



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Fachbericht MeteoSchweiz Nr. 241

Föhnklimatologie Altdorf: die lange Reihe (1864-2008) und ihre Weiterführung, Vergleich mit anderen Stationen

Thomas Gutermann, Bruno Dürr, Hans Richner, Stephan Bader



ISSN: 2296-0058

Fachbericht MeteoSchweiz Nr. 241

Föhnklimatologie Altdorf: die lange Reihe (1864-2008) und ihre Weiterführung, Vergleich mit anderen Stationen

Autoren:

Dr. Thomas Gutermann
Dr. Bruno Dürr
Prof. Dr. Hans Richner
Dr. Stephan Bader

Empfohlene Zitierung:

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

Herausgeber

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz, © 2012

MeteoSchweiz

Krähbühlstrasse 58
CH-8044 Zürich
T +41 44 256 91 11
www.meteoschweiz.ch

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Zusammenfassung	2
Résumé	3
Riassunto	4
Abstract	5
1 Gedanken zur Föhnstation Altdorf und zur klassischen Föhntheorie	6
1.1 Topographie und Föhn	6
1.2 Geschichte der Föhnbeobachtungen.....	6
1.3 Bemerkungen zu den Föhntheorien.....	7
1.4 Altdorf und seine lange Reihe	7
2 Die 145-jährige Geschichte der Klimastation	9
2.1 Stationsstandorte und Beobachtungszeiten.....	10
2.2 Die neue SMN-Station ab 08.12.2008.....	12
3 Die Klimareihe (1864 – 2008)	14
3.1 Föhndefinitionen	14
3.1.1 1864 - 1900: Subjektiv aufgrund von Messdaten.....	14
3.1.2 1901 - 1960: Statistisch objektiv	14
3.1.3 1961 - 2008: Semiquantitativ	14
3.1.4 1984 - 2008: Quantitativ, automatisierte Auswertung	14
3.2 Homogenisierung der Föhnreihe.....	16
3.3 Möglichkeiten zur Weiterführung der langen Reihe	17
3.3.1 Extraktion von Terminbeobachtungen aus den 10-Minuten-Föhnindizes	18
3.3.2 Berechnung von Föhnstunden aus 10-Minuten-Föhnindizes.....	20
3.3.3 Zeitlich höher aufgelöste Föhnzeitreihen - und die Grenzen ihres Nutzens	21
3.3.4 Hochrechnung der Terminbeobachtungen auf Stundenwerte	21
3.3.5 Vergleich der simulierten Zeitreihen über die gesamte Länge.....	22
3.4 Spezielle Auswerteperioden	23
3.5 Datenbanken.....	24
3.5.1 Basisdaten	24
3.5.2 Föhntermine, die "lange Reihe"	25
3.5.3 Föhnkalender und Föhnstunden	26
3.5.4 Zukünftige Speicherung zur Weiterführung der "langen Reihe".....	27
4 Föhnklimatologie	29
4.1 Föhnvariabilität (inkl. Klimamittel 10- und 30-jährig).....	29
4.2 Jahres- und Tagesgänge (Termine und Stunden)	32
4.2.1 Jahresgänge	32
4.2.2 Tagesgänge	33
4.3 Dauer von Föhnperioden.....	34
4.4 Föhnspitzengeschwindigkeiten.....	35
4.4.1 Verteilung der Tageswindspitzen	35
4.4.2 Jahresgang der Tageswindspitzen	36
4.4.3 Jahreswindspitzen.....	37
4.4.4 Tageszeitliches Auftreten der Tageswindspitzen.....	37
4.5 Statistische Eckdaten	38
5 Vergleich der Föhnhäufigkeiten Altdorf mit andern Stationen	39
5.1 1973 - 1982 klimatologische Föhntermine mit semiquantitativer Methode	39
5.1.1 Tagesgänge	41
5.2 1984 - 2008 klimatologische Föhntermine mit automatischer Methode	42
5.2.1 Saisonaler Jahresgang	45
6 Dank	46
7 Literatur	47
Anhang A: Abkürzungen	48
Anhang B: Stationskennungen	50
Anhang C: Stationsgeschichte Altdorf	51

Vorwort

Im Zusammenhang mit dem Überströmen von grösseren Erhebungen ist der Föhn eines der eindrücklichsten meteorologischen Phänomene. Er ist charakterisiert durch ein markantes Wind-, Temperatur- und Feuchtigkeitsverhalten. Ein massives Schadenpotential - Sturmschäden an Gebäuden und Wald, in früheren Jahrhunderten ganze Dorfbrände - aber auch Klimagunst in der Landwirtschaft waren und sind mit dieser Wettererscheinung verbunden. Schon früh wurde deshalb dem Föhn auch in der Klimatologie besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Besonders markant tritt der Südföhn in den Süd-Nord gerichteten Alpentälern der Zentral- und Nordostschweiz auf. Vor allem bekannt sind das untere Rhone-, das Hasli-, das Reuss-, das Linth- und das Alpenrheintal.

Mit dem Aufbau des Klimanetzes der damaligen Naturforschenden Gesellschaft begannen bereits 1864 in Altdorf im Reusstal dreimal täglich die regelmässigen Beobachtungen. Damit liegt für Altdorf die längste Klimareihe der Alpennordseite mit Föhnbeobachtungen vor. Vor dem Standortwechsel 2008 zur neuen, automatischen SwissMetNet-Station erlebte die Klimastation Altdorf nur geringfügige Verschiebungen. Bis 1954 erfolgten die Beobachtungen zu den drei Klimaterminen Morgen, Mittag und Abend über lange Zeiten von derselben Familie. Ab 1955 kamen Registrierinstrumente zum Einsatz, die ab 1967 auch Windböen aufzeichnen.

Mit der Publikation dieses Arbeitsberichtes werden mehrere Ziele verfolgt:

Im Rahmen der aktuellen Diskussionen um Klimaänderungen taucht auch immer wieder die Frage auf, ob sich Föhnhäufigkeiten und/oder tageszeitliche Verteilungen von Föhn geändert haben. Man sollte davon ausgehen können, dass eine derart lange Reihe eine Antwort auf diese Frage geben könnte. Wie die Analyse zeigt, ist dem aber nicht so; die Variabilität der Föhnhäufigkeit von Jahr zu Jahr ist zu gross, um einen statistisch gesicherten Trend nachweisen oder aber einen solchen ausschliessen zu können.

Die naheliegende zweite Frage ist die nach der Existenz von Häufigkeitsmustern, welche sich allenfalls wiederholen könnten. Zwar sind in der Zeitreihe klar unterscheidbare Häufigkeitsphasen erkennbar, von einer Gesetzmässigkeit kann aber nicht gesprochen werden. Offenbar dominieren auch hier Chaos und Zufall wie in vielen anderen meteorologischen Prozessen auch. Dass umgekehrt eine deutliche tages- und jahreszeitliche Variabilität vorhanden ist, dürfte kaum überraschen, wenn auch nicht von vornherein klar ist, wie diese genau aussieht.

Die letzte Absicht zielt schliesslich darauf hin, die wertvolle lange Reihe für die Zukunft zu dokumentieren und zu sichern. So wird versucht, die Stationsgeschichte, die Beobachtungsmethoden und die Beobachtungszeiten festzuhalten, und ihre allfälligen Einflüsse auf die Datenqualität abzuschätzen. Die bisher nicht leicht zugänglichen Daten wurden digitalisiert, um sie auch für zukünftige weitere Analysen verfügbar zu haben. Während zu Beginn der Beobachtungen die Daten nur gerade drei Mal pro Tag erhoben wurden, fallen die heutigen Messungen mit der Inbetriebnahme der automatischen ANETZ-Station im Jahre 1981 im 10-Minuten-Rhythmus an. Durch die Auswertung von parallelen Messungen und unterschiedlichen, aber parallel angewandten Methoden zur Bestimmung "Föhn" oder "kein Föhn", werden Verfahren vorgeschlagen, wie die heute anfallenden Daten transformiert werden können, um sie zu den bisher vorhandenen kompatibel zu machen. Auf diese Weise wird ein Fortführen der wertvollen langen Föhnreihe Altdorf ermöglicht.

Zusammenfassung

Föhnbeobachtungen wurden in Altdorf im Urner Reusstal von 1864 bis 2008 von nur geringfügig veränderten Stationsstandorten aus durchgeführt. So liegt für dieses Föhntal mit 145 Jahren die wohl längste klimatologische Föhnreihe des Alpenraums vor.

Einleitend werden für das Phänomen Föhn kurz die geschichtliche Entwicklung des Verständnisses der meteorologischen Voraussetzungen, der Art der Föhnbeobachtung sowie der darauf aufbauenden Föhntheorien vorgestellt. Nördlich der Alpen und damit auch in Altdorf handelt es sich um Südföhn, da das Gebirgshindernis von Süd nach Nord überströmt wird.

Übersichten zeigen die Stationsstandorte und die verschiedenen, während 85 Jahren der gleichen Familie angehörenden Beobachtenden.

Es wird gezeigt, wie die Föhndefinition im Laufe der Jahre änderte. Gestützt auf die drei Hauptelemente Temperatur, Feuchtigkeit und Wind wurde ursprünglich zu den drei klassischen Klimaterminen Morgen, Mittag und Abend subjektiv über das Föhnauftreten unterschieden. Heute, im Zeitalter der automatischen Messnetze erlaubt eine speziell entwickelte, rein quantitative Computermethode die Föhnbestimmung im 10-Minuten-Intervall. Das aktuelle Föhnauftreten ist seit Ende 2011 für 12 Stationen der Alpennordseite abrufbar (http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/wetter/aktuelles_wetter.html).

Für mehrere Jahre wurden sowohl Föhnbeobachtungen zu den Klimaterminen gemacht, als auch die Föhnstunden berechnet. Eine Regressionsuntersuchung zeigt die Umrechnungsmöglichkeit von den früheren Klimaterminen in die später höher aufgelösten Föhnstunden und umgekehrt.

Mittels statistischer Analysen wurde eine Methode entwickelt, welche es ermöglicht, aus den objektiv bestimmten Föhnindizes Terminbeobachtungen zu extrahieren. Damit kann die klassische lange Föhnreihe nahtlos weitergeführt werden.

Ein Hauptkapitel behandelt die klimatologischen Aspekte: Ein signifikanter Trend über die 145 Jahre ist nicht feststellbar. Der Föhn weist aber örtlich wie zeitlich eine grosse Variabilität auf. Im langjährigen Mittel traten 60 Föhntermine pro Jahr auf (Minimum 1955: 27; Maximum 1872: 114). Im Jahresgang sind die Monate März bis Mai, in jüngster Zeit April und Mai am föhnreichsten. In den Sommermonaten Juni bis August ist der Föhn am seltensten. Auch tageszeitlich weisen die Monate April und Mai den extremsten Verlauf auf (Minimum am Morgen, Maximum am späteren Nachmittag). Bei der Windgeschwindigkeit wurden die stündlichen Böenmaxima untersucht: Es ist weder ein langfristiger Trend noch ein deutlicher Jahresgang feststellbar. Die höchste Böengeschwindigkeit seit 1967 wurde am 13. Dezember 1981 mit 157 km/h gemessen.

Abschliessend wird das Föhnauftreten in Altdorf mit verschiedenen anderen Stationen der Alpennordseite verglichen. In der noch mit dem semiquantitativen Verfahren ausgewerteten Periode 1973 bis 1982 wurden 20 Stationen ausgewertet; in Guttannen im Haslital wurden 116 (Maximum), in Interlaken und Sarnen je 3 (Minimum) klimatologische Föhntermine im Jahresmittel ausgezählt. In der 25-jährigen Periode 1984 bis 2008 gelangte die automatische Methode zur Anwendung. Hier trat der Föhn bei den so bearbeiteten 15 Stationen im Jahresmittel in Davos mit 86 am häufigsten und in Zürich mit nur 2 Föhnterminen am seltensten auf.

Résumé

Les observations pour l'étude du föehn proviennent de la station d'Altdorf, située dans la vallée de la Reuss (canton d'Uri). De 1864 à 2008, l'emplacement de la station n'a subi que de minimes modifications au fil des années. On peut ainsi considérer cette série de mesures de 145 ans comme la plus longue série climatologique alpine pour l'étude du föehn.

Tout d'abord, l'historique de la compréhension du föehn est brièvement présenté, puis la façon dont le föehn a été observé, et finalement les différentes théories qui en sont issues. Au Nord des Alpes - donc également à Altdorf - il est toujours question de föehn du Sud, étant donné que la masse d'air franchit la chaîne alpine depuis le Sud en direction du Nord.

Plusieurs vues d'ensemble montrent les différentes localisations de la station et les divers observateurs (pendant 85 ans tous membres de la même famille).

La définition du föehn a évolué au fil des années. A l'origine, on se basait sur les trois paramètres que sont la température, l'humidité et le vent, pour déterminer subjectivement un épisode de föehn, et cela aux échéances climatiques classiques: le matin, l'après-midi et le soir. De nos jours, l'utilisation de stations automatiques permet d'identifier quantitativement un épisode de föehn par intervalles de 10 minutes. Depuis 2011, il est même possible de suivre son évolution en temps réel dans 12 stations alpines.

(http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/fr/meteo/temps_actuel.html).

Pendant plusieurs années, les observations de föehn aux échéances climatiques classiques ainsi que les identifications horaires ont été effectuées en parallèle. Une analyse utilisant des régressions a mis en évidence les correspondances entre les anciennes et les nouvelles séries de mesures.

Une analyse statistique a été utilisée pour développer une méthode permettant d'extraire les triples observations des indices de föehn objectifs. Ceci permettra une continuité de la série classique de triples observations.

Un chapitre important traite de l'aspect climatologique du phénomène: aucune tendance significative n'a pu être mise en évidence durant les 145 ans d'observation. Le föehn montre toutefois une grande variabilité aussi bien dans le temps que dans l'espace. En moyenne, on compte à Altdorf 60 épisodes de föehn par année (minimum en 1955: 27; maximum en 1872: 114). Sur une année, les mois de mars à mai sont les plus riches en épisodes de föehn, surtout avril et mai pour ces dernières années. Le föehn est en revanche très rare durant les mois d'été. Sur une journée, il est à son minimum le matin et à son maximum en fin d'après-midi. Concernant la vitesse du vent, les rafales maximales horaires ont été étudiées: aucune évolution significative n'a pu être mise en évidence, ni sur le long terme, ni sur le cours d'une année. La rafale maximale depuis 1967 a été mesurée le 13 décembre 1981: 157 km/h.

Pour conclure, le nombre d'occurrences de föehn à Altdorf a été comparé à d'autres stations du nord des Alpes; 20 stations ont été évaluées entre 1973 et 1982. En moyenne annuelle, on compte un maximum de 116 épisodes de föehn à Guttannen dans le Haslital et un minimum de 3 épisodes à Interlaken et Sarnen. Durant la période de 25 ans courant entre 1984 et 2008, on a utilisé la méthode automatique pour une quinzaine de stations. En moyenne annuelle, la station de Davos montre un maximum d'occurrences avec 86 épisodes; le minimum a été enregistré à la station de Zurich avec 2 épisodes.

Riassunto

Il favonio è stato osservato ad Altdorf, nella valle urana della Reuss, dal 1864 fino al 2008 da ubicazioni che hanno subito unicamente cambiamenti marginali durante questo periodo. Quindi, con 145 anni, questa è probabilmente la più lunga serie climatologica per il favonio nella regione alpina.

Dapprima sono brevemente discussi l'evoluzione nel tempo delle conoscenze meteorologiche sul fenomeno del favonio, i metodi per l'osservazione e le teorie risultanti. Al nord delle Alpi, quindi anche ad Altdorf, si tratta di favonio da sud poiché il flusso d'aria supera l'ostacolo delle Alpi da sud a nord.

Varie panoramiche mostrano le ubicazioni dei posti di osservazione e i diversi osservatori appartenenti tutti alla stessa famiglia che per 85 eseguirono le osservazioni.

Viene inoltre descritta l'evoluzione della definizione di favonio nel tempo. Originariamente, nei tre termini classici dell'osservazione climatologica giornaliera (mattino, mezzogiorno e sera), la presenza del favonio era determinata soggettivamente in base a tre elementi meteorologici principali: temperatura, umidità e vento. Oggi, nell'era delle reti di misurazione automatiche, la presenza di favonio è stabilita ogni 10 minuti in maniera quantitativa con l'aiuto di un software apposito. A partire dalla fine del 2011, l'informazione sulla presenza di favonio o meno è disponibile in tempo reale per 12 stazioni a nord delle Alpi (http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/it/meteo/tempo_attuale.html).

Per diversi anni sono state eseguite le osservazioni per il favonio tre volte al giorno e parallelamente sono state calcolate le ore di favonio in base ai valori delle misurazioni automatiche. Un'analisi di regressione mostra che è possibile convertire le osservazioni dei tre termini climatologici giornalieri in ore di favonio calcolate statisticamente, quindi a risoluzione più elevata, e viceversa.

Attraverso analisi statistiche è stato sviluppato un metodo che permette di estrarre dagli indici del favonio, determinati oggettivamente, i valori dei tre termini giornalieri come nelle osservazioni climatologiche. La storica serie di osservazioni può così essere continuata automaticamente senza interruzioni.

In un capitolo principale sono trattati gli aspetti climatologici: una tendenza significativa nei 145 anni non è rilevabile. Nel tempo e nello spazio il favonio mostra invece un'elevata variabilità. Nella media pluriennale vi sono 60 occorrenze l'anno (minimo nel 1955: 27; massimo nel 1872: 114). Statisticamente, nel corso dell'anno i mesi da marzo fino a maggio, negli ultimi anni i mesi di aprile e maggio, sono quelli con più favonio. I mesi con il minor numero di occorrenze sono quelli estivi da giugno fino ad agosto. Anche le variazioni durante il giorno sono più nette nei mesi di aprile e maggio (minimo al mattino, massimo nel tardo pomeriggio). Per la velocità del vento sono state analizzate le punte orarie, senza rilevare né una tendenza a lungo termine, né un chiaro ciclo annuale. A partire dal 1967, la più alta raffica di favonio è stata rilevata il 13 dicembre 1981 con 157 km/h.

Infine, la presenza di favonio ad Altdorf è stata paragonata a quella di diverse stazioni a nord delle Alpi. Sono state analizzate 20 stazioni utilizzando un metodo semi-quantitativo per il periodo 1973 - 1982. A Guttannen, nell'Haslital, sono state contate 116 (massimo), a Interlaken e Sarnen 3 (minimo) occorrenze medie annue di favonio per i tre termini giornalieri di osservazione climatologica. Durante i 25 anni dal 1984 al 2008 è stato applicato il metodo automatico a 15 stazioni. Per la media annuale, Davos ha avuto il massimo di occorrenze con 86 casi e Zurigo il minimo con 2.

Abstract

In Altdorf, in the Uri part of the Reuss Valley, foehn observations have been recorded from 1864 to 2008 at stations whose positions changed only marginally during this time. Hence, with 145 years, this is the longest time series of foehn events in the Alpine massif.

First the history of the understanding of the meteorological prerequisites for the phenomenon foehn is briefly discussed, then the way foehn was observed, and the different foehn theories are presented. Being north of the Alps, the foehn type in Altdorf is a pure south foehn since the flow over the mountain obstacle is from south to north.

Several overviews show the different locations of the station and the different observers (who during 85 years belonged all to the same family).

The changes of the foehn definitions during the course of time are presented. Based on the three main parameters temperature, humidity, and wind, the occurrence of foehn was originally subjectively determined at the so-called climate observation times in the morning, at noon, and in the evening. Today, in the time of automatic observation networks, special software allows the identification of foehn in 10-minute intervals. Since end of 2011, the real-time existence of foehn can be checked online for 12 stations north of the Alps (http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/en/weather/current_weather.html).

For several years, foehn observations at the three observations times were made, and foehn hours were computed in parallel. A regression analysis shows the possibilities for transforming either the original observations to foehn hours or vice versa.

A statistical analysis was used to develop a method by which triple observations can be extracted from the objective foehn indices. This will allow a seamless continuation of the classical long time series of the triple observations.

One of the main chapters deals with the climatological aspects: Over the 145 years, there is no discernible significant trend in foehn occurrence. Foehn frequencies show a high variability both in time and location. In the long-term mean, there were 60 occurrences per year (minimum 1955 with 27, maximum 1872 with 114). The months March to May, in recent times April and May, show the highest numbers of foehn events during the year. During the summer months June to August, foehn is rare. The diurnal variations are extreme in the months April and May (minimum in the morning, maximum in late afternoon). As for wind speed, the gust maxima for each hour were analyzed: neither a long-term trend nor a clear inter-annual variation was found. The highest gust speed since 1967 was measured on December 13, 1981 with 157 km/h.

Finally, the occurrence of foehn in Altdorf is compared with different stations north of the Alps. During the period 1973 to 1982, 20 stations were investigated using a semi-quantitative method; Guttannen in the Haslital had 116 (maximum), Interlaken and Sarnen had each 3 (minimum) foehn events at the three climatological observation times, these numbers being the yearly means. During the 25-year period 1984 to 2008, the automatic, quantitative method was applied to 15 stations. As yearly means, Davos had 86 (maximum) and Zurich had only 2 foehn occurrences.

1 Gedanken zur Föhnstation Altdorf und zur klassischen Föhntheorie

1.1 Topographie und Föhn

Altdorf liegt im so genannten Gotthard-Querschnitt, einem für den gesamten Alpenbogen einzigartigen topographischen Profil: Die Linie Como-Gotthard-Altdorf-Zug ist die einzige mehr oder weniger geradlinige Verbindung zwischen der Alpensüd- und der Alpennordseite mit nur einer einzigen Kette, dem Gotthard. Dass die Verbindungswege bis ins 13. Jahrhundert trotzdem nicht über diesen Übergang, sondern über Pässe im Wallis und in Graubünden führten, hatte einzig und allein damit zu tun, dass die Schöllenen und der Axen damals noch schwer zu überwindende Hindernisse darstellten. Heute ist der Gotthard-Querschnitt - nicht zuletzt wegen der beschriebenen speziellen Topographie - die wichtigste und meistbefahrene Verkehrsachse im gesamten Alpenraum.

Wie bei praktisch allen grösseren Gebirgsmassiven treten bei bestimmten Wetterlagen auch im Gotthardquerschnitt warme Fallwinde auf. Eine Erklärung besagt, dass die Römer diese Winde "Favonius" (den Günstigen) nannten, also gleich wie den ihnen von zuhause bekannten warmen Wind aus Afrika. Dass die beiden Winde meteorologisch völlig verschieden waren, konnten sie nicht wissen. Aus "Favonius" entstand im Laufe der Zeit das Wort "Föhn". Ende des 18. Jahrhunderts begannen sich - vor allem im Alpenraum und in Grönland - Naturwissenschaftler (die sich später Klimatologen oder Meteorologen nennen sollten) für Föhn zu interessieren. Wenn auch die vielerorts vorkommenden Föhnwinde lokale Namen haben, als wissenschaftliche Fachbezeichnung wird in der Fachliteratur stets der Begriff "Föhn" verwendet - vor dem 19. Jahrhundert übrigens ausschliesslich mit weiblichem Artikel!

1.2 Geschichte der Föhnbeobachtungen

Dass sich gerade der Name "Föhn" als wissenschaftlicher Begriff für die warmen Gebirgswinde durchsetzte, hat seinen Grund: Im verhältnismässig dicht besiedelten und forschungsmässig sehr aktiven Europa wurden die Föhnwinde im Alpenmassiv ursprünglich am intensivsten studiert, untersucht und beschrieben. Dabei bildeten sich im 19. Jahrhundert zwei Schwerpunkte, der eine lag in Österreich, der andere in der Schweiz. Bis weit ins 20. Jahrhundert hinein stritten sich die Forscher über die Föhntheorien, dies nicht nur zwischen, sondern oft auch innerhalb der beiden Gruppen (Hann, 1885).

Bereits im 18. Jahrhundert wurden in der Schweiz manchmal über viele Jahre Wetterbeobachtungen aufgezeichnet und auch klimatologisch ausgewertet. In den "Verhandlungen" und "Mittheilungen" der seit 1746 bestehenden Naturforschenden Gesellschaft Zürich finden sich immer wieder entsprechende Artikel. Daneben wurden von ihr von 1837 bis 1846 spezielle "Meteorologische Beobachtungen" publiziert. 1823 versuchte die damals neu gegründete Schweizerische Naturforschende Gesellschaft (SNG, heute SCNAT), ein nationales meteorologisches Messnetz aufzubauen. Aber erst am 1. Dezember 1863 konnten die 88 Stationen ihren Routinebetrieb aufnehmen, dies nachdem der Bund begonnen hatte, das Vorhaben massiv zu unterstützen. Eine dieser 88 Stationen war (und ist) Altdorf. Die Daten wurden zunächst in einem Büro der Sternwarte der ETH Zürich, in der "Schweizerischen Meteorologischen Centralstation", gesammelt. 1881 wurde dann die "Schweizerische Meteorologische Centralanstalt" gegründet und in Räumlichkeiten des ETH-Physikgebäudes an der Voltastrasse untergebracht. (Der Assistent, der für die "Bearbeitung" der Daten in der "Centralstation" verantwortlich war, hiess Robert Billwiller. Er wurde erster Direktor der "Centralanstalt" und hat sich selber intensiv mit der Erforschung des Föhns befasst).

Es ist sehr erfreulich, dass die Beobachtungsmethodik im Laufe der Zeit an vielen Stationen - speziell auch an der Messstation Altdorf - nur unwesentlich änderte (siehe Kapitel 2). Die zunehmende Automatisierung der meteorologischen Beobachtungen ermöglicht heute eine viel feiner aufgelöste Föhnstatistik, aus der sich aber ohne grossen Aufwand die in der ursprünglichen Zeitreihe enthaltenen Parameter extrahieren lassen. Bis heute steht somit für

Altdorf eine recht homogene Zeitreihe mit Föhnbeobachtungen von 1864 bis 2008 zur Verfügung.

Ebenfalls 1864 wurden meteorologische Messungen im Glarnerland (in Linthal und Auen) aufgenommen. Streiff-Becker (1942) hat diese Messungen von 1864 bis 1939 bezüglich Föhn klimatologisch ausgewertet. Wenig später als in Altdorf und Linthal wurde an einem weiteren Föhnforschungsschwerpunkt - in Innsbruck - damit begonnen, so genannte Föhntage systematisch aufzuzeichnen. Die dort zur Verfügung stehenden Beobachtungen begannen im Jahre 1870, weisen aber leider einige Brüche auf (Ortner, 2010).

1.3 Bemerkungen zu den Föhntheorien

Die oft "klassische Föhntheorie" oder "Lehrbuchtheorie" genannte Erklärung für das Phänomen Föhn besagt, dass sich die Alpen anströmende, relativ feuchte Luft durch erzwungene Hebung an den Alpen feucht-adiabatisch abkühlt, wobei sich Wolken und Regen bilden. Auf der Leeseite erwärmt sich die Luft beim Absteigen trockenadiabatisch, und erreicht so eine höhere Temperatur als sie auf gleicher Höhe auf der Anströmseite ursprünglich hatte. Der Wärmegewinn der Luftmasse entspricht dabei der Kondensationswärme des Wasserdampfs.

Diese Theorie ist ein einmalig schönes Beispiel für die sich in der Atmosphäre abspielenden thermodynamischen Prozesse. Allerdings wies die "Innsbrucker Schule" schon früh darauf hin, dass Beobachtungen entlang des Brenner-Querschnitts keine Hinweise auf ein feucht-adiabatisches Aufsteigen der Luftmassen zeigten. Es mag als ein Versuch zur Beilegung heftiger Diskussionen gewertet werden, dass man sich im frühen 20. Jahrhundert einigte, einerseits von einem "Schweizer Föhn" oder "Föhn Typ I" und andererseits von einem "Österreicher Föhn" oder "Föhn Typ II" zu sprechen; Typ I also mit feucht-adiabatischem Aufsteigen, Typ II mit totalem Stau und ohne Hebung auf der Anströmseite (Walter, 1938).

Tatsache ist, dass innerhalb der beiden Extrema - also feucht-adiabatische Hebung über die ganze Hindernishöhe (Typ I) bzw. keinerlei erzwungene Hebung (Typ II) - alle Zwischenstufen vorkommen können. Je höher das Hindernis ist, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass es Richtung Typ I geht. Damit ist auch die Diskrepanz in den Ansichten zu erklären: Der Brennerpass liegt auf 1370 m ü.M., der Gotthardpass aber auf 2106 m ü.M. Somit tritt ein Föhn Typ I am Brenner praktisch nie auf! Es wurde zwar schon geschrieben, dass der Föhn Typ I nur in den Lehrbüchern existiere, dass dem aber nicht so ist, weiss jeder, der im Tessin schon einmal die massiven Niederschläge bei einer Südföhnlage erlebt hat. Für eine ausführliche Diskussion siehe Richner und Hächler (2012).

Viele Theorien und Publikationen befassen sich mit der Frage, weshalb die Föhnluft nach dem Passieren der Kette überhaupt absteigt und nicht einfach horizontal weiterströmt. Diese Frage kann bis heute nicht wirklich befriedigend beantwortet werden. Es scheint, dass je nach meteorologischer Situation der eine oder andere physikalische Mechanismus dominiert. Wahrscheinlichste Ursache für das Absteigen der Luftmassen ist die Bildung von grossräumigen Leewellen oder aber ein hydraulischer Sprung. Für eine Diskussion der verschiedenen vorgeschlagenen Mechanismen siehe Steinacker (2006).

1.4 Altdorf und seine lange Reihe

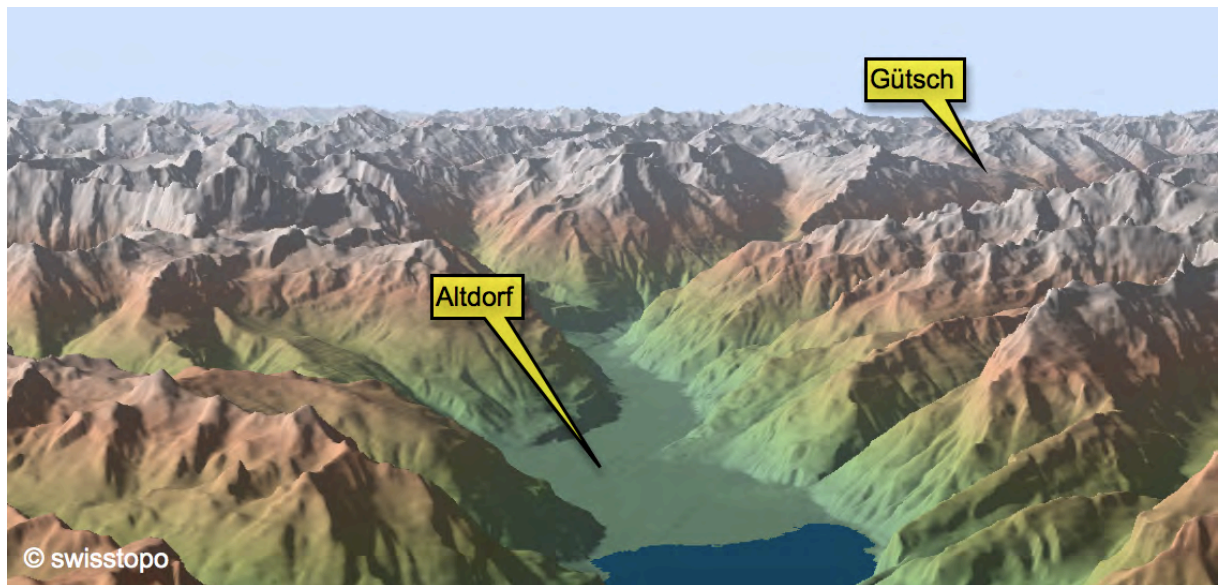
Der vorliegende Bericht ist eine rein klimatologische Analyse der Föhndaten für Altdorf, zur eigentlichen Föhntheorie äussert er sich nicht. Trotzdem sei darauf hingewiesen, dass sich diese Station und der ganze Gotthard-Querschnitt für weitere Föhnstudien hervorragend eignen: Wie eingangs erwähnt, ist der Gotthard-Querschnitt im ganzen Alpenraum topographisch einzigartig, in dem die Talachsen praktisch rechtwinklig zur einzigen Kette stehen. Weiter kommt hinzu, dass sich im Norden der Jura befindet, welcher das rasche Ausräumen des Kaltluftsees im Mittelland verhindert. Damit kann eine Föhnphase, bei welcher der Kaltluftsee von der Föhnluft überströmt wird, viele Stunden andauern, dies im Gegensatz z.B. zur Situation in den Rocky Mountains, wo ein Chinook-Einbruch (also ein Föhnneinbruch in den Rockies) eine zwar heftige, aber recht kurze Sache ist, durch welche die Kaltluft in kürzester Zeit in die Ebene hinausgeschwemmt wird.

Wir wissen nicht genau, weshalb gerade Altdorf als Standort für eine Föhnstation ausgewählt wurde. Es gibt Hinweise, dass das dortige Kapuzinerkloster bereits früher Wetterbeobachtungen vornahm. Nicht zuletzt wegen der immer wieder vorkommenden verheerenden Brände (Altdorf brannte drei Mal weitgehend ab, 1400, 1693 und 1799) interessierte man sich in manchem Föhntal für diesen unheimlichen Wind. In Altdorf betrieb übrigens Pater Bonifatius Huber im frühen 20. Jahrhundert parallel zur offiziellen Station eine eigene meteorologische und - für die damalige Zeit eine Pioniertat! - eine luftelektrische Messstation.

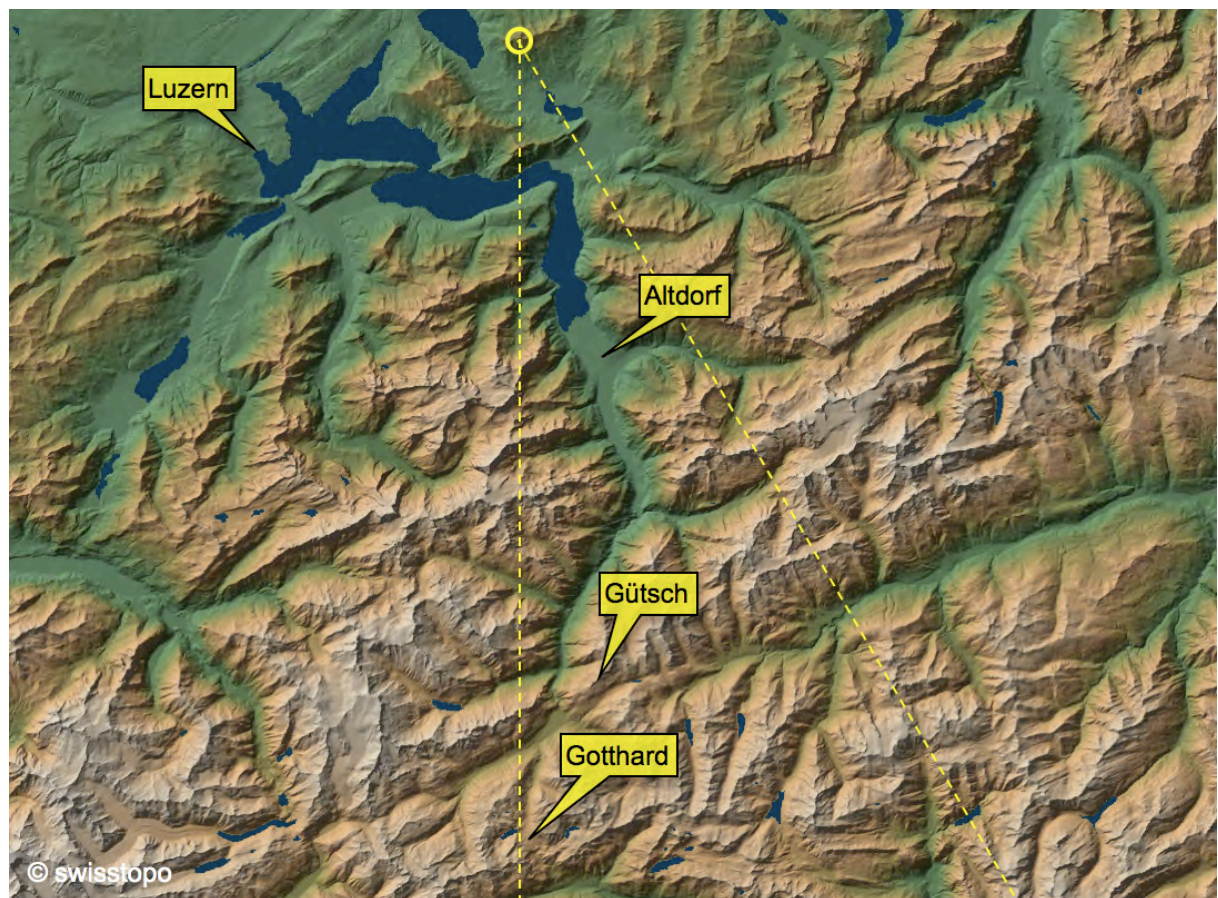
Tatsache ist, dass es ein äusserst glücklicher Entscheid war, in Altdorf eine Messstation aufzubauen. Und es ist höchst erfreulich, dass die dortigen Beobachtungen konsequent und so einheitlich wie möglich während über 140 Jahren fortgeführt wurden. Die Mess- und Beobachtungsmethoden haben sich zwar im Laufe der Zeit geändert. Dank Parallelmessungen und daraus abgeleiteten Transformationsverfahren ist aber eine Fortführung der einzigartigen Zeitreihe auch in Zukunft möglich (Kapitel 3.3).

2 Die 145-jährige Geschichte der Klimastation

Die Föhnstation Altdorf ist in einem der wichtigsten schweizerischen Föhntäler, dem Reusstal gelegen.



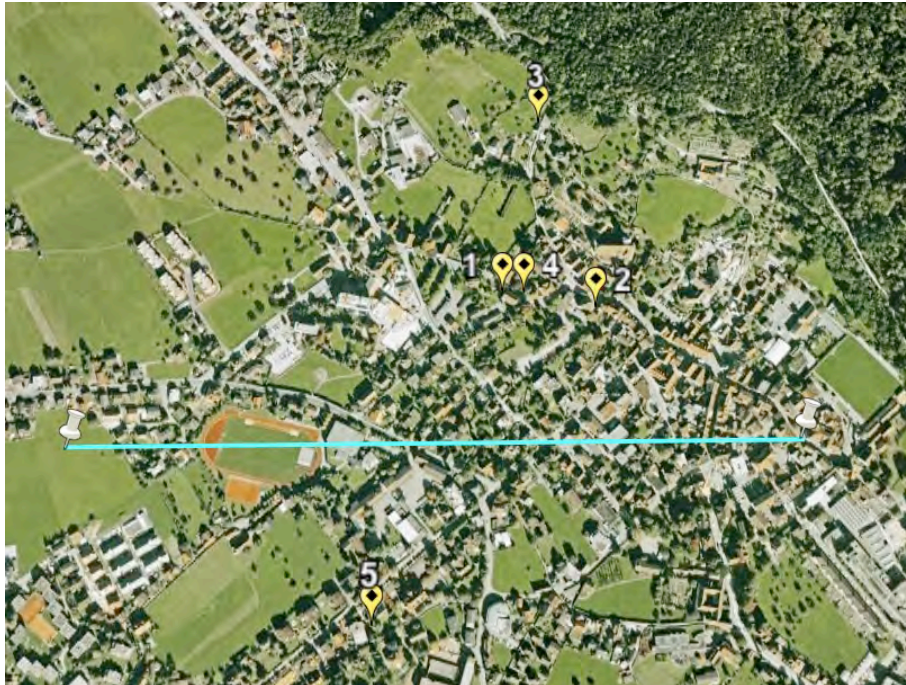
Figur 2.1: Panoramablick von Norden auf die Region um Altdorf (Blickrichtung 165°, Öffnungswinkel 30°, Augenpunkt 685000/215000, Höhe 5000 m).



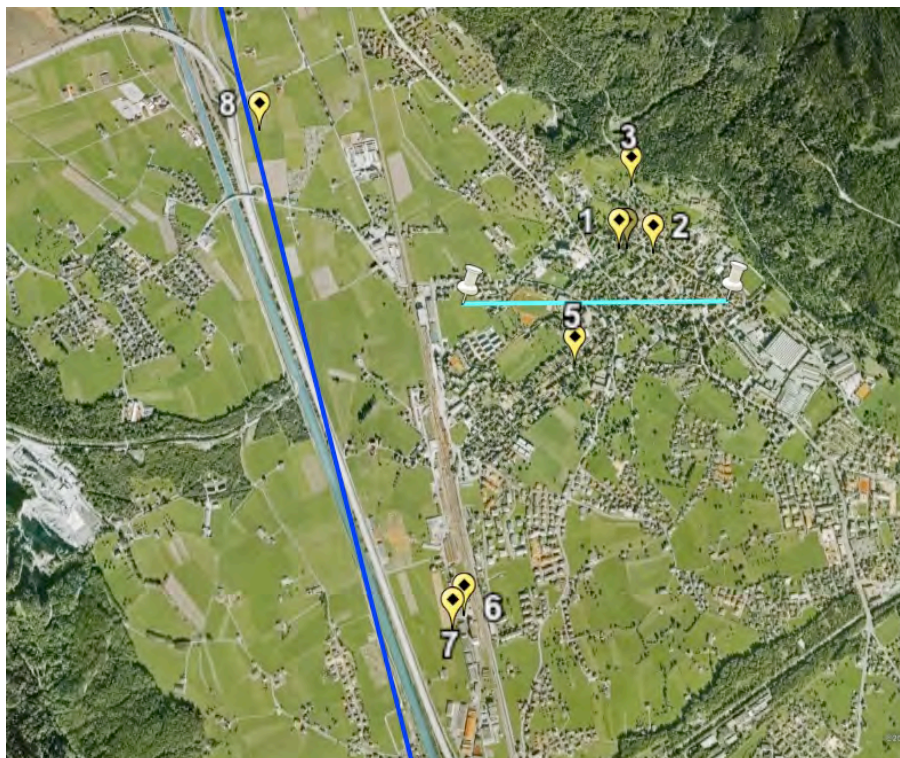
Figur 2.2: Topographie des oberen Reusstals mit Vierwaldstättersee. Die gestrichelten Linien entsprechen dem Blickwinkel für das in Figur 2.1 dargestellte Panorama.

2.1 Stationsstandorte und Beobachtungszeiten

Die Standorte der Föhnstation haben im Verlaufe der Zeit mehrmals gewechselt. In Tabelle 2.1 sind die genauen Zeitperioden und Koordinaten der verschiedenen Standorte sowie die jeweilige Verschiebung relativ zur vorangehenden Position aufgelistet. Figur 2.3 und Figur 2.4 zeigen die Standorte auf Luftaufnahmen.



Figur 2.3: Positionen der ersten fünf Standorte der Föhnstation (siehe Tab. 2.1). Die türkisfarbene horizontale Linie entspricht der Länge von 1 km.



Figur 2.4: Positionen aller acht Standorte der Föhnstation (siehe Tab. 2.1). Die horizontale türkisfarbene Linie entspricht der Länge von 1 km, die blaue Linie stellt die subjektiv definierte Talachse dar.

Tabelle 2.1: Standorte der Föhnstation Altdorf. Erklärungen siehe Text.

Zeitraum	Pos. Nr.	km-Koordinaten		geogr. Koordinaten	Verschiebung absolut			Abstand zur Talachse (m)	Verschiebung relativ zur Talachse	
		Koordinaten (m/m)	Höhe (müM)		Koordinaten (°N/°E)	Dist. (m)	in Richtung (°)		Höhe (m)	Dist. zur Achse (m)	Dist. entl. Achse (m)
01.10.1863 - 31.12.1872	1	691570/193100	452.5	46.8827/8.6400	-	-	-	1244		
01.01.1873 - 30.04.1882	2	691700/193080	455	46.8825/8.6417	132	99	E	1363	119	56
01.05.1882 - 31.10.1892	3	691620/193350	480.2	46.8850/8.6407	282	343	NNW	1363	0	-282
01.11.1892 - 30.04.1901	4	691600/193100	451	46.8827/8.6404	251	185	S	1273	-90	234
01.05.1901 - 31.12.1954 *)	5	691400/192650	456.3	46.8787/8.6377	492	204	SSW	953	-319	375
01.01.1955 - 07.05.1978	6	691000/191750	449	46.8706/8.6323	985	204	SSW	315	-639	750
08.05.1978 - 07.12.2008	7	690960/191700	449	46.8702/8.6317	64	219	SSW	262	-53	37
08.12.2008 - ...	8	690174/193558	438	46.8870/8.6218	2017	337	NW	35	-227	-2005

*) Station 5 blieb in Betrieb bis zum 30.09.1958, was einen Vergleich mit der Station 6 ermöglichte (siehe Kapitel 3.2)

Die Tabelle 2.1 listet die Zeitperioden und Koordinaten der Standorte der Föhnstation Altdorf. Die genauen Positionen sind sowohl in Schweizer Kilometer-Koordinaten als auch in globalen geographischen Koordinaten angegeben. "Verschiebung absolut" listet die Distanz (in m), Verschiebungsrichtung (in °) und in Windrosektor) und Höhenänderung (in m) relativ zur vorangehenden Position. Auf subjektive Weise wurde zudem eine Talachse definiert, welche in Figur 2.4 blau eingzeichnet ist. In der Kolonne "Abstand zur Talachse" sind die rechtwinklig gemessenen Distanzen zu dieser Achse aufgeführt, während in den Kolonnen "Verschiebung relativ zur Talachse" die Änderungen des absolut gemessenen Abstandes relativ zum vorangehenden Standort aufgeführt sind. Die Distanzänderung entlang der (also parallel zur) Talachse ist positiv für eine Verschiebung talaufwärts (also Richtung S), negativ für talabwärts (also Richtung N).

Die Klimastation erlebte im Laufe der 145-jährigen Reihe bis zum Umzug in das Eidgenössische Verpflegungsmagazin (1955) aussergewöhnlich wenige Wechsel der verantwortlichen Beobachter. Ab Stationseröffnung im November 1863 versah Franz Müller (nach dem Testmonat Oktober 1863 mit Dr. Müller) die Beobachterfunktion bis Ende 1872, also während neun Jahren. Im Januar 1873 übernahm die Familie Nager die Beobachtungen für beinahe 85 Jahre bis September 1958. Darin eingeschlossen war eine 3¼-jährige Periode, in welcher Parallelbeobachtungen am alten und neuen Standort Eidgenössisches Verpflegungsmagazin gemacht wurden. Bereits ab Januar 1955 aber galten die Daten des neuen Standortes als offiziell. In der nun folgenden 55-jährigen Periode im Verpflegungsmagazin wurden die Beobachtungen je nach Schichtdienst durch verschiedene Personen ausgeführt. Am aktuellen neuen Standort sind (wie ab 2005 generell im SMN-Netz eingeführt) Augenbeobachtungen unabhängig von den automatischen Messstationen und werden im separaten Netz OBS zusammengefasst. Seit 13. Dezember 2006 werden somit (wie schon ab 1978 als zusätzliche AERO-Station) alle drei Stunden zu den acht SYNOP-Terminen Augenbeobachtungen von Personal der RUAG Real Estate AG in der Ortschaft Altdorf ausgeführt, und zwar bei den Koordinaten 691300/191200, 450 m ü.M. (= 8.63610E/46.86566N).

Die Uhrzeiten, zu denen die Terminbeobachtungen vorgenommen wurden, haben im Verlaufe der Zeit geändert. Tabelle 2.2 gibt einen Überblick über die wichtigsten Verschiebungen der Beobachtungszeiten.

Tabelle 2.2: Beobachtungszeiten im Verlaufe der Stationsgeschichte.

Periode*)	Morgen		Mittag		Abend	
	lokal	UTC	lokal	UTC	lokal	UTC
1864 - 1970	07:30	<=> 06:30	13:30	<=> 12:30	21:30	<=> 20:30
1971 - 1978	06:45	<=> 05:45	12:45	<=> 11:45	18:45	<=> 17:45
1979 - 2008	**)	05:40	**)	11:40	**)	17:40

*) Der Wechsel erfolgte jeweils zum Jahreswechsel

***) Seit der Einführung der Sommerzeit im April 1982 abhängig von der Jahreszeit: 2 h später als UTC im Sommer, 1 h später als UTC im Winter.

Die massivste Änderung erfolgte zum Jahreswechsel 1970/71, als die Morgen- und Mittagsbeobachtung um je 45 Minuten, die Abendbeobachtung gar um 2 h 45' vorverschoben wurden. Ab 1979 wurden die Zeiten dem 10-Minuten-Rhythmus der automatischen Messstationen (ANETZ) angepasst, also um weitere 5' vorverschoben.

Für die Periode ab 1979 wird die lokale Zeit nicht angegeben, da diese mit der Einführung der Sommerzeit je nach Jahreszeit variiert.

Da das Auftreten von Föhn je nach Tageszeit unterschiedlich häufig ist (siehe Kapitel 4.2), müsste sich ein Wechsel der Beobachtungszeiten auf die erfassten Häufigkeiten auswirken. Die durch den Wechsel 1978/79 (Vorverschiebung um 5') verursachten Änderungen dürften allerdings derart gering sein, dass sie im statistischen Rauschen nicht nachzuweisen sind. Für den Wechsel 1970/71 könnte ein Bruch in den Datenreihen - insbesondere in derjenigen der Abendbeobachtungen - erwartet werden.

2.2 Die neue SMN-Station ab 08.12.2008

Im Rahmen der Gesamterneuerung des ersten umfassenden Automatischen Messnetzes (ANETZ) der Schweiz, welches in den Jahren 1976 bis 1981 eingerichtet wurde, zum neuen SwissMetNet (SMN) erfolgte der grösste Standortwechsel seit Beginn der Beobachtungen im Jahre 1864.

Das neue Schweizer Bodennetz SMN (SwissMetNet) wurde in einer ersten Etappe von 2003 bis 2009 eingerichtet und löste an teilweise veränderten Standorten und mit verschiedenen neuen Messfühlern die bisherigen ANETZ-Stationen ab. Der neue SMN-Standort

Altdorf liegt etwas mehr in der Talmitte und näher beim Urnersee, ungefähr 2 km NNW der bisherigen ANETZ-Station (genaue Lage siehe Kapitel 2.1).

Mit offiziellem Beginn der Beobachtungen am neuen Ort am 8. Dezember 2008 sind diese Messungen nicht mehr im vorliegenden Arbeitsbericht berücksichtigt (die bearbeitete Messreihe umfasst die Periode 1864 - 2008). Erste Vergleiche des Föhnauftretens am neuen Standort liegen aber vor. Sie zeigen eine um etwa 10 % geringere Föhnhäufigkeit und mehrheitlich leicht niedrigere Föhnböen-Spitzengeschwindigkeiten. Allerdings wurde die absolut höchste Spitzengeschwindigkeit innerhalb der Vergleichsperiode am neuen Standort mit 147.2 km/h gemessen (am alten waren es "nur" 139.7 km/h). Die dreistündlichen Augenbeobachtungen werden seit 2006 - losgelöst vom SMN-Standort - in Zusammenhang mit dem ab 2005 entstandenen Augenbeobachtungsnetz OBS etwa 2 km Reusstal-aufwärts ausgeführt.

3 Die Klimareihe (1864 – 2008)

3.1 Föhndefinitionen

Während der 145 Jahre der hier bearbeiteten Föhnreihe erfolgte die Bestimmung des Föhns an drei täglichen Föhn-Klimaterminen. Bis 1970 waren diese 07:30, 13:30 und 21:30 h; ab 1971 wurde der Abendtermin auf 19:30 h festgelegt (siehe Tabelle 2.2). Historisch bedingt wurden in vier Zeitabschnitten unterschiedliche Methoden angewandt. Über die Gesamtperiode galten aber die allgemein bekannten Föhn-Charakteristiken "erhöhte Temperatur", "niedrige Luftfeuchtigkeit" sowie "hohe Windgeschwindigkeit (in Altdorf aus SE/S-Richtung) mit markanten Böenspitzen" als Kriterien für einen klimatologischen Föhntermin. Ab 1961 kam neu als zwingende Voraussetzung eine nordwärts gerichtete, alpenüberquerende Strömung (Windrichtung 90 - 240 Grad) an der 1954 eingerichteten "Alpenkamm"-Station Güttsch ob Andermatt (2282 m ü.M.) hinzu.

3.1.1 1864 - 1900: Subjektiv aufgrund von Messdaten

Ab 1864 wurden die charakteristischen Klimawerte für Föhn primär den Annalen entnommen. Teilweise erfolgte eine Überprüfung anhand der Originalprotokolle der Beobachtenden. Die Originalformulare befinden sich in gebundener Form in den sogenannten "Schwarzen Bänden" im Archiv der MeteoSchweiz. In diesen Protokollen sind die entsprechenden Beobachtungen mehrheitlich in der Rubrik "Bemerkungen" als Föhntermine hervorgehoben.

3.1.2 1901 - 1960: Statistisch objektiv

Für die Periode 1901 - 1960 erfolgte die Föhnterminbestimmung automatisch. Im Rahmen einer Dissertation (Gutermann, 1970) wurden die Termine computergestützt mit Hilfe des statistischen, multivariaten Verfahrens der Diskriminanzanalyse bestimmt. Grenzfälle wurden anhand der Annalen überprüft.

3.1.3 1961 - 2008: Semiquantitativ

Ab 1955 wurde, gestützt auf zum Teil neu installierte, registrierende Instrumente, im Klimadienst jährlich ein Föhnkalender erstellt, welcher die genauen Zeitpunkte des Beginns und des Endes jedes Föhnauftretts festhielt (Gensler und Wolfensberger, ab 1983 verschiedene Bearbeiter). Die zeitliche Auflösung dieses Kalenders beträgt 10 Minuten. Gestützt darauf wurde eine Föhnstundendatei mit gerundeten Föhnstunden erstellt. Diese Datei diente als Basisinformation für die Auszählung der klimatologischen Föhntermine. Während zu Beginn die graphischen Windstreifen ausgewertet werden mussten, stehen seit der Inbetriebnahme der automatischen ANETZ-Station im Jahr 1978 die benötigten Messwerte in 10-Minuten-Intervallen in digitaler Form zur Verfügung.

3.1.4 1984 - 2008: Quantitativ, automatisierte Auswertung

Auf der Basis von Messwerten des automatischen ANETZ (bzw. SwissMetNet) wurde eine Methode entwickelt, um Föhn objektiv zu bestimmen (Dürr, 2008). Mit Hilfe einer Vergleichsstation am Alpenhauptkamm können der Bergwind und andere Windströmungen aus der lokalen Föhnwindrichtung an der Station von Föhn meistens getrennt werden. Zum heutigen Zeitpunkt ist so bestimmter Föhn ab 1981 auf dem AGF-Server für 18 SMN-Stationen in der Schweiz und für 7 ZAMG-Stationen in Vorarlberg (Österreich) verfügbar. Eine Diskussion dieser Zeitreihe als Ergänzung zur manuell erfassten Föhnreihe ab 1864 wird in Kapitel 5.2 vorgestellt.

Ein grosser Vorteil der automatisierten Föhnbestimmung liegt darin, dass beliebige weitere Messstationen auf Föhn getestet werden können. Damit können auch Stationen untersucht werden, welche vorher aus Zeitgründen nicht manuell bearbeitet wurden. Nachteile sind, dass das Verfahren in der vorliegenden Form keine zusätzlichen umliegenden Föhnstationen miteinbeziehen kann, und dass die seltenen Dimmerföhnfälle, die durch eine hohe Luftfeuchtigkeit charakterisiert sind, noch nicht erfasst werden. Für eine detaillierte Beschreibung

der automatisierten Föhnbestimmungsmethode an 12 Föhnstationen, sowie einen quantitativen Vergleich mit der semiquantitativen Föhnbestimmungsmethode für Altdorf sei auf Dürr (2008) verwiesen.

Seit Frühjahr 2008 wird mit dem automatisierten Verfahren der Föhnindex für 12 SMN-Stationen auf der Alpennordseite operationell und in Echtzeit alle 10 Minuten durch MeteoSchweiz für den Prognosedienst berechnet. Inzwischen ist das Verfahren auf drei weitere Stationen (Luzern, Wädenswil und Zürich-SMA) ausgedehnt worden. Die Tabelle 3.1 gibt eine Übersicht zu den stationsspezifischen Faktoren für die automatische Föhnauswertung an den neu hinzugekommenen Stationen (vergleiche auch Dürr 2008, Tabelle 1).

Tabelle 3.1: Untersuchte Stationen, Stationsabkürzung, Summe der Stunden mit Südwind an der Station bei gleichzeitiger Passströmung aus Richtung Nord am Alpenhauptkamm (S) und mittlere Föhnwindrichtung (dd). Weiter sind der Föhnwindsektor (ds) und die Grenzwerte für die relative Feuchte (UU), die Differenz der potentiellen Temperatur zum GÜtsch ($\Delta\theta$), die vektorielle Windgeschwindigkeit (ff) und die 1-Sekunden Böenspitzen ($f_x f_x$) für die automatische Föhnbestimmung angegeben.

Station	Abk.	S Std.	dd Grad	Grenzwerte x für Föhn				
				ds Grad	UU %	$\Delta\theta$ K	ff m/s	$f_x f_x$ m/s
Luzern	LUZ	1539	120	90 - 190	56	-2.8	3.1	5.8
Wädenswil	WAE	550	190	110 - 220	58	-3.7	3.5	5.7
Zürich-SMA	SMA	555	160	110 - 200	54	-2.5	3.6	6.7

Die genauen Kriterien für Altdorf, welche im 19. und anfangs des 20. Jahrhunderts für die Föhnbestimmung angewendet wurden, können nicht mehr im Detail rekonstruiert werden. Allerdings ist ein Föhnneinbruch in Altdorf ein derart deutliches Ereignis (positiver Temperatursprung, niedrige Feuchte, abruptes Einsetzen eines Südwindes), dass die Frage, ob Föhn vorhanden ist oder nicht, in den allermeisten Fällen klar mit Ja oder Nein beantwortet werden kann. In diesem Sinne dürfen die Daten, welche als Terminbeobachtungen registriert wurden, als sehr zuverlässig betrachtet werden. In Tabelle 3.2 sind die auf Messungen beruhenden Kriterien für die automatisierte Föhnerkennung für die Station Altdorf (Dürr, 2008) und für die Handauswertungen, bzw. subjektive Föhnbestimmung aufgeführt.

Tabelle 3.2: Kriterien für Föhn an der Föhnstation Altdorf

	"automatisiert"	"manuell"
Gütsch (GUE) Windrichtung	90° ... 240°	90° ... 240°
Altdorf (ALT) Windrichtung	60° ... 240°	90° ... 240°
Windgeschwindigkeit vektoriell gemittelt über 10'	≥ 3.7 m/s	-
Böenspitze (3s)	≥ 6.2 m/s	> 5 m/s
Lufttemperatur	-	positiver Sprung um > 2 K zum gleichen Vortagestermin
Differenz in potentieller Temperatur ALT minus GUE	≥ -4 K	-
relative Luftfeuchte	≤ 54 %	negativer Sprung auf < 50 % *)

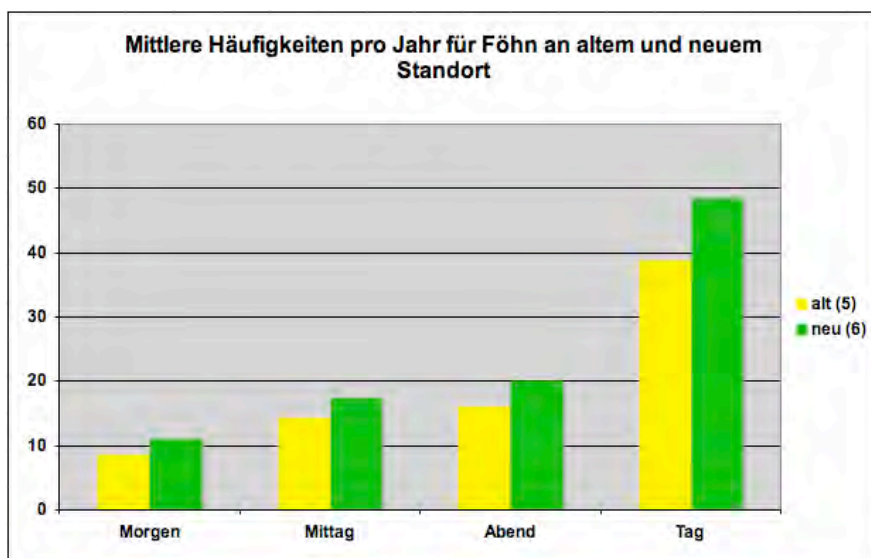
*) ist meistens < 40 %, bei Dimmerföhn allerdings deutlich mehr; die automatische Methode kann Dimmerföhn mit stark erhöhter Luftfeuchte nicht erkennen.

3.2 Homogenisierung der Föhnreihe

Vom 1. Januar 1954 bis zum 30. September 1958 waren sowohl die seit 1. Mai 1901 in Betrieb stehende Station am Standort Nr. 5 (siehe Tabelle 2.1) als auch die neue Station Nr. 6 parallel in Betrieb. Damit bestand die Möglichkeit, allfällige Unterschiede der Föhnhäufigkeit - hervorgerufen durch lokale Effekte - festzustellen und anschliessend zu korrigieren, die Zeitreihen der Beobachtungen also zu homogenisieren.

Es sei vorweggenommen, dass diese Bemühungen fehlschlügen. Wenn hier trotzdem darauf eingegangen wird, geschieht dies in der Absicht, auf mögliche Gefahren aufmerksam zu machen und auch die Grenzen solcher statistischer Verfahren, die insbesondere bei der Analyse von diskreten Werten - hier Föhn ja oder nein - aufzuzeigen.

Zunächst wurden für die Vergleichsperiode 01.01.54 bis 30.09.58 die Morgen-, Mittags- und Abendwerte, welche als Monatssummen vorliegen, miteinander verglichen und über die ganze Periode gemittelt. Das Resultat ist in Figur 3.1 dargestellt.



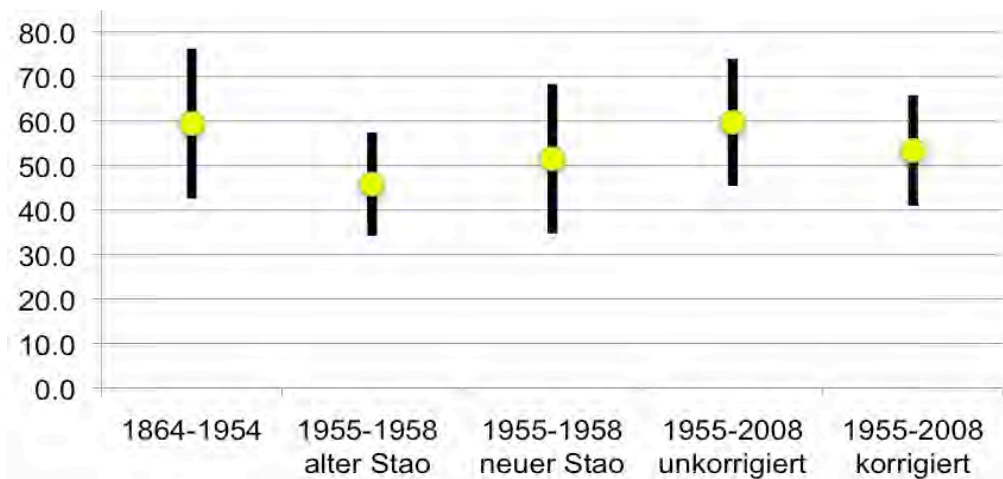
Figur 3.1: Föhnhäufigkeiten an den beiden Standorten 5 und 6 während der Periode 1954 bis 1958.

Es fällt auf, dass die Föhnhäufigkeit an der neuen Station zu allen Beobachtungsterminen grösser ist als am alten Standort. Die Zunahme beträgt rund 12 % und ist sehr gleichmässig auf die Termine verteilt. Somit ist man versucht, die neuen Werte an die alten anzupassen, indem man sie entsprechend korrigiert. Ein t-Test ergibt allerdings einen Wert von 0.3, was bedeutet, dass zwischen den gefundenen Mittelwerten kein signifikanter Unterschied besteht!

Vergleicht man die Mittelwerte der jährlichen Föhnhäufigkeiten in der Periode 1864 bis 1954 mit denjenigen in der Periode 1955 bis 2008, stellt man fest, dass diese praktisch identisch sind; sie betragen 59.4 bzw. 60.6 Fälle pro Jahr.

Betrachtet man die zu all diesen Mittelwerten dazugehörige Standardabweichung, ergibt sich die in Figur 3.2 dargestellte Situation: (i) die Mittelwerte für die beiden Standorte in der Überlappungsperiode sind kaum verschieden, (ii) die Häufigkeiten vor und nach dem Stationswechsel sind praktisch identisch, (iii) eine Korrektur würde zu einer unwahrscheinlich scheinenden Abnahme der Häufigkeiten nach dem Stationswechsel führen. Aufgrund dieser Resultate ist mit den Daten aus den parallelen Beobachtungen keine Homogenisierung möglich bzw. notwendig.

(Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass auch versucht wurde, mit der Föhnstation Bad Ragaz als Referenzstation einen möglichen Unterschied für die Föhnhäufigkeiten an den beiden Standorten nachzuweisen, was wegen der grossen Standardabweichungen natürlich auch hier nicht gelingen konnte.)



Figur 3.2: Mittelwerte und Standardabweichungen für verschiedene Perioden bzw. Standorte.

Es bleibt die Frage, woher die Unterschiede an den beiden Standorten kommen könnten. Naheliegender ist die Annahme, dass während der Vergleichsperiode die Anströmrichtung aus synoptischen Gründen leicht verschieden war von der mehrheitlich vorkommenden Richtung. So ist denkbar, dass eher östlich orientierte Föhnströmungen die neue Station 6 etwas früher erreichten als die Station 5, was zu der beobachteten höheren Föhnhäufigkeit an dieser Station führte. Eine diesbezügliche Analyse wurde allerdings nicht vorgenommen.

3.3 Möglichkeiten zur Weiterführung der langen Reihe

Seit 2008 wird die Information, ob in Altdorf Föhn herrscht oder nicht, aus den Daten der automatischen Messstation mittels der von Dürr (2008) entwickelten Methode extrahiert (siehe Kapitel 3.1.4). Diese automatisierte Föhnbestimmung ist operationell eingeführt und die Resultate werden im Data Warehouse von MeteoSchweiz gespeichert. Die Beobachtungen zu den Klimaterminen Morgen, Mittag und Abend könnten zwar aus den vorhandenen Messdaten weiterhin manuell extrahiert werden, es muss aber davon ausgegangen werden, dass dies mangels Personal nicht operationell erfolgen wird. Damit wäre die über 140 Jahre lange Zeitreihe in ihrer ursprünglichen Form abgeschlossen.

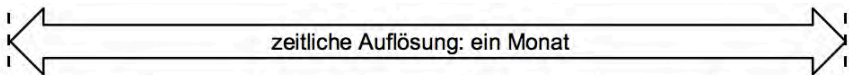
Für klimatologische Untersuchungen ist es aber wünschenswert, eine homogene, weiterlaufende Zeitreihe zur Verfügung zu haben. Es wurde deshalb nach Methoden gesucht, womit die bestehende lange Reihe der Beobachtungen zu den Klimaterminen ungebrochen fortgesetzt werden kann. Dabei bilden die Messwerte der Station Altdorf weiterhin die Basis. Die 10-minütlich anfallende Information "Föhn"/"kein Föhn" (siehe Kapitel 3.1.4) bildet bereits von 1981 bis 2008 die Basis für die manuelle Bildung der Monatssummen von Föhnbeobachtungen zu den Klimaterminen.

Die Messstation Altdorf gilt als NBCN-Station (Swiss National Basic Climate Network), also als schützenswert, und sie ist dadurch Teil des Nationalen Klima-Beobachtungssystems GCOS Schweiz (Seiz und Foppa, 2007). Dadurch ist die Fortführung gewährleistet, wobei der Schutz vor allem die Parameter Temperatur und Niederschlag umfasst. Für die Föhnbeurteilung sind aber insbesondere auch die Luftfeuchtigkeit und die Parameter Wind und Windrichtung wesentlich. Das heisst, Altdorf sollte als vollauserüstete Messstation den Schutz für die ununterbrochene Weiterführung geniessen. Als wesentlicher Zusatzpunkt ist darauf hinzuweisen, dass für die automatisierte Föhnbestimmung die Messstation Gütsch eine massgebliche Rolle spielt (siehe Kapitel 3.1.4), welche jedoch zurzeit nicht zum NBCN und damit nicht zum schützenswerten Nationalen Klima-Beobachtungssystem GCOS Schweiz gehört.

3.3.1 Extraktion von Terminbeobachtungen aus den 10-Minuten-Föhnindizes

Die automatisierte Föhnbestimmung für jedes 10-Minutenintervall ist - wie erwähnt - ab 1. Juni 1981 vorhanden, und die "manuelle" Föhnbestimmung zu den Klimaterminen wurde bis Ende 2008 weitergeführt. Es existieren somit zwei Zeitreihen über Föhn in Altdorf, die zwar auf den gleichen Grunddaten - den Messwerten der automatischen Station - basieren, die aber mit unterschiedlichen Methoden erzeugt wurden und eine verschiedene zeitliche Auflösung haben. Diese beiden 331 Monate - also knapp 28 Jahre - langen Zeitreihen bilden eine gute Basis für die Entwicklung eines automatischen Transformationsverfahrens.

Die "alte" Zeitreihe enthält die Terminbeobachtungen nicht für jeden Tag, sondern nur als Monatssummen. Bezogen auf das Jahr ist die zeitliche Auflösung somit ein Monat. Allerdings wird für jeden der drei Termine (Morgen, Mittag und Abend) die Monatssumme separat gebildet. Diese drei Beobachtungen pro Tag definieren somit die zeitliche Auflösung innerhalb des Tages der auf Monate zusammengefassten Zeitreihe. (siehe Figur 3.3)



	Jan	Feb	...	...	Dez	Jahr jj
Morgen	$\sum_{Jan\ jj} FT_{Mo}$	$\sum_{Feb\ jj} FT_{Mo}$	...	...	$\sum_{Dez\ jj} FT_{Mo}$	$\sum_{Jan-Dez\ jj} FT_{Mo}$
Mittag	$\sum_{Jan\ jj} FT_{Mi}$	$\sum_{Feb\ jj} FT_{Mi}$	...	...	$\sum_{Dez\ jj} FT_{Mi}$	$\sum_{Jan-Dez\ jj} FT_{Mi}$
Abend	$\sum_{Jan\ jj} FT_{Ab}$	$\sum_{Feb\ jj} FT_{Ab}$	...	...	$\sum_{Dez\ jj} FT_{Ab}$	$\sum_{Jan-Dez\ jj} FT_{Ab}$
Tag	$\sum_{Jan\ jj} (FT_{Mo} + FT_{Mi} + FT_{Ab})$	$\sum_{Feb\ jj} (FT_{Mo} + FT_{Mi} + FT_{Ab})$	...	...	$\sum_{Dez\ jj} (FT_{Mo} + FT_{Mi} + FT_{Ab})$	$\sum_{Jan-Dez\ jj} (FT_{Mo} + FT_{Mi} + FT_{Ab})$

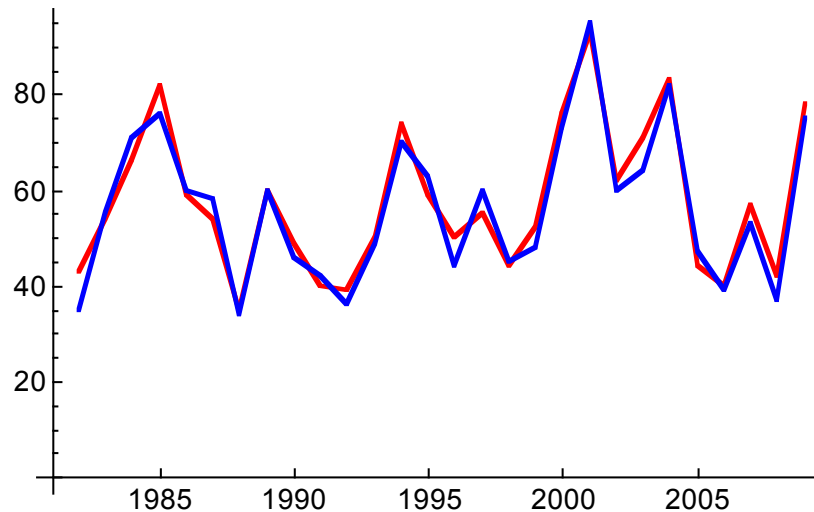
Figur 3.3: Übersicht zur Bildung der Monatssummen für das Jahr jj. FT steht für Föhntermin, Mo für Morgen, Mi für Mittag und Ab für Abend. Die zeitliche Auflösung innerhalb des Jahres ist somit ein Monat, dies aber separat für jeden der drei Beobachtungstermine Morgen, Mittag und Abend. Als sekundäre bzw. zusammengefasste Grössen werden die Monatssummen für alle Föhntermine innerhalb eines Monats (Zeile "Tag") bzw. innerhalb des Jahres (Kolonne "Jahr jj") gebildet. Zur Verbesserung der Übersicht wurden die Monate März bis November weggelassen.

Zur Weiterführung der "alten" Zeitreihe wird folgende Methode vorgeschlagen:

- In der Zeitreihe der 10-Minuten-Föhnindizes werden täglich die Klimatermin-Zeiten ausgewählt, also 05:40 für Morgen, 11:40 für Mittag und 17:40 UTC für Abend.
- Um diese Zeitpunkte herum werden Fenster von total je **sechs** 10-Minuten-Intervallen gelegt; drei Intervalle vor, zwei nach den Nominalzeit-Intervallen.
- Sofern innerhalb dieser Fenster das automatische Verfahren für mindestens **vier** der sechs Intervalle "Föhn" ergibt, wird für den betreffenden Klimatermin "Föhn" angenommen.
- Anschliessend werden aus den Tageswerten die in der "alten" Reihe üblichen Monatssummen, getrennt für den Morgen-, Mittag- und Abendtermin, gebildet.

Eine Vergleichsanalyse über die 331 Monate hat gezeigt, dass bei der Wahl "vier aus sechs - Föhnindizes sind notwendig" die beste Übereinstimmung zwischen den Monatssummen der

manuell, semiquantitativ bestimmten Föhnfällen und den automatisch aus den 10-Minuten-Föhnindizes extrahierten Monatssummen besteht. Die Variationsanalyse wurde sowohl mit Monats- als auch mit Jahressummen durchgeführt; beide ergaben die beste Übereinstimmung mit der "vier aus sechs"-Formel. Dabei spielt es keine Rolle, ob das Intervallfenster (das ja gerade ist), drei Intervalle oder zwei Intervalle vor der Referenzzeit "Morgen", Mittag" oder "Abend" beginnt; da Monatssummen gebildet werden, gleichen sich allfällige Unterschiede aus. Hochgerechnet auf ein Jahr ergeben sich für die verwendete Vergleichsperiode mit der klassischen Methode 58.4, mit der automatischen 57.2 Föhntermine. Figur 3.4 zeigt den Vergleich der Jahressummen, während Tabelle 3.3 einige weitere Eckwerte auflistet.



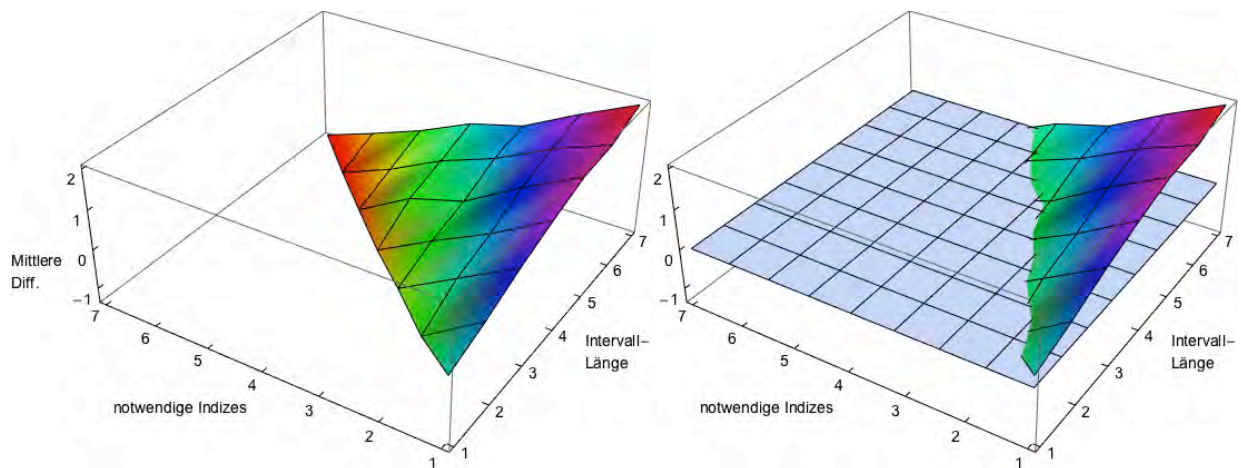
Figur 3.4: Verlauf der Jahressummen der manuell bestimmten Föhntermine (rot) und den mit obiger Formel aus den 10-Minuten-Föhnindizes abgeleiteten Werten (blau) für die Zeit von 1981 bis 2008. Da die 10-Minuten-Föhnindexdaten erst ab Juni 1981 vorhanden sind, wurden die Werte für die Jahressummen für 1981 hochgerechnet. Einige quantitative Angaben finden sich in Tabelle 3.3.

Tabelle 3.3 Vergleich einiger Kennzahlen der manuell bestimmten Föhntermine (Kapitel 3.1.3) und der aus den 10-Minuten-Föhnindizes abgeleiteten Werte (Kapitel 3.1.4), getrennt für Monats- und Jahressummen. Da die 10-Minuten-Föhnindexdaten erst ab Juni 1981 vorhanden sind, wurden die Werte für die Jahressummen für 1981 hochgerechnet.

	Monatssummen	Jahressummen
Mittelwert über 331 Monatssummen, bzw. 28 Jahressummen; manuell	4.79 ± 5.01	58.4 ± 15.3
Mittelwert über 331 Monatssummen, bzw. 28 Jahressummen; abgeleitet aus den automatisch bestimmten Föhnindizes	4.69 ± 5.01	57.2 ± 15.6
Mittlere Differenz	0.103 ± 1.0	1.23 ± 3.7
RMS-Differenz	1.0	3.8
Korrelationskoeffizient	0.98	0.99
max. positive Abweichung der abgeleiteten Termine	+4	+5
max. negative Abweichung der abgeleiteten Termine	-4	-8

Ein Verschieben des Zeitfensters um ± 1 h hat keinerlei signifikanten Einfluss auf diese Kennzahlen. Während also die genaue Lage des Zeitfensters - Morgen, Mittag, Abend - eher

unkritisch ist, bestimmt die Kombination aus der Anzahl der notwendigen positiven Föhnindizes und der Länge des Zeitfensters in klarer Weise die Differenz zwischen den Terminsummen: Je geringer die Anzahl der notwendigen positiven Föhnindizes innerhalb des Zeitfensters ist, desto grösser der Überschuss an extrahierten Terminen, je länger das Zeitfenster bei gleichbleibender Anzahl notwendiger positiver Föhnindizes ist, desto grösser die Differenz (Figur 3.5). Grundsätzlich ist jede Kombination "Fensterlänge"/"notwendige positive Föhnindizes", welche auf der Nullebene liegt, für die Extraktion geeignet. Der Wert "vier aus sechs" wurde gewählt, weil die Korrelation der Zeitreihen umso grösser ist, je länger das Zeitfenster ist; dies lässt sich mit der Tatsache erklären, dass ein längeres Zeitintervall eine ausgeglichenerere Statistik beinhaltet.



Figur 3.5: Mittlere Differenz der Jahressummen zwischen den aus 10-Minuten-Föhnindizes extrahierten Terminen und den manuell bestimmten. Die vertikale Achse bezieht sich auf die Differenz (rot entspricht -1, grün 0, violett +2 Termine), die nach rechts hinten laufende Achse die Länge des Zeitfensters (1 bis 7 10-Minutenintervalle), die vordere Achse die Anzahl der notwendigen positiven Föhnindizes für einen Termin. Die Figur rechts ist identisch mit der Figur links, ausser dass hier noch die Null-Differenz-Ebene dargestellt wird.

Grundsätzlich stünde auch die Möglichkeit offen, aus beiden Zeitreihen die Anzahl der (monatlichen) Föhntage zu extrahieren. Ein Föhntag ist definiert als Tag, an welchem zu irgend einem Zeitpunkt während einer beliebig kurzen Zeit Föhn herrschte; Föhntage werden z.B. in Österreich erfasst. Da mit diesem Vorgehen die Morgen-, Mittag- und Abendbeobachtungen zusammengefasst werden, geht die Information über den tageszeitlichen Verlauf verloren; dieses Verfahren wurde deshalb verworfen.

3.3.2 Berechnung von Föhnstunden aus 10-Minuten-Föhnindizes

Für bestimmte Untersuchungen ist es von Interesse, die Anzahl der Föhnstunden innerhalb bestimmter Perioden zu kennen. Für den Zeitraum 1955 bis 2008 wurden Föhnstunden aus den Stationsdaten bestimmt, indem für jeden Föhnfall die auf eine ganze Stunde gerundeten Zeitpunkte des Föhneinbruchs und des Föhnzusammenbruchs erfasst wurden (siehe Kapitel 3.1.3). Diese Daten bilden die Grundlage verschiedener Stundendateien (siehe Kapitel 3.5).

Im Zeitraum Juni 1981 bis Ende 2008 konnte eine Vergleichsanalyse zwischen den manuell erfassten Föhnstunden und den automatisch berechneten 10-Minuten-Föhnindizes vorgenommen werden. Dabei hat sich gezeigt, dass es nicht sinnvoll ist, einen Kalender der Föhnstunden weiterhin zu führen: Die bisher von 1955 bis 2008 vorhandene Zeitreihe kann ab 1981 ohne Informationsverluste durch die Zeitreihe der 10-Minuten-Föhnindizes ersetzt werden. Die Analyse zeigt, dass die Gesamtdauer von Föhn zwischen 1981 und 2008 - berechnet einerseits aus den manuell bestimmten Föhnstunden, andererseits aus der Summe der 10-Minuten-Föhnindizes - sich nur gerade um 33 h 20' unterscheidet, dies entspricht 0.25 % (bei einem Total von 13'050 h).

Diese Resultate zeigen, dass eine Weiterführung ab 2009 des Föhnkalenders bzw. eine Extraktion der Föhnstundendatei aus den 10-Minuten-Föhnindizes nicht sinnvoll ist. Sofern Bedarf nach derartigen Daten besteht, können diese mit geringem Aufwand direkt aus den 10-Minuten-Föhnindizes berechnet werden; Föhnbeginn und -ende können zudem damit genauer definiert werden.

3.3.3 *Zeitlich höher aufgelöste Föhnzeitreihen - und die Grenzen ihres Nutzens*

Sowohl bei der Extraktion von Terminbeobachtungen als auch bei der Bestimmung der Föhndauer aus den 10-Minuten-Föhnindizes erzielt man eine wesentlich bessere zeitliche Auflösung als diejenige der klassischen Zeitreihe: bei den Terminen rund 8 Stunden, bei den Föhndauern 10 Minuten. Damit ergeben sich bei einer Zeitreihenanalyse neue Möglichkeiten, dies aber natürlich erst ab dem 1. Juni 1981.

Wenn es aber darum geht, mittels klimatologischer Analysen z.B. eine Änderung der Föhnhäufigkeit nachzuweisen, bleibt man auf die lange, klassische Zeitreihe angewiesen. Selbst dort ist vorläufig keinerlei Trend erkennbar, die Variabilität von Jahr zu Jahr ist sehr hoch. Die neu erreichte höhere Auflösung kann für Fallstudien von Föhn eine grosse Hilfe sein, ihr Nutzen für die Klimatologie beschränkt sich aber darauf, dass die abgeleiteten Terminbeobachtungen wegen der objektiven Methoden allenfalls homogener ausfallen, als dies früher der Fall war.

3.3.4 *Hochrechnung der Terminbeobachtungen auf Stundenwerte*

Neben den aus historischen Gründen wichtigen Terminbeobachtungen sind auch die Summen der Föhnstunden klimatologisch interessant.

Für den Zeitraum 1955 bis 2008 sind - wie erwähnt - sowohl manuell bestimmte Föhntermine als auch Föhnstunden (in "echten" Stundenintervallen) mit maximaler zeitlicher Auflösung vorhanden. Die Koppelung der beiden Zeitreihen kann (statistisch gesehen) recht komfortabel erfolgen, wurden doch die Daten während 54 Jahren weitgehend unabhängig voneinander, parallel erfasst. Es ist naheliegend, die effektiven Terminbeobachtungen mit der Anzahl der Föhnstunden für verschiedene Zusammenfassungen bzw. Summen zu korrelieren. Dabei zeigte sich, dass die sinnvollste Umrechnung der "alten" Termindaten in Föhnstunden darin besteht, dass die Terminsummen ganz einfach mit einem konstanten Faktor multipliziert werden.

In der Vergleichsperiode 1955 bis 2008 wurden insgesamt 26'512 Föhnstunden bzw. 3265 Beobachtungen von Föhn zu den drei Klimaterminen registriert. Daraus ergeben sich 8.12 Föhnstunden pro Beobachtung, was dem theoretischen Wert von 8.0 erstaunlich nahe kommt. Damit wurde wie folgt transformiert:

$$\text{Anzahl Föhnstunden} = 8.12 * \text{Anzahl Terminbeobachtungen}$$

Rechnet man die Zeitreihe der Monatssummen mit diesem Faktor in Stunden um und korreliert man diese mit der jeweiligen Stundensumme, so ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von 0.96 (bei einer Stichprobe von 648 Monaten). Die entsprechende Irrtumswahrscheinlichkeit liegt unter 0.1 %, die Standardabweichung bei 0.44 h.

Zur Abschätzung der Zuverlässigkeit von Vergleichen der Tagesgänge wurden auch die Korrelationen der einzelnen Monatssummen von jeweils nur einem der drei Beobachtungstermine berechnet. Dazu ist es notwendig, die Stundendaten über den Tag zu dritteln. Der Einfachheit halber erfolgte dies innerhalb des gleichen Tages: Stundensummen wurden gebildet für die Perioden von 00 bis 08, 09 bis 16 und von 17 bis 24 UTC. Die korrespondierenden Terminbeobachtungen liegen somit nicht perfekt in der Mitte dieser Zeitintervalle, weshalb mit einem reduzierten Korrelationskoeffizienten gerechnet werden muss. Es zeigt sich aber, dass die Resultate ganz ähnlich sind. Interessant ist die Tatsache, dass die Standardabweichung für die Summen über alle Termine grösser (0.44 h) ist als über die einzelnen Termine (für alle drei Termine etwa 0.23 h). Grund dafür dürfte die Tatsache sein, dass sich die Mittelwerte für die einzelnen Termine signifikant voneinander unterscheiden

(siehe Kapitel 4.2), eine Zeitreihe über Einzeltermine ist somit homogener als wenn alle Termine zusammengefasst werden.

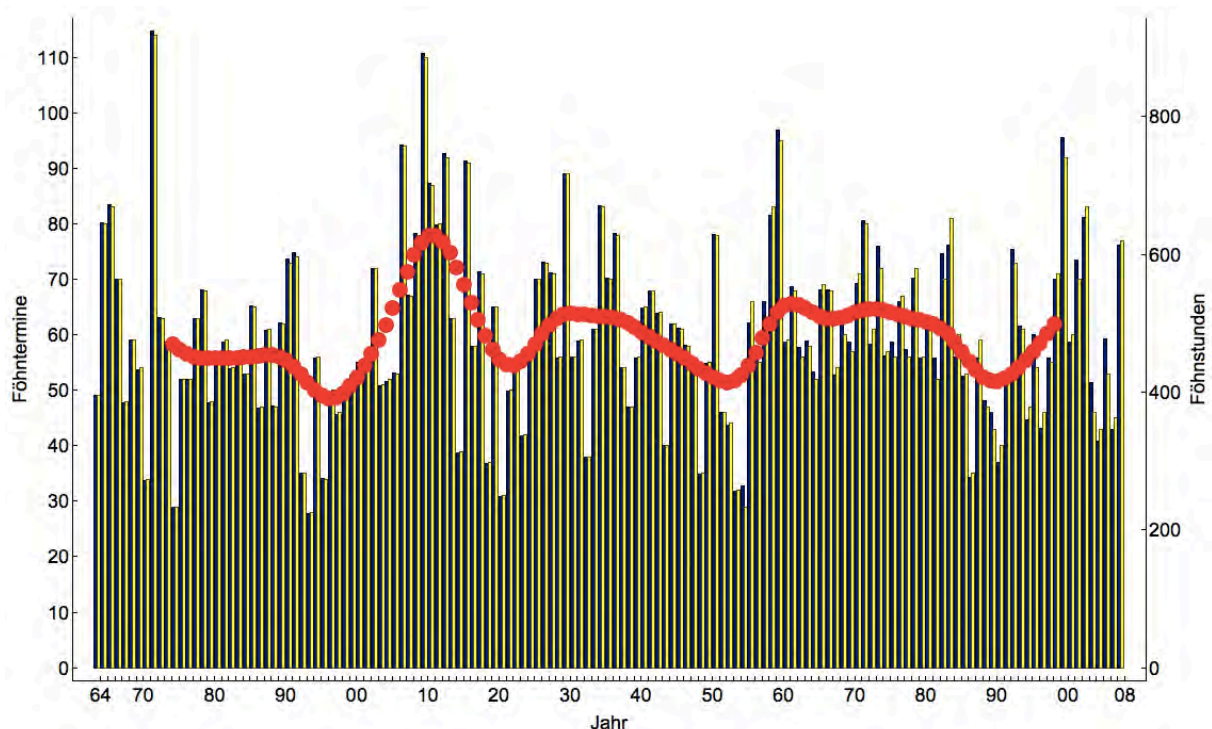
Mit nur drei Terminen wird der Tagesgang zwar schlecht aufgelöst, eine Weiterführung der Zeitreihenanalyse mit Stundensummen, welche sich auf die ursprünglichen, in der "alten" Zeitreihe verwendeten Beobachtungstermine beziehen, mag aber wünschenswert sein und scheint, statistisch gesehen, auch zulässig.

Ab 1981 können die Stundensummen mit hoher Genauigkeit direkt aus den 10-Minuten-Föhnindizes berechnet werden, wie dies in Kapitel 3.1.4 diskutiert wurde.

3.3.5 Vergleich der simulierten Zeitreihen über die gesamte Länge

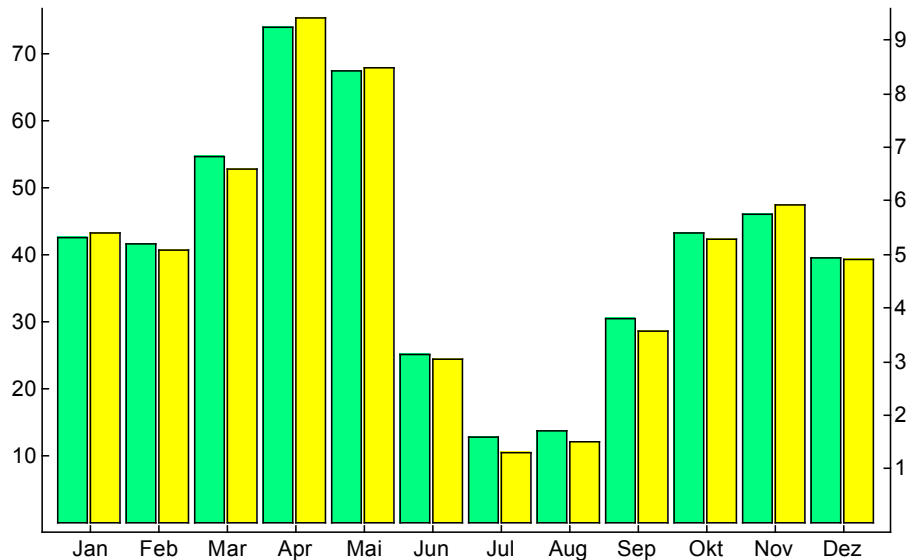
Die Zeitreihe mit den Terminbeobachtungen wurde mit der beschriebenen Transferfunktion in eine Zeitreihe der Föhnstunden umgerechnet.

Die Figur 3.6 zeigt graphisch das Resultat für die Jahressummen. Wie ersichtlich ist, zeigt die simulierte Föhnstunden-Zeitreihe eine praktisch identische Variabilität über die gesamte Länge der Zeitreihe. Die rote Linie stellt das mittels Gaussfilter berechnete gleitende Mittel über 20 Jahre dar. Um einen direkten Vergleich zu erleichtern, wurden die Termindaten mit dem bei der Umrechnung verwendeten Faktor (8.12) skaliert. Die Übereinstimmung vor 1955 kann nicht überraschen, da die Stundendaten aus einer linearen Transformation berechnet wurden. Ab 1955 dagegen sind die unabhängig erfassten Terminbeobachtungen bzw. Föhnstunden dargestellt. Entsprechend ist die mittlere RMS-Differenz (root mean square) zwischen den skalierten, jährlichen Daten vor 1955 weniger als 0.5 % (was dem numerischen Noise, also der Diskretisierung entspricht). Im Intervall 1955 bis 2008 beträgt die RMS-Differenz dagegen 4.7 %; Der Mittelwert der Differenz ist aber auch hier zwingend Null, da ja die Umrechnungsparameter aus eben diesen Daten bestimmt wurden.



Figur 3.6: Vergleich der Jahressummen der Terminbeobachtungen (schwarz, Skala links) mit den Jahressummen der Föhnstunden (gelb, Skala rechts) für die Periode 1864 bis 2008. Die rote Linie stellt die mittels Gauss-Tiefpassfilter über 20 Jahre gleitend gemittelten Werte dar. Vor 1955 sind die Föhnstunden aus den Terminbeobachtungen berechnet, ab 1955 wurden sie aus den kontinuierlichen Registrierungen manuell bestimmt.

Neben der Zeitreihe der Jahressummen wurden auch die Monatssummen über die ganze Periode 1864 bis 2008 berechnet und miteinander verglichen. Figur 3.7 zeigt die Gegenüberstellung, welche einmal mehr den ausgeprägten Jahresgang der Föhnfälle unterstreicht. Der Korrelationskoeffizient zwischen den Werten ist >0.999 . Das mag auf den ersten Blick selbstverständlich scheinen, allerdings ist zu bedenken, dass in dieser Analyse die 53 Jahre miteingeschlossen sind, während denen Terminbeobachtungen und Stundenwerte separat erfasst wurden.



Figur 3.7: Vergleich der Föhnstunden (grün) mit den Terminbeobachtungen (gelb) für einzelne Monate gemittelt über die Periode 1864 bis 2008. Die Zahlen entsprechen Stunden pro jeweiligen Monat (linke Skala) bzw. Terminbeobachtungen pro jeweiligen Monat (rechte Skala). Föhnstunden sind für die Zeit vor 1955 rekonstruiert. Um einen Vergleich zu erleichtern, wurde die Skala für die Terminbeobachtungen mit dem Faktor 8 gestreckt.

Diese Überprüfungen zeigen, dass die seit 1864 bestehende, wertvolle klimatologische Zeitreihe der Föhnbeobachtungen mittels der beschriebenen Transformationen homogen weitergeführt werden kann, auch wenn sich die Bestimmungsmethode weitgehend geändert hat. Dabei spielt es keine Rolle, ob man sich auf Summen von Terminbeobachtungen konzentrieren will oder ob man die Stundensummen bevorzugt.

Eine detaillierte klimatologische Analyse und Diskussion der Zeitreihen findet sich in Kapitel 4.

3.4 Spezielle Auswerteperioden

Die klimatologische Analyse und insbesondere die Erfassung der Änderungen im langjährigen Föhnregime basiert auf dem Vergleich verschiedener Klimaperioden. Die gesamte Auswerteperiode umfasst die Jahre von 1864 bis 2008. Innerhalb dieser Auswerteperiode sind vier klassische 30-jährige Klimaperioden verfügbar: 1871 bis 1900, 1901 bis 1930, 1931 bis 1960 und 1961 bis 1990.

Neben den klassischen Klimaperioden werden zwei Auswerteperioden durch technische Vorgaben beziehungsweise durch veränderte Datenverfügbarkeit definiert. So wurde 1955 an der Messstation Altdorf ein Windmesser mit Windregistrierung installiert. Durch die somit ab 1955 kontinuierlich vorhandene Windaufzeichnung wird es möglich, die Föhnaktivität in der Periode 1955 bis 2008 auf Stundenbasis zu erfassen. Vor 1955 liegen alle Messdaten ausschliesslich als 07:30, 13:30 und 21:30 h MEZ Terminwerte vor (siehe Tabelle 2.2).

Die wohl grösste Änderung in der Messperiode seit 1864 erfolgte 1978 mit der Installation einer automatischen Messstation. Ab Januar 1981 sind kontinuierlich erfasste Messdaten als 10-Minuten-Werte im DWH verfügbar (siehe Kapitel 3.5).

Speziell betrachtet wurden die letzten 25 Jahre, also 1984 bis 2008. Die hier vorgestellten Analysen aus dieser Messperiode basieren auf Stundenwerten, aggregiert aus den 10-Minuten-Daten. Um die Föhnvariabilität innerhalb der vergangenen 25 Jahre aufzuzeigen, wurden zusätzlich die erste und letzte Dekade (1984 bis 1993 sowie 1999 bis 2008) gesondert analysiert.

3.5 Datenbanken

3.5.1 Basisdaten

Die Basisdaten zu den in diesem Bericht vorgestellten Analysen stammen zum grössten Teil vom Datenbank-System (Data Warehouse, DWH) der MeteoSchweiz (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie). Bis zur Automatisierung des Messnetzes liegen die Daten als Terminwerte vor (siehe Tabelle 2.2). Als Aggregierungsstufen sind vor der Automatisierung zudem Tages-, Monats- und Jahreswerte verfügbar (Figur 3.8).

Altdorf 02.01.1919 00:00 UTC - 05.01.1919 23:50 UTC				
Date/Time	tre200s0 [°C]	ure200s0 [%]	fu3010z0 [km/h]	dkl010z0 [°]
02.01.1919 06:00	0.6	79.0	0.0	360
02.01.1919 12:00	4.4	60.0	0.0	360
02.01.1919 20:00	0.6	83.0	0.0	90
03.01.1919 06:00	1.6	62.0	0.0	360
03.01.1919 12:00	6.2	52.0	0.0	360
03.01.1919 20:00	9.8	32.0	44.0	135
04.01.1919 06:00	8.4	41.0	9.0	135
04.01.1919 12:00	11.2	33.0	68.0	135
04.01.1919 20:00	10.7	33.0	95.0	135
05.01.1919 06:00	7.4	84.0	44.0	225
05.01.1919 12:00	6.1	98.0	0.0	315
05.01.1919 20:00	5.2	88.0	0.0	315

Figur 3.8: Terminwerte an der Messstation während des Mittellandföhns vom 2. bis 5. Januar 1919. Auszug und Darstellung des Datenbank-Systems (Data Warehouse, DWH) der MeteoSchweiz. Von links nach rechts sind dargestellt: Datum und Zeit UTC (grau hinterlegt); 2m-Temperatur; relative Luftfeuchtigkeit; Windgeschwindigkeit; Windrichtung.

Altdorf 08.12.2006 00:00 UTC - 08.12.2006 23:50 UTC				
Date/Time	tre200s0 [°C]	ure200s0 [%]	fu3010z1 [km/h]	dkl010z0 [°]
08.12.2006 02:10	7.9	74.4	24.5	314
08.12.2006 02:20	7.7	75.9	23.0	326
08.12.2006 02:30	7.4	77.3	18.4	246
08.12.2006 02:40	7.9	74.5	60.1	137
08.12.2006 02:50	9.7	63.1	58.0	144
08.12.2006 03:00	15.9	35.8	57.2	135
08.12.2006 03:10	16.3	34.3	69.8	130
08.12.2006 03:20	16.2	35.1	65.9	122
08.12.2006 03:30	15.7	37.5	42.1	118
08.12.2006 03:40	15.9	36.4	65.5	132
08.12.2006 03:50	16.5	33.9	59.4	127
08.12.2006 04:00	16.7	31.7	78.1	129
08.12.2006 04:10	16.5	33.0	93.2	122
08.12.2006 04:20	17.1	29.9	96.8	133

Figur 3.9: 10-Minuten-Werte an der Messstation während des Föhneinsatzes vom 8. Dezember 2006. Auszug und Darstellung des Datenbank-Systems (Data Warehouse, DWH) der MeteoSchweiz. Von links nach rechts sind dargestellt: Datum und Zeit UTC (grau hinterlegt); 2m-Temperatur; relative Luftfeuchtigkeit; Windspitze; Windrichtung.

Mit der Automatisierung der Messstation im Jahr 1981 sind auf dem DWH-Server der MeteoSchweiz 10-Minuten-Werte sowie die Aggregierungsstufen Stunden-, Tages-, Monats- und Jahreswerte verfügbar (Figur 3.9).

Die nach der Methode von Dürr (2008) bestimmten 10-Minuten-Föhnindizes werden seit 1981 bis heute wöchentlich auf dem AGF-Server (<ftp://www.agf.ch/archiv/>) unabhängig vom DWH aktualisiert. Die operationelle Bearbeitung auf dem DWH ist ab 2008 verfügbar, und Datenlücken werden zurzeit noch nicht automatisch nachaggregiert.

Die Dateien auf dem AGF-Server enthalten jeweils die Zeit UTC und den Föhnindex mit den Werten 0 (kein Föhn), 1 (Föhnmischluft), 2 (Föhn) und NA („not available“: nicht verfügbar). Werte grösser 0 gelten als Föhn. Der Dateiname besteht aus dem Stationskürzel „alt“ für Altdorf, der Kennung für die 10-Jahresperiode (z.B. 8190 für 1981 bis 1990) und einer Kennung für den Dateimodus (3 bedeutet Ausgabe des Föhnindex für sämtliche Zeitschritte). Die meteorologischen Basisdaten werden wöchentlich als ASCII-Datei von der MeteoSchweiz via FTP auf den AGF-Server übermittelt. Nachträglich bearbeitete Reihen der Basisdaten der MeteoSchweiz müssen manuell auf den AGF-Server geladen werden.

Ab 2009 wird der Föhnindex nur noch zentral auf dem DWH-System bestimmt, die Bedeutung der Werte ist unverändert (siehe Figur 3.10).

Altdorf 12.05.2008 00:00 UTC - 13.05.2008 23:50 UTC		
Date/Time	wcc006s0 [C...	
12.05.2008 21:50		0
12.05.2008 22:00		0
12.05.2008 22:10		1
12.05.2008 22:20		1
12.05.2008 22:30		1
12.05.2008 22:40		2
12.05.2008 22:50		0
12.05.2008 23:00		1
12.05.2008 23:10		1
12.05.2008 23:20		2
12.05.2008 23:30		2
12.05.2008 23:40		2
12.05.2008 23:50		2
13.05.2008 00:00		2
13.05.2008 00:10		2
13.05.2008 00:20		2
13.05.2008 00:30		2

Figur 3.10: 10-Minuten Föhnindizes, wie sie vom DWH abgerufen werden können. Es bedeuten: 0: kein Föhn (Föhndauer 0 Minuten); 1 Föhnmischluft, die Föhnkriterien sind teilweise erfüllt (Föhndauer 10 Minuten); 2: Föhn (Föhndauer 10 Minuten).

3.5.2 Föhntermine, die "lange Reihe"

Für die Erarbeitung der langjährigen Föhnklimatologie, basierend auf den Terminwerten 1864 bis 2008, haben die Autoren eine Excel-Datei mit den monatlichen Föhnterminhäufigkeiten zusammengestellt (Figur 3.11). Diese ist auf der Web-Seite der Arbeitsgemeinschaft Föhnforschung Rheintal-Bodensee (AGF, <http://www.agf.ch>) verfügbar.

Year	jan			feb			mar			apr			may			jun			jul		
	Morgen	Mittag	Abend	Morgen	Mittag	Abend	Morgen	Mittag	Abend	Morgen	Mittag	Abend	Morgen	Mittag	Abend	Morgen	Mittag	Abend	Morgen	Mittag	Abend
1860																					
1861																					
1862																					
1863																					
1864	0	0	0	1	1	2	3	5	3	0	0	0	1	2	1	0	1	1	0	0	0
1865	1	2	2	0	0	1	0	1	2	2	4	5	3	7	6	0	0	0	1	1	2
1866	2	2	1	3	3	6	4	6	5	1	8	7	0	2	3	2	4	5	0	0	0
1867	3	1	2	4	5	5	1	5	3	2	3	2	3	6	4	0	1	0	1	1	2
1868	1	0	0	0	1	1	2	1	0	2	3	1	0	1	4	0	0	0	0	0	0
1869	1	2	1	4	3	4	1	1	3	1	2	4	5	8	5	1	1	1	1	0	0
1870	1	1	1	1	3	2	0	0	0	1	3	3	1	1	2	0	1	0	2	2	1
1871	1	2	1	0	0	0	4	3	4	1	1	1	0	1	2	1	2	2	0	2	2
1872	5	4	5	2	2	1	4	5	4	1	2	3	3	6	3	0	0	0	1	1	0
1873	1	5	1	1	1	1	2	5	8	3	3	3	1	1	2	1	2	2	0	0	1
1874	0	1	1	3	4	3	1	1	1	1	3	4	1	2	2	1	2	3	0	1	0
1875	0	0	2	0	0	1	0	0	0	2	2	1	0	1	0	0	2	3	0	0	0
1876	2	3	2	0	1	0	2	5	4	3	4	7	0	2	0	0	2	0	0	0	0
1877	5	6	7	1	1	0	1	4	2	2	3	3	0	3	1	1	0	1	0	0	0

Figur 3.11: Auszug aus der Excel-Datei mit den monatlichen Föhnterminhäufigkeiten.

3.5.3 Föhnkalender und Föhnstunden

Die Auswertung der Föhnstunden (Föhn/nicht Föhn) ab 1955 (die Stundenwerte 1955 bis 1980 sind nicht im DWH der MeteoSchweiz verfügbar) stützt sich auf den internen, nicht publizierten Föhnkalender der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt SMA (Vorläufer der MeteoSchweiz). Erhoben wurden die Stundenwerte vor der Automatisierung anhand der von der Messstation verfügbaren Papierstreifen der kontinuierlichen mechanischen Windaufzeichnung. Die detaillierte Zusammenstellung der Föhnstunden von 1955 bis 2008 erfolgte in einer Excel-Datei (Figur 3.12) durch Angabe von Föhnbeginn und -ende.

Year	Month	Period								Hours	Start/End Dates				Calculations		SummH
		Beginn	Beginn	Beginn	Beginn	Ende	Ende	Ende	Ende		Beginn	Beginn	Ende	Ende	AnzD	DiffH	
		dd	mm	yy	hh	dd	mm	yy	hh		DateN	Date	DateN	Date			
1955	Jan	16	1	55	1	16	1	55	8	8	20105	16-Jan-1955	20105	16-Jan-1955	0	8	8
		16	1	55	16	17	1	55	3	12	20105	16-Jan-1955	20106	17-Jan-1955	1	-12	12
	JanFeb	31	1	55	3	2	2	55	4	50	20120	31-Jan-1955	20122	2-Feb-1955	2	2	50
		4	2	55	22	4	2	55	22	1	20124	4-Feb-1955	20124	4-Feb-1955	0	1	1
		5	2	55	3	5	2	55	4	2	20125	5-Feb-1955	20125	5-Feb-1955	0	2	2
	März	20	3	55	20	21	3	55	20	25	20168	20-Mrz-1955	20169	21-Mrz-1955	1	1	25
		25	3	55	15	26	3	55	5	15	20173	25-Mrz-1955	20174	26-Mrz-1955	1	-9	15
	April	29	4	55	14	30	4	55	1	12	20208	29-Apr-1955	20209	30-Apr-1955	1	-12	12
	Mai	6	5	55	13	6	5	55	19	7	20215	6-Mai-1955	20215	6-Mai-1955	0	7	7
		16	5	55	24	17	5	55	20	21	20225	16-Mai-1955	20226	17-Mai-1955	1	-3	21

Figur 3.12: Auszug aus der Excel-Datei mit der Auswertung der Monats- und Jahressummen der Föhnstunden für die Messperiode 1955 bis 2008.

Die primäre Föhnstundendatei definiert die Föhnperioden in der Excel-Tabelle durch Angabe der Anfangs- und Endtermine. Um die Verarbeitung mittels beliebiger Programme zu erleichtern, wurde diese in eine Textdatei umgewandelt, in welcher jede Stunde der Periode 1955 bis 2008 aufgeführt ist (Figur 3.13). Eine Zeile entspricht einem Tag, der erste Parameter der Zeile definiert das Datum als YYYYMMDD, dann folgen 24 Parameter, die für jede Stunde entweder 1 (für Föhn) oder 0 (kein Föhn) enthalten, sowie ein Parameter, der die

Tagessumme der Föhnstunden zeigt. Auch diese beiden Dateien sind auf dem Server der AGF abrufbar.

```

. . . . .
19550317 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
19550318 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
19550319 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
19550320 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 5
19550321 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 20
19550322 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
19550323 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
19550324 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
19550325 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 10
19550326 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 5
19550327 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
. . . . .

```

Figur 3.13: Auszug aus der Text-Datei mit Angaben Föhn/kein Föhn für jede Stunde für die Messperiode 1955 bis 2008. Für eine Beschreibung der einzelnen Parameter siehe Text.

3.5.4 Zukünftige Speicherung zur Weiterführung der "langen Reihe"

Die im Kapitel 3.3.1 beschriebene Methode erlaubt die Extraktion von Föhnterminbeobachtungen aus dem automatischen Föhnindex. Damit kann die lückenlose Fortsetzung der langen Föhnterminreihe 1864 bis 2008 ab dem Jahr 2009 sichergestellt werden. Die dazu notwendigen Schritte sollten möglichst weitgehend in den operationellen Ablauf der Datenbearbeitung im Wetterdienst eingebaut werden. In Tabelle 3.4 ist ein möglicher Ablauf skizziert.

Tabelle 3.4: Vorschlag für den Aggregierungsablauf zur Fortsetzung der klassischen langen Föhnreihe.

Aktion	zeitlicher Ablauf	Methode	Speicherung
Akquisition der 10'-Primärdaten aus dem SMN			DWH
Berechnung des Föhnindex	in Quasi-Echtzeit	Kriterien gemäss Kapitel 3.1.4	DWH
Nachaggregation des Föhnindex	täglich	Kriterien gemäss Kapitel 3.1.4	DWH
Extraktion von Terminbeobachtungen Morgen, Mittag und Abend	täglich	Kapitel 3.3.1	DWH
Bildung der Monatssummen getrennt für Morgen, Mittag und Abend	monatlich	(selbsterklärend)	DWH Ergänzung bei AGF
Bildung der Jahressummen getrennt für Morgen, Mittag und Abend	jährlich	(selbsterklärend)	DWH Ergänzung bei AGF

Seit April 2008 wird - wie in Kapitel 3.5.1 bereits erwähnt - der Föhnindex an der MeteoSchweiz für die Station Altdorf und 11 weitere SMN-Stationen alle 10 Minuten operationell berechnet. Die Berechnung des Föhnindex im DWH ist leicht verschieden von der für den AGF-Server angewandten Methode: Das Stundenmittel der Windrichtung und der potentiellen Temperatur an der Station Gütsch wird im DWH als laufendes Stundenmittel (Mittel über die 6 vergangenen 10-Minutenwerte) berechnet, auf dem AGF-Server wird bis Ende 2010 das ANETZ-Stundenmittel (HH:50 - HH:40), ab 2011 das bürgerliche Stundenmittel (HH:10 - HH:00) verwendet. Der Einfluss dieser Änderung ist jedoch marginal, da nur

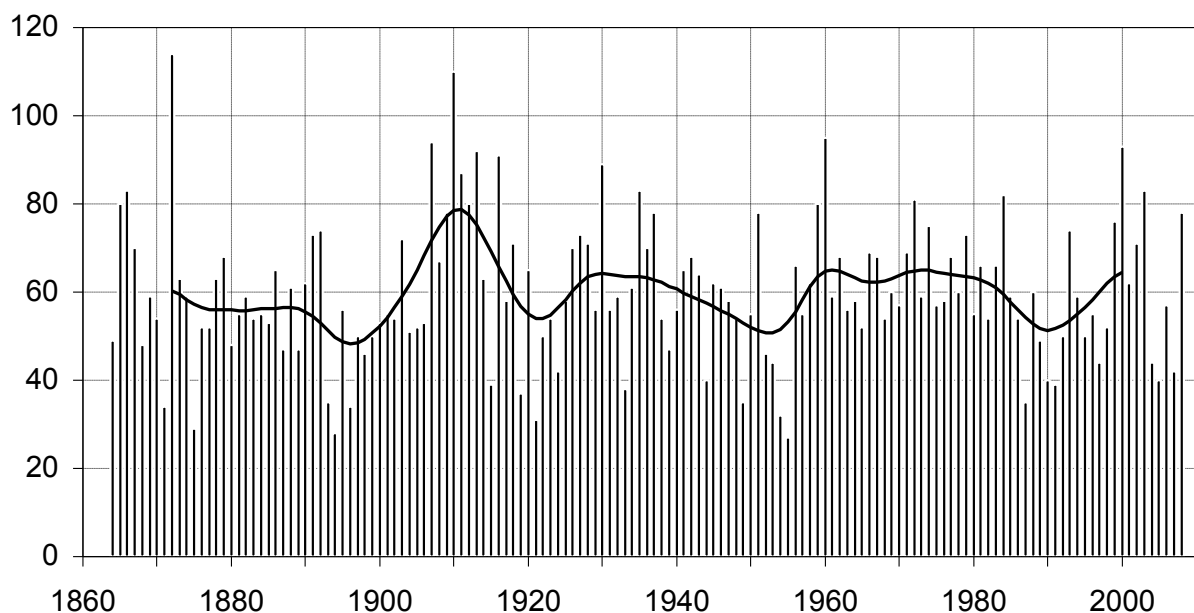
ganz selten das Föhnende an der Talstation und das Ende der Südüberströmung an der Station Gütsch zeitlich zusammenfallen. Meist tritt das Föhnende in den Tälern deutlich vor dem Ende der Südüberströmung des Alpenhauptkamms ein. Künftig werden die Föhnterminbeobachtungen direkt aus den Zeitreihen des Föhnindex auf dem DWH mit der im Kapitel 3.3.1 beschriebenen Methode bestimmt. Anschliessend werden auf dem DWH die üblichen Monats- und Jahressummen der Föhnterminbeobachtungen ab 2009 berechnet. Auch die vorliegende lange Reihe der Monatssummen der Föhntermine 1864 bis 2008 sollte auf dem DWH archiviert, und die Jahressummen entsprechend daraus berechnet werden.

4 Föhnklimatologie

4.1 Föhnvariabilität (inkl. Klimamittel 10- und 30-jährig)

Das hauptsächliche Merkmal im langjährigen Verhalten der Föhnhäufigkeit ist deren ausgeprägte Ausgeglichenheit. Der Jahresdurchschnitt 1864-2008 liegt bei 60 Beobachtungsterminen. Während des grössten Teils der Beobachtungsreihe liegt das 20-jährige gewichtete Mittel leicht über oder leicht unter dieser Marke (Figur 4.1). Die einzige markante Abweichung stellt die Phase um 1910 mit einer deutlich höheren Föhnhäufigkeit dar. Auffallend ist, dass vor dieser Phase das langjährige Mittel leicht unter, nach dieser Phase mehrheitlich leicht über dem oben genannten Gesamtdurchschnitt liegt. Über die gesamte Beobachtungsreihe ist kein Trend zu höherer oder geringerer Föhnhäufigkeit feststellbar.

Die grössten Föhnhäufigkeiten zeigen die Jahre 1872 (114 Termine), 1910 (110 Termine), 1960 (95 Termine) sowie 2000 (93 Termine). Mit Ausnahme des Maximaljahres 1872 treten Jahre mit hohen Föhnhäufigkeiten bevorzugt in mehrjährigen Phasen mit verstärkter Föhntätigkeit auf. Vergleichbares in umgekehrter Richtung gilt für die Minimaljahre. Die geringsten Föhnhäufigkeiten verzeichnen die Jahre 1955 (27 Termine), 1894 (28 Termine), 1875 (29 Termine) sowie 1921 (31 Termine). Jahre mit sehr geringen Föhnhäufigkeiten sind oft in mehrjährigen Phasen mit abgeschwächter Föhntätigkeit zu finden. Der Wechsel von Phasen mit verstärkter und abgeschwächter Föhntätigkeit erfolgt mehr oder weniger rhythmisch im Laufe der Zeit (gefilterte Kurve in Figur 4.1).

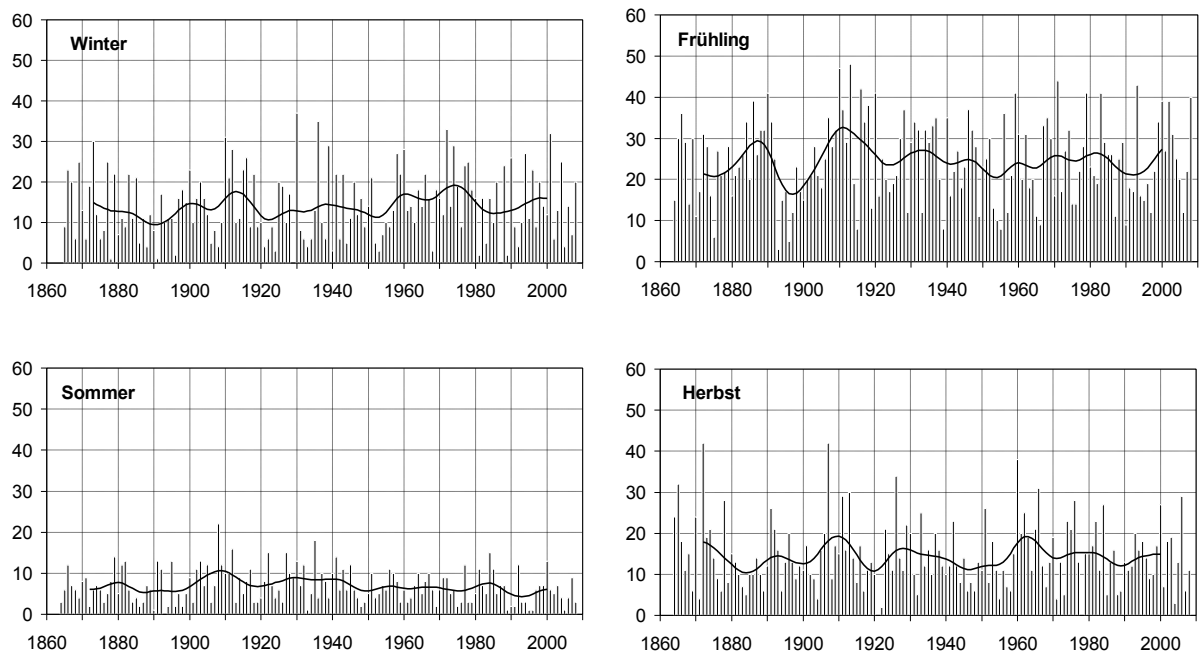


Figur 4.1: Föhnhäufigkeit 1864 bis 2008. Jährliche Anzahl Beobachtungstermine mit Föhn. Die Zahlen stellen die Summen der Morgen-, Mittags- und Abendbeobachtungen dar (genaue Zeiten siehe Tabelle 2.2). Die ausgezogene Linie zeigt das über 20 Jahre gleitende Mittel (Gauss-Tiefpassfilter).

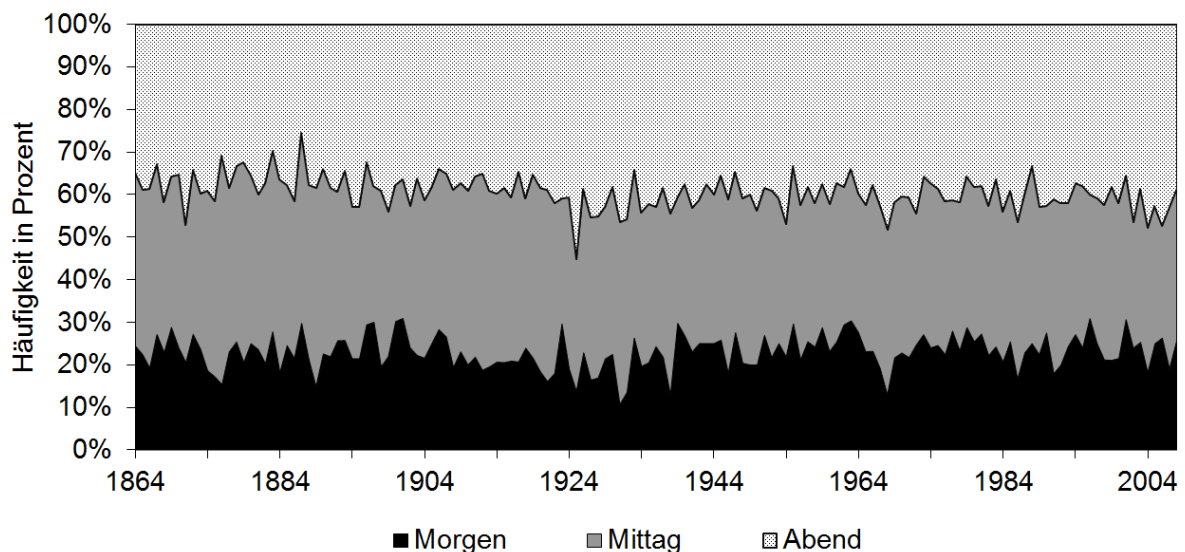
Saisonal dominiert der Frühling (Figur 4.2). Im langjährigen Durchschnitt (1864 bis 2008) werden im Frühling 25 Föhntermine registriert. Der Frühling bestimmt im Wesentlichen auch den langjährigen Verlauf der Jahres-Föhnhäufigkeit. So zeigt er die markante Zunahme der Föhnhäufigkeit um 1910 und ebenso die reduzierte Tätigkeit um 1895 sowie um 1955.

Die Saison mit der geringsten Föhnhäufigkeit ist eindeutig der Sommer mit durchschnittlich nur gerade 7 Föhnterminen. Herbst und Winter zeigen ähnliche Föhnhäufigkeiten mit durchschnittlich 15 bzw. 14 Terminen. Der detaillierte Jahresgang (monatliche Föhnhäufigkeiten) und dessen Variabilität werden weiter unten näher besprochen.

Die Bestimmung der Föhnhäufigkeiten zu den drei Beobachtungsterminen Morgen, Mittag und Abend (genaue Zeiten siehe Tabelle 2.2) zeigt auf, dass Föhn am Mittags- und am Abendtermin gegenüber dem Morgentermin rund doppelt so häufig auftritt (Figur 4.3). Im langjährigen Durchschnitt 1864 bis 2008 fallen pro Jahr 23 % auf den Morgentermin sowie 38 % bzw. 39 % auf den Mittags- bzw. auf den Abendtermin. Beim Mittags- und Abendtermin vollzog sich nach 1920 eine leichte Zunahme zu Gunsten des Abendtermins. Bis 1920 fielen auf den Mittagstermin 40 % und auf den Abendtermin 37 % der Föhnbeobachtungen. Ab 1920 waren es am Mittagstermin 36 % und am Abendtermin 41 %. Der Morgentermin zeigte sowohl vor als auch nach 1920 eine Föhnhäufigkeit von durchschnittlich 23 %.

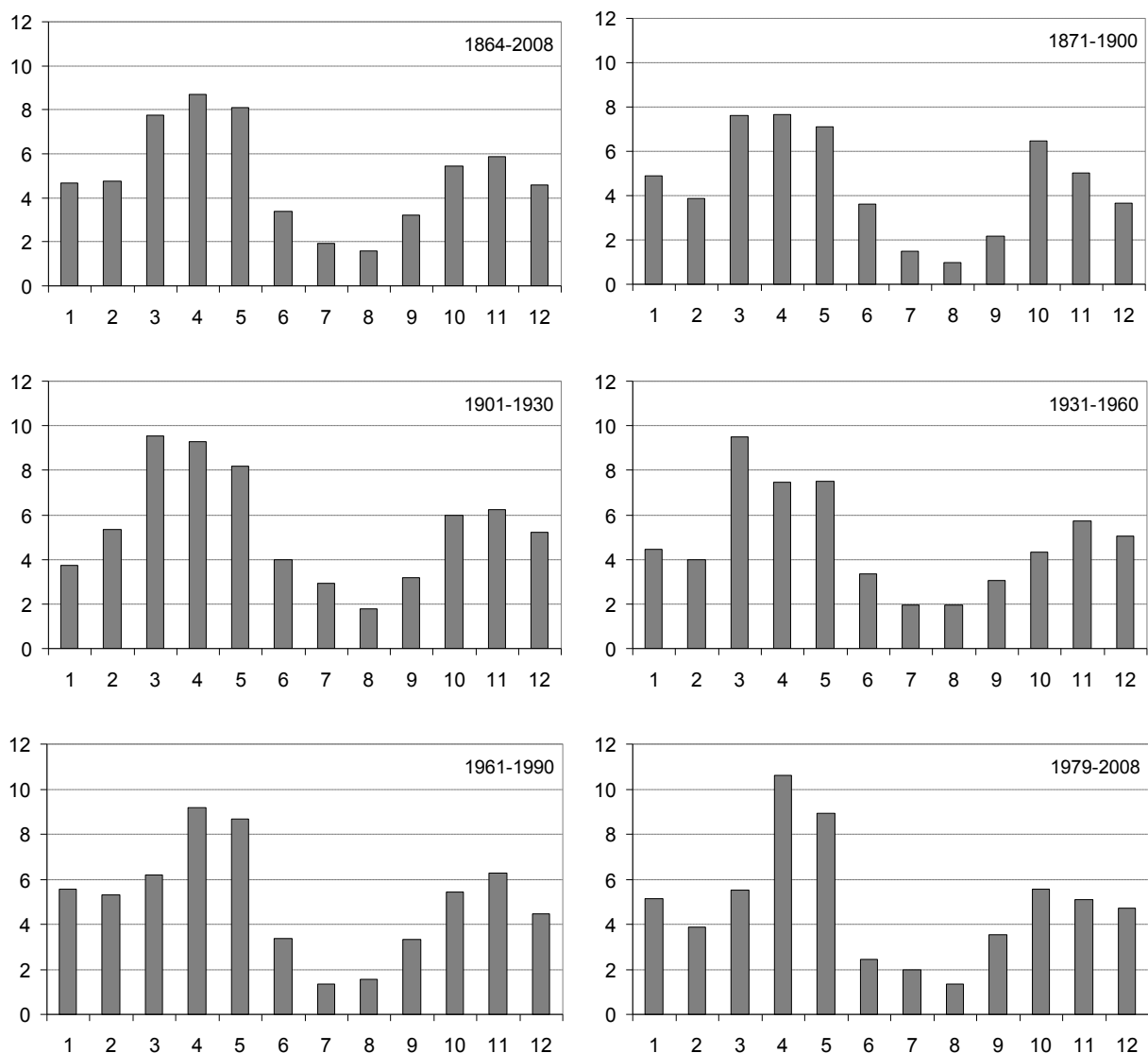


Figur 4.2: Jahreszeitliche Anzahl Beobachtungstermine mit Föhn 1864 bis 2008. Winter (DJF), Frühling (MAM), Sommer (JJA) und Herbst (SON). Die Zahlen stellen die Summen der Morgen-, Mittags- und Abendbeobachtungen dar (genaue Zeiten siehe Tabelle 2.2). Die ausgezogene Linie zeigt das über 20 Jahre gleitende Mittel (Gauss-Tiefpassfilter).



Figur 4.3: Jährliche prozentuale Verteilung der Häufigkeit von Föhn am Morgentermin, am Mittagstermin und am Abendtermin (genaue Zeiten siehe Tabelle 2.2). Die Datenreihe umfasst alle Beobachtungen von 1864 bis 2008.

In der Klimatologie des Jahresgangs ist vor allem in jüngster Zeit eine auffallende Veränderung feststellbar (Figur 4.4). In der gesamten Periode 1864 bis 2008 kommt klar zum Ausdruck, dass das Maximum der Föhnaktivität in den Monaten März bis Mai, also im meteorologischen Frühling, auftritt. Ab der Klimaperiode 1961 bis 1990 konzentriert sich das Maximum nur noch auf die beiden Monate April und Mai. Sehr ausgeprägt zeigt sich dies in den letzten 30 Jahren (1979 bis 2008). Der März hat seine Stellung als Monat mit hoher Föhnaktivität verloren. Die bereits bekannte Föhnflaute in den Sommermonaten Juni bis August kommt im Jahresgang gut zur Geltung. Wieder erhöhte Föhnhäufigkeiten ergeben sich anschliessend in den Monaten Oktober bis Februar, bzw. neu bis März. Im Oktober oder November zeichnet sich je nach Analyseperiode ein sekundäres Föhnmaximum ab. Allerdings sind die dabei erreichten durchschnittlichen Föhnhäufigkeiten nur geringfügig höher als in den übrigen Herbst- und Wintermonaten.



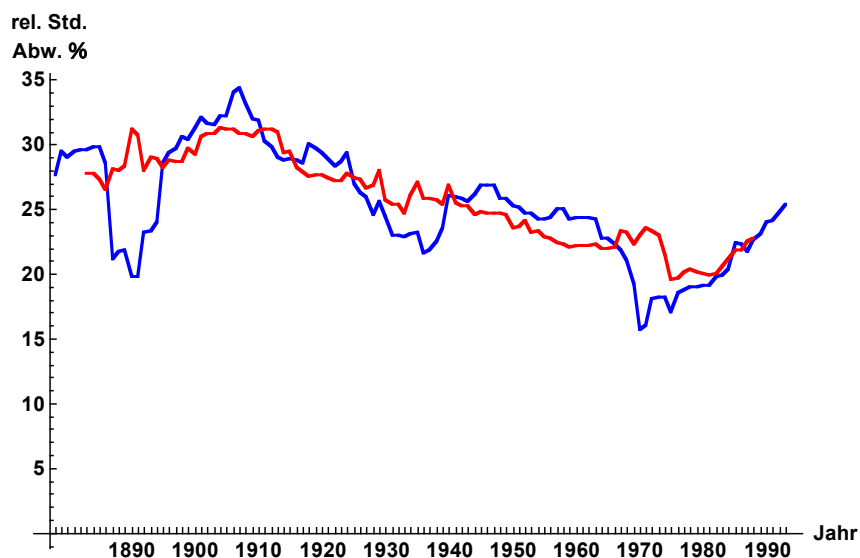
Figur 4.4: Durchschnittliche Anzahl der monatlichen Föhntermine für verschiedene Klimaperioden. Auf den horizontalen Achsen sind die Monate Januar (1) bis Dezember (12) aufgetragen. Oben links: durchschnittlicher Jahresgang über die gesamte Periode 1864-2008. Anschliessend werden die klassischen Klimaperioden dargestellt. Unten rechts: durchschnittlicher Jahresgang der letzten 30 Jahre (1979-2008).

In Figur 4.1 fällt auf, dass die Spanne zwischen dem Maximum und dem Minimum innerhalb einer bestimmten Periode zu Beginn der Reihe grösser ist als gegen Ende der Reihe. Es stellt sich somit die Frage, ob die Varianz der Föhnhäufigkeit von Jahr zu Jahr im Verlaufe

der Zeit abgenommen hat. Vergleicht man die Daten der letzten 30-jährigen Klimaperiode (1979 bis 2008) mit der ersten (1864 bis 1893), so findet sich tatsächlich eine relative Abnahme der Varianz um knapp 20 %. Ein Fisher-Test zeigt allerdings, dass diese Abnahme statistisch nicht signifikant ist.

Figur 4.5 zeigt die relativen Standardabweichungen bezüglich des Mittelwertes innerhalb der 30- bzw. 40-jährigen Klimaperiode, welche auf das betreffende Jahr zentriert ist. Auch wenn die Abnahme der Varianz der Föhnhäufigkeit von Jahr zu Jahr statistisch nicht belegt werden kann, so legt diese Figur doch nahe, dass zumindest im letzten Jahrhundert ein solcher Trend stattgefunden hat. Eine Begründung hierfür ist schwierig zu finden. Da, wie bereits erwähnt, der Föhneinsatz in Altdorf ein recht klares Ereignis darstellt, und die Beobachtungen zuverlässig und über lange Zeit durch die gleichen Personen erfolgten, darf angenommen werden, dass die Grunddaten homogen sind. Dann aber stellt sich die Frage, welche synoptischen bzw. klimatologischen Veränderungen zu diesem Resultat geführt haben könnten. Interessant ist auch die Tatsache, dass die Variabilität seit ca. 1980 wieder ansteigt.

Um dieses Resultat besser verstehen zu können, müssten auch andere Messstationen miteinbezogen werden, wobei für diese kaum genügend lange Zeitreihen vorliegen. Es wird sich somit lohnen, die vorliegende Reihe fortzuführen und in Zukunft auf dieses doch etwas überraschende Verhalten der Zeitreihe zurückzukommen.



Figur 4.5: Standardabweichungen (in Prozenten des Mittelwertes) der jährlichen Föhnhäufigkeiten gemittelt über eine Klimaperiode, welche auf das betreffende Jahr zentriert ist. Die Dauer der Klimaperiode beträgt 30 (blaue Kurve) bzw. 40 Jahre (rote Kurve).

4.2 Jahres- und Tagesgänge (Termine und Stunden)

4.2.1 Jahrgänge

Ab 1955 sind von der Messreihe Altdorf ausgewertete Föhnstunden verfügbar. Im Mittel ergeben sich pro Jahr **483** Föhnstunden (1955 bis 2008). In derselben Periode sind es im Mittel pro Jahr 61 Beobachtungstermine; in der Periode 1864 bis 2008 sind es 60 Beobachtungstermine pro Jahr (siehe Kapitel 4.1).

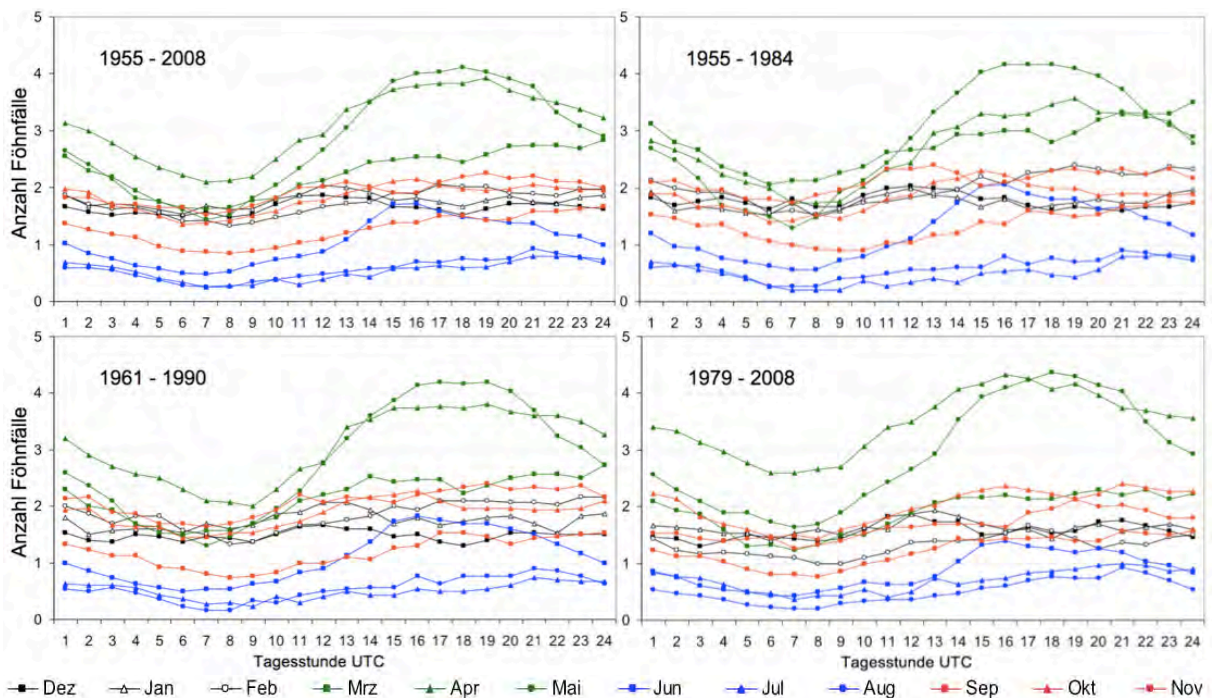
Der Jahresgang der Föhnstunden zeigt praktisch zu 100 Prozent denselben Verlauf wie der Jahresgang der Föhntermine (siehe Figur 3.7). Bei beiden Föhnhäufigkeitsanalysen (Föhntermine, Föhnstunden) tritt markant die Dominanz der beiden Hauptföhnmonate April und Mai in der jüngsten Dekade 1999-2008 hervor. In der Dekade 1984 bis 1993 ist die Föhnhäufigkeit im Monat Mai hingegen deutlich reduziert. Während dieser Dekade fällt auch

die Föhnhäufigkeit im Februar gleichsam auf sommerliche Minimalwerte zurück. Im Gegenzug kommt es im Oktober zu einem deutlichen Herbstmaximum.

Als Fazit ergibt sich, dass der Jahresgang der Föhnhäufigkeit neben der langfristigen Variabilität im Zeitintervall der 30-jährigen Klimaperioden auch eine auffallende dekadische Variabilität aufweist. Der Grund hierfür liegt darin, dass die Föhntätigkeit mehr oder weniger regelmässig mehrjährige Phasen mit erhöhter und reduzierter Föhnhäufigkeit zeigt (Figur 4.1).

4.2.2 Tagesgänge

Beim Tagesgang unterscheiden sich die beiden föhnaktivsten Monate April und Mai markant von allen übrigen Monaten. Ausschliesslich in diesen beiden Monaten ist über die ganze Periode mit Stundenwerten (1955 bis 2008) ein ausgeprägter Tagesgang feststellbar. Das Föhnminimum am Vormittag steht dem Föhnmaximum am Abend gegenüber (Figur 4.6). In der 30-jährigen Periode 1955 bis 1984 ist dieser Tagesgang in abgeschwächter Form auch im März vorhanden. Seit der Klimaperiode 1961 bis 1990 gehört jedoch der Monat März zur Gruppe der übrigen Monate ohne wesentlichen Tagesgang.



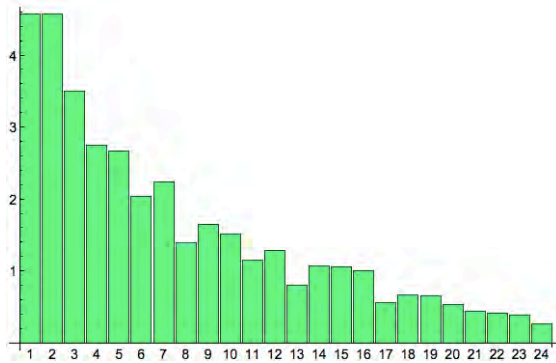
Figur 4.6: Vergleich der Föhnhäufigkeit im Tagesverlauf gegliedert nach Monaten sowie nach den Perioden 1955-2008, 1955-1984, 1961-1990 und 1979-2008.

Es fällt der ausgeprägte Tagesgang im Frühling mit dem Häufigkeits-Maximum am frühen Abend auf. Dies hängt zusammen mit der unterschiedlich starken tageszeitlichen Erwärmung der Alpen und des Mittellandes. Die Alpen sind im Frühling meist noch schneebedeckt. Wegen der hohen Albedo des Schnees wird ein Grossteil der Sonneneinstrahlung im Alpenraum reflektiert. Das Mittelland hingegen wird durch die intensive Sonneneinstrahlung stark erwärmt. Aufgrund der noch dünnen Vegetationsdecke wird ein bedeutender Teil der Sonneneinstrahlung in sensible Wärme umgewandelt. Der sensible Wärmefluss führt zu einer raschen Aufheizung der Atmosphäre über dem Mittelland. Gegen den Nachmittag hin entwickelt sich so über dem Mittelland relativ zum Alpengebiet hin ein regionales Tiefdruckgebiet. Dieses Tiefdruckgebiet erzeugt ein schwaches Druckgefälle in Richtung Mittelland. Zusammen mit der labilen Schichtung der Atmosphäre erhöht sich dadurch in den Nachmittagsstunden die Wahrscheinlichkeit für das Vordringen des Föhns oft bis weit ins Mittelland hinaus. In den darauf folgenden Abend- und Nachtstunden wird die Föhnströmung zusehends durch die sich nun rasch ausbildenden Kaltluftseen vom Boden abgehoben. Die

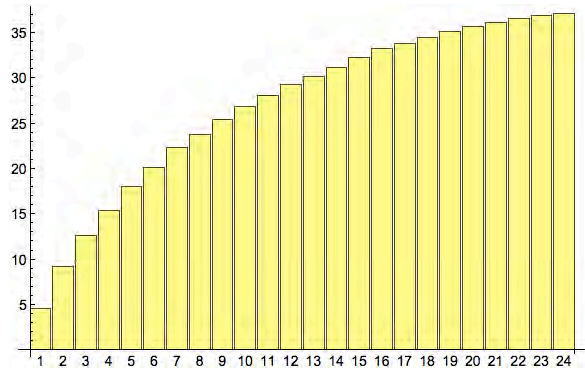
Bildung der nächtlichen Kaltluftseen wird begünstigt durch die starke thermische Ausstrahlung aufgrund der noch dünnen Vegetationsdecke im Mittelland.

4.3 Dauer von Föhnperioden

Die Stundendaten für die Periode 1955 bis 2008 bieten die Möglichkeit, die Dauer der einzelnen Föhnfälle zu ermitteln und eine entsprechende Statistik zu erzeugen. Figur 4.7 zeigt ein Histogramm der Dauer von Föhnphasen; die Werte sind Anzahl Fälle pro Jahr. Figur 4.8 stellt dieselben Daten dar, in diesem Fall als kumulative Häufigkeiten.



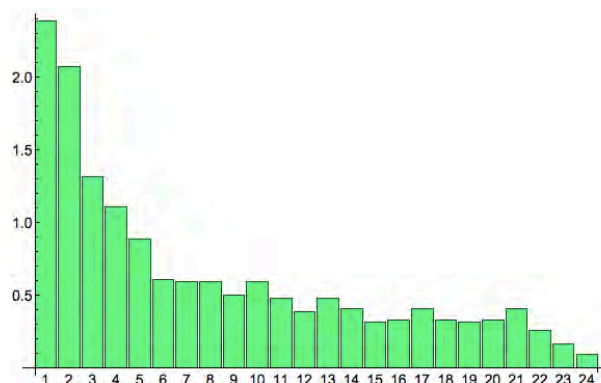
Figur 4.7: Histogramm der Föhndauer ≤ 24 h. Auf der vertikalen Achse ist die Anzahl pro Jahr aufgetragen, unterhalb der Säulen ist die Dauer in Stunden angegeben.



Figur 4.8: Kumulative Häufigkeiten der Föhnphasen ≤ 24 h; die Bedeutung der Achsen ist dieselbe wie in Figur 4.7.

Je kürzer die Föhnphasen desto häufiger treten sie auf. Eine Häufung für Phasen mit einer bestimmten Länge ist nicht auszumachen; das geringe relative Maximum bei 14 bis 16 Stunden dürfte zufällig sein.

Interessant sind die längsten Föhnphasen, die im Zeitraum 1955 bis 2008 beobachtet wurden: vom 23. April 1993, 10 UTC bis am 29. April, 04 UTC wehte der Föhn in Altdorf ununterbrochen während 138 Stunden. Die nächstlängeren Phasen sind dann "nur" 95 Stunden bzw. kürzer; die zehn längsten Phasen in der Beobachtungsperiode dauerten zwischen 76 und 138 Stunden.



Figur 4.9: Histogramm der Pausen einer bestimmten Dauer zwischen einzelnen Föhnphasen. Auf der vertikalen Achse ist die Anzahl pro Jahr aufgetragen, unterhalb der Säulen ist die Dauer in Stunden angegeben.

Ähnlich wie die Föhndauer können auch die Pausen zwischen einzelnen Föhnereinbrüchen bestimmt werden. Hier dürften vor allem die kurzen Pausen zwischen einzelnen Vorstößen innerhalb einer Föhnphase interessieren; aus diesem Grund wurden nur Unterbrüche ausgewertet, die maximal 24 h dauerten (Figur 4.9). Es fällt auf, dass kurze Föhnphasen bis 5 Stunden viel häufiger auftreten als längere. Dies dürfte damit zusammenhängen, dass auch während ein und derselben synoptischen Föhnlage der Föhn - wegen der Überla-

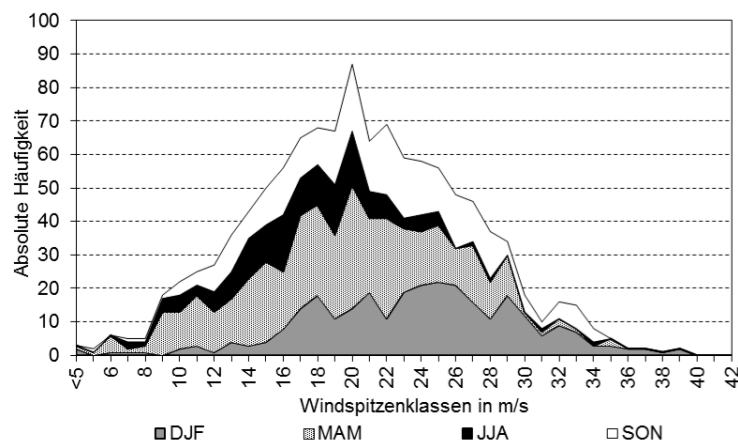
gerung mit lokalen, thermischen Windsystemen - in tiefen Lagen ab und zu zusammenbricht. Die Zeiten zwischen den einzelnen synoptischen Föhnlagen dagegen sind durch den grösserskaligen Wetterablauf bestimmt.

4.4 Föhnspitzengeschwindigkeiten

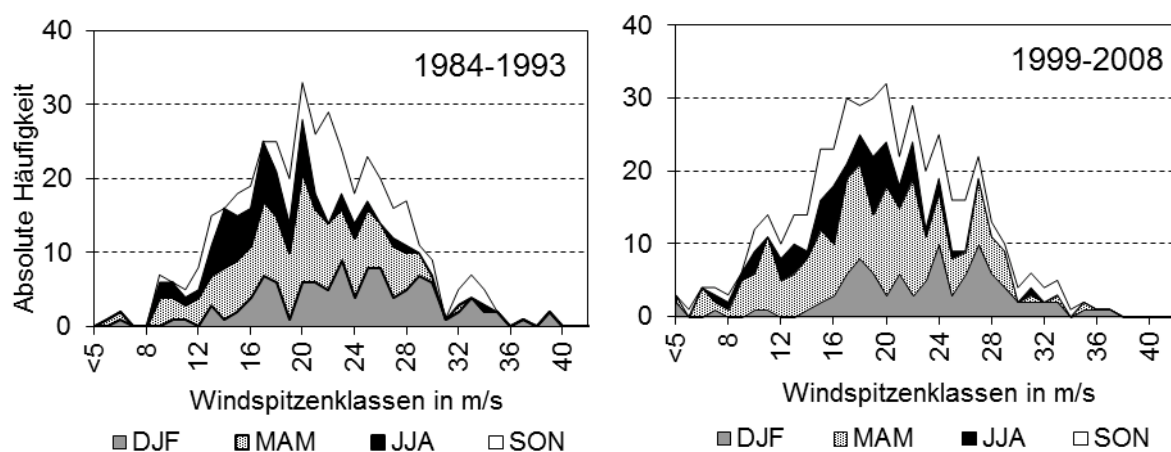
Die Analyse der täglichen Windspitzen nach Windspitzenklassen basiert auf der in Kapitel 3.5 definierten 25jährigen Messperiode 1984-2008 mit hochaufgelösten Messdaten. Um die dekadische Variabilität herauszuarbeiten, werden neben der gesamten Periode zusätzlich die Perioden 1984-1993 und 1999-2008 untersucht. Absolute Jahreswindspitzen liegen seit 1967 vor.

4.4.1 Verteilung der Tageswindspitzen

Die Verteilung der Tageswindspitzen (Figur 4.10) zeigt eine klare Häufung um 20 m/s (72 km/h). Diese Häufung ist vor allem in den Jahreszeiten Frühling bis Herbst zu beobachten. Im Winter häufen sich die Windspitzen um 25 m/s (90 km/h). Die saisonalen Häufungen zwischen 20 m/s und 25 m/s dokumentieren schön, dass es sich beim Föhn normalerweise um eine recht heftige Windentwicklung handelt.



Figur 4.10: Saisonale Häufigkeit der Tageswindspitzen 1984-2008.

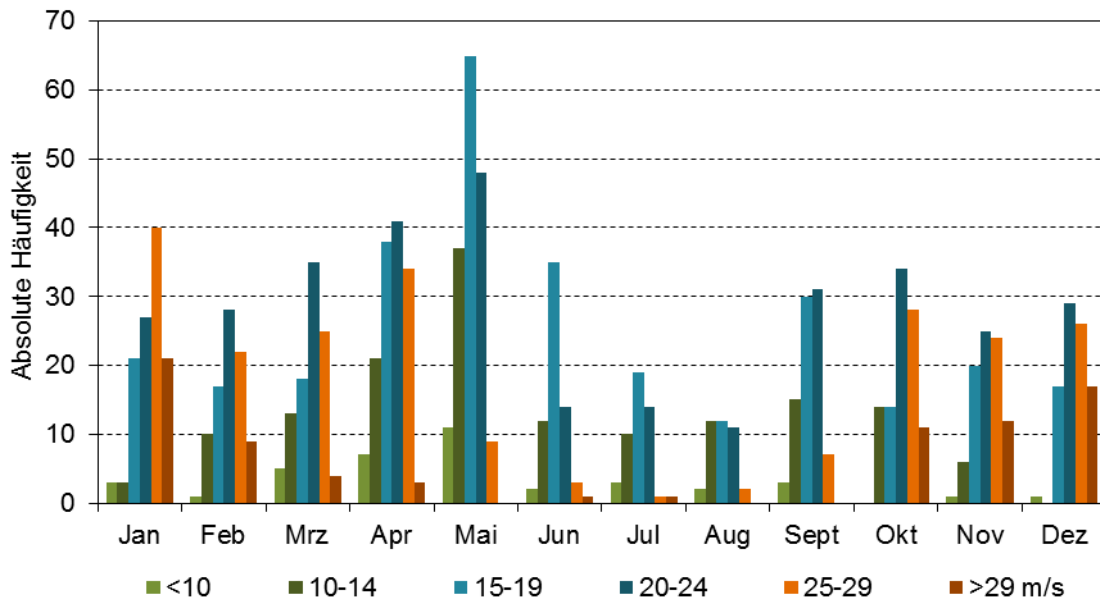


Figur 4.11: Saisonale Häufigkeit der Tageswindspitzen 1984-1993 (links) und 1999-2008 (rechts).

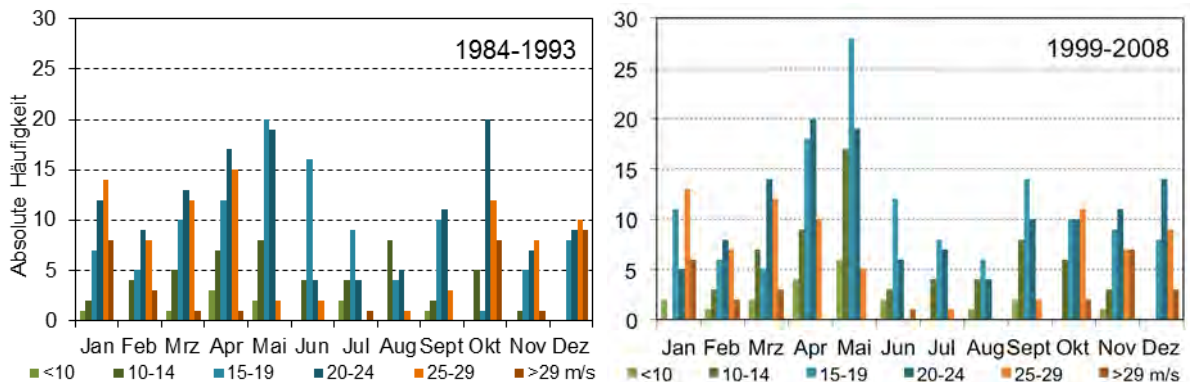
Die Verteilung der Windspitzenhäufigkeiten hat sich in der untersuchten 25-jährigen Messperiode 1984 bis 2008 nicht wesentlich verändert (Figur 4.11). Die charakteristische Häufung um 20 m/s ist sowohl in der Dekade 1984 bis 1993 als auch in der Dekade 1999 bis 2008 zu beobachten. Auch die absoluten Häufigkeiten sind in beiden Dekaden vergleichbar.

4.4.2 Jahrgang der Tageswindspitzen

Höhere Tageswindspitzen (ab 15 m/s bzw. 54 km/h) treten am häufigsten in den Monaten April und Mai auf (Figur 4.12). Es sind die beiden föhn-dominanten Monate ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts (Kapitel 4.1). Hohe Tageswindspitzen (über 29 m/s bzw. 104 km/h) liefern vor allem die Monate Oktober bis Februar, wobei der Dezember und der Januar die grössten Häufigkeiten verzeichnen. Am windschwächsten sind die beiden Monate Juli und August, was die bekannte sommerliche Föhnflaute (Kapitel 4.1) zusätzlich unterstreicht.



Figur 4.12: Monatliche Häufigkeit der Tageswindspitzen 1984 bis 2008.



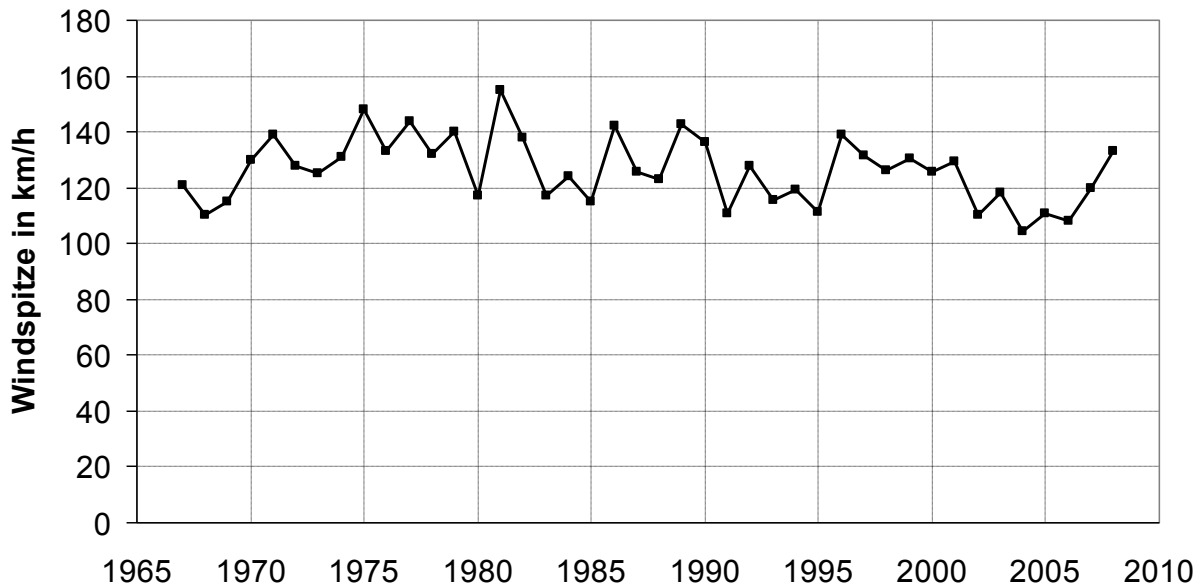
Figur 4.13: Monatliche Häufigkeit der Tageswindspitzen 1984 bis 1993 (links) und 1999 bis 2008 (rechts).

Im Jahrgang der Windspitzenhäufigkeiten ergeben sich beim Vergleich der beiden Dekaden 1984 bis 1993 und 1999 bis 2008 die folgenden Änderungen (Figur 4.13): Auffallend ist der Rückgang der Windspitzenklasse 20-24 m/s im Monat Oktober und die Zunahme der Windspitzenklasse 15-19 m/s im Monat Mai. Daneben zeigt sich ein genereller Rückgang der beiden höchsten Windspitzenklassen 25-29 m/s und über 29 m/s. Die wesentlichen Merkmale des Jahrgangs wie das Auftreten der hohen Tageswindspitzen vor allem im Winterhalbjahr, die Häufigkeitsdominanz der Monate April und Mai, sowie die windschwachen Monate Juli und August, kommen jedoch in beiden Dekaden klar zum Ausdruck.

4.4.3 Jahreswindspitzen

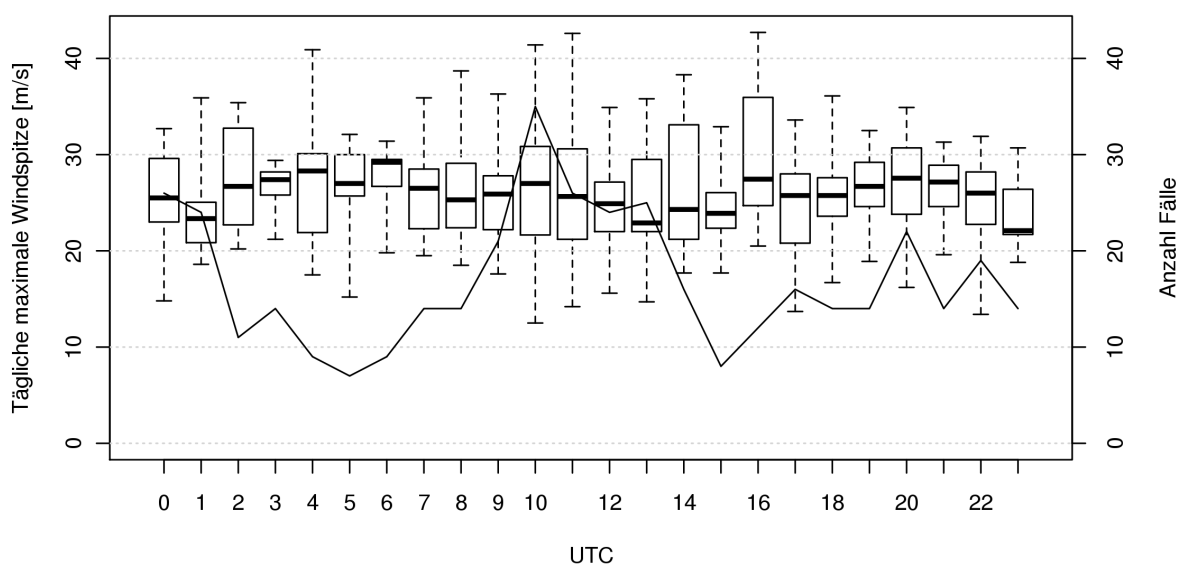
Die absoluten Jahreswindspitzen (1967 bis 2008) bewegen sich zwischen 104 km/h (2004) und 157 km/h (1981, siehe Figur 4.14). Der Mittelwert und der Median liegen bei 126 km/h, die Standardabweichung beträgt 12 km/h. Die mittlere Schwankung reicht somit von 114 bis 138 km/h.

Die absoluten Jahreswindspitzen zeigen einen sehr ausgeglichen Verlauf. Ein signifikanter Trend zu höheren oder tieferen Jahreswindspitzen ist nicht zu erkennen. Auffallend ist die Phase mit tieferen Jahreswindspitzen (um 110 km/h) zwischen 2002 und 2006 sowie diejenige mit konstant hohen Jahreswindspitzen (um 140 km/h) zwischen 1975 und 1979.



Figur 4.14: Zeitreihe der jährlichen maximalen Windspitze seit Beginn der Messung der Böenspitzen im Jahr 1967.

4.4.4 Tageszeitliches Auftreten der Tageswindspitzen



Figur 4.15: Verteilung der täglichen Föhnwindspitzen für jede Stunde als Kastengrafik (Querstrich: Median, Kasten: oberes und unteres Quartil, gestrichelte Linien: Minimum und Maximum). Die durchgezogene Linie zeigt die absolute Häufigkeit des tageszeitlichen Auftretens der Tageswindspitzen für alle Tage mit mindestens 12 Stunden Föhn von 1984 bis 2008.

Mit Hilfe der Zeitreihen der 10-Minuten-Föhnindizes aus der automatischen Methode wurden für den Zeitraum 1984 bis 2008 alle Tage mit mindestens 12 Stunden Föhn - verteilt über den ganzen Tag - ausgewählt, um das tageszeitliche Auftreten der täglichen maximalen Föhnwindspitze zu untersuchen. Die durchgezogene Linie der Anzahl Fälle pro Stunde in der Figur 4.15 zeigt, dass die Tageswindspitzen nicht zufällig verteilt über den Tag auftreten, sondern deutlich gehäuft kurz vor dem Mittag und etwas weniger häufig kurz nach Mitternacht. Am seltensten werden die Tageswindspitzen am Morgen und am Nachmittag registriert. Bezüglich der Verteilung der Stärke der Tageswindspitzen, welche mit den Kastengrafiken dargestellt sind, ergibt sich aufgrund der geringen Anzahl Fälle ein uneinheitliches Muster. Die Medianwerte schwanken um den Wert von 25 m/s mit maximal 29 m/s am Morgen, und minimal 22 m/s kurz vor und nach Mitternacht und nach dem Mittag. Somit lässt sich feststellen, dass die Stärke der maximalen Föhnwindspitzen im Gegensatz zum zeitlichen Auftreten derselben vom lokalen Tagesgang unabhängig ist.

4.5 Statistische Eckdaten

Tabelle 4.1 listet einige Eckdaten auf.

Tabelle 4.1: Eckdaten der langen Föhnreihe 1864 bis 2008

Gesamtlänge der untersuchten Zeitreihe	145 Jahre	1864 - 2008
Länge Zeitreihe mit Terminbeobachtungen	145 Jahre	1864 - 2008
Länge Zeitreihe mit Föhnstunden (überlappend mit Terminbeob.)	54 Jahre	1955 - 2008
längste ununterbrochene Föhndauer (seit 1955)	138 h	23.04.1993, 10 UTC bis 29.04.1993, 04 UTC
maximale Anzahl Föhntermine pro Jahr	114	im Jahr 1872
minimale Anzahl Föhntermine pro Jahr	27	im Jahr 1955
Verhältnis Maximum zu Minimum Föhntermine pro Jahr	4.22	1872/1955
mittlere Anzahl Föhntermine pro Jahr	60.0	1864 - 2008
mittlere Anzahl Föhnstunden pro Jahr	483	1955 - 2008
maximales Verhältnis der mittleren Monatssummen	5.33	April/August
maximale Böengeschwindigkeit	157 km/h	13.12.1981

5 Vergleich der Föhnhäufigkeiten Altdorf mit andern Stationen

Die bisherigen Betrachtungen beschränkten sich ausschliesslich auf die Klimastation Altdorf. Die Verhältnisse an der Station Altdorf lassen sich jedoch nur bedingt auf andere Schweizer Föhnstationen übertragen, wie der folgende Vergleich mit weiteren Stationen auf der Alpennordseite bezüglich der Föhnhäufigkeit, des tageszeitlichen und saisonalen Föhnaufkommens und der Extremjahre zeigt.

5.1 1973 - 1982 klimatologische Föhntermine mit semiquantitativer Methode

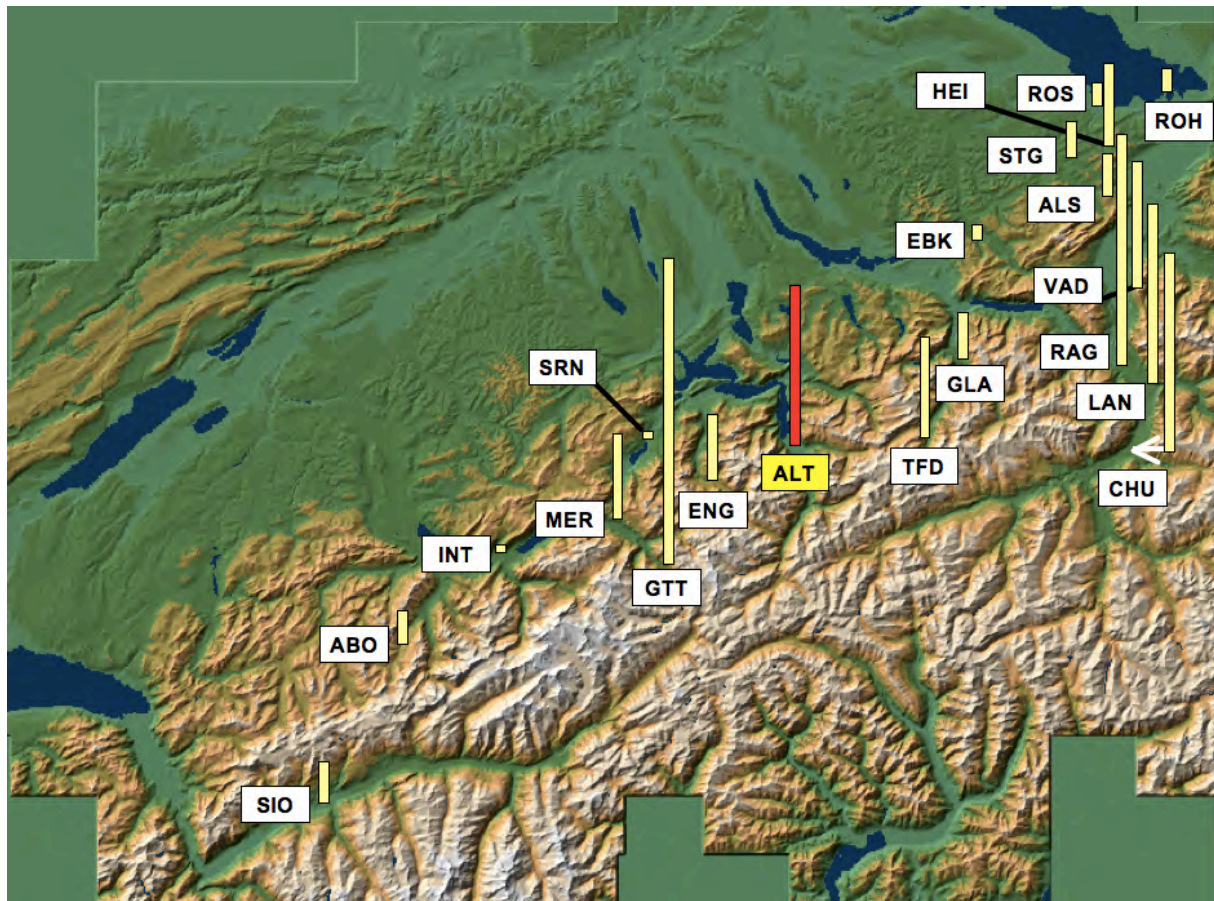
Die Tabelle 5.1 zeigt die durchschnittlichen Föhntermine, das Verhältnis zu Altdorf und die Jahre mit dem grössten und geringsten Föhnaufkommen, beobachtet jeweils um 07, 13 und 19 h MEZ für 20 Stationen auf der Alpennordseite für die Jahre 1973 bis 1982.

Tabelle 5.1: Semiquantitative Auswertung der Föhntermine an 20 Stationen von 1973 bis 1982 (Rorschach: 1973 - 1980). Angegeben werden die durchschnittliche Anzahl der Föhntermine zum Morgen- (07 h MEZ), Mittag- (13 h MEZ) und Abendtermin (19 h MEZ), das Verhältnis der jährlichen Föhntermine im Vergleich zur Station Altdorf und die Extremjahre der Periode.

1973 - 1982		Anzahl Föhntermine pro Jahr (MEZ)				Verhältnis zu Altdorf	Extremwerte			
Station	Abk.	7 h	13 h	19 h	Σ	%	Max	Jahr	Min	Jahr
Adelboden	ABO	3.7	6	2.9	12.6	21	25	1977	3	1976
Altdorf	ALT	15.3	21.7	23.8	60.8	100	72	1979	52	1982
Altstätten	ALS	4.4	6.8	5	16.2	27	27	1974	7	1980
Bad Ragaz	RAG	24.6	36.8	27.1	88.5	146	113	1974	58	1980
Chur	CHU	12.6	37.1	27.5	77.2	127	111	1974	58	1980
Ebnat-Kappel	EBK	1.1	3.7	1.5	6.3	10	14	1977	2	1976
Engelberg	ENG	5.3	10.5	9	24.8	41	35	1974	13	1980
Glarus	GLA	3	7.4	8	18.4	30	31	1977	7	1980
Guttannen	GTT	32.3	46.7	36.8	115.8	191	151	1974	65	1981
Heiden	HEI	10.7	9.9	11.4	32	53	51	1974	21	1980
Interlaken	INT	0.5	1.3	1.1	2.9	5	6	1977	0	1973,1974
Landquart	LAN	10.5	34.4	23.9	68.8	113	87	1974	51	1980
Meiringen	MER	6.8	13.4	12.5	32.7	54	44	1977	25	1975,1982
Rohrspitz	ROH	2.1	3.2	3.4	8.7	14	18	1977	1	1980
Sarnen	SRN	0.3	1.7	1.1	3.1	5	7	1977	1	1976
Sion	SIO	1.3	7.9	9.9	19.1	31	24	1974	13	1981,1982
St. Gallen	STG	3.7	4.5	5.1	13.3	22	29	1977	5	1980
Tierfehd	TFD	7.2	18.1	14	39.3	65	51	1974	30	1976,1980
Vaduz	VAD	12.9	19.1	17	49	81	66	1974	33	1980
Rorschach	ROS	1.5	1.5	4.5	7.5	12	18	1977	3	1979

Die Karte in Figur 5.1 zeigt als geographische Übersicht die durchschnittliche Summe der Föhnbeobachtungen pro Jahr an den verschiedenen Stationen für die Periode 1973 bis 1982. Für die Station Rorschach war die Vergleichsperiode 2 Jahre kürzer, sie lief bis 1980.

Rund doppelt so viele Termine wie in Altdorf wurden an der Klimastation Guttannen im oberen Haslital am Fuss des Grimsepasses registriert. Für die höhere Föhnhäufigkeit in Guttannen ist jedoch nicht in erster Linie die geringe horizontale Distanz und damit der kürzere Weg der Föhnströmung verantwortlich. Die Nähe zu einem Alpenpass ist meist gleichbedeutend mit einer geringeren vertikalen Distanz (Höhendifferenz) zum Alpenhauptkamm. Und die vertikale Distanz zum Alpenhauptkamm spielt die entscheidende Rolle für die Föhnhäufigkeit an den Stationen der inneralpiner Täler, wie die Untersuchung im Kapitel 5.2 zeigt. Daneben sind auch Lokaleffekte von Bedeutung. Das talabwärts ebenfalls im Haslital gelegene Meiringen zeigt gegenüber Altdorf nur noch gut halb so viele Föhntermine. Hier spielt die Talverengung namens Kirchet zwischen Innertkirchen und Meiringen eine wichtige Rolle für die deutliche Abnahme der Föhnhäufigkeit in Meiringen. Weiter talabwärts zeigt die Station Interlaken rund 10 Mal weniger häufig Föhn als Meiringen, dies wegen des Ost-West ausgerichteten Tales, das somit senkrecht zum alpenquerenden Luftdruckgradienten steht. Eine starke Abnahme der Föhnhäufigkeit mit abnehmender Seehöhe und zunehmendem Abstand vom Alpenhauptkamm zeigt sich ebenfalls im Kanton Glarus: im Hauptort Glarus werden nur rund halb so viele Föhntermine beobachtet wie an der Station Tierfeld südlich von Linthtal.



Figur 5.1: Vergleich der Föhnhäufigkeiten an verschiedenen Stationen. Die Säulenhöhe entspricht den Jahresmitteln der Terminbeobachtungssummen. Detaillierte Angaben können der Tabelle 5.1 entnommen werden.

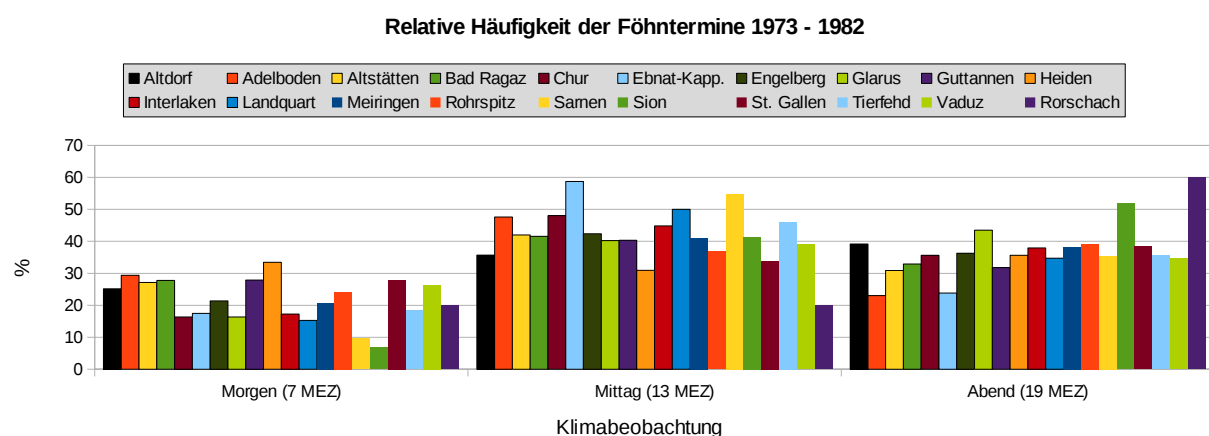
Ein weiterer Lokaleffekt kommt im Rheintal zwischen Chur und Bodensee zu tragen: Hier werden die Föhntermine nicht am häufigsten in Alpenkammnähe oder an der tiefstgelegenen Station registriert, sondern an der Station Bad Ragaz. Bad Ragaz liegt in der Nähe der Verzweigung zwischen dem St. Galler Rheintal und dem Seetäl. Weil bei einer Südströmung im Churer Rheintal Luftmassen sowohl ins Seetäl als auch ins St. Galler Rheintal abfließen, kommt es in dieser Gegend oft zu einer horizontalen Massendivergenz, welche durch vertikales Absinken von Luftmassen kompensiert wird. Dieses vertikale

Absinken begünstigt das Durchgreifen des Föhns in der Region Bad Ragaz, Sargans und Fläscherberg. Etwas weniger häufig wird der Föhn weiter südlich in Chur und in Landquart registriert. Beide Standorte zeigen deutlich weniger Föhn in den Morgenstunden (siehe Figur 5.2), dies wegen des Zuflusses von nächtlicher Kaltluft aus den Seitentälern, insbesondere aus dem Vorder- und Hinterrheintal und aus dem Schanfigg für Chur und aus dem Prättigau für Landquart. Dies führt zu einer geringeren Föhnhäufigkeit in Landquart verglichen mit Chur und Bad Ragaz (siehe Tabelle 5.1). In Richtung Bodensee nimmt die Föhnhäufigkeit sukzessive ab, von Vaduz über Heiden, der Stadt St. Gallen bis zu den Stationen Rorschach und Rohrspitz am Bodensee. Auffallend ist die relativ grosse Föhnhäufigkeit in Heiden verglichen mit den umliegenden Stationen. Heiden liegt auf einer Höhe von rund 800 m ü.M. im Appenzeller Vorderland und befindet sich damit recht häufig ausser- bzw. oberhalb des Kaltluftsees im St. Galler Rheintal und im Bodenseeraum. Somit wird Heiden weitaus häufiger von der höher gelegenen Föhnströmung erfasst als die umliegenden Stationen.

5.1.1 Tagesgänge

Figur 5.2 zeigt die relative Häufigkeit der durchschnittlichen Morgen-, Mittag- und Abendföhntermine für alle Stationen aus Tabelle 5.1. Das tageszeitliche Föhnaufkommen unterscheidet sich von Station zu Station teilweise sehr stark. Im Durchschnitt über alle Stationen tritt der Föhn am Morgen mit 21 % deutlich am seltensten auf, gefolgt vom Abend mit knapp 37 %. Am häufigsten bläst der Föhn zum Mittagstermin mit 42 %, also gerade doppelt so häufig wie zum Morgentermin.

Altdorf zeigt einen recht ausgeglichenen Tagesgang mit einem Minimum von rund 25 % am Morgen und dem Maximum am Abend mit knapp 40 %. Noch ausgeglichener präsentiert sich der Tagesgang in Heiden mit dem Minimum am Mittag mit 31 % und dem Maximum am Abend mit knapp 36 %. Dies deutet darauf hin, dass die Föhnhäufigkeit in Heiden am wenigsten durch Kaltluftseen beeinflusst wird, und dass das Föhnaufkommen hauptsächlich durch die tageszeitlich zufällig auftretenden synoptischen Grosswetterlagen bedingt ist. Den gegenteiligen Fall finden wir beispielsweise an den Stationen Ebnat-Kappel, Sarnen Landquart, Chur und Bad Ragaz, die ein ausgeprägtes Maximum am Mittag zeigen. Diese Stationen befinden sich alle im Talboden und sind zumindest teilweise auf die Erwärmung der Atmosphäre durch die Sonneneinstrahlung im Tagesgang angewiesen, damit der Föhn bis zum Talboden durchgreifen kann. Ein weiteres Charakteristikum finden wir an den Stationen Rorschach, Rohrspitz und St. Gallen: hier tritt das tageszeitliche Maximum erst zum Abendtermin auf. Dabei spielt wahrscheinlich der grosse Abstand zum Alpenhauptkamm und die Überlagerung mit der Gebirgswindzirkulation zwischen Alpen und Alpenvorland eine Rolle, welche im Sommerhalbjahr in den frühen Abendstunden einsetzt.



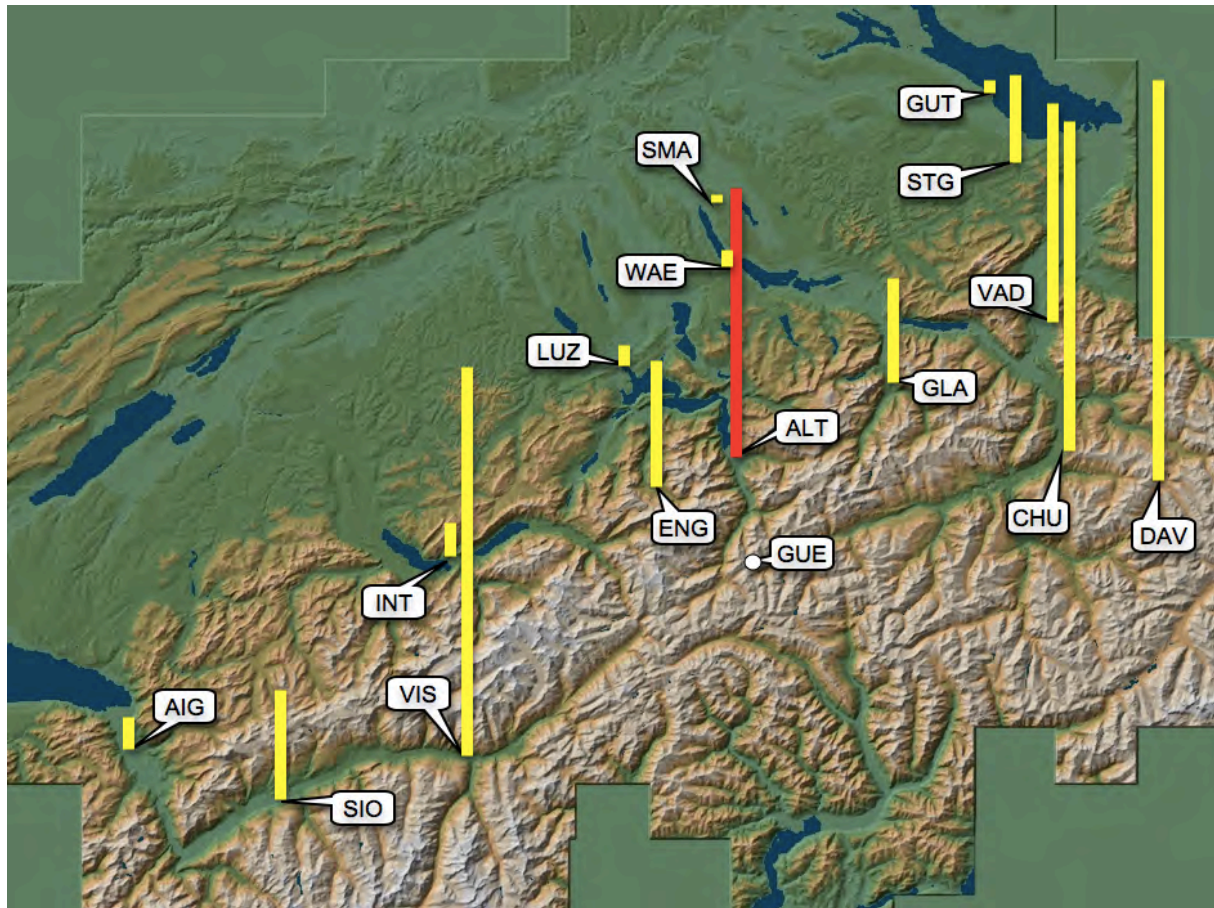
Figur 5.2: Tageszeitliches Föhnaufkommen an 20 Klimastationen.

Aus dem Vergleich von Altdorf mit weiteren Föhnstationen kann geschlossen werden, dass der Tagesgang in Altdorf verhältnismässig moderat ausfällt. Dies bedeutet, dass die lokalen

Beeinflussungen im Tal eine untergeordnete Rolle spielen gegenüber den tageszeitlich eher zufällig verteilten synoptischen Grosswetterlagen über dem Alpenraum.

5.2 1984 - 2008 klimatologische Föhntermine mit automatischer Methode

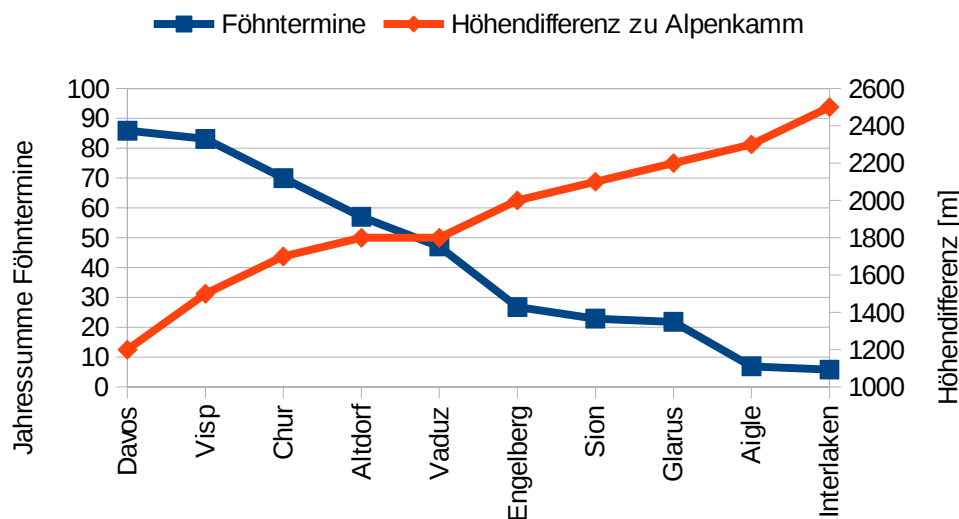
Die Karte in Figur 5.3 zeigt die jährlichen Föhntermine und die Lage der einzelnen Stationen im Relief der alpinen Täler mit der Referenzstation Gütsch (GUE) am Alpenhauptkamm.



Figur 5.3: Stationen, für welche der Föhnindex automatisch berechnet wird. Die Säulenhöhe entspricht der Anzahl Föhntermine pro Jahr gemäss Tabelle 5.2. Als Referenzstation am Alpenhauptkamm wird die Station Gütsch (GUE) verwendet.

Im Vergleich zu Altdorf tritt der Föhn an den Stationen Glarus (GLA), Interlaken (INT) und Sion (SIO) deutlich seltener auf (siehe Figur 5.3). All diese Stationen sind Richtung Süden durch eine hohe Gebirgskette von der Südströmung über die Alpen abgeschirmt, was das Durchgreifen des Föhns bis hinunter auf das Stationsniveau erschwert. Zusätzlich hat die ost-westliche Ausrichtung der Talachse in Interlaken und Sion zur Folge, dass der Föhn vorzugsweise bei süd-südöstlichen Höhenwinden über den Alpen auftritt. Diese Lagen sind aber deutlich seltener als diejenigen mit den üblichen Höhenwinden aus südwestlicher bis südlicher Richtung. Der Zusammenhang zwischen der Höhendifferenz zum Alpenhauptkamm und der Summe der jährlichen Föhntermine aus Tabelle 5.2 wurde an allen 10 inneralpinen Föhnstationen untersucht (Figur 5.4). Die Korrelation zwischen der mittleren Jahressumme der Föhntermine und der Höhendifferenz zum massgebenden Passübergang, über welche die Föhnluft zur Station gelangt, beträgt -0.963 . Föhnhäufigkeit und Höhendifferenz sind somit deutlich antikorreliert: je grösser der Höhenunterschied, den der Föhn überwinden muss, desto seltener stösst der Föhn bis zur inneralpinen Station vor. Weitere wichtige Einflussgrössen für die Föhnhäufigkeit an einer inneralpinen Station sind der horizontale Abstand zum Alpenhauptkamm und die Ausrichtung des Tales relativ zur Ausrichtung des Druckgradienten über die Alpen.

Im Gegensatz zu den inneralpinen Stationen dominiert in Richtung Alpenvorland und in den weiten Alpentälern wie dem Alpenrheintal der horizontale Abstand zum Alpenhauptkamm. Dies wird deutlich aufgezeigt durch den sukzessiven Rückgang der Föhnhäufigkeit zwischen den Stationen Vaduz, Altstätten, Rohrspitz und Rorschach (siehe Tabelle 5.1). Die Föhnhäufigkeit in Rorschach entspricht noch 15 % von derjenigen in Vaduz, obwohl die Höhendifferenz der beiden Stationen nur gerade 37 Meter beträgt (siehe Tabelle B.1). Das Alpenvorland, beispielsweise das Schweizer Mittelland oder das Bodenseebecken, wird im Winterhalbjahr regelmässig durch einen mächtigen Kaltluftsee bedeckt, was das Durchgreifen des Föhns bis zum Boden deutlich verringert.



Figur 5.4: Vergleich der mittleren Jahressumme der Föhntermine an 10 Stationen von 1984 bis 2008 mit dem geschätzten Höhenunterschied zwischen der Gebirgskette, welcher von der Föhnluft von Süden her überströmt werden muss, und der Station. Der Korrelationskoeffizient beträgt -0.963 .

Die Tabelle 5.2 enthält die durchschnittlichen Föhntermine, das Verhältnis zu Altdorf und die Jahre mit dem grössten und geringsten Föhnaufkommen, jeweils detektiert mit dem Föhnindex um 6, 12 und 18 UTC für 15 Stationen des heutigen SwissMetNet (früher ANETZ) auf der Alpennordseite für die Jahre 1984 bis 2008.

Die grössten Föhnhäufigkeiten in der Periode 1984 bis 2008 treten an den inneralpinen Stationen Davos, Visp und Chur auf. Relativierend muss jedoch hinzugefügt werden, dass laufend neue automatische Stationen auch in den Föhngebieten hinzukommen, welche noch grössere Föhnhäufigkeiten aufweisen könnten (z.B. im Val Medel südlich Disentis, im Hinterrheintal oberhalb Andeer oder im Reusstal oberhalb Altdorf). In Vaduz wird rund 17 % weniger Föhn als in Altdorf registriert. Alle übrigen Stationen erreichen nur noch die Hälfte oder weniger der Föhntermine in Altdorf. Die Stationen Aigle im Unterwallis und Interlaken unterhalb des Haslitals weisen noch eine Quote zwischen 10 % und 12 % auf. Die Stationen im Mittelland (Zürich-SMA, Güttingen, Wädenswil und Luzern, siehe auch Figur 5.5) erreichen durchwegs nur noch Werte zwischen 3 % und 8 % von Altdorf. An diesen Stationen treten auch gehäuft Jahre auf, in denen kein einziger Föhntermin verzeichnet werden konnte! Die Jahre mit extrem vielen Föhnterminen werden dominiert durch das Jahr 1993, wo u.a. Ende April der längste bisher bekannte Föhnfall auftrat (Burri, 1999) und durch das Jahr 2000, welches auch der Station Altdorf die meisten Föhntermine bescherte. Die prominente Ausnahme bildet hier Visp im Wallis mit dem Maximum im Jahr 1984. Bei den föhnnarmen Jahren ist das Bild etwas weniger einheitlich: die Jahre 1995 und 2005 waren an vielen Stationen sehr föhnnarm. Für Visp und Sion war 1990 das Minimumjahr. Dies deutet darauf hin, dass das Zentralwallis bezüglich Föhn anders auf die jährlich vorherrschenden Grosswetterlagen reagiert als die übrigen Stationen auf der Alpennordseite.

Tabelle 5.2: Automatisierte Auswertung der Föhntermine an 15 Stationen von 1984 bis 2008. Angegeben werden die durchschnittliche Anzahl der Föhntermine zum Morgen-, Mittag- und Abendtermin, das Verhältnis der jährlichen Föhntermine im Vergleich zur Station Altdorf und die Extremjahre der Periode.

1984 - 2008		Anzahl Föhntermine pro Jahr (UTC)				Verhältnis zu Altdorf	Extremwerte			
Station	Abk.	6	12	18	Σ	%	Max	Jahr	Min	Jahr
Aigle	AIG	1.8	2.1	3.0	6.9	12	13	1993	0	2005
Altdorf	ALT	14.0	19.0	24.0	57.0	100	97	2000	34	1987
Chur	CHU	2.4	41.4	26.2	70.0	123	98	1993	47	1995
Davos	DAV	4.8	49.8	31.3	85.9	151	124	1993	53	2005
Engelberg	ENG	5.4	11.0	10.4	26.8	47	47	1993	8	2005
Glarus	GLA	3.2	7.8	10.9	21.8	38	54	2000	7	2005
Güttingen	GUT	0.2	1.1	1.5	2.8	5	11	1993	0	1989,1998,2005
Interlaken	INT	0.3	1.7	3.8	5.8	10	16	2000	0	1995
Luzern	LUZ	0.1	1.2	3.0	4.3	8	14	1993,2000	0	1995
Sion	SIO	0.7	9.4	12.8	22.9	40	41	2000	11	1990
St. Gallen	STG	6.2	5.0	7.4	18.6	33	36	2000	6	2007
Vaduz	VAD	9.4	19.7	18.1	47.1	83	76	2000	25	2005
Visp	VIS	7.2	38.6	37.2	83.1	146	113	1984	19	1990
Wädenswil	WAE	0.2	0.4	2.9	3.5	6	7	1984	0	1995,2005
Zürich-SMA	SMA	0.1	0.6	1.2	1.9	3	6	1993,2000	0	1989,1994,1995,2005,2006,2008

Trotz unterschiedlicher Beobachtungsperioden sollen hier die mittleren Föhntermine pro Jahr für 8 Stationen verglichen werden, welche für beide Perioden zur Verfügung gestanden sind. Tabelle 5.3 zeigt die Differenz und die relative prozentuale Abweichung der automatischen Föhntermine von 1984 bis 2008 zu den semiquantitativen Föhnterminen von 1973 bis 1982. Im Mittel unterscheiden sich die Föhntermine der beiden Perioden auf der Basis von zwei unterschiedlichen Auswertemethoden um nur gerade 0.6 Termine. Die grössten absoluten Abweichungen treten in Chur und in St. Gallen auf. Beide Stationen waren durch einen Standortwechsel betroffen. In St. Gallen wurde die Station im Jahr 1981 vom Zentrum auf die Anhöhe südlich der Stadt verlegt. Dies führt zu etwas mehr Föhn, da das Ost-West ausgerichtete Tal mit der Stadt St. Gallen oft vom Föhn überweht wird. In Chur wurde die Station im Jahr 1978 von Chur-Stadt nach Chur-Nord verlegt. Die grösste relative Änderung tritt für die Station Interlaken auf, welche jedoch eine sehr geringe absolute Föhnhäufigkeit aufweist (Tabelle 5.2 und Tabelle 5.3)

Tabelle 5.3: Differenz der Föhntermine und prozentuale Änderung zwischen der Periode 1984 bis 2008 und der Periode 1973 bis 1982 an acht ausgewählten Stationen.

	Altdorf	Chur	Engelberg	Glarus	Interlaken	Sion	St. Gallen	Vaduz	Mittelwert
Föhntermine Neu - Alt	-3.8	-7.2	2.0	3.4	2.9	3.8	5.3	-1.9	0.6
relative Änderung in %	-6.3	-9.4	8.1	18.7	100.0	20.0	39.8	-3.8	9.6 ¹⁾

¹⁾ ohne Interlaken

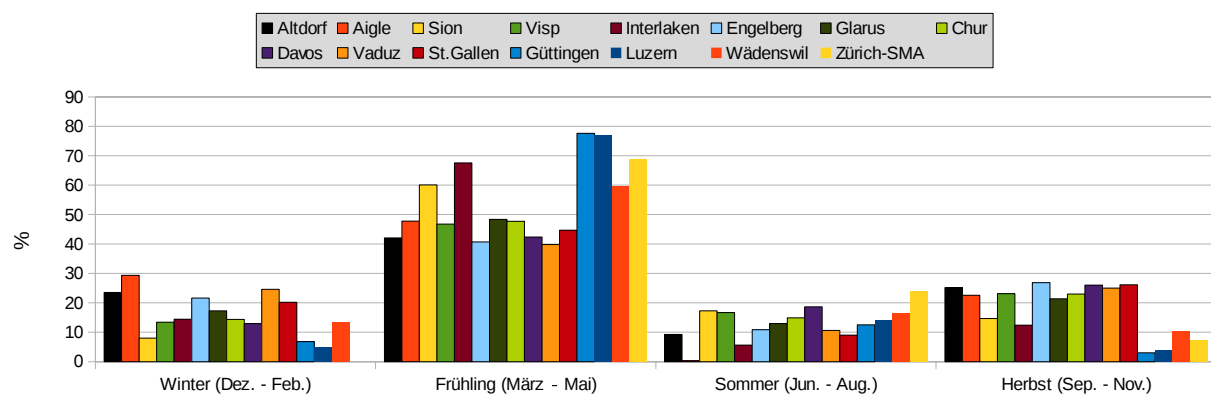
5.2.1 Saisonaler Jahresgang

Figur 5.5 zeigt die relative Häufigkeit der durchschnittlichen Winter-, Frühling-, Sommer- und Herbstföhntermine für alle Stationen aus Tabelle 5.2. Deutlich dominant ist der Anteil der Frühlingsmonate März bis Mai mit rund 54 % aller Föhntermine im Durchschnitt über alle Stationen. Mit grossem Abstand folgt ein sekundäres Föhnmaximum in den Herbstmonaten mit einem Anteil von 18 %. Im Winter werden durchschnittlich 15 % aller Föhntermine registriert, im Sommer noch knapp 13 %.

Altdorf weist im Unterschied zu den meisten anderen Stationen einen überdurchschnittlich hohen Anteil an Winterföhnterminen auf. Am ehesten noch vergleichbar ist die Station Vaduz im St. Galler Rheintal. Die im Jahresdurchschnitt gegenüber Altdorf föhnreicheren Stationen Visp und Chur zeigen einen um die Hälfte geringeren Winteranteil. Im Sommer ist die Situation gerade umgekehrt mit einer unterdurchschnittlichen Anzahl von Föhnterminen in Altdorf. Dies zeigt einmal mehr, dass die Station Altdorf weniger durch lokale Einflüsse, als vielmehr durch die föhnträchtigen Grosswetterlagen beeinflusst wird.

Markant sind die Unterschiede zwischen den Stationen im Mittelland (die letzten 4 Stationen in der Figur 5.5) und dem Alpengebiet. Die Mittellandstationen zeigen ein deutliches Maximum im Frühling mit Anteilen zwischen 60 % und 80 %. Ein Erklärungsversuch für das weite Vordringen des Föhns im Frühling wurde bereits im Kapitel 4.2.2 unternommen. Gerade umgekehrt präsentiert sich der Herbst, wo die Anteile der Mittellandstationen durchwegs unter 10 % liegen. Hier scheint die Situation gerade umgekehrt zum Frühling zu sein: die Sonneneinstrahlung im Herbst ist jahreszeitlich bereits deutlich reduziert, der Alpenraum jedoch ist noch kaum schneebedeckt und die südlich exponierten Hänge in den Alpen können sich im Tagesverlauf entsprechend noch gut erwärmen. Somit fehlt im Herbst der Antrieb durch ein zusätzliches Druckgefälle vom Alpengebiet hin zum Mittelland. Auch im Winter treten im Mittelland sehr selten Föhntermine auf, die Station Zürich-SMA verzeichnete von 1984 bis 2008 keinen einzigen Föhntermin! Ein ähnliches Verhalten zeigen auch die beiden Stationen Sion und Interlaken, die beide in einem Ost-West gerichteten Talabschnitt abseits der Hauptföhnstriche liegen. Erwähnenswert ist auch der unterschiedliche Jahresverlauf an der Station Aigle im Unterwallis im Vergleich zu Sion und Visp im Zentralwallis: Aigle zeigt den höchsten Winteranteil aller hier untersuchten Stationen, dafür fehlen die Sommerföhntermine praktisch vollständig. Dies könnte mit dem regionalen Einfluss des Genfersees zusammenhängen. Dieser ist im Winter häufig eine Wärmeinsel, im Sommer dagegen ein Reservoir für relativ kalte Luft verglichen mit der Luft im Unterwallis.

Relative Häufigkeit des saisonalen Durchschnitts der Föhntermine 1984 - 2008



Figur 5.5: Jahreszeitliches Föhnauftreten an 15 Stationen des SwissMetNet.

6 Dank

Voraussetzung für den vorliegenden Arbeitsbericht bildeten die zahlreichen, seit 1864 an vorderster Front amtierenden Beobachtenden der Klimastation Altdorf. Sie alle verfolgten über viele Jahre die Wetterentwicklung und notierten zuverlässig dreimal pro Tag die verschiedenen Wettergrössen in ihrem Journal. Besondere Erwähnung verdienen die über 85 Jahre aktive Familie Nager und die zahlreichen über 41 Jahre wirkenden, hier ungenannten Angestellten des Eidgenössischen Armeemagazins. 1955 wurde mit einer verfeinerten Auswertung in Stundenauflösung durch Gian Gensler und Hermann Wolfensberger begonnen und über viele Jahre fortgeführt. Erwähnt werden darf auch das Wohlwollen und die namhafte Unterstützung durch MeteoSchweiz, das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie. Die Arbeitsgemeinschaft Föhnforschung Rheintal-Bodensee (AGF) und insbesondere Esther Scharnhorst, haben uns freundlicherweise die notwendigen Ressourcen für die Berechnung der automatischen Föhnindizes zur Verfügung gestellt.

Ihnen allen danken wir bestens für ihre Beiträge, welche das Erscheinen dieser Arbeit erst ermöglichten.

Ludwig Z'graggen, als grosser Kenner des Reusstalföhns, verdanken wir eine detaillierte Review, welche uns zu verschiedenen Präzisierungen und Korrekturen verhalf.

7 Literatur

- Burri, K., P. Hächler, M. Schüepp und R. Werner, 1999: *Der Föhnfall vom April 1993*. Arbeitsbericht MeteoSchweiz, Nr. 196, 193 S. *)
- Courvoisier, H.W. und Th. Gutermann, 1971: *Zur praktischen Anwendung des Föhntests von Widmer*. Arbeitsbericht MeteoSchweiz, Nr. 21, 7 S. *)
- Dürr, B., 2008: *Automatisiertes Verfahren zur Bestimmung von Föhn in Alpentälern*. Arbeitsbericht MeteoSchweiz, Nr. 223, 22 S.
- Gensler G. und H. Wolfensberger, ab 1955: Föhnkalender Altdorf (enthaltend Beginn, Ende, Dauer und Intensität: schwach, mässig, stark; ab 1967 ergänzt mit der maximalen, jährlichen Böenspitzen geschwindigkeit). Ab 1983 weitergeführt durch verschiedene Bearbeiter. Vervielfältigt, ab 1983 handschriftliche Originale bei der Föhngruppe AGF.
- Gutermann, Th., 1970: *Vergleichende Untersuchungen zur Föhnhäufigkeit im Rheintal zwischen Chur und Bodensee*. Veröff. Schw. Met. Zentralanst., Nr. 18, 68 S.
- Hann, Julius, 1885: Einige Bemerkungen zur Entwicklungs-Geschichte der Ansichten über den Ursprung des Föhn. *Meteorol. Z.*, **3**, 393 - 399.
- Ortner, A., 2010: *Detaillierte Statistik des Südföhns in Innsbruck: Einfluss des Südföhns auf die Temperatur*. Diplomarbeit Inst. Meteorol Geophys., Univ. Innsbruck, 67 S.
- Richner, H. and P. Hächler, 2012: Understanding and forecasting Alpine Foehn. In: F.K. Chow, S.F.J. de Wekker, and B.J. Snyder (eds.): *Mountain Weather Research and Forecasting: Recent Progress and Current Challenges*. Springer, Berlin; ISBN 978-94-007-4097-6, 219-260.
- Seiz, G. und N. Foppa, 2007: *Nationales Klima-Beobachtungssystem (GCOS Schweiz)*. Publikation von MeteoSchweiz und ProClim, 92 S.
- Steinacker, R., 2006: Alpiner Föhn – eine neue Strophe zu einem alten Lied. *Promet*, **32**(1/2), 3-10.
- Streiff-Becker, 1942: *Neue Untersuchungen über den Föhn in den Schweizeralpen*. Denkschr. Schweiz. Naturf. Ges., Abh. 4, **74**, 241- 278.
- Walter, E., 1938: Der Schweizerföhn. *Neujahrsbl. Naturforsch. Ges. Zürich*, **140**, 40 S.
- Widmer, R., 1966: Statistische Untersuchungen über den Föhn im Reusstal und Versuch einer objektiven Föhnprognose für die Station Altdorf. *Vierteljschr. Naturforsch. Ges. Zürich*, **111**, 331-375. *)

*) Diese Publikationen sind vergriffen bzw. schwierig zu finden. Sie können aber vom AGF-Server als PDF-Dateien heruntergeladen werden.

Anhang A: Abkürzungen

AERO	Ein international verwendeter Code bestehend aus Fünfergruppen von Zahlen, der für die Übermittlung von synoptischen Wetterdaten, welche vor allem für die Luftfahrt von Interesse sind, verwendet wird.
AGF	<u>Arbeitsgemeinschaft Föhnforschung Rheintal-Bodensee</u> . Eine Gruppe von am Föhn interessierten, auf den Raum Bodensee-Rheintal fokussierten Synoptikern, Prognostikern, Klimatologen und Forschenden, gegründet 1971 (www.agf.ch).
ANETZ	Das erste <u>automatische Messnetz</u> der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt SMA, aufgebaut ab 1976. Das ANETZ wurde ab 2003 sukzessive durch das SMN ersetzt.
ASCII	<u>American Standard Code for Information Interchange</u> . Eine 7-Bit-Zeichenkodierung für das lateinische Alphabet in Gross- und Kleinschreibung, die zehn arabischen Ziffern, einige Satzzeichen sowie einige Steuerzeichen. Umlaute können im ASCII-Code nicht dargestellt werden.
DJF	<u>Dezember, Januar, Februar</u> ; Definition des klimatologischen Winters.
DWH	<u>Data Warehouse</u> , "Daten-Lagerhaus". Die zentrale Datenbank von MeteoSchweiz.
ENET	Das Windmessnetz, das als <u>Ergänzungs-Messnetz</u> zum ANETZ ab 1992 aufgebaut wurde. Die Stationen des ENET werden seit 2003 sukzessive durch das SMN ersetzt.
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich
FTP	<u>File Transfer Protocol</u> , englisch für „Dateiübertragungsverfahren“, ein 1985 spezifiziertes Netzwerkprotokoll zur Übertragung von Dateien über Netzwerke. Es wird benutzt, um Dateien vom Server zum Client (download, herunterladen) oder vom Client zum Server (upload, hochladen) zu übertragen. Ausserdem können mit FTP Verzeichnisse angelegt und ausgelesen sowie Verzeichnisse und Dateien umbenannt oder gelöscht werden.
GCOS	<u>Global Climate Observing System</u> . Das globale Klimabeobachtungsprogramm GCOS wurde 1992 von einer Reihe von internationalen Organisationen (WMO, IOC, UNESCO, UNEP und ICSU) aufgenommen. Die Ziele vom GCOS sind (a) die Klimaüberwachung, (b) Untersuchungen zur Klimaänderung, (c) Untersuchungen zur Wirkung des Klimas bzw. dessen Änderung, (d) Anwendungen von Klimadaten in der Wirtschaft und (e) Forschung zum besseren Verständnis des Klimasystems sowie zu seiner Modellierung und Vorhersagbarkeit.
ICSU	International Council for Science (früher: <u>International Council of Scientific Unions</u>), internationaler Wissenschaftsrat.
IOC	<u>Intergovernmental Oceanographic Commission</u> , zwischenstaatliche ozeanografische Kommission.
JJA	<u>Juni, Juli, August</u> ; Definition des klimatologischen Sommers.
MAM	<u>März, April, Mai</u> ; Definition des klimatologischen Frühjahrs.
MEZ	<u>Mitteeuropäische Zeit</u> . MEZ wurde am 1. April 1893 in Deutschland eingeführt und gilt ab 1894 auch in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein. MEZ geht gegenüber UTC eine Stunde vor.
NBCN	<u>National Basic Climate Network</u> , das nationale Netz, das Teil des globalen GCOS ist.
NIME	<u>Niederschlagsmessnetz</u> von MeteoSchweiz.

OBS	Das von MeteoSchweiz betriebene, von den automatischen Messnetzen unabhängige Stationsnetz für Augenbeobachtungen. Aufgebaut ab 2005.
RMS	Root Mean Square, auch quadratisches Mittel genannt. Eine statistische Grösse, welche die Magnitude einer variablen Grösse angibt. $x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n}(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)}$
RUAG	Ein in der Schweiz entstandener internationaler Technologiekonzern für Luft- und Raumfahrt sowie Sicherheits- und Wehrtechnik.
SCNAT	Kurzbezeichnung für die Akademie der Naturwissenschaften Schweiz
SMA	<u>S</u> chweizerische <u>M</u> eteorologische <u>A</u> nstalt, ab 1996 MeteoSchweiz.
SMN	<u>S</u> wiss <u>M</u> et <u>N</u> et. Das aktuelle Messnetz von MeteoSchweiz, aufgebaut ab 2003, umfasst im Endausbau rund 130 Stationen. Das SMN ist das Nachfolge-Messnetz für das ANETZ und das ENET sowie für ausgewählte ehemalige Klimastationen.
SNG	<u>S</u> chweizerische <u>N</u> aturforschende <u>G</u> esellschaft, ursprüngliche Bezeichnung für die Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT)
SON	<u>S</u> eptember, <u>O</u> ktober, <u>N</u> ovember; Definition des klimatologischen Herbsts.
SYNOP	Ein international verwendeter Code bestehend aus Fünfergruppen von Zahlen, der für die Übermittlung von Wetterdaten verwendet wird. Die Abkürzung steht für <u>s</u> ynchronous <u>o</u> ptical <u>o</u> bservation, also zeitgleiche, dreistündliche (Wetter-) Beobachtungen um 00, 03, ..., 24 UTC.
UNEP	<u>U</u> nited <u>N</u> ations <u>E</u> nvironmental <u>P</u> rogramme, Umweltprogramm der Vereinten Nationen.
UNESCO	<u>U</u> nited <u>N</u> ations <u>E</u> ducational, <u>S</u> cientific and <u>C</u> ultural <u>O</u> rganization, Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur.
UTC	<u>U</u> niversal <u>T</u> ime <u>C</u> oordinated, die Koordinierte Weltzeit. UTC wurde 1972 eingeführt. Im Gegensatz zur früher verwendeten Greenwich Mean Time (GMT) folgt UTC nicht unmittelbar der durch die Erdrotation schwankenden Zeit, sondern einem gleichmässigen Sekundentakt. Um die UTC der durch die Erdrotation gegebene Zeit im Mittel anzugleichen, werden ab und zu sogenannte Schaltsekunden eingefügt. UTC geht gegenüber der Mitteleuropäischen Zeit MEZ eine Stunde, gegenüber der Mitteleuropäischen Sommerzeit zwei Stunden nach.
WMO	<u>W</u> orld <u>M</u> eteorological <u>O</u> rganization, Weltorganisation für Meteorologie.
ZAMG	<u>Z</u> entralanstalt für <u>M</u> eteorologie und <u>G</u> eodynamik, Wien (nationaler Wetterdienst Österreichs).

Anhang B: Stationskennungen

Die nachstehende Tabelle listet die in diesem Bericht erwähnten Messstationen auf. Angegeben sind die Ortschaft, die Kennung (Abkürzung), die Koordinaten (Schweizerische Kilometer-Koordinaten), die Höhe über Meer sowie das Messnetz, welchem die Station angehört.

Die Koordinaten entsprechen den zurzeit korrekten Positionen der Messstationen, bzw. der letzten Position bei aufgehobenen Stationen. Im Rahmen des Aufbaus von SwissMetNet wurden viele Stationen leicht verschoben. Aus diesem Grund können Messwerte für eine bestimmte Station früher an einer leicht anderen Position gemessen worden sein. Für Altdorf sind die verschiedenen Standorte in Tabelle 2.1 aufgeführt.

Tabelle B.1: Stationskennungen und Koordinaten der verwendeten Messstationen.

Ort	Kennung	Koordinaten		Höhe in m ü.M.	Messnetz
		km-Koordinaten	geogr. Koordinaten		
Adelboden	ABO	609400/148975	46°29'31"N 7°33'40"E	1320	SMN
Aigle	AIG	560400/130713	46°19'36"N 6°55'28"E	381	SMN
Altdorf	ALT	690960/191700	46°52'13"N 8°37'54"E	449	SMN
Altstätten	ALS	758200/250110	47°22'58"N 9°32'02"E	468	NIME
Bad Ragaz	RAG	756900/209370	47°01'01"N 9°30'09"E	496	SMN
Chur	CHU	759460/193170	46°52'14"N 9°31'50"E	555	SMN
Davos	DAV	783514/187457	46°48'47"N 9°50'37"E	1594	SMN
Ebnat-Kappel	EBK	726191/237146	47°16'23"N 9°06'23"E	620	SMN
Engelberg	ENG	674156/186097	46°49'19"N 8°24'38"E	1035	SMN
Glarus	GLA	723752/210567	47°02'05"N 9°04'01"E	516	SMN
Guttannen	GTT	665280/167550	46°39'22"N 8°17'29"E	1055	NIME
Güttingen	GUT	738419/273960	47°36'06"N 9°16'46"E	440	SMN
Heiden	HEI	758110/256120	47°26'13"N 9°32'05"E	800	(aufgehoben)
Interlaken	INT	633070/169120	46°40'21"N 7°52'15"E	580	SMN
Landquart	LAN	761670/203400	46°57'43"N 9°33'47"E	530	NIME
Luzern	LUZ	665540/209848	47°02'11"N 8°18'04"E	454	SMN
Meiringen	MER	655843/175920	46°43'56"N 8°10'09"E	588	SMN
Rohrspitz	ROH	765160/263050	47°29'51"N 9°37'51"E	397	ZAMG
Rorschach	ROS	755070/260260	47°28'29"N 9°29'45"E	420	NIME
Sarnen	SRN	661550/193680	46°53'29"N 8°14'47"E	475	NIME
Sion	SIO	591630/118575	46°13'07"N 7°19'49"E	482	SMN
St. Gallen	STG	747940/254600	47°25'32"N 9°23'58"E	779	SMN
Tierfehd	TFD	717760/193140	46°52'44"N 8°59'01"E	812	NIME
Vaduz	VAD	757718/221696	47°07'39"N 9°31'03"E	457	SMN
Visp	VIS	631150/128020	46°18'10"N 7°50'35"E	640	SMN
Wädenswil	WAE	693770/230780	47°13'17"N 8°40'36"E	463	SMN
Zürich-SMA	SMA	685125/248090	47°22'41"N 8°33'57"E	556	SMN

Anhang C: Stationsgeschichte Altdorf

Stations- und Barometerhöhen bei Standortwechseln

Jahr	Monat	Standort, Beobachter	Koordinaten		Stations- resp. Barometerhöhe	
			Gg.Br.	Gg.L.	m/M	m/M
1863 ³⁾	Okt.	1: Dr. med. Franz Müller	11)	11)	11)	11)
1865	Jan.	1: Franz Müller	46°53'	0h25m ²⁶⁾	454	11)
1872	Nov.	1: Franz Müller	46°53'	0h25m ²⁶⁾	454	11)
1872 ¹²⁾	Dez.	1: Franz Müller	46°53'	0h25m ²⁶⁾	454	11) (in Band 1873)
1873	Jan.	2: Fb. Nager	46°53'	0h25m ²⁶⁾	454	11)
1873 ²¹⁾	Nov.	2: Fb. Nager	46°53'	0h25m ²⁶⁾	454	11)
(1874) ¹³⁾		2: Fb. Nager	13)	13)	13)	13)
1875	Jan.	2: Fb. Nager	46°53'	0h25m ²⁶⁾	454	11)
1880	Jan.	2: Fb. Nager	46°53'	0h25m ²⁶⁾	454	11)
1880	Feb.	2: F. Nager	46°53'	8°39'	454	11)
1882	Mai	3: F. Nager	46°53'	8°39'	?? ²⁰⁾	11)
1882	Aug.	3: F. Nager	46°53'	8°39'	464	11)
1884	Aug.	3: F. Nager	46°53'	8°39'	484	11)
1892 ²⁵⁾	Okt.	3: F. Nager	46°53'	8°39'	484	11)
1892 ²³⁾	Nov.	3/4: F. Nager	46°53'	8°39'	484/450	11)
1892	Dez.	4: F. Nager	46°53'	8°39'	450	11)
1901	April	4: F. Nager	46°53'	8°39'	450	G=0.05mm
1901	Mai	5: F. Nager	46°53'	8°39'	456 ¹⁾	G=0.05mm
1901	Juni	5: F. Nager	46°53'	8°39'	455 ²⁾	G=0.05mm
1901	Dez.	5: F. Nager	46°53'	8°39'	455 ²⁾	G=0.05mm
1910	März	5: F. Nager (gest.)	46°53'	8°39'	H=456.3	G=0.05mm
1910 ²²⁾	April	5: Frl. Henricka Nager	46°53'	8°39'	H=456.3	G=0.05mm
1911	Jan.	5: Frl. H. Nager	46°53'	8°39'	H _b =456.3	G=0.05mm
1936 ²⁵⁾	Dez.	5: Frl. H. Nager	46°53'	8°39'	H _b =456.3	G=-0.05mm
(1955) ¹⁶⁾	Jan.	5: Frl. H. Nager	46°53'	8°39'	H _b =456.3	G=-0.05mm)
1955	Jan.	6: Eidg. Armeemag.	46°52'	8°38'	H _b =450.7	G=-0.08mm
(1958) ¹⁶⁾	Sept.	5: Frl. H. Nager	46°53'	8°39'	H _b =456.3	G=-0.05mm)
1961	Jan.	6: Eidg. Armeemag.	46°52'	8°38'	H _b =450.7	G=-0.08mm
1971 ¹⁵⁾	Jan.	6: Eidg. Armeemag.	46°52'	8°38'	H _s =449; H _p =450.7(/10m)	
1972 ¹⁴⁾	Jan.	6: Eidg. Armeemag.	46°52'	8°38'	H _s =449; H _p =450.7(/10m)	
1978 ¹⁹⁾	Jan.	6: Eidg. Armeemag.	46°52'	8°38'	H _s =449; H _p =450.7(/10m); H _r =1.5	
1995 ¹⁷⁾	Dez.	7: Eidg. Armeemag.	46°52'	8°38'	H _s =449; H _p =450.7(/10m); H _r =1.5	
2009 ¹⁸⁾	Jan.	8: Neue Station SMN	46°53'	8°37' ²⁷⁾	H _s =438; Kürzel: ALT; Ind.: 4140	

¹⁾ handkorrigiert

²⁾ gedruckt

³⁾ in den 'Schwarzen Bänden' (Archiv) ab 1. Okt. 1863; in Annalen ab 1. Dez. 1863

¹¹⁾ keine Angabe

¹²⁾ im Band "Klimadaten" 1873

- 13) Dez. 1873 - Dez. 1874: Altdorf in Annalen nicht enthalten; nur "schwarze Bände".
Nur 10 Stationen veröffentlicht.
→ z.B. im Vorwort zum Band 1874 vom Aug. 1876, p. IV: Übersicht alte Beobachtungen Schweiz von 1550 - 1867.
- 14) Computertabellen
- 15) neu mit Zusatzinfo Station: $H_s(m)$, $H_p(/10m)$, $H_r(/10m)$
Abendtermin neu um 19 h MEZ (statt 21 h MEZ)
- 16) Stations-/Standortwechsel in langer Reihe AB "Lange Föhnreihe Altdorf" per 1.1.1955
- 17) ab 1996 keine Extenso-Tabellen mehr in den Annalen
- 18) Stationswechsel per 8.12.2008 zu SMN-Standort talabwärts und Richtung Talmitte (ca. 2 km in NNW-Richtung)
- 19) ab 1.1.1978 sind 20 ANETZ-Stationen in den Annalen gedruckt (u.a. auch Altdorf)
- 20) In Annalen: "Mai/Juni/Juli??"
- 21) Dezember 1873 generell nicht veröffentlicht
- 22) Henricka Nager: Tochter von Dr. med. Franz Nager, gestorben im März 1910
- 23) "vormittags den 9. Nov. wurde die Station translociert"
- 24) Annalen 1934, Einleitung, p. V: "Die Schwerekorrekturen (G) sind vom vorliegenden Jahrgang an auf Grund neuer Berechnungen von Herrn Prof. Niethammer, Basel, eingesetzt worden."
- 25) Annalen 1892, Einleitung, p. VI: "Die internationale Meteorologenkonferenz in München (1891) fasste eine Resolution, wonach allgemein empfohlen wird, die Barometerstände auf die Normalschwere zu reduzieren. In allen Karten, sowie am Kopfe der bezüglichen Tabellen soll die Grösse dieser Korrektur mitgeteilt und angegeben werden, ob die Reduktion bereits vollzogen ist. Dem entsprechend ist vom vorliegenden Jahrgang an am Kopfe der Jahresübersichten die betreffende Korrektionsgrösse (für Reduktion des Luftdruckes auf 45° Breite und Meeresniveau) jeweils angegeben. Dieselbe an den Einzeldaten oder an den Mittelwerten selbst anzubringen, hielten wir für unthunlich, da in unserm Lande auf beinahe der Hälfte aller Stationen die Reduktionsgrösse unter +/- 0.05 mm bleibt und nur bei einem Fünftel +/- 0.10 mm übersteigt, während die Barometerablesungen ohnehin nur die Zehntel-Millimeter geben."
- 26) Die hier als Zeit angegebene geographische Breite entspricht einem Winkel von 6°15'. Da es unwahrscheinlich scheint, dass damit der Abstand vom Nullmeridian gemeint ist, bedeuten die 25^{min} wahrscheinlich die zeitliche Verzögerung gegenüber Mitteleuropäischer Zeit. Diese ist für 15° E exakt, eine positive Zeitverschiebung von 25^{min} ergäbe somit eine geographische Breite von 8°45'.
- 27) Exakt: 690'174/193'558 (km-Koordinaten), entspricht 46.8870° N / 8.62180° E bzw. 46°53'13.2" N / 8°37'18.5" E.

Erklärungen zu den Symbolen

In der obigen Liste wurden die originalen Symbole und Abkürzungen verwendet, wie sie in den Annalen aufgeführt sind. Nachstehend wird versucht, diese Symbole und Abkürzungen zu erklären.

"G"-Wert

Diese Angabe erscheint ab 1894 in den Annalen, wird aber dort nicht definiert. 1971 findet sich dann eine Erklärung: "G Korrektion an den Luftdruckdaten für deren Reduktion auf Normalschwere (45° Breite und Meeresniveau)." Die Werte für G werden angegeben als z.B. G = 0.05 mm. Wahrscheinlich entspricht der Wert der Korrektur der Druckmessung in mmHg für die Höhen- und Breitenabweichung. Allerdings bleibt die Frage, weshalb er 1921 das Vorzeichen wechselt.

H verwendet ab 1894 bis Dez. 1910

ursprünglich keine näheren Erklärungen zur Bedeutung dieses Wertes. Ab 1971 wird damit die Höhe des Regenmessers angegeben.

H_p (/10 m) verwendet von Jan. 1911 bis Dez. 1970

Dieser Wert gibt die Höhe des Quecksilbergeäßes des Barometers in Dezimeter (also Zehntelmeter, deshalb die Angabe "(/10m)" an. Bezugshöhe ist der neue Wert des Pierre du Niton, d.h. 373.6 m.

H_b verwendet seit Jan. 1971

Höhe des Stationsbarometers in m ü.M. Bezugshöhe ist der neue Wert des Pierre du Niton, d.h. 373.6 m.

H_s verwendet seit Jan. 1971

Höhe des Messfeldes in m ü.M. Bezugshöhe ist der neue Wert des Pierre du Niton, d.h. 373.6 m.

H_r

Höhe der Oberkante des Regenmessers über dem Erdboden in Meter.

* * *