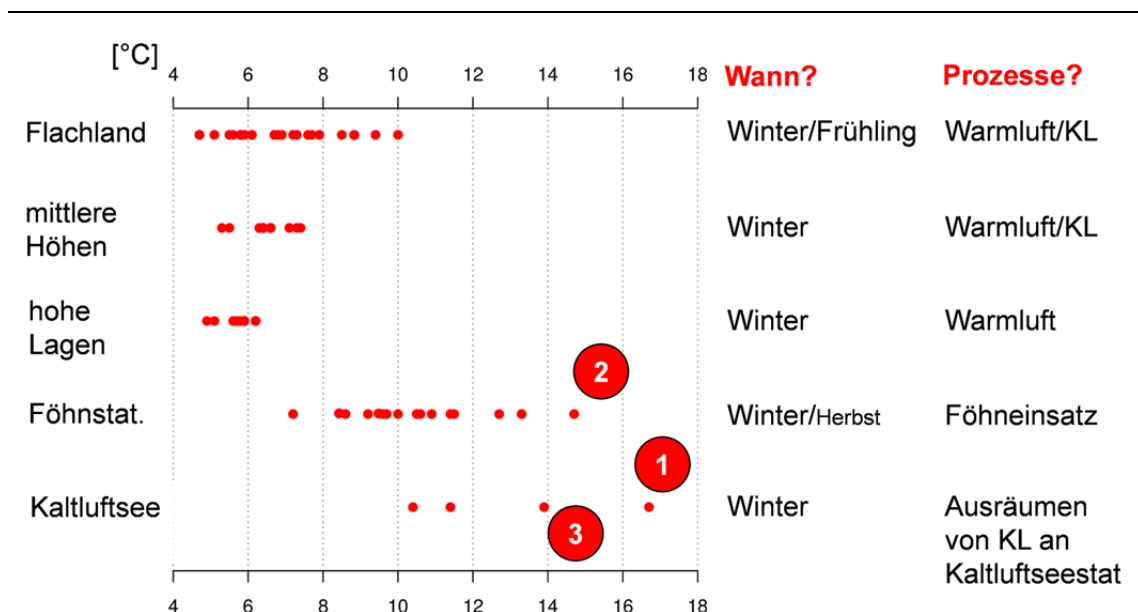
Abbildung 11: Wie Abbildung 7, aber für Kaltluftseestationen.

## 2.5 Kaltluftseestationen

Die grössten Stundenmittel Erwärmungen an Kaltluftseestationen liegen zwischen gut 10 und fast 17°C. Der mit Abstand höchste Wert von 16.7°C wurde in La Brévine registriert. Ulrichen folgt mit 13.9°C. Die grössten Sprünge treten alle im Winterhalbjahr auf. Die Verteilung der extremsten 0.01% der Fälle zeigt ein Maximum in den Herbst- und Wintermonaten (vgl. Abb. 11 links unten). Fast alle Fälle treten vormittags zwischen 6 und 12 UTC auf. Der dahinter stehende Prozess ist Ausräumen von Kaltluft durch Warmluft. Mehr Details dazu in den Fallbeispielen weiter unten.

## 2.6 Gesamtübersicht

Abb. 12 fasst die stärksten Stundenmittelerwärmungen (1981-2013) für die verschiedenen Stationstypen in °C inkl. Auflistung in welcher Jahreszeit sie auftreten und welche Prozesse dahinter stehen zusammen. In den meisten Regionen ist der Hauptprozess das Ausräumen von Kaltluft durch Warmluft im Zusammenhang mit Fronten. In den Föhnregionen erfolgt die Warmluftzufuhr durch den Föhn. Fast alle Fälle treten vormittags auf. Die schweizweit drei grössten Erhöhungen der Stundenmittel (1. La Brévine 2005, 2. Stabio 1991, 3. Ulrichen 2005) werden in folgenden kurz diskutiert.



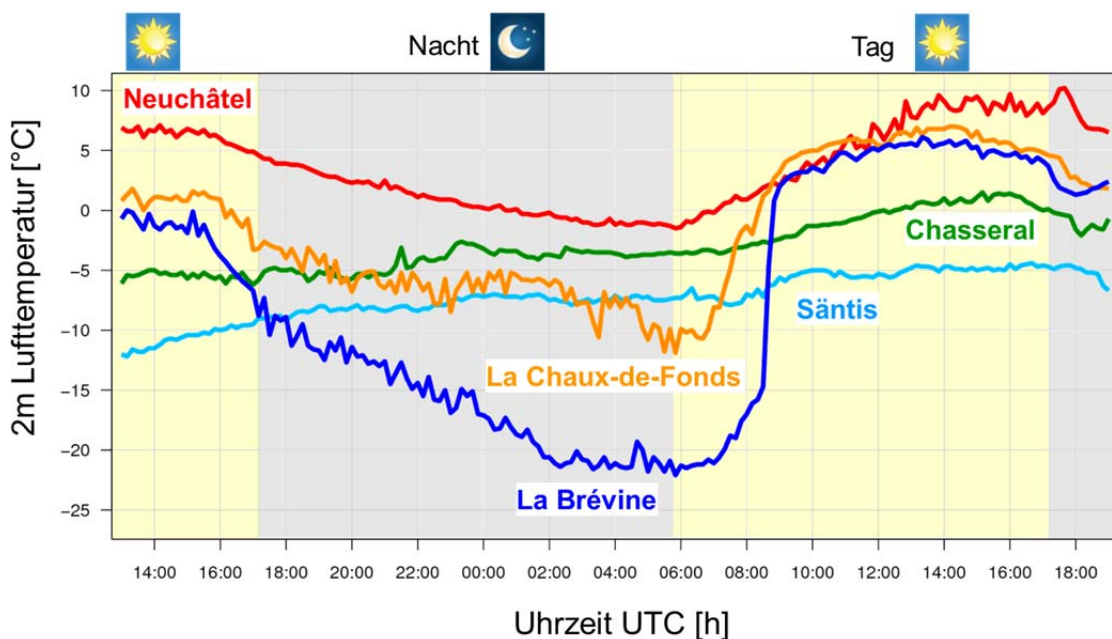
**Abbildung 12:** Die stärksten Stundenmittelerwärmungen (1981-2013) für die verschiedenen Stationstypen in °C inkl. Auflistung in welcher Jahreszeit sie auftreten und welche Prozesse dahinter stehen. Die drei stärksten Erwärmungen sind gekennzeichnet und werden unten als Fallbeispiele besprochen.

## 2.7 Fallbeispiele der drei grössten Stundenmittel Erwärmungen

### 2.7.1 Ausräumen Kaltluft mit Hintergrunderwärmung in La Brévine am 14.3.2005

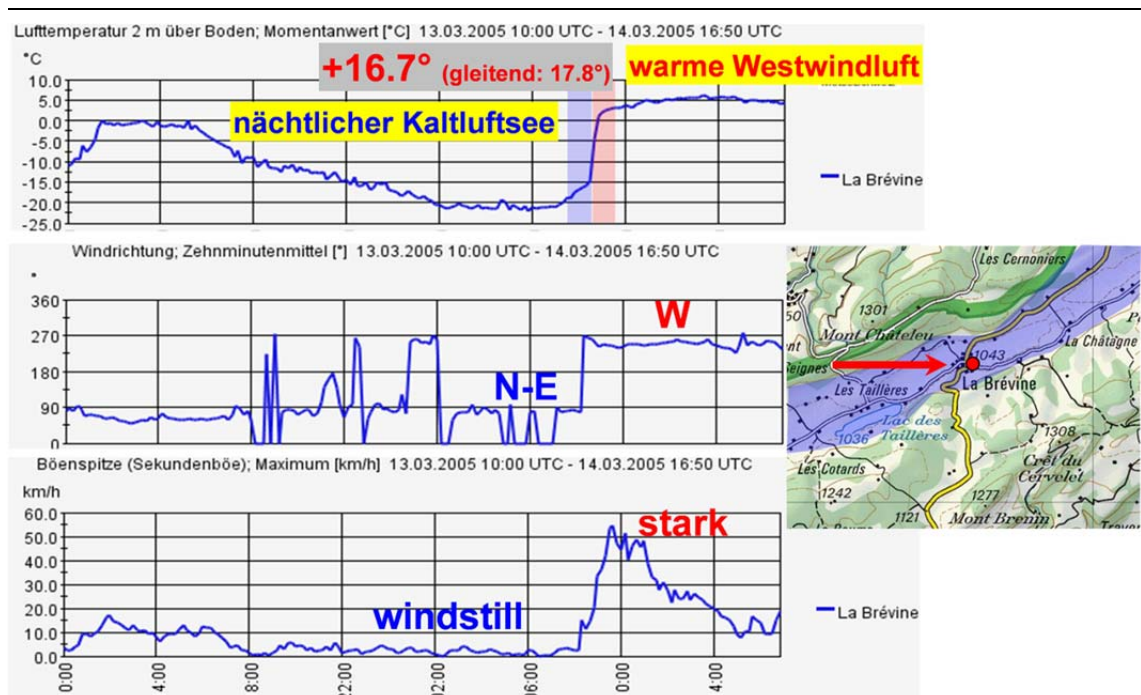
Abb. 13 zeigt den Verlauf der 2m Lufttemperatur vom 13.3.2005 14:00 UTC bis 14.3.2005 18:00 UTC in La Brévine (dunkelblau), auf dem Säntis (hellblau), auf dem Chasseral (grün), in La Chaux-de-Fonds (orange) und in Neuchâtel (rot). Es bildet sich ein nächtlicher Kaltluftsee mit Tiefstwerten von knapp  $-23^{\circ}\text{C}$  in La Brévine. Dieser wird am Vormittag sehr schnell ausgeräumt. Der Temperatursprung wird verstärkt durch Zufuhr von rund  $5^{\circ}\text{C}$  wärmerer Westwindluft als 24 Stunden zuvor. Diese Erwärmung findet bis in grosse Höhen (so auch z.B. auf dem Säntis) statt.

Typisch für den Aufbau eines Kaltluftsees sind die windarmen Verhältnisse (vgl. Abb. 14). Dieser wird mit dem Durchgreifen des zügigen Westwinds sehr schnell komplett ausgeräumt und durch die warme Westwindluft ersetzt. Dass dieser Fall den stärksten Stundenmittelsprung im gesamten Messnetz erzeugt hat, ist auch ein bisschen Zufall, da die Stundenwertbildung in diesem Fall zu einem hohen Wert geführt hat. Wie weiter unten gezeigt wird, ist der drittgrösste Sprung in Ulrichen bei einem Stundenwert, der gleitend gebildet wird mit  $20.8^{\circ}\text{C}$  deutlich höher als der hier vorliegende Stundenwert von La Brévine und somit fast  $7^{\circ}\text{C}$  höher als das offizielle Stundenmittel der sechs Zehnminutenwerte von [HH-1]:50 bis HH:40.



**Abbildung 13:** Verlauf der 2m Lufttemperatur vom 13.3.2005 14:00 UTC bis 14.3.2005 18:00 UTC für La Brévine (dunkelblau), Säntis (hellblau), Chasseral (grün), La Chaux-de-Fonds (orange) und Neuchâtel (rot).

## 2 Grösste Erwärmungen der Stundenmittel

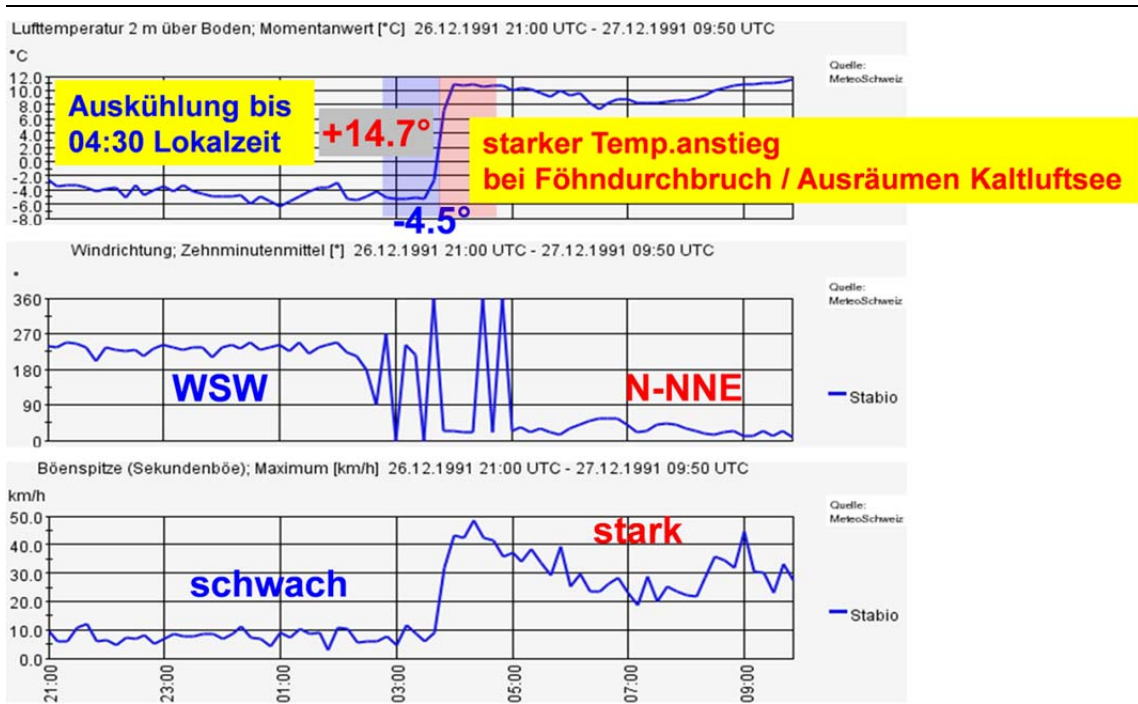


**Abbildung 14:** Verlauf der 2m Lufttemperatur (°C, oben), der Windrichtung (°, Mitte) und der Böenspitze (km/h, unten) vom 13.3.2005 10:00 UTC bis 14.3.2005 16:50 UTC in La Brévine. Am Morgen des 14.3.2005 findet der grosse Temperatursprung statt. Rechts: Situationskarte von La Brévine mit seiner Muldenlage. Es handelt sich um ein schnelles Ausräumen der Kaltluft durch warme Westwindluft. Der rote Pfeil zeigt den am 14.3.2005 einsetzenden Westwind an.

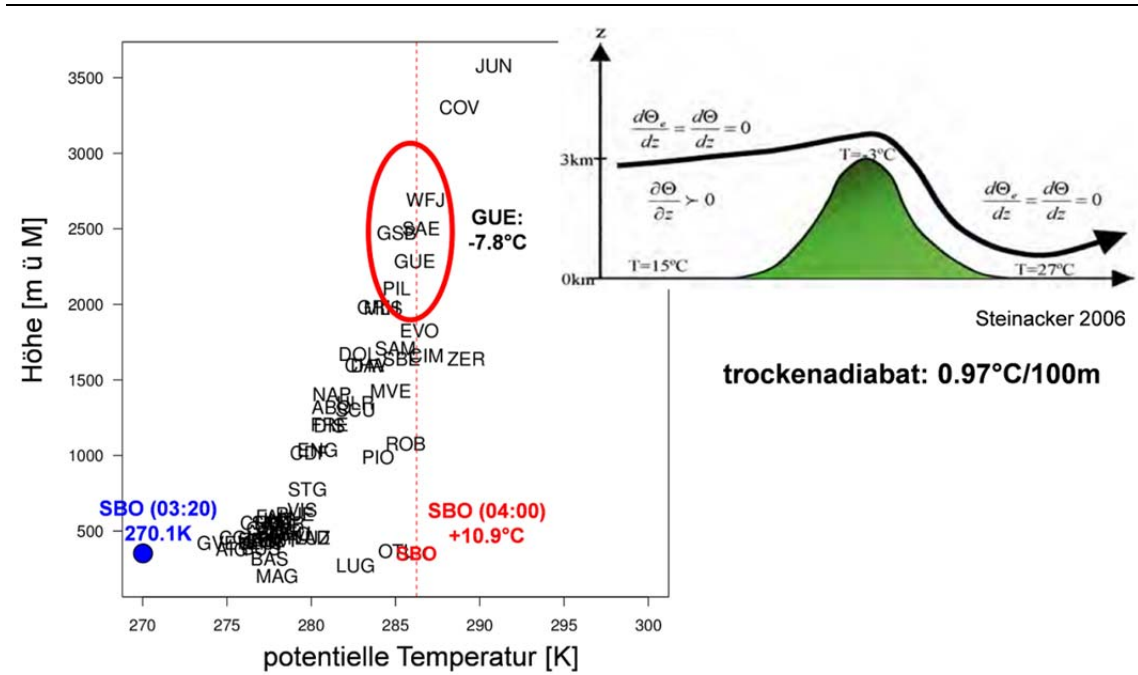
## 2.7.2 Föhnneinsatz mit Ausräumen von Kaltluft in Stabio am 27.12.1991

Abb. 15 zeigt den zweitgrössten Anstieg der Temperaturstundenmittel im Messnetz der MeteoSchweiz. Es handelt sich um einen Anstieg von 14.7°C früh morgens mit einem Föhndurchbruch und Ausräumen von in Stabio angesamelter Kaltluft. Der Föhndurchbruch ist sehr schön mit der Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsänderung dokumentiert.

Abb. 16 zeigt die Situation mit Hilfe der potentiellen Temperatur. Um 03:20 UTC ist die potentielle Temperatur in Stabio deutlich unter allen anderen Stationen (Kaltluft). Um 04:00 UTC ist die potentielle Temperatur fast genau gleich gross, wie diejenige des Gütsch ob Andermatt auf 2287 m ü M. Das zeigt, dass tatsächlich dieselben Luftmassen wie über dem Gotthard nun bis Stabio durchgegriffen haben, wie es nach der einfachen Föhntheorie bei einem maximal trockenadiabaten Gradienten der Fall ist (z.B. Steinacker 2006). Das heisst, dass der Temperatursprung nur noch grösser werden kann, wenn zu Beginn noch kühlere Kaltluft vorliegt. Die Erwärmung durch den Föhn selbst liegt nämlich bei konstanten rund 0.97°C/100m.



**Abbildung 15:** Verlauf der 2m Lufttemperatur (°C, oben), der Windrichtung (°, Mitte) und der Böenspitze (km/h, unten) vom 26.12.1991 21:00 UTC bis 27.12.1991 09:50 UTC in Stabio. Zwischen 03:00 und 04:00 UTC findet der grosse Temperatursprung statt. Es handelt sich um einen Föhndurchbruch mit Ausräumen von kalter Luft, die sich am Boden angesammelt hat.

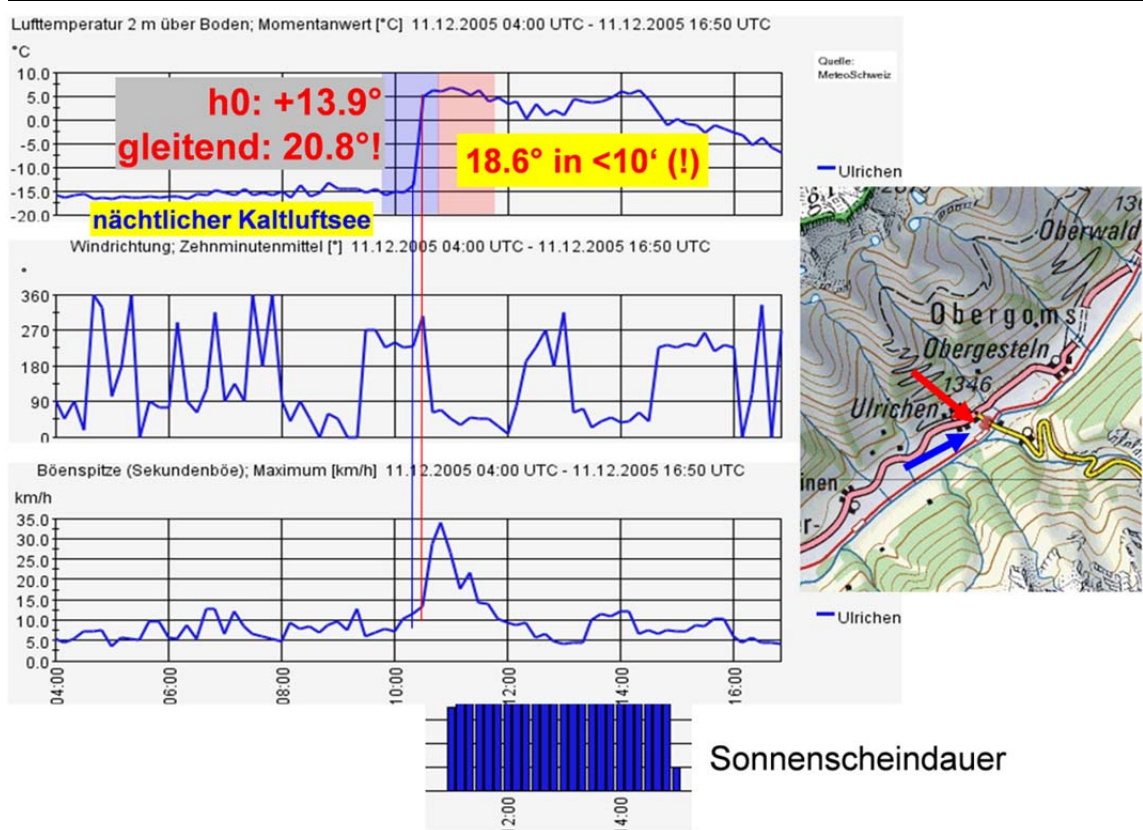


**Abbildung 16:** Darstellung der potentiellen Temperatur am 27.12.1991 um 04:00 UTC für alle SMN Stationen. Stabio (SBO) ist in rot eingezeichnet. Der Stabio Wert von 270.1K um 03:20 UTC ist in blau eingezeichnet. Die SBO Werte entsprechen in etwa dem Wert von Gütsch (GUE, 2287 m ü M), was gut mit der Theorie von konstanter potentieller Temperatur im Föhnluft (Illustration nach Steinacker 2006, rechts) übereinstimmt.

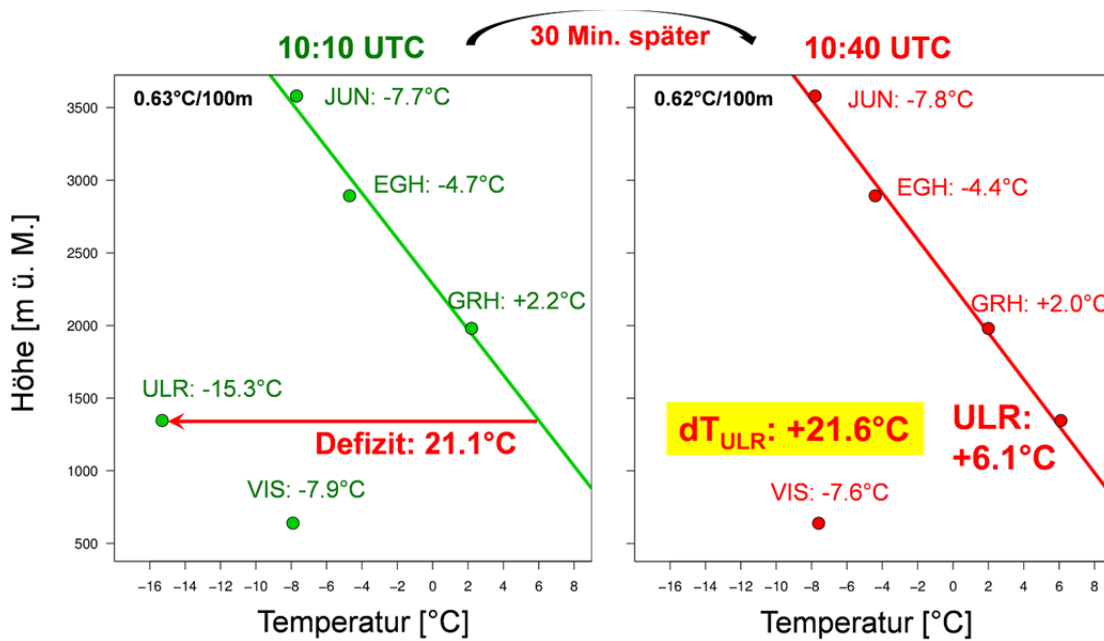
### 2.7.3 Ausräumen von Kaltluft in Ulrichen am 11.12.2005

Der drittgrösste Stundenmittelsprung betrifft das Ausräumen von Kaltluft in Ulrichen im Goms (Abb. 17). Der Wert von 13.9°C wird noch viel grösser, wenn man ein gleitendes Stundenmittel verwendet. Dann erhöht sich der Wert auf 20.8°C. In Tat und Wahrheit war der Hauptsprung sehr kurz. So ist die die Temperatur innert 10 Minuten um 18.6°C angestiegen. Es ist vermutlich der schnellste Anstieg der Temperatur innert 10 Minuten im gesamten Messnetz der MeteoSchweiz und kommt zumindest halbwegs in die Nähe des Weltrekordsprungs von 27°C in 2 Minuten in Spearfish (USA). Da nur in einer Auflösung von 10 Minuten gemessen wird, ist es nicht möglich festzustellen, ob der Sprung in noch kürzerer Zeit stattgefunden hat oder nicht.

In weniger als 30 Minuten hat sich die Luftmasse der höheren Schichten (2000 bis 3500 m ü M) durchgesetzt und die Kaltluft verdrängt (vgl. Abb. 18). In 30 Minuten ist so die Temperatur um 21.6°C gestiegen. Ulrichen liegt danach genau im linearen Temperaturprofil der darüber liegenden Stationen der Gegend (Oberwallis und Berner Alpen).



**Abbildung 17:** Verlauf der 2m Lufttemperatur (°C, oben), der Windrichtung (°), der Böenspitze (km/h) und der Sonnenscheindauer vom 11.12.2005 04:00 UTC bis 11.12.2005 15:50 UTC in Ulrichen. Zwischen 10:00 und 11:00 UTC findet der grosse Temperatursprung statt. Rechts: Situationskarte von Ulrichen als Kaltluftseestation sowie die vorherrschenden Windrichtungen vor und nach dem Temperatursprung.



**Abbildung 18:** Temperaturverlauf mit der Höhe [m ü M] im Oberwallis am 11.12.2005 um 10:10 UTC (links) und 30 Minuten später um 10:40 UTC (rechts). Die verwendeten Stationen sind: Visp (VIS, 639 m ü M), Ulrichen (ULR, 1346 m ü M), Grimsel Hospiz (GRH, 1980 m ü M), Eggishorn (EGH, 2893 m ü M) und Jungfrauoch (JUN, 3580 m ü M). Die jeweils eingetragene Gerade ist der lineare Fit (least-squares) durch die drei Stationen GRH, EGH und JUN.



3 Grösste Abkühlungen der Stundenmittel

### 3 Grösste Abkühlungen der Stundenmittel

In diesem Kapitel werden Karten der stärksten Abkühlungen zusammen mit deren jahreszeitlichem Auftreten, der Verteilung des grössten Promilles der Abkühlungen übers Jahr, der Tageszeit des Auftretens, den dahinter stehenden Prozessen und stationsspezifischen Eigenheiten präsentiert.

#### 3.1 Flachland

Die grössten Stundenmittelabkühlungen im Flachland liegen grob zwischen -8 und gut -11°C. Sie treten fast ausnahmslos im Sommer und zwischen 12 und 21 UTC auf (cf. Abb. 19). Der dahinter steckende Prozess sind Gewitter. Besonders hohe Werte findet man an den Stationen Wynau und Buchs/Aarau mit über -11°C. Dass da die grössten Werte auftreten hat vermutlich damit zu tun, dass die Stationen tief liegen, somit an einem Strahlungstag besonders hohe Temperaturen erreicht werden und dann auch noch häufig von starken Gewitterzügen getroffen werden.

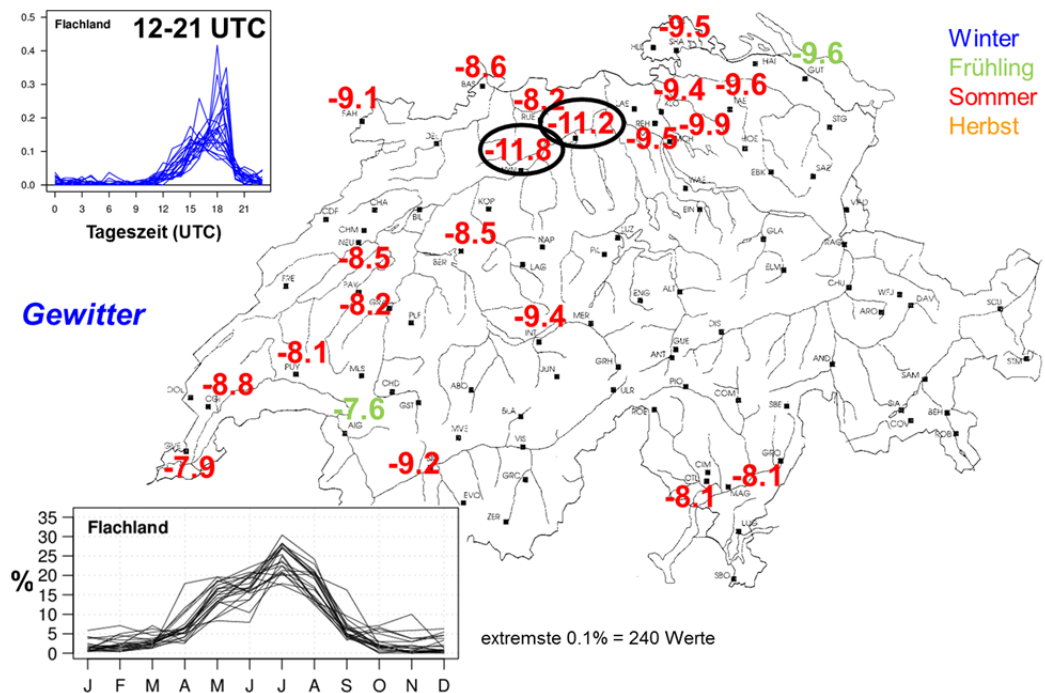


Abbildung 19: Wie Abb. 7 aber für die grössten Stundenmittelabkühlungen an Flachlandstationen.

### 3.2 Mittlere Höhen

Die grössten Stundenmittelabkühlungen in mittleren Höhen liegen zwischen  $-6$  und knapp  $-10^{\circ}\text{C}$ . Auch sie treten häufig im Sommer und zwischen 10 und 20 UTC auf (cf. Abb. 20). Der Auslöser dürften meist Gewitter sein. Die Werte sind etwas tiefer als im Flachland, da die Aufheizung der Luft vor dem Gewitter in mittleren Lagen wohl etwas kleiner ist als im Flachland. Auffällig tief ist der Wert von Evolène mit  $-5.7^{\circ}\text{C}$ . Es handelt sich um eine „extreme“ Hangstation.

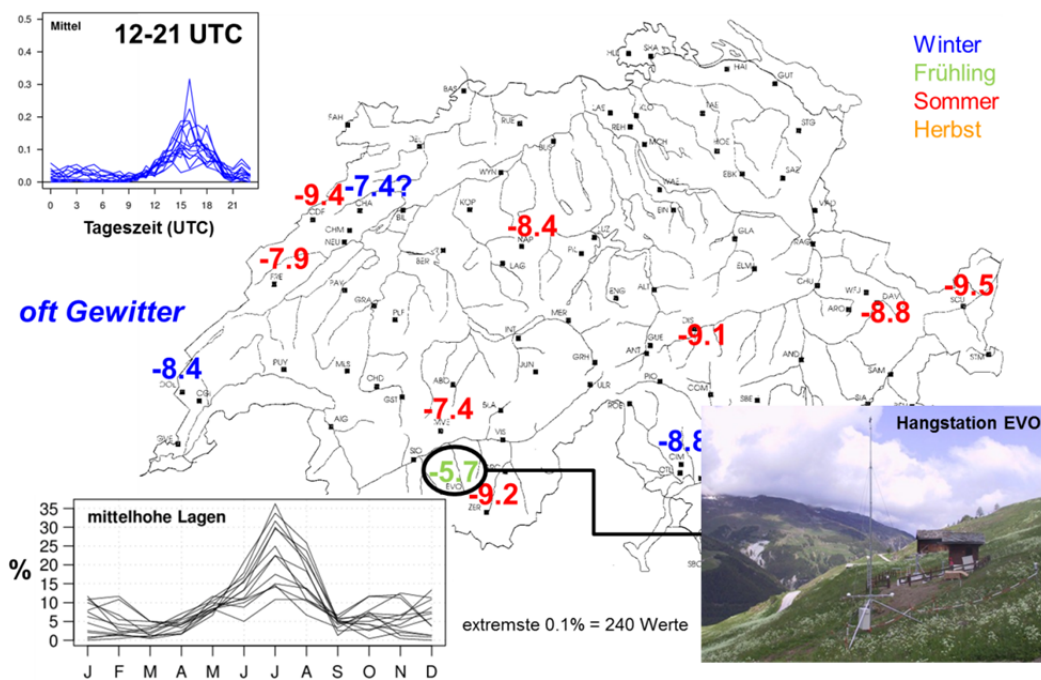


Abbildung 20: Wie Abbildung 19, aber für Stationen mittlerer Höhen.

### 3.3 Hohe Lagen

Die grössten Stundenmittelabkühlungen in hohen Lagen liegen zwischen  $-5.5$  und  $-7.5^{\circ}\text{C}$ . Sie treten in allen Jahreszeiten meist tagsüber auf (vgl. Abb. 21). Im Sommer dürften Gewitter die Temperaturrückgänge bewirken, im Winter eher Kaltlufteinbrüche. Beide Prozesse scheinen ähnlich hohe Temperaturrückgänge zur Folge zu haben und es ist somit eher Zufall, welcher Prozess den grössten Fall generiert.

3 Grösste Abkühlungen der Stundenmittel

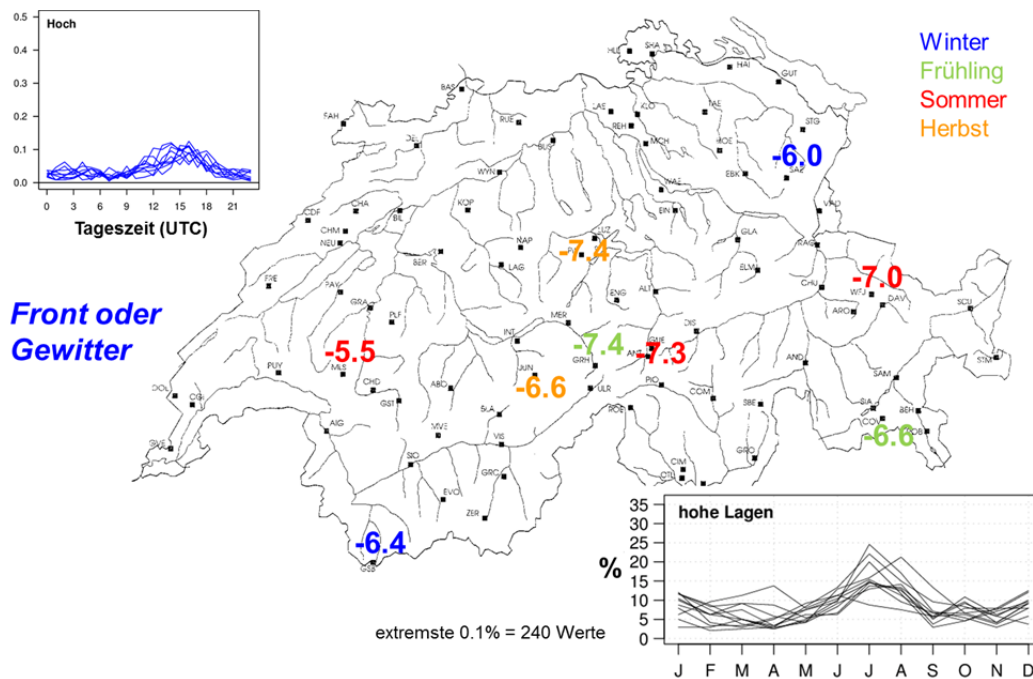


Abbildung 21: Wie Abbildung 19, aber für Stationen in hohen Lagen.

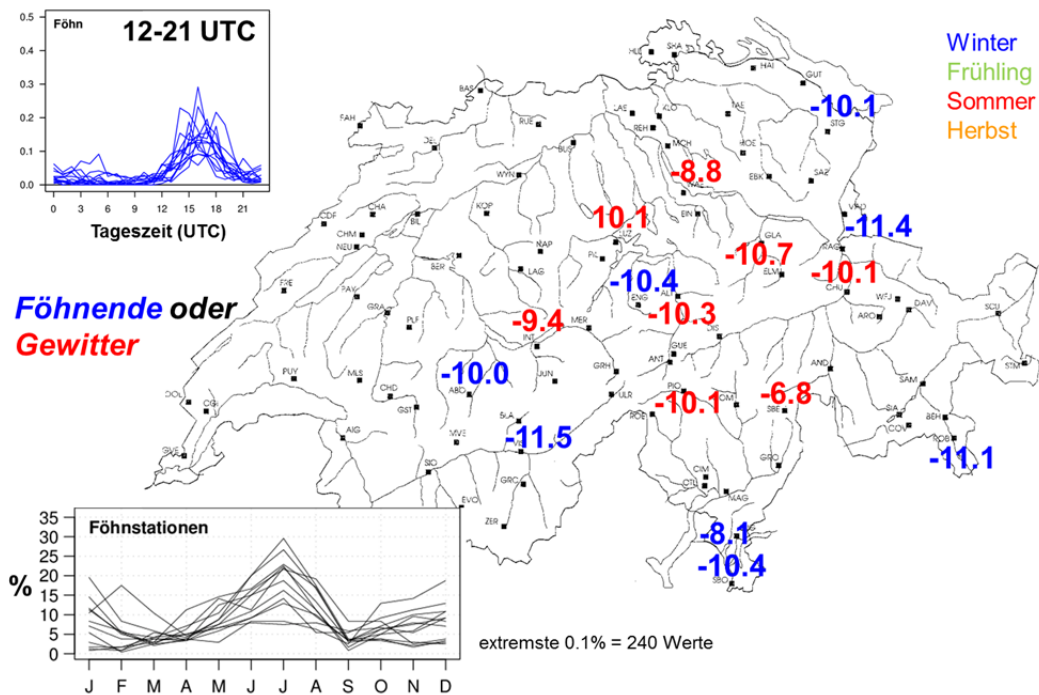


Abbildung 22: Wie Abbildung 19, aber für Stationen in Föhnregionen.

### 3.4 Föhnregionen

Die grössten Stundenmittelabkühlungen in Föhnregionen betragen mit einigen Ausnahmen um die  $-10^{\circ}\text{C}$ . Sie treten entweder im Winter oder Sommer und vorwiegend zwischen 12 und 21 UTC auf. (vgl. Abb. 22). Im Sommer dürften Gewitter die Temperaturrückgänge bewirken, im Winter sind es Föhnzusammenbrüche am Nachmittag. Beide Prozesse scheinen ähnlich hohe Temperaturrückgänge zur Folge zu haben und es ist somit eher Zufall, welcher Prozess (kräftiges Gewitter oder Föhnende) den grössten Fall generiert.

### 3.5 Kaltluftseestationen

Die grössten Stundenmittelabkühlungen an Kaltluftseestationen betragen zwischen  $-8$  und knapp  $-11^{\circ}\text{C}$ . Sie treten ganzjährig und vorwiegend zwischen 15 und 20 UTC auf. (vgl. Abb. 23). Im Sommer dürften Gewitter die Temperaturrückgänge bewirken, im Winter ist es die Bildung von Kaltluft an extremen Kaltluftseelagen (z.B. La Brévine).

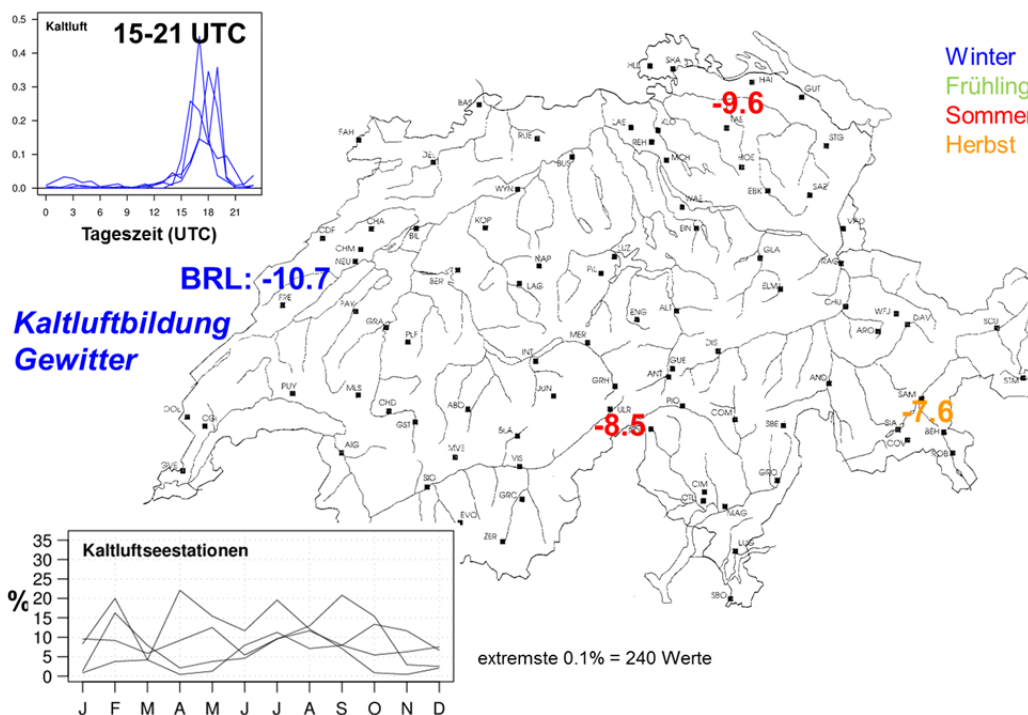


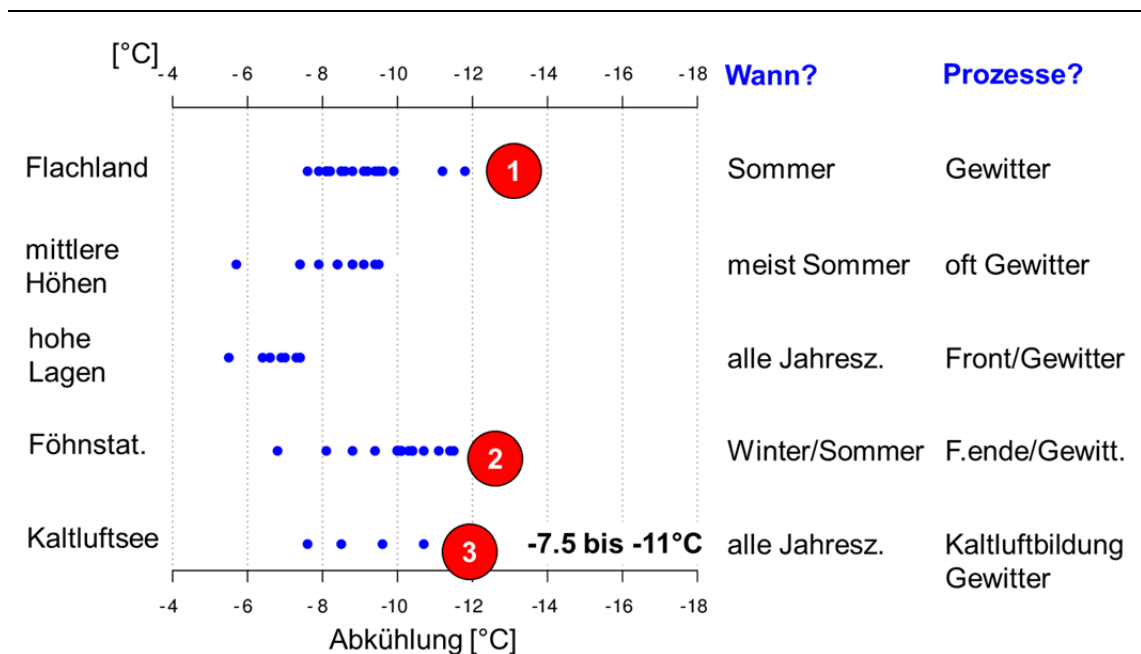
Abbildung 23: Wie Abbildung 19, aber für Kaltluftseestationen.

### 3.6 Gesamtübersicht

Abb. 24 fasst die stärksten Stundenmittelabkühlungen (1981-2013) für die verschiedenen Stationstypen in  $^{\circ}\text{C}$  inkl. Auflistung in welcher Jahreszeit sie auftreten und welche Prozesse dahinter stehen zusammen. Es gibt drei Hauptprozesse, die alle ähnlich grosse Abkühlungen bewirken können: 1. Gewitter, 2. Föhnende und 3. Kaltluftseebildung. Die Rekordsprünge treten vorwiegend nachmittags

## 3 Grösste Abkühlungen der Stundenmittel

auf. Die schweizweit drei grössten Abkühlungen der Stundenmittel (1. Gewitter in Wynau 2006, 2. Föhnende in Visp 2004 und 3. Kaltluftseebildung in La Brévine 2005) werden in folgenden kurz diskutiert.

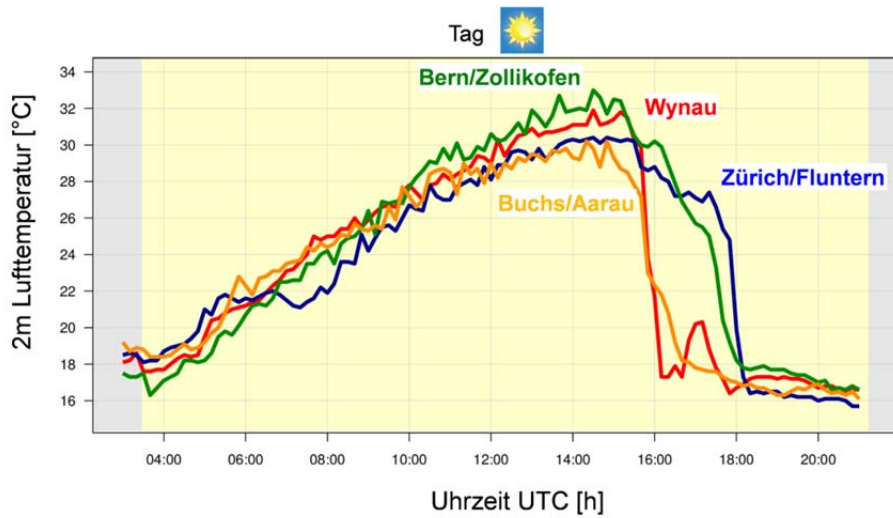


**Abbildung 24:** Die stärksten Stundenmittelabkühlungen (1981-2013) für die verschiedenen Stationstypen in °C inkl. Auflistung in welcher Jahreszeit sie auftreten und welche Prozesse dahinter stehen. Die drei stärksten Abkühlungen sind gekennzeichnet und werden unten als Fallbeispiele besprochen.

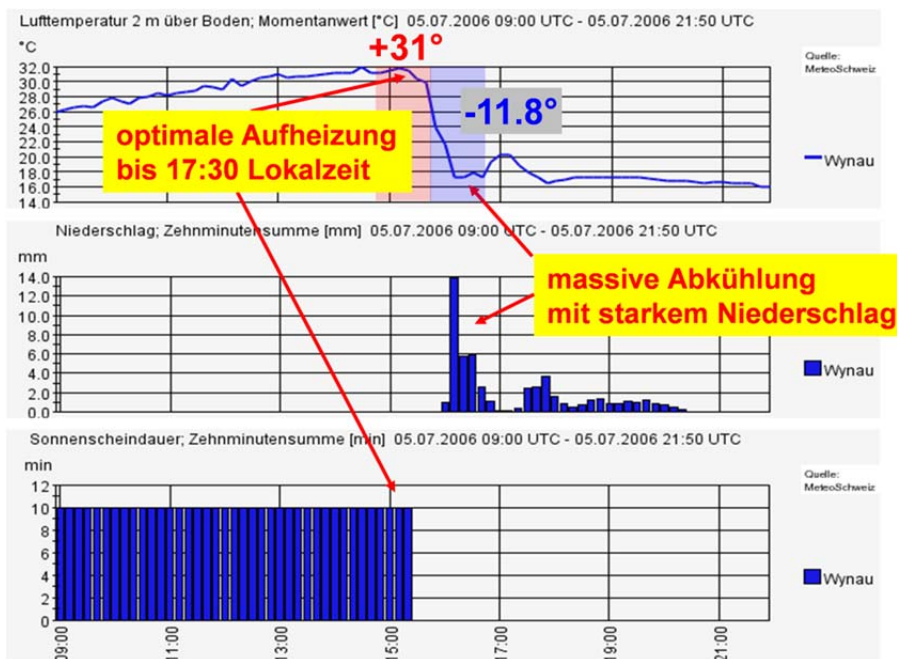
### 3.7 Fallbeispiele der drei grössten Stundenmittel Abkühlungen

#### 3.7.1 Gewitterfront Wynau 5.7.2006

Die Abb. 25 zeigt den Verlauf der 2m Lufttemperatur vom 5.7.2006 03:00 UTC bis 21:00 UTC in Wynau (rot), Bern/Zollikofen (grün), Buchs/Aarau (orange) und Zürich/Fluntern (blau). Der grösste und abrupteste Abfall ist in Wynau zu erkennen. Abb. 26 zeigt, dass sich an jenem Julitag die Luft optimal bis gegen 15:30 UTC aufheizen konnte da bis zum Schluss die Sonne voll schien. Kurz nach 16 UTC setzte sehr starker Regenfall ein, der mit dem starken Temperatursturz einherging.

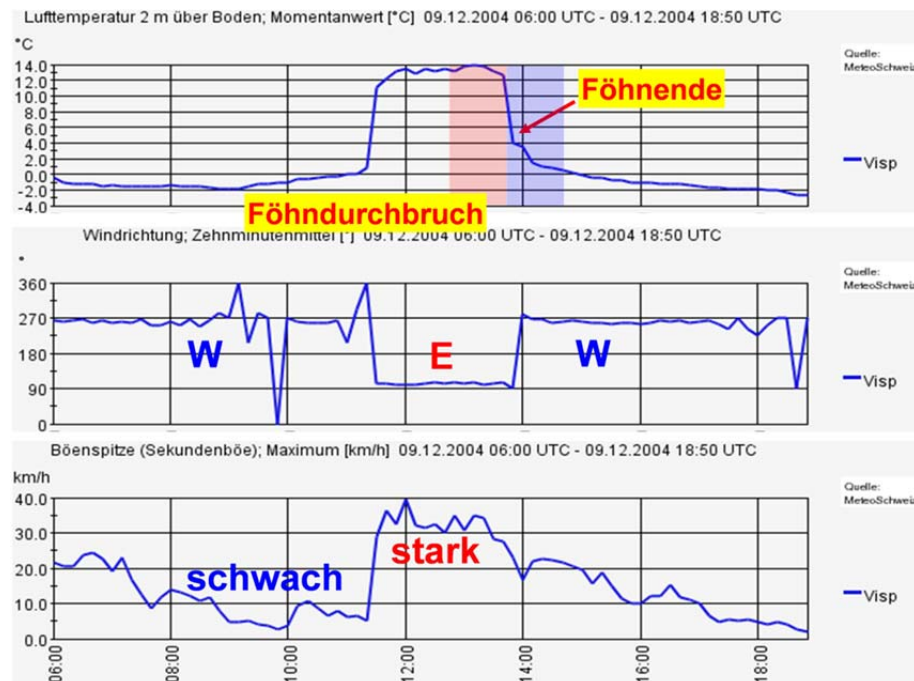


**Abbildung 25:** Verlauf der 2m Lufttemperatur vom 5.7.2006 03:00 UTC bis 21:00 UTC in Wynau (rot), in Bern/Zollikofen (grün), in Buchs/Aarau (orange) und Zürich/Fluntern (blau).



**Abbildung 26:** Verlauf der 2m Lufttemperatur (°C, oben), der Niederschlagssumme (mm, Mitte) und der Sonnenscheindauer (Minuten, unten) vom 05.07.2006 09:00 UTC bis 21:50 UTC in Wynau. Zwischen 15:00 und 16:00 UTC findet der grosse Temperatursprung statt.

## 3 Grösste Abkühlungen der Stundenmittel



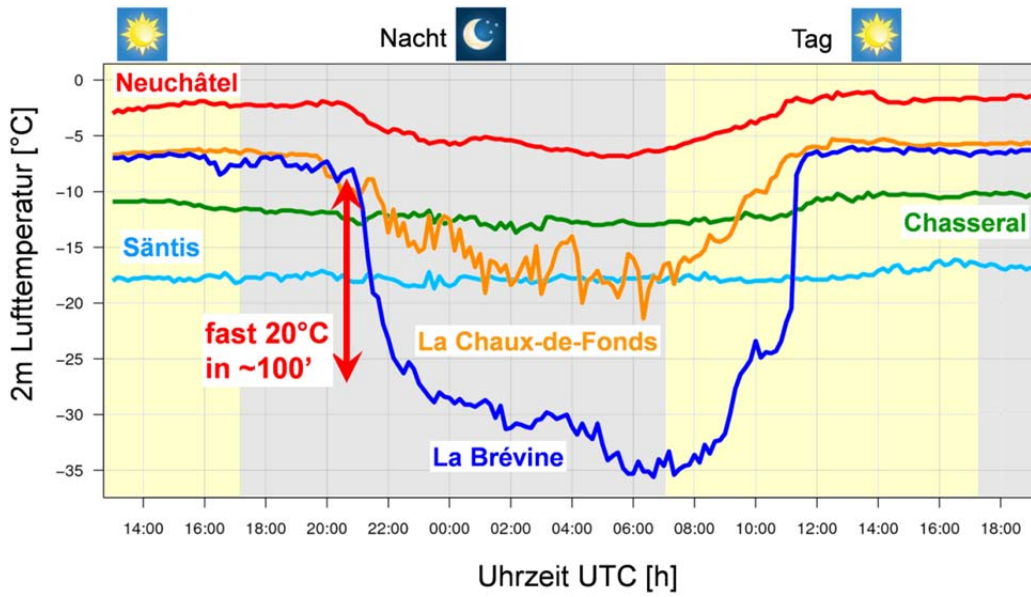
**Abbildung 27:** Verlauf der 2m Lufttemperatur (°C, oben), der Windrichtung (°, Mitte) und der Böenspitze (km/h, unten) vom 09.12.1991 06:00 UTC bis 18:50 UTC in Visp. Zwischen 13:00 und 14:00 UTC findet der grosse Temperatursprung statt.

### 3.7.2 Föhnende in Visp am 9.12.2004

Die Abb. 27 zeigt den Verlauf der Lufttemperatur, der Windrichtung und der Böenspitzen vom 09.12.1991 06:00 UTC bis 18:50 UTC in Visp. Die Winde zeigen typische Muster, die auf Föhnzusammenbruch hindeuten. Dass dieses stärkste Föhnende in Visp abspielte ist sicher eher ein Zufall. Andere Föhnstationen (z.B. Vaduz oder Robbia) zeigen sehr ähnliche Amplituden von Temperaturstürzen.

### 3.7.3 Kaltluftseebildung in La Brévine am 31.1.2010

Auch die Bildung von Kaltluft an einem Kaltluftseestandort kann sehr schnell ablaufen. Das zeigt das Beispiel von La Brévine Ende Januar 2010. So ist die Temperatur in der Nacht vom 31. Jan. auf den 1. Feb. 2010 in rund 100 Minuten um fast 20°C gesunken. Abb. 28 dokumentiert diese schulbuchmässige Strahlungsnacht mit den Temperaturverläufen an verschiedenen Stationen. Während auf dem Säntis die Temperatur fast konstant bleibt, sinkt sie in La Brévine um fast 30°C ab und am nächsten Morgen wieder um fast den gleichen Betrag an.



**Abbildung 28:** Verlauf der 2m Lufttemperatur vom 31.1.2010 13:00 UTC bis 1.2.2010 19:00 UTC in La Brévine (dunkelblau), auf dem Sântis (hellblau), auf dem Chasseral (grün), in La Chaux-de-Fonds (orange) und in Neuchâtel (rot).



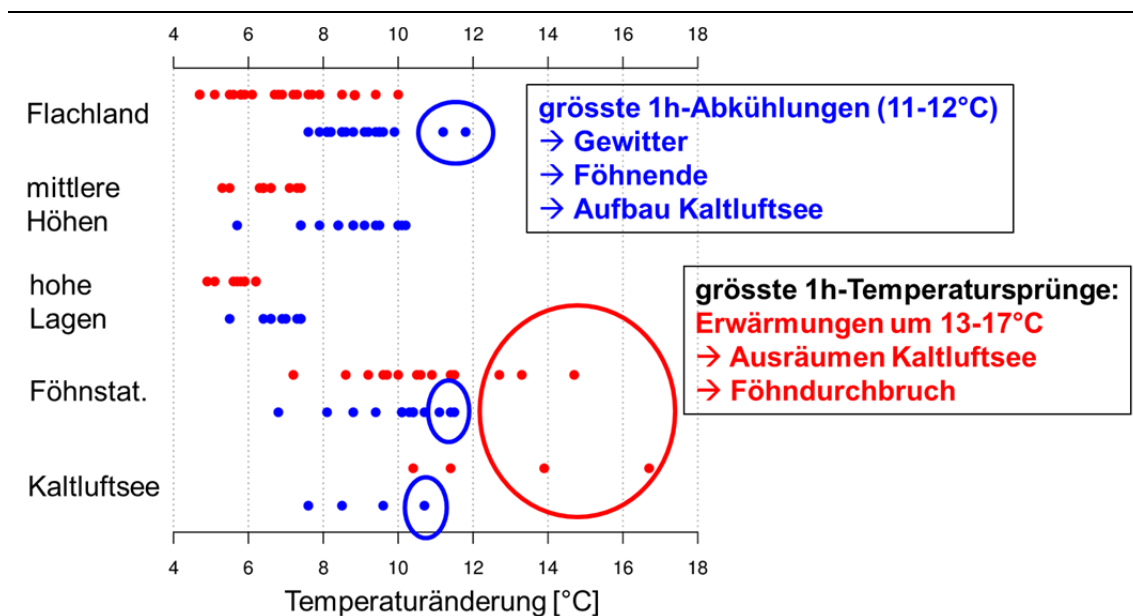
## 4 Zusammenfassung der grössten Temperatursprünge der Stundenmittel

## 4 Zusammenfassung der grössten Temperatursprünge der Stundenmittel

### 4.1 Übersicht nach Stationslage/typ

Abb. 29 gibt eine Übersicht über die grössten Temperatursprünge der Stundenmittel. Die grössten Temperatursprünge werden durch Ausräumen von Kaltluft und Föhndurchbrüche z.T. verstärkt durch gleichzeitiges Wegräumen von Kaltluft verursacht. Es sind an diesen Orten Erwärmungen zwischen 13 und 17°C im Stundenmittel dokumentiert. Für gleitende Stundenmittel sind z.T. wesentlich höhere Werte möglich. Beide Prozesse treten vorwiegend im Winter auf.

Die Abkühlungen sind etwas kleiner, können aber schweizweit (ausser an Gipfelstationen) -11 bis -12°C im Stundenmittel erreichen. Hier sind drei relevante Prozesse zu erwähnen: Gewitter im Sommer, Föhnende im Winter und der Aufbau von Kaltluft zu einem Kaltluftsee im Winterhalbjahr.



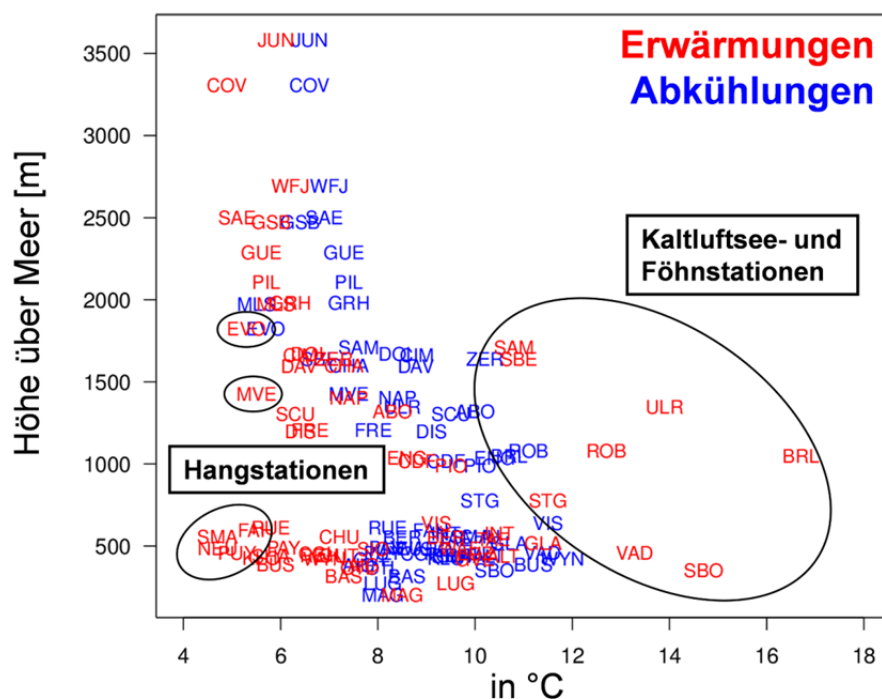
**Abbildung 29:** Die stärksten Stundenmittelerwärmungen (rot) und -abkühlungen (blau) in der Periode 1981-2013 für die verschiedenen Stationstypen in °C. Die grössten Sprünge sind Erwärmungen (13-17°C) ausgelöst durch Ausräumen von Kaltluftsee mit Hintergrunderwärmung und Föhndurchbruch mit zusätzlichem Ausräumen von Kaltluft. Die grössten Abkühlungen sind zwischen 11 und 12 °C. Hier gibt es drei Prozesse mit ähnlicher Amplitude: Gewitter, Föhnende und Aufbau von Kaltluft.

Die stärksten Erwärmungen treten fast immer vormittags auf, die stärksten Abkühlungen fast immer nachmittags.

Im Allgemeinen zeigen Flachlandstationen grössere Temperatursprünge als mittlere Höhen und hohe Lagen, welche die kleinsten Sprünge zeigen. Hanglagen zeigen ebenfalls eher kleine Sprünge. Es zeigt sich also, dass die Stationslage und Exposition unter Umständen viel wichtiger sein kann als die Höhenlage. Dieser Punkt soll im nächsten Abschnitt noch etwas genauer beleuchtet werden.

## 4.2 Zusammenhang mit der Stationshöhe

Abb. 30 zeigt die grössten Stundenmittelerwärmungen und –abkühlungen gegen die Höhenlage [m M] aufgetragen. Wie schon erwähnt gibt es eine gewisse Tendenz zur Abnahme der Amplitude mit der Höhe. Dies trifft vor allem für die Abkühlungen zu. Bei den Erwärmungen sind lokale Gegebenheiten (Exposition und Lage sowie lokale Prozesse) wesentlich wichtiger als die Höhenlage. So kann sich an Hangstationen die Luft maximal oft nicht einmal um 5°C erwärmen, an Kaltluftsee- oder Föhnstationen aber z.T. um über 15°C.



**Abbildung 30:** Die grössten Stundenmittelerwärmungen (rot) und –abkühlungen (blau) in der Periode 1981–2013 an 61 SMN Stationen gegen die Stationshöhe (m ü M) aufgetragen.

## 5 Klimatologie der grössten Temperatursprünge von 1 bis 72h

In diesem Abschnitt wird die Klimatologie der grössten Temperatursprünge der Stundenmittelwerte von 1 bis 72 Stunden in Einstundenschritten diskutiert. Zudem wird versucht eine Übersicht über die bestimmenden Prozesse in Abhängigkeit der Dauer des Sprungs zu machen.

### 5.1 Klimatologie der Erwärmungen 1-72h

Abb. 31 zeigt die stärksten Erwärmungen in der Periode 1981-2013 an 61 SMN Stationen für einen Zeitraum von 1 bis 72 Stunden. Im Allgemeinen nimmt der Temperaturanstieg mit zunehmendem Zeitraum zu. Allerdings gibt es sowohl in der Art, wie auch in der Amplitude der Zunahme grosse Unterschiede.

Mit Abstand die grössten Sprünge zeigt La Brévine (BRL). So nahm die Temperatur dort in 1 Stunde schon um rund 17°C, in 12 Stunden um +33° und in 24h um rund +38°C zu. Diese Werte sind hoch, liegen aber deutlich unter den Weltrekordwerten von z.B. +41°C in 1h bzw. +57°C in 24h<sup>3</sup>. Die Station mit den zweithöchsten Erwärmungen ist Samedan (SAM). Beide Stationen liegen in Tallagen, die sehr stark zu Kaltluftseebildung neigen.

Die MeteoSchweiz Station mit den niedrigsten Erwärmungen über weite Strecken ist Pully (PUY) bei Lausanne. Diese Station liegt am Hang in mitten von Weinbergen zum Genfersee hin. Die Hanglage sowie die Nähe zum See wirken klar dämpfend auf die Temperaturschwankungen.

Die meisten Stationen zeigen eine Überlagerung des Tagesganges mit Maxima bei 10, 34 und 58 Stunden. Das dürfte in etwa die Zeit vom Tagesminimum zum Tagesmaximum sein, die in der Überlagerung mit anderen Effekten zu Maxima führt. Gewisse Stationen zeigen diesen Tagesgang kaum. So zum Beispiel die Föhnstation Vaduz (VAD) und vor allem Stationen an hohen Lagen wie Pilatus (PIL). Im ersten Fall sind die Effekte durch Föhn so stark, dass die Tagesgangschwankungen kaum eine Rolle spielen. Im Fall der hohen Lagen ist es so, dass der Tagesgang selbst kaum vorhanden ist und somit keine grosse Rolle spielen kann.

Weiter erwähnenswert ist, dass die Föhneffekte bis etwa 24 Stunden zu im Vergleich zu nicht-Föhnstationen grösseren Erwärmungen führen, danach der Unterschied aber kaum mehr relevant ist, da hier grossskalige Effekte wichtiger werden. Bei den hohen Lagen ist es umgekehrt: Die kurzen Änderungen sind eher klein (kleiner als im Flachland), die langen eher gross (grösser als im Flachland).

---

<sup>3</sup> Quelle: [http://en.wikipedia.org/wiki/United\\_States\\_temperature\\_extremes](http://en.wikipedia.org/wiki/United_States_temperature_extremes)

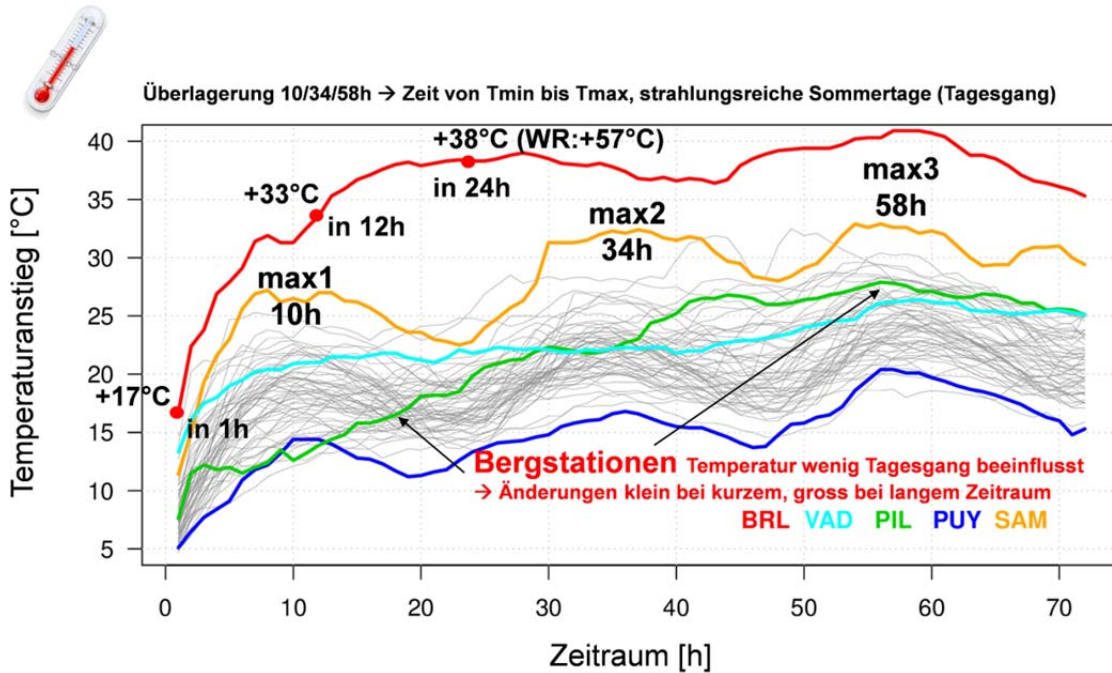


Abbildung 31: Stärkste Erwärmungen (in °C) in der Periode 1981-2013 an 61 SMN Stationen für einen Zeitraum von 1 bis 72 Stunden. Einige Stationen sind speziell gekennzeichnet: La Brévine (BRL) in rot, Vaduz (VAD) in hellblau, Pilatus (PIL) in grün, Pully (PUY) in dunkelblau und Samedan (SAM) in orange.

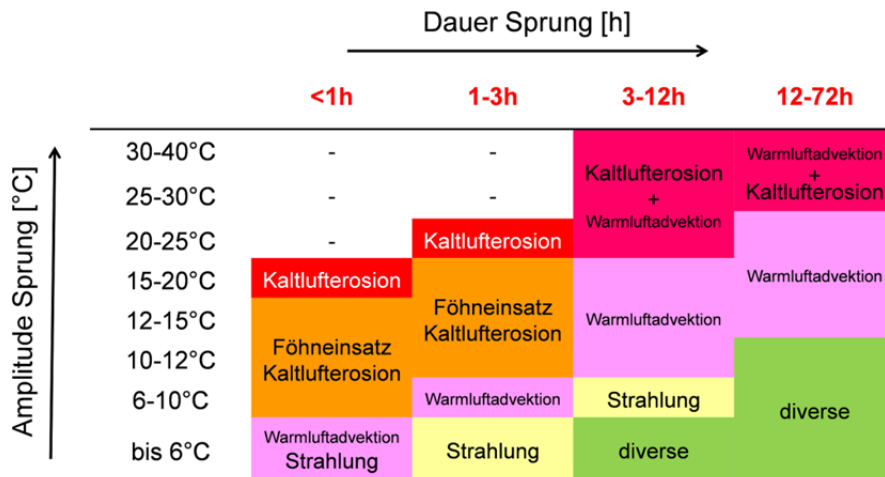


Abbildung 32: Prozesse, die zu grossen Erwärmungen führen als Funktion von Sprungamplitude und Sprungdauer.

### 5.1.1 Wichtige Prozesse in Abhängigkeit von Sprungamplitude und Sprungdauer

Abb. 32 gibt eine Übersicht über die massgebenden Prozesse die zu grossen Erwärmungen führen als Funktion von Sprungamplitude und Sprungdauer. Es handelt sich hier nicht um eine rigorose

Analyse sondern um eine Abschätzung. Vor allem die Übergänge sind in Wahrheit fließend. Zudem kann es Überlagerungen von Prozessen geben, die hier nicht explizit dargestellt werden.

Es zeigt sich, dass für die grössten Erwärmungen fast über den gesamten Zeitbereich Kaltlufterosion mindestens mitbeteiligt ist. Während für kurze Dauern Kaltlufterosion allein sehr wichtig ist, kommt bei längeren Zeiträumen die Warmluftadvektion dazu. Föhnensatz und Kaltlufterosion können grosse Amplituden bei kürzerer Dauer generieren. Strahlung und Warmluftadvektion alleine können ebenfalls grosse Sprünge generieren, aber nicht so grosse wie die oben genannten Kombinationen.

## **5.2 Klimatologie der Abkühlungen 1-72h**

Abb. 33 zeigt die stärksten Abkühlungen in der Periode 1981-2013 an 61 SMN Stationen für einen Zeitraum von 1 bis 72 Stunden. Im Allgemeinen nimmt der Temperaturabfall mit zunehmendem Zeitraum zu. Allerdings gibt es sowohl in der Art, wie auch in der Amplitude der Zunahme grosse Unterschiede.

Wie für die Temperaturzunahmen zeigt La Brévine (BRL) die grössten Sprünge schweizweit. So nahm die Temperatur dort in 1 Stunde um rund  $-11^{\circ}\text{C}$ , in 12 Stunden um  $-28^{\circ}\text{C}$  und in 24h um rund  $-30^{\circ}\text{C}$  ab. Die Station mit den zweitgrössten Abkühlungen ist Samedan (SAM). Beide Stationen liegen in Tallagen, die sehr stark zu Kaltluftseebildung neigen.

Wie schon bei den Erwärmungen zeigt Pully (PUY) bei Lausanne sehr niedrige Abkühlungen. Die Hanglage sowie die Nähe zum See wirken dämpfend auf die Temperaturschwankungen.

Die meisten Stationen zeigen eine Überlagerung des Tagesganges mit Maxima bei 24, 48 und 72 Stunden. Das dürfte die Zeit von Tagesmaximum zu Tagesmaximum sein, die in der Überlagerung mit anderen Effekten zu lokalen Maxima führt. Fast alle Stationen zeigen diesen Tagesgang. Ausnahmen sind Stationen in hohen Lagen wie Pilatus (PIL). Hier ist der Tagesgang selbst kaum vorhanden ist und kann somit keine grosse Rolle spielen.

### **5.2.1 Wichtige Prozesse in Abhängigkeit von Sprungamplitude und Sprungdauer**

Abb. 34 gibt eine Übersicht über die massgebenden Prozesse die zu grossen Abkühlungen führen als Funktion von Sprungamplitude und Sprungdauer. Es handelt sich hier nicht um eine rigorose Analyse sondern um eine Abschätzung. Vor allem die Übergänge sind in Wahrheit fließend und nicht so abrupt wie dargestellt. Zudem kann es Überlagerungen von Prozessen geben, die hier nicht explizit dargestellt werden.

Es zeigt sich, dass für die grössten Abkühlungen im Bereich unter drei Stunden frei verschiedene Prozesse ähnlich grosse Amplituden generieren können: 1. Gewitter, 2. Föhnende und 3. Kaltluftseebildung. Für den längeren Zeitbereich scheint die Kombination von Kaltluftseebildung und Kaltluftadvektion der bestimmende Prozess. Kaltluftadvektion und Ausstrahlung sind ebenfalls wichtige Prozesse, können aber nicht ganz so grosse Abkühlungen generieren wie die zuvor genannten Prozesse.

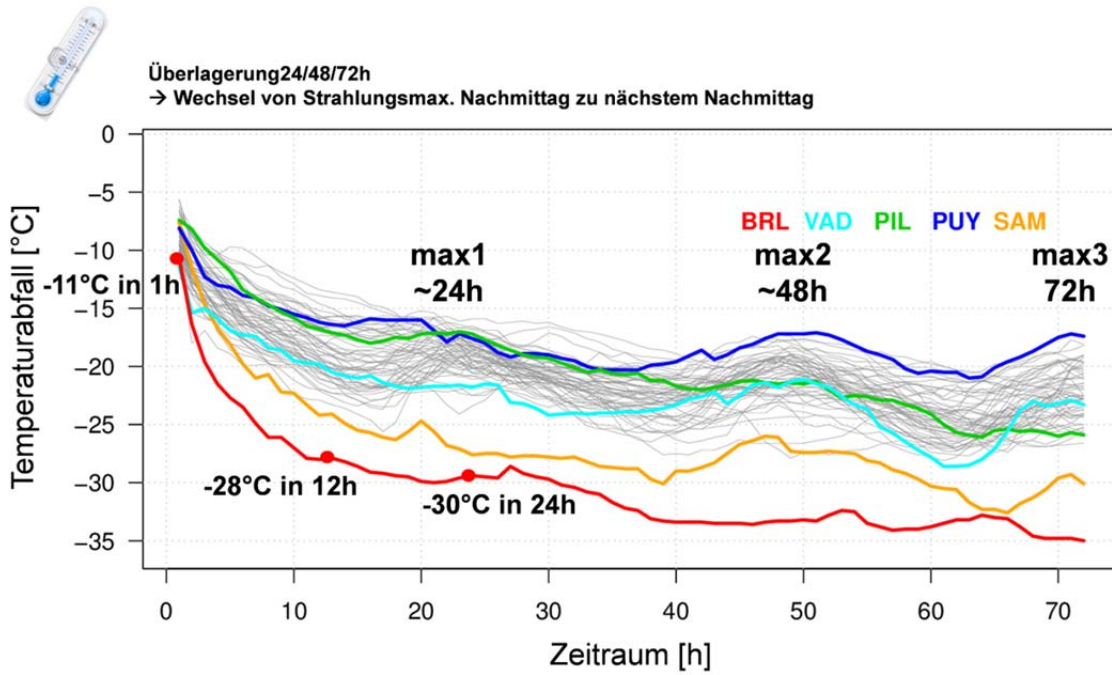


Abbildung 33: Stärkste Abkühlungen (in °C) in der Periode 1981-2013 an 61 SMN Stationen für einen Zeitraum von 1 bis 72 Stunden. Einige Stationen sind speziell gekennzeichnet: La Brévine (BRL) in rot, Vaduz (VAD) in hellblau, Pilatus (PIL) in grün, Pully (PUY) in dunkelblau und Samedan (SAM) in orange.

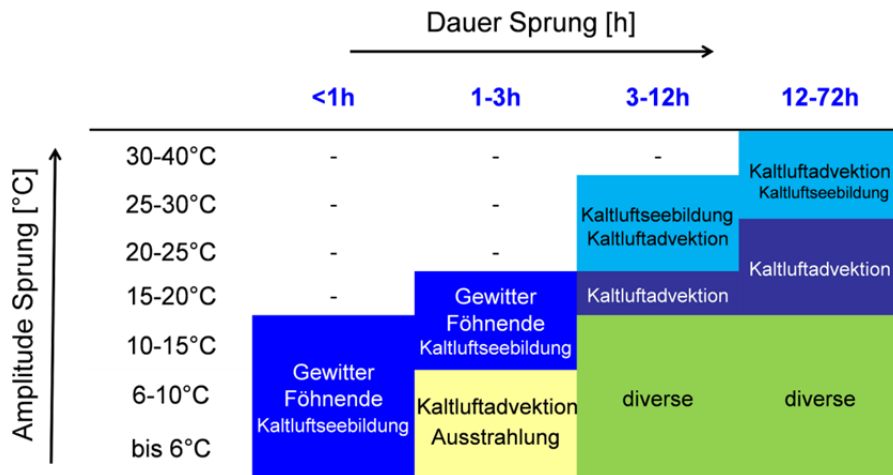


Abbildung 34: Prozesse, die zu grossen Erwärmungen führen als Funktion von Sprungamplitude und Sprungdauer.

## 6 Fazit

Diese Arbeit untersucht die grössten Temperatursprünge der Stundenmittelwerte ([HH-1]:50 bis HH:40) im automatischen Messnetz der MeteoSchweiz von 1981 bis Mitte 2013 an 61 SMN-Stationen aller Regionen und Höhenstufen der Schweiz. An Fallbeispielen werden die dahinter stehenden Wetterprozesse diskutiert. Zudem werden einige klimatologische Auswertungen für maximale Temperatursprünge mit 1 bis 72 Stunden Dauer gezeigt.

Die grössten Sprünge der Stundenmittelwerte sind Erwärmungen. Sie treten in Gebirgstälern im Winter beim Ausräumen von Kaltluft an Kaltluftseestationen oder bei Föhnbeginn (z.T. mit zusätzlichem Wegräumen von Kaltluft) auf und erreichen basierend auf Stundenmittelwertdaten Amplituden von +15 bis +17°C in der Stunde. Für gleitende Stundenmittelwerte wären diese Zahlen noch höher. Eine umfassende Analyse ist aber aufgrund der nicht rigoros geprüften 10 Minutenwerte momentan nicht möglich. Zum Vergleich trotzdem ein Beispiel: So wurde in Ulrichen am 11.12.2005 eine Rekorderwärmung von +18.6°C in weniger als 10 Minuten bzw. +21.6°C in 30 Minuten registriert. Im Flachland an Hanglagen und auf Gipfeln sind die maximalen Erwärmungen deutlich kleiner (meist im Bereich zwischen +5 und maximal +10°C). Die Exposition und die lokalen klimatologischen Gegebenheiten der Station spielen eine sehr wichtige Rolle. Die stärksten Erwärmungen treten an allen Stationen fast immer vormittags auf.

Die grössten Abkühlungen der Stundenmittelwerte können durch drei verschiedene Prozesse ausgelöst werden, nämlich Gewitter, Föhnende und Kaltluftbildung. Sie zeigen ähnlich grosse Amplituden von je maximal -11 bis -12°C in einer Stunde. Sprünge dieser Grössenordnung können in Gebirgstälern und im Flachland durch Gewitter im Sommer, oder Föhnende oder Kaltluftbildung jeweils im Winter auftreten. An Hanglagen oder auf Berggipfeln sind die Amplituden meist deutlich kleiner. Die stärksten Abkühlungen treten fast immer nachmittags auf.

La Brévine zeigt die mit Abstand grössten Temperatursprünge für den gesamten Bereich von 1 bis 72 Stunden. Dies gilt für Temperaturzunahmen genauso wie für Abnahmen. Andere von Kaltluftseen beeinflusste Stationen wie Samedan und Ulrichen zeigen ebenfalls aussergewöhnlich grosse Sprünge. Die kleinsten Temperatursprünge über weitere Bereiche von 1 bis 72 Stunden verzeichnete die Station Pully bei Lausanne, eine Hangstation die stark vom dämpfenden Einfluss des Genfersees bestimmt wird. Die „Rangierung“ der grössten Temperatursprünge ändert für viele Stationen von den kurzen zu den langen Sprüngen. So zeigen Föhnstationen sehr grosse Sprünge im Bereich unter 12 Stunden, aber nur mittelgrosse bei längeren Zeiträumen. Umgekehrt ist die Situation bei Gipfelstationen. Diese zeigen kleine Sprünge bei kurzen Zeiträumen und sehr grosse für längere Zeiträume (48 bis 72 Stunden).

## Literaturverzeichnis

**Gutermann T., Dürr B., Richner H., Bader S.** 2012: Föhnklimatologie Altdorf: die lange Reihe (1864-2008) und ihre Weiterführung, Vergleich mit anderen Stationen. Fachberichte der MeteoSchweiz, 241, 53p.

---

**Hamann, Roland R.** 1943: The Remarkable Temperature Fluctuations in the Black Hills Region, January 1943. Mon. Wea. Rev., 71, 29–32. doi:10.1175/1520-0493(1943)71<29:TRTFIT>2.0.CO;.

---

**Perl, M., Häberli C., Grüter E., Musa M., Küng U., Abbt M.** 2009: Werkzeuge für die Qualitätskontrolle und die Bearbeitung von Meteorologischen Daten. Datenarchitekturdokument 1f3, MeteoSchweiz Querschnittsorgan ‚Meteorologische Daten‘. Verfügbar via Web unter: <http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/services/datenportal/datenqualitaet.Par.0004.DownloadFile.tmp/datenqualitaet.pdf>

---

**Scherrer, S. C., Croci-Maspoli M., van Geijtenbeek, D., Hotz, C., Frei, C., and Appenzeller, C.** 2011: Operational quality control of daily precipitation using spatio-climatological plausibility testing. Meteor. Z., 20(4), 397 - 407. doi: 10.1127/0941-2948/2011/0236.

---

**Steinacker, R.** 2006: Alpiner Föhn - eine neue Strophe zu einem alten Lied. Promet 32(1/2), 3–10.

---





MeteoSchweiz  
Krähbühlstrasse 58  
CH-8044 Zürich  
  
T +41 44 256 91 11  
[www.meteoschweiz.ch](http://www.meteoschweiz.ch)

MeteoSchweiz  
Flugwetterzentrale  
CH-8060 Zürich-Flughafen  
  
T +41 43 816 20 10  
[www.meteoswiss.ch](http://www.meteoswiss.ch)

MeteoSvizzera  
Via ai Monti 146  
CH-6605 Locarno Monti  
  
T +41 91 756 23 11  
[www.meteosvizzera.ch](http://www.meteosvizzera.ch)

MétéoSuisse  
7bis, av. de la Paix  
CH-1211 Genève 2  
  
T +41 22 716 28 28  
[www.meteosuisse.ch](http://www.meteosuisse.ch)

MétéoSuisse  
Chemin de l'Aérologie  
CH-1530 Payerne  
  
T +41 26 662 62 11  
[www.meteosuisse.ch](http://www.meteosuisse.ch)