



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 223

Automatisiertes Verfahren zur Bestimmung von Föhn in Alpentälern

Bruno Dürr



Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 223

Automatisiertes Verfahren zur Bestimmung von Föhn in Alpentälern

Bruno Dürr

Bitte zitieren Sie diesen Arbeitsbericht folgendermassen

Dürr, B: 2008, Automatisiertes Verfahren zur Bestimmung von Föhn in Alpentälern, *Arbeitsberichte der MeteoSchweiz*, **223**, 22 pp.

Herausgeber

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz, © 2008

Weitere Standorte
CH-8058 Zürich-Flughafen
CH-6605 Locarno Monti
CH-1211 Genève 2
CH-1530 Payerne

Zusammenfassung

Auf der Basis von 10 Jahren Daten aus dem automatischen Messnetz der MeteoSchweiz wird eine Methode vorgestellt, um Föhn automatisch und in Echtzeit alle 10 Minuten aus automatisch erfassten Daten zu bestimmen. Die Methode stützt sich auf quantitative, und somit objektive, Grenzwerte ab, welche individuell für jede Station aus bestehenden Messdaten hergeleitet werden können. Das hier vorgestellte automatisierte Föhnbestimmungsverfahren erlaubt es zusätzlich zur operationellen Anwendung, den Föhn ab 1981 aus vorhandenen Zehnminutendaten des automatischen Messnetzes zu erfassen und weiteren meteorologischen und klimatologischen Auswertungen zugänglich zu machen.

Summary

A new method is presented here to automatically detect Foehn in real-time every 10 minutes at sites of the MeteoSwiss automatic network based on a 10-years dataset. The method uses station-dependant quantitative thresholds in an objective manner. Beside the operational application at MeteoSwiss the new scheme also allows to process time-series of ten minutes values from automatic measurements back to 1981. Therefore it is possible now to provide a long-term Foehn dataset in a feasible way for further meteorological and climatological investigations.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Summary	3
1 Einleitung	5
2 Problemstellung	5
3 Daten	6
4 Abgrenzung Südföhn	7
4.1 Automatische Föhnbestimmung	8
4.2 Aufteilung Föhn	11
5 Resultate	12
5.1 Auswertung der Föhnstunden	12
5.2 Auswertung der Föhnluftstunden	13
6 Validierung	15
7 Tagesgänge	18
8 Schlussbemerkungen	20
9 Ausblick	21
Dank	22
Literatur	22

1 Einleitung

Die um 1972 gegründete Arbeitsgemeinschaft Föhnforschung Rheintal-Bodensee (AGF) besteht aus Prognostikern, Föhninteressierten, Meteorologen und Klimatologen aus Deutschland, Österreich, Liechtenstein und der Schweiz, welche sich dem Thema Föhn und dessen Vorhersage im Gebiet des Alpenrheintales und des Bodensees beschäftigen. Die AGF wird auch von den drei nationalen Wetterdiensten (DWD, ZAMG und MeteoSchweiz) der Bodensee-Anrainerstaaten unterstützt, da Resultate aus der AGF in die Praxis der Föhnvorhersage einfließen. Im Jahre 2007 durfte die AGF die noch verbliebenen Mitglieder der Gruppe MAP-FORM (FOehn in the Rhine valley during MAP (Mesoskaliges Alpines Programm)) aufnehmen, welche sich auf diesen Zeitpunkt hin auflöste, dessen Mitglieder sich jedoch weiterhin in der Föhnforschung engagieren möchten.

Das Auftreten von Föhn im Raum Ostschweiz wird regelmässig von den verschiedenen Mitgliedern der AGF beurteilt und an den halbjährlich stattfindenden Föhnsitzungen gemeinsam besprochen. Neben der Föhnvorhersage und Sturmwarnung gilt das Augenmerk der AGF auch dem klimatologischen Einfluss der warmen und trockenen Föhnströmung auf das Klima der Region Ostschweiz. In dieser Arbeit wird nur auf die automatisierte Bestimmung des Südföhns, d.h. des Föhns auf der Alpennordseite, eingegangen.

Für eine allgemeine Einführung in die Föhnproblematik werden hier die Übersichtswerke von KUHN (1989) und von STEINACKER (2006) empfohlen.

2 Problemstellung

Jeder der Föhnexperten der AGF hat sich aufgrund jahrelanger Erfahrung eigene objektive und subjektive Kriterien erarbeitet, um Föhn an einer Station von anderen Strömungen mit Windrichtung aus der stations-typischen Föhnrichtung unterscheiden zu können. Hierzu gehören lokale Bergwinde und ausfliessende Luft aus dem Subsidenzbereich eines Hochdruckgebietes über den Alpen oder aus einem nahen Gewitter.

Laut der Definition der AGF für Südföhn muss die Föhnluft einer alpenquerenden Trajektorie aus Sektor Süd folgen, der Luftdruck im Süden der Alpen eindeutig höher als im Norden der Alpen sein, und günstig gelegene Bergstationen knapp nördlich des Alpenkamms eine mittlere Windgeschwindigkeit von mindestens 15 Knoten aus Sektor Süd messen (BURRI et al., 1999). Ein auf dieser Definition basierendes automatisiertes Verfahren wurde im Rahmen einer Diplomarbeit vorgestellt (DÜRR, 2000), um den Aufwand für die Föhnbestimmung für Messdaten aus der MAP-Feldphase im Herbst 1999 zu reduzieren. Spätere Untersuchungen mit diesem ersten automatischen Verfahren für den Zeitraum 1991 – 2000 haben

gezeigt, dass die Abgrenzung von Föhn besonders für Vaduz schwieriger ist als für Altdorf, wo sich der Föhneinsatz und das Föhnende meist durch sehr markante sprunghafte Änderungen der Temperatur und der relativen Luftfeuchte bemerkbar machen. In Vaduz treten vor allem während der Sommermonate am Abend recht starke Bergwindfälle auf, welche durchaus für einen schwachen Föhn gehalten werden können. Für diese Fälle ist es besonders wichtig, die Druck- und Windverhältnisse über dem Alpenkamm und an weiteren typischen Föhnstationen zu überprüfen, um entsprechend der AGF-Föhndefinition (BURRI et al., 1999) von Föhn in Vaduz sprechen zu können. Diese schwierigen Bedingungen in Vaduz machten die Bestimmung von quantitativen Grenzwerten für dieses erste automatische Verfahren praktisch unmöglich.

Aus den vorherigen Ausführungen lassen sich folgende Ziele für eine verbesserte automatisierte Föhnbestimmung formulieren:

1. Objektive Abgrenzung zwischen Föhn und den übrigen Windströmungen aus der stations-typischen Föhnrichtung
2. Möglichst gute Reproduzierbarkeit der manuell vorgenommenen Föhnbestimmung der AGF-Föhnexperten durch ein objektives automatisches Verfahren
3. Minimierung des zeitlichen Aufwandes für die Föhnbestimmung
4. Ausdehnung von automatisierter Föhnbestimmung auf weitere geeignete Talstationen auf der Alpennordseite

Als Resultat soll ein zeitlich hochaufgelöster Datensatz bereitgestellt werden, welcher die Analyse der Eigenschaften des Föhns an den verschiedensten Stationen erlauben soll, und der allgemein zur Verbesserung der Föhnprognose und speziell der Sturmwarnung in der Region Bodensee herangezogen werden kann.

3 Daten

Für die Herleitung der automatisierten Föhnbestimmungsmethode standen Zehnminutenwerte, Stundenwerte und Stundenmittel aus den Messdaten des automatischen Messnetzes (ANETZ, seit 2005 neu SwissMetNet (SMN) genannt) der MeteoSchweiz für den Zeitraum 1991 bis heute zur Verfügung. Das Stundenmittel wird - wie im ANETZ üblich - aus den sechs Zehnminutenwerten HH50 bis (HH+1)40 UTC berechnet. Zehnminutenwerte der folgenden Parameter wurden an den Talstationen verwendet: Windgeschwindigkeit ff (ms^{-1}), Böenspitzen $f_x f_x$ (ms^{-1}), Windrichtung dd (Grad), Relative Luftfeuchtigkeit UU (%) und

potentielle Temperatur θ (K). Zur Berechnung der potentiellen Temperatur θ werden Zehnminutenwerte der ventilerten Lufttemperatur TT und Stundenwerte des Luftdrucks pp verwendet:

$$\theta = (TT + 273.15) \left(\frac{1000}{pp} \right)^{0.286}. \quad (1)$$

Für die Herleitung der quantitativen Grenzwerte wurden an einigen Bergstationen im Alpenkammbereich Stundenmittel der folgenden Parameter benötigt: Windrichtung dd (Grad), Windgeschwindigkeit ff (ms^{-1}) und potentielle Temperatur θ (K). θ wird aus dem Stundenmittel der Lufttemperatur TT und dem Stundenwert des Luftdrucks pp mit Hilfe von Gl. (1) berechnet.

Für die Implementation des Verfahrens auf dem DataWareHouse (DWH) der MeteoSchweiz werden anstelle der vorhin genannten ANETZ-Stundenmittel laufende Stundenmittel über die sechs vergangenen Zehnminutenwerte verwendet. Für den Luftdruck werden anstelle von Stundenwerten neu Zehnminutenwerte verwendet. Diese Änderungen wurden notwendig, um den Föhn in Echtzeit alle 10 Minuten bestimmen zu können.

4 Statistische Abgrenzung von Südföhn

Die im Kapitel 2 beschriebenen Föhnabgrenzungsprobleme an der Station Vaduz führten zur grundlegenden Idee, den Föhn nur noch indirekt zu bestimmen, indem aus allen Messdaten mit Südwind an der Station Vaduz bei gleichzeitiger Passströmung aus Richtung Nord am Alpenhauptkamm quantitative Grenzwerte aus der Verteilung verschiedener meteorologischer Parameter bestimmt werden. Diese Südwindfälle bei gleichzeitiger Passströmung aus Richtung Nord werden hier fortan als Südwind ohne Föhn bezeichnet. Durch die kombinierte Anwendung der daraus resultierenden Grenzwerte können anschliessend auf objektive Weise Südwindfälle ohne Föhn automatisch von Föhn unterschieden werden.

Aus 10 Jahren ANETZ-Messdaten (1991 – 2000) wurden alle Südwindfälle ohne Föhn herausgefiltert, welche die Kriterien ($ff \geq 1.5 \text{ ms}^{-1}$ ODER $f_x f_x \geq 4 \text{ ms}^{-1}$) UND $UU \leq 70\%$ erfüllen, und bei welchen die Windgeschwindigkeit auf dem Gütsch (GUE) $\geq 3.9 \text{ ms}^{-1}$ beträgt mit Windrichtung aus Sektor Nord (290° – 60°), d.h. bei gleichzeitiger Passströmung aus Richtung Nord am Alpenhauptkamm. Für die Stationen im Wallis (Visp, Sion und Aigle) wird stattdessen gefordert, dass die ANETZ-Station auf dem Grossen St. Bernhard (GSB) gleichzeitig Ostwind (350° – 160°) mit derselben Windgeschwindigkeit misst. Bei den untersuchten Stationen im Rheintal und in der Nähe des Bodensees muss die ANETZ-Station Hinterrhein (HIR) gleichzeitig Ostwind (350° – 160°) mit $ff \geq 2 \text{ ms}^{-1}$ messen.

Aus diesem Datensatz wurde nun das 90. Perzentil für die Verteilungen von ff und $f_x f_x$, und das 10. Perzentil für die Verteilung von UU bestimmt. Die so erhaltenen Perzentile für den Wind wurden auf 0.1 ms^{-1} , und das Perzentil für die relative Feuchte auf 1 % gerundet. Zusätzlich zu diesen Grössen wurde auch das 90. Perzentil für die Differenz der potentiellen Temperatur ($\Delta\theta$) zur Station nahe des Alpenkamms eruiert. Eine Differenz $\Delta\theta = -2 \text{ K}$ bedeutet, dass die Luft an der Talstation 2 K potentiell kälter ist als das aktuelle Stundenmittel von θ an der Station nahe des Alpenkamms. Das Einbeziehen von $\Delta\theta$ drängt sich auf, da für die Föhnströmung angenommen wird, dass ein grosser Teil der Föhnströmung direkt vom Niveau des Alpenkamms in die Täler hinabströmt, und dass dabei unter Annahme trocken-adiabatischer Prozesse die potentielle Temperatur θ entlang der Föhntrajektorie konstant bleibt oder sogar leicht zunimmt durch Herabmischen von potentiell wärmerer Luft aus grösserer Höhe (STEINACKER, 1983; SEIBERT, 1985). Bei $\Delta\theta$ handelt sich also um einen mesoskaligen Parameter, der die Temperaturen an zwei verschiedenen Stationen über grosse horizontale und vertikale Strecken vergleicht.

Die so erhaltenen Perzentile werden später als Grenzwerte für die automatische Bestimmung des Föhns verwendet. Dabei repräsentieren die 90. Perzentile die unteren, und die 10. Perzentile die oberen Grenzwerte, welche während Föhn von den verschiedenen Parametern nicht verletzt werden dürfen.

Es zeigte sich jedoch, dass an einigen Stationen nach dem vorhin skizzierten Verfahren unrealistisch tiefe Grenzwerte für die relative Feuchte UU resultierten. Deshalb wurde der Grenzwert für UU nun wie folgt hergeleitet: anstelle der 90. Perzentile wurden die 95. Perzentile für die Verteilungen von ff , $f_x f_x$ und $\Delta\theta$ während Südwind ohne Föhn eruiert. Mit diesen strengeren Grenzwerten wurde der Föhn dann ohne Verwendung des Kriteriums für die relative Feuchte UU an der jeweiligen Talstation bestimmt, wobei sich das Stundenmittel der Windrichtung auf dem Gütsch bei beliebiger Windstärke im Sektor Süd ($90^\circ - 240^\circ$) befinden musste. Aus den so bestimmten Föhnfällen wurde das 99. Perzentil für UU bestimmt. Dieser Wert ist in Tabelle 1 für alle untersuchten Stationen aufgelistet neben der Summe der Stunden mit Südwind ohne Föhn von 1991 – 2000, der Hauptföhnrichtung \overline{dd} , des Föhnwindsektors dd und den quantitativen Grenzwerten für die übrigen Parameter. Eine Kartenübersicht mit den Abkürzungen der in dieser Arbeit verwendeten automatischen Stationen der MeteoSchweiz ist in Abbildung 1 gezeigt.

4.1 Automatische Föhnbestimmung

Mit Hilfe der quantitativen Grenzwerte (kurz: x) aus Tabelle 1 und den folgenden Regeln kann jeder Zehnminutenwert aus automatischen Messungen auf Föhn geprüft werden:

Station	Abk.	S Std.	\overline{dd} Grad	Grenzwerte x für Föhn				
				dd Grad	UU %	$\Delta\theta$ K	ff ms^{-1}	$f_x f_x$ ms^{-1}
Aigle	AIG	840	155	90 – 210	56	-3.4	4.2	7.1
Sion	SIO	880	70	20 – 150	56	-4.5	2.5	3.9
Visp	VIS	580	105	60 – 180	56	-3.4	2.9	4.8
Interlaken	INT	2000	70 ^a	0 – 250	50	-2.1	4.9	9.2
Altdorf	ALT	1500	155	60 – 240	54	-4.0	3.7	6.2
Engelberg	ENG	575	95	10 – 160	61	-1.6	2.5	5.7
Glarus	GLA	230	125	60 – 190	56	-3.5	4.9	8.1
Chur	CHU	170	220	160 – 280	57	-3.3	2.8	5.4
Chur ^b	CHU	170	200	140 – 260	57	-3.3	2.8	5.4
Davos	DAV	231	205 ^c	90 – 270	72	-2.0	3.4	5.6
Vaduz	VAD	700	170	60 – 260	48	-2.8	4.1	7.6
St. Gallen	STG	320	155	90 – 200	61	-2.7	3.3	5.5
Güttingen	GUT	526	150	90 – 190	58	-3.1	2.8	4.9

^a2. Föhnrichtung bei rund 230 Grad

^bab Juni 1994

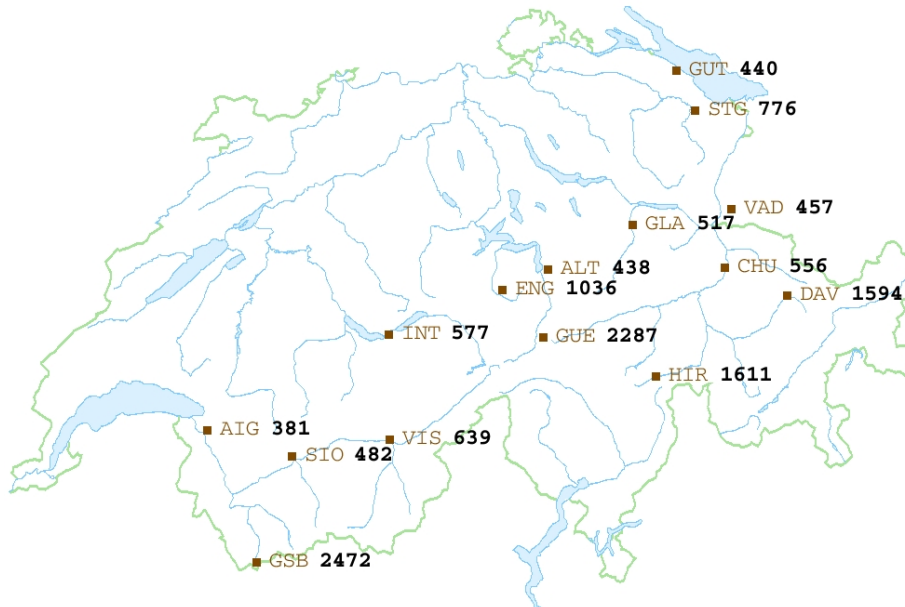
^c2. Föhnrichtung bei rund 150 Grad

Tabelle 1: *Untersuchte Stationen, Stationsabkürzung, Summe der Stunden mit Südwind bei gleichzeitiger Passströmung aus Richtung Nord am Alpenhauptkamm (S) und mittlere Föhnwindrichtung (\overline{dd}). Weiter sind der Föhnwindsektor (dd) und die weiteren Grenzwerte für die automatische Föhnbestimmung (Kapitel 4.1) angegeben.*

1. Windrichtung Gütsch: für das Stundenmittel der Windrichtung dd auf dem Gütsch gilt während Föhn: $90^\circ \leq dd \leq 240^\circ$
2. Föhneinsatz an Talstation: $\Delta\theta \geq x$ UND ($ff \geq x$ ODER $f_x f_x \geq x$) UND $UU \leq x$ UND dd innerhalb des in Tabelle 1 vorgegebenen Föhnwindsektors
3. Föhnfortdauer an Talstation: Föhneinsatz bereits erfolgt UND $\Delta\theta \geq x$ UND $UU \leq x$ UND dd innerhalb des in Tabelle 1 vorgegebenen Sektors
4. Föhnende an Talstation: mindestens 1 Kriterium aus dem Punkt “Föhnfortdauer” oder die “Windrichtung Gütsch” ist verletzt

Bei der Föhnfortdauer werden also die Windgeschwindigkeiten und die Böenspitzen nicht mehr berücksichtigt, womit kurze Föhnflauten überbrückt werden

Stationshöhen (Messfelder) [m.ü.M]



Quelle: MeteoSchweiz

Abbildung 1: Kartenübersicht mit den Abkürzungen der in dieser Arbeit verwendeten automatischen Stationen der MeteoSchweiz mit Angabe der Stationshöhe in Meter über Meer.

können. Dies war eine der Hauptschwächen des ersten automatischen Föhnbestimmungsverfahrens (DÜRR, 2000). Ermöglicht wird diese Vereinfachung gegenüber dem alten Verfahren durch den Einbezug von $\Delta\theta$ in den Test der Föhnfortdauer.

Fehlende Messwerte bis zu einer halben Stunde werden mit dem letzten noch vorhandenen Wert ersetzt. Bei längeren Ausfällen werden die Werte mit einem Füllwert belegt, und die Föhnbestimmung gibt ebenfalls einen Füllwert zurück.

Der Sektor für die Föhnwindrichtung dd an den einzelnen Stationen wurde anhand der Topographie und graphisch aus denjenigen Föhnintervallen abgeschätzt, welche wie vorher beschrieben mit den Grenzwerten aus den 95. Perzentilen ohne relative Luftfeuchtigkeit eruiert worden waren.

Zum Schluss wurde überprüft, wie viele der Zehnminutenwerte mit Südwind ohne Föhn die Kriterien für den Föhneinsatz an der Station erfüllen, d.h. wieviele Fälle bei gleichzeitiger Pasströmung aus Richtung Nord am Alpenhauptkamm fälschlicherweise als Föhn interpretiert werden. Dies war nur noch bei rund 2 % aller Werte der Fall. Dies bedeutet, dass durch die gleichzeitige Anwendung der Grenzwerte für Windgeschwindigkeit, Böenspitzen, Windrichtung, relative

Feuchte und Differenz der potentiellen Temperatur zum Gütsch der gesamte Fehler deutlich reduziert wird gegenüber den 10 % Fehlern der einzelnen Grenzwerte.

4.2 Aufteilung Föhn in Föhnluft- und Föhnmischluftfälle

Mit Hilfe der Kriterien in Kapitel 4.1 wurden alle Föhnfälle 1991 – 2000 in Vaduz bestimmt, und die potentielle Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ zum Gütsch als Funktion der Windgeschwindigkeit ff aufgetragen in Abbildung 2. Werte mit negativer

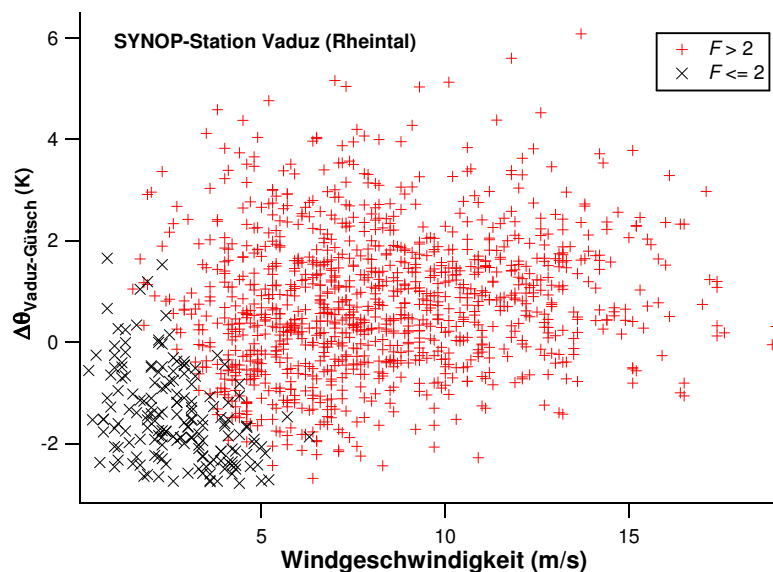


Abbildung 2: Föhn in Vaduz von 1991 – 2000. Es sind jeweils nur die ANETZ-Stundenwerte alle 3 Stunden angegeben, d.h. um 2340 UTC, 0240 UTC, 0540 UTC usw. Die Föhnfälle werden mit Hilfe des in Gl. (2) definierten Föhnmasses F weiter unterteilt in Föhnluft- und Föhnmischluftfälle (Erklärung siehe Text).

potentieller Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ zum Gütsch weisen oft eine geringe Windgeschwindigkeit auf und stellen somit eine eigene Gruppe innerhalb aller Föhnfälle dar. Aus diesem Grund werden die Föhnintervalle noch weiter unterteilt in zwei Untergruppen, nämlich in eine Gruppe mit deutlich ausgeprägter Windgeschwindigkeit, welche für die Sturmwarnung potentiell interessant ist, und in eine Gruppe mit schwacher Windgeschwindigkeit, welche oft bereits einen gewissen Anteil an beigemischter Kaltluft enthalten kann. Die erste Gruppe wird fortan in dieser Arbeit als “Föhnluft”, und die zweite Gruppe als “Föhnmischluft” bezeichnet. Der Oberbegriff für beide Gruppen lautet nach wie vor “Föhn”.

Anhand von verschiedenen visuellen Auswertungen der Föhnfälle in Vaduz konnte eine lineare Trennformel hergeleitet werden, welche Föhnluftfälle grob von Föhnmischluftfällen trennt. Das neu definierte, einheitenlose Föhnmass F lautet folgendermassen:

$$F = a(\Delta\theta) + b(ff) - c(|dd - \overline{dd}|), \quad (2)$$

mit \overline{dd} der Hauptföhnrichtung an der Station (siehe Tabelle 1). Bei Stationen mit einer 2. Föhnrichtung wurde einfachheitshalber keine separate Fallunterscheidung vorgenommen, da der Föhn meist viel seltener aus dieser 2. Richtung bläst. Die heuristisch abgeschätzten Werte der Faktoren der linearen Trennformel lauten $a = 1 \text{ (K}^{-1}\text{)}$, $b = 1 \text{ (s/m)}$ und $c = 3/80 \text{ (Grad}^{-1}\text{)}$. Von Föhnluft wird nach dieser Definition dann gesprochen, wenn F den Wert 2 erreicht oder überschreitet ($F \geq 2$). Föhnmischluft ist folglich durch ein Föhnmass kleiner 2 ($F < 2$) gekennzeichnet. Aus dieser Formel ist ersichtlich, dass negative $\Delta\theta$ -Werte oder eine starke Abweichung der Windrichtung mit einer grösseren Windstärke kompensiert werden können. Dies kann dann der Fall sein, wenn wegen Niederschlags in der Nähe die Föhnluft auch bei starkem Föhn abgekühlt und angefeuchtet wird, oder wenn wegen der starken Richtungsschwankungen des Föhns die Windrichtung während einer kurzen Zeit stark von der Hauptföhnrichtung abweicht. Das oben definierte Föhnmass F mit den Faktoren a , b und c gilt strenggenommen nur für die Station Vaduz. Die nachträgliche Anwendung von F an weiteren Stationen zusammen mit einer visuellen Kontrolle der Resultate hat jedoch ergeben, dass dank dem Föhnmass F an weiteren Standorten Föhnmischluftfälle von Föhnluftfällen abgetrennt werden können. Abbildung 3 zeigt die Trennung von Föhnluft und Föhnmischluft in Vaduz mit Hilfe von Gleichung (2) für die Jahre 1991 – 2000.

5 Resultate der automatisierten Föhnbestimmung

5.1 Auswertung der Föhnstunden

Für insgesamt 9 ANETZ-Stationen auf der Alpennordseite wurde die Summe der Föhnstunden (= Summe der Stunden mit Föhnluft und Föhnmischluft) für die Jahre 1991 – 2000 automatisch bestimmt. Tabelle 2 gibt die Föhnstunden an den einzelnen Stationen an. Die Station Vaduz misst im 10-jährigen Mittel 388 Stunden Föhn im Jahr, d.h. während 4.4 % aller möglichen Stunden tritt Föhn in Vaduz auf. Tabelle 3 zeigt das prozentuale Verhältnis der einzelnen Föhnstundensummen zur Station Altdorf. Die Station Visp hat im Vergleich zu Altdorf rund 23 % mehr Föhnstunden, was erstens auf die relativ geringere Distanz zum Alpenkamm, und

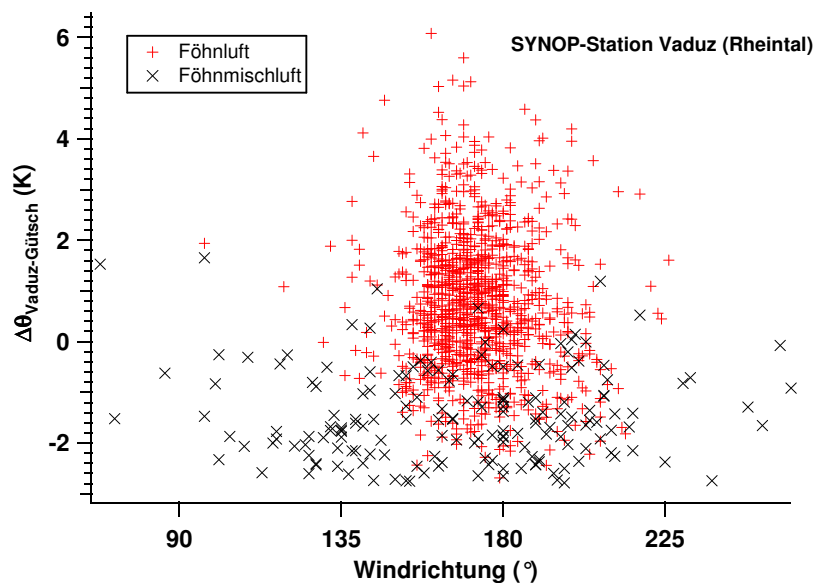


Abbildung 3: Föhnluft und Föhnmischluft in Vaduz von 1991 – 2000. Es sind jeweils nur die Zehnminutenwerte alle 3 Stunden angegeben, d.h. um 0000 UTC, 0300 UTC, 0600 UTC usw. Die Föhnmischluft unterscheidet sich von der Föhnluft in Vaduz durch niedrigere potentielle Temperaturen bezüglich Gütsch und durch eine grössere Streuung der Windrichtung bezüglich der Hauptwindrichtung.

zweitens auf die Gruppe von Föhnfällen bei einer starken Ost- bis Südostkomponente der Höhenströmung über den Alpen zurückzuführen ist, bei welcher Visp oft mit Föhn anspricht. In Chur ist der Föhn etwa gleich häufig wie in Altdorf; Vaduz hat bereits knapp 20 % weniger Föhnstunden. Sion, Glarus und St. Gallen zeigen noch je etwa 1/3 aller Föhnstunden von Altdorf, Aigle noch rund 15 % Föhnstunden, und in Interlaken liegen die Werte unter 10 %.

5.2 Auswertung der Föhnluftstunden

Ähnlich sieht das Bild aus für die Summe der Föhnluftstunden, d.h. Summe der Föhnstunden ohne Einbezug der Föhnmischluftfälle. Tabelle 4 gibt die Föhnluftstunden an den einzelnen Stationen an. Die Anzahl der Föhnmischluftstunden lässt sich aus der Differenz zwischen den Werten in Tabelle 2 und Tabelle 4 bestimmen. Dies ergibt beispielsweise für die Station Vaduz im 10-jährigen Mittel 53 Stunden, resp. in rund 6 % aller möglichen Stunden tritt Föhnmischluft in Vaduz auf. Tabelle 5 zeigt die prozentualen Verhältnisse der Föhnluftstunden bezüglich Altdorf. Die prozentualen Verhältnisse für die Stationen Sion und Chur

Jahr	ALT h	AIG h	SIO h	VIS h	INT h	GLA h	CHU h	VAD h	STG h
1991	303	50	120	378	47	128	368	271	133
1992	417	36	136	515	15	161	435	316	162
1993	595	114	220	697	89	239	614	494	272
1994	507	85	127	577	30	208	492	407	206
1995	356	30	79	463	7	77	303	284	113
1996	506	90	169	768	38	150	481	394	198
1997	363	65	82	500	46	145	341	295	163
1998	430	52	121	530	52	168	479	361	178
1999	570	71	152	578	25	127	475	430	142
2000	734	124	274	760	94	376	598	627	347
Mittel	478	72	148	577	44	178	459	388	191
Stdev	131	32	60	129	29	83	102	110	71

Tabelle 2: Summe der Föhnstunden (Föhnluft + Föhnmischluft) an 9 automatischen Stationen der Alpennordseite mit Angabe des zehnjährigen Mittels und der Standardabweichung.

Jahr	ALT h	AIG %	SIO %	VIS %	INT %	GLA %	CHU %	VAD %	STG %
1991	303	16.5	39.6	124.7	15.4	42.3	121.5	89.3	43.9
1992	417	8.7	32.5	123.6	3.5	38.7	104.4	75.8	38.8
1993	595	19.2	36.9	117.1	15.0	40.2	103.2	83.0	45.8
1994	507	16.9	25.0	113.9	5.8	41.1	97.2	80.3	40.7
1995	356	8.3	22.3	130.3	2.0	21.7	85.1	79.8	31.7
1996	506	17.8	33.4	151.9	7.5	29.7	95.1	77.8	39.1
1997	363	17.8	22.5	137.9	12.6	40.0	93.9	81.3	44.9
1998	430	12.0	28.1	123.2	12.0	39.1	111.4	83.9	41.4
1999	570	12.5	26.7	101.3	4.4	22.3	83.3	75.4	24.9
2000	734	16.9	37.3	103.6	12.8	51.2	81.5	85.5	47.3
Mittel	478	14.7	30.4	122.8	9.1	36.6	97.6	81.2	39.9
Stdev	131	4.0	6.4	15.2	5.0	9.3	12.8	4.4	6.9

Tabelle 3: Summe der Föhnstunden in Altdorf und prozentuale Anteile der Föhnstunden bezüglich Altdorf an den übrigen Stationen mit Angabe des zehnjährigen Mittels und der Standardabweichung.

sind um fast 20 % reduziert gegenüber den Resultaten in Tabelle 3. Folglich sind an diesen beiden Stationen die Föhnmischlufffälle also stark vertreten. Für die Station Chur ist dies keine Überraschung, da dort in den Morgen- und Vormittagsstunden die Föhnströmung meist mit Kaltluft aus den Seitentälern des Rheintals angereichert ist. Die Prozentwerte in Tabelle 3 deuten auch an, dass der Föhn in Chur seit der Stationsverschiebung im Jahr 1994 relativ weniger häufig auftritt. Am wenigsten betroffen von Föhnmischluff ist Glarus, welches im Einzugsgebiet kaum Seitentäler ausserhalb der Föhnströmung mit möglicher Bildung von Kaltluft aufweist.

	ALT	AIG	SIO	VIS	INT	GLA	CHU	VAD	STG
Jahr	h	h	h	h	h	h	h	h	h
1991	284	42	70	346	42	124	295	243	110
1992	378	27	72	466	11	152	356	261	137
1993	547	95	158	652	75	234	490	417	238
1994	472	82	62	540	24	197	386	354	183
1995	333	23	35	431	1	68	235	250	90
1996	485	77	103	727	32	141	380	346	179
1997	341	58	47	470	38	141	222	253	146
1998	398	47	61	500	33	161	362	324	154
1999	535	54	77	536	18	121	303	369	116
2000	680	113	158	723	84	364	378	532	316
Mittel	445	62	84	539	36	170	341	335	167
Stdev	121	29	43	126	26	81	79	91	67

Tabelle 4: *Summe der Föhnluftstunden an 9 automatischen Stationen der Alpennordseite mit Angabe des zehnjährigen Mittels und der Standardabweichung.*

Tabelle 6 gibt für die 9 untersuchten Stationen die Verhältnisse der Föhnluftstunden zur Summe aller Föhnstunden wieder. Visp, Glarus und Altdorf weisen mit 93 % – 95 % den höchsten Anteil an Föhnluftstunden auf. Aigle, Vaduz und St. Gallen folgen mit 86 % – 90 % knapp dahinter. In Interlaken und Chur fallen bereits 1/4 aller Föhnstunden in die Gruppe der Föhnmischlufffälle. Und bereits knapp die Hälfte aller Föhnstunden in Sion sind Föhnmischlufffälle.

6 Validierung mit manueller Föhnauswertung

T. Gutermann (TGU), Gründungsmitglied der AGF, wertet seit vielen Jahren die Föhnreihen u.a. in Altdorf und Vaduz aus. Die von TGU bestimmten Föhnstunden

Jahr	ALT h	AIG %	SIO %	VIS %	INT %	GLA %	CHU %	VAD %	STG %
1991	284	14.8	24.8	121.9	14.9	43.8	104.1	85.7	38.9
1992	378	7.0	19.1	123.3	2.8	40.1	94.1	69.1	36.1
1993	547	17.3	28.9	119.2	13.6	42.7	89.6	76.2	43.5
1994	472	17.4	13.2	114.5	5.0	41.8	81.8	75.0	38.8
1995	333	7.0	10.4	129.6	0.3	20.4	70.7	75.2	27.0
1996	485	15.8	21.2	149.9	6.6	29.2	78.3	71.3	36.9
1997	341	17.1	13.8	138.2	11.1	41.5	65.2	74.4	42.9
1998	398	11.7	15.4	125.6	8.2	40.5	91.0	81.3	38.8
1999	535	10.1	14.5	100.3	3.4	22.7	56.7	69.0	21.8
2000	680	16.6	23.3	106.2	12.3	53.4	55.6	78.1	46.5
Mittel	445	13.5	18.4	122.9	7.8	37.6	78.7	75.5	37.1
Stdev	121	4.2	6.0	14.5	5.0	10.3	16.4	5.2	7.5

Tabelle 5: *Summe der Föhnluftstunden in Altdorf und prozentuale Anteile der Föhnluftstunden bezüglich Altdorf an den übrigen Stationen mit Angabe des zehnjährigen Mittels und der Standardabweichung.*

Jahr	ALT %	AIG %	SIO %	VIS %	INT %	GLA %	CHU %	VAD %	STG %
1991	93.6	83.7	58.6	91.4	89.7	97.0	80.2	89.7	82.8
1992	90.6	73.6	53.1	90.5	70.0	94.2	81.8	82.6	84.3
1993	92.0	82.9	71.9	93.6	83.9	97.8	79.9	84.4	87.4
1994	93.0	96.3	49.1	93.5	78.3	94.7	78.4	86.9	88.9
1995	93.4	77.8	43.7	93.1	11.9	88.3	77.7	88.0	79.5
1996	95.8	85.2	60.8	94.6	84.2	94.2	78.9	87.7	90.3
1997	93.8	89.7	57.1	94.1	82.2	97.5	65.2	85.9	89.6
1998	92.6	89.7	50.7	94.3	62.8	95.9	75.6	89.7	86.7
1999	93.8	76.1	50.9	92.8	73.3	95.4	63.8	85.9	81.9
2000	92.7	91.0	57.7	95.1	88.8	96.7	63.3	84.8	91.2
Mittel	93.1	84.6	55.4	93.3	72.5	95.2	74.5	86.5	86.3
Stdev	1.4	7.3	7.8	1.4	22.9	2.7	7.4	2.3	3.9

Tabelle 6: *Verhältnis der Summe der Föhnluftstunden zur Summe aller Föhnstunden mit Angabe des zehnjährigen Mittels und der Standardabweichung.*

für die einzelnen Jahre wurden mit der Summe der Föhnstunden aus der automatisierten Auswertung in Altdorf und Vaduz verglichen. Die Übereinstimmung für

Altdorf ist ausgesprochen gut, mit einer maximalen prozentualen Abweichung von -5.7 %. Im Jahr 1996 gab es im Januar ein Problem mit der Windrichtungsmessung in Altdorf, d.h. der Föhn blies für einige Stunden scheinbar aus Richtung Nordosten. Der Fehler konnte für diese Föhnperiode korrigiert werden, doch resultieren nun mehr Föhnstunden als bei TGU.

Für Vaduz werden mit dem automatisierten Verfahren rund 20 % weniger Föhnstunden bestimmt, wobei vor allem die Jahre 1997 – 2000 ins Gewicht fallen, wo knapp 30 % weniger Föhnstunden resultieren als bei TGU. Hauptgrund für diese grosse Diskrepanz liegt im Kriterium für die Differenz der potentiellen Temperatur zum Gütsch ($\Delta\theta$), mit welchem sehr viele Fälle von TGU wegfallen. Ein Test mit einem Schwellenwert von -5.8 K für $\Delta\theta$ anstelle von -2.8 K ergab, dass knapp 98 % der von TGU bestimmten Föhnstunden für die Jahre 1991 – 1996 erreicht wurden. Für die Jahre 1997 – 2000 wurde die manuelle Föhnauswertung ursprünglich von mir selbst durchgeführt, was die Inhomogenität in der Zeitreihe für Vaduz erklärt. Diese 4 Jahre sollten deshalb noch einmal genauer überprüft werden.

Altdorf Jahr	Gutermann (TGU) h	Dürr h	Differenz zu TGU %
1991	298	303	1.7
1992	410	417	1.7
1993	607	595	-2.0
1994	496	507	2.2
1995	359	356	-0.8
1996	472	506	7.2
1997	347	363	4.6
1998	456	430	-5.7
1999	563	570	1.2
2000	749	734	-2.0
Mittel	476	478	0.8
Stdev	-	-	3.6

Tabelle 7: Vergleich Föhnstunden aus Auswertung Gutermann und aus automatischer Auswertung in Altdorf. Gegeben ist die jährliche prozentuale Differenz zu TGU und die mittlere prozentuale Differenz plus Standardabweichung über die Jahre 1991 – 2000.

Vaduz Jahr	Gutermann (TGU) h	Dürr h	Differenz zu TGU %
1991	327	271	-17.2
1992	329	316	-3.9
1993	627	494	-21.1
1994	497	407	-18.1
1995	324	284	-12.1
1996	443	394	-11.1
1997	428	295	-31.1
1998	505	362	-28.5
1999	622	430	-30.9
2000	846	627	-25.9
Mittel	495	388	-20.0
Stdev	-	-	9.2

Tabelle 8: Vergleich Föhnstunden aus automatischer Auswertung und aus Auswertung Gutermann in Vaduz. Gegeben ist die jährliche prozentuale Differenz zu TGU und die mittlere prozentuale Differenz plus Standardabweichung über die Jahre 1991 – 2000.

7 Tagesgänge der verschiedenen Südwindströmungen

Für die 3 Stationen Chur, Vaduz und St. Gallen wurden die Tagesgänge der Südströmung ohne Föhn, der Föhnluft und der Föhnmischluft für den Zeitraum 1991 – 2000 miteinander verglichen. Aus den Tagesgängen des Südwindes ohne Föhn in Abbildung 4 wird ersichtlich, dass die Verläufe für Chur und Vaduz recht ähnlich sind, dass jedoch das Maximum in Vaduz um circa 2 Stunden gegen den Mittag hin verschoben ist, und dass die Verteilung breiter ist als in Chur. In St. Gallen hingegen wird das Maximum erst am frühen Abend erreicht. Dies könnte mit der lokalen Hangwindzirkulation auf der Nordseite der Appenzeller Voralpen, oder mit der generellen Gebirgswindzirkulation zwischen den Alpen und dem Alpenvorland zusammenhängen.

Die Verteilung der Föhnluftfälle in Abbildung 5 verflacht sich mit zunehmender Distanz vom Alpenkamm, und gleichzeitig tritt das Maximum immer später auf. In St. Gallen tritt die Föhnluft erst zwischen 20 UTC und 01 UTC am häufigsten auf.

Der Tagesgang der Föhnmischluft verläuft im Gegensatz zu Abbildung 4 für die beiden Stationen Vaduz und St. Gallen recht ähnlich mit 2 Maxima vor und

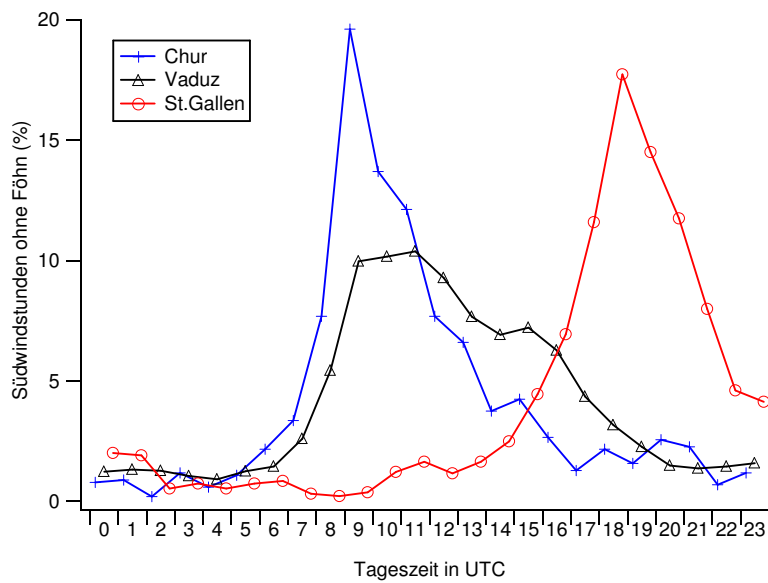


Abbildung 4: Mittlerer Tagesgang des Südwindes ohne Föhn in den Jahren 1991 – 2000 an 3 verschiedenen Stationen in der Ostschweiz.

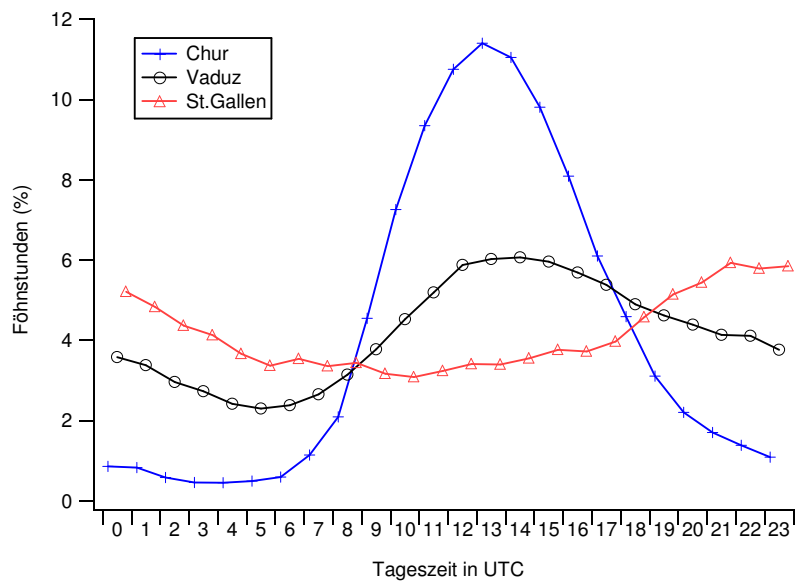


Abbildung 5: Mittlerer Tagesgang der Föhnluft in den Jahren 1991 – 2000 an 3 verschiedenen Stationen in der Ostschweiz.

nach Mitternacht. In Chur hingegen tritt die Föhnwindbildung bevorzugt am Vormittag und am frühen Abend auf. Am Nachmittag ist die Häufigkeit der Föhnwind-

schluffstunden etwas reduziert, was durch das vermehrte Auftreten von Talwind verursacht sein könnte.

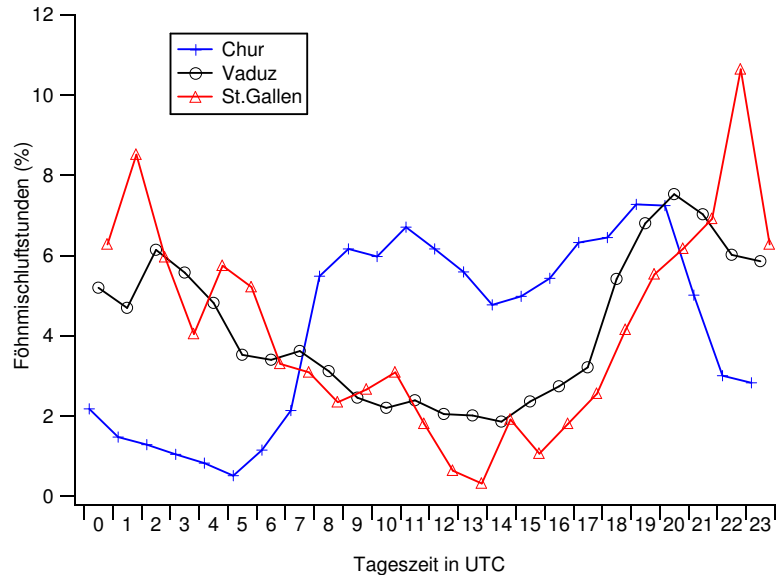


Abbildung 6: Mittlerer Tagesgang der Föhnmischluff in den Jahren 1991 – 2000 an 3 verschiedenen Stationen in der Ostschweiz.

8 Schlussbemerkungen

Es wurde ein statistischer Ansatz vorgestellt, mit dessen Hilfe die Föhnbestimmung anhand von langjährigen Messdaten automatisiert werden kann. Als eine der wichtigsten Ausgangsgrößen für die Föhnbestimmung wurde die Differenz der potentiellen Temperatur $\Delta\theta$ zur Station Gütsch auf dem Alpenkamm eingeführt. Weiter wurde ein Föhnmass F definiert, welches eine grobe Einteilung des Föhns in die Untergruppen “Föhnluft” und “Föhnmischluff” an den verschiedenen Stationen erlaubt.

Die in dieser Arbeit vorgestellte automatisierte Föhnbestimmungsmethode hat folgende Vorteile:

1. die Föhnbestimmung basiert auf der objektiven Kriterien
2. sehr gute Übereinstimmung der Föhnwertung objektiv/manuell für Station Altdorf
3. Aufwand für die Föhnbestimmung ist drastisch reduziert gegenüber manuellen Föhnwertungen

4. Erstellung von Föhndatensatz seit 1981 für rund 10 Stationen auf der Alpennordseite möglich

Ein weiterer Vorteil dieser automatisierten Methode besteht auch darin, dass der Gütsch als allgemeiner Referenzpunkt zur Verfügung steht, was die Vergleichbarkeit der Resultate zwischen den einzelnen Stationen erleichtern sollte. Gleichzeitig ist dies auch ein Nachteil, denn bei einem Ausfall der Station Gütsch kann die Föhnbestimmung nicht mehr durchgeführt werden.

Die Methode zur automatischen Föhnbestimmung gilt streng genommen nur für Stationen in Tallagen oder am Ausgang eines Tales, wo die Föhnströmung aufgrund der Topographie einigermaßen kanalisiert wird. Versuche mit Messdaten der Station Hörnli im Zürcher Oberland haben gezeigt, dass der Föhn wegen der fehlenden Kanalisierung durch die Topographie sehr schlecht vom meist potentiell etwas kälteren Süd-Südwestwind getrennt werden kann, der oft bei Föhnlagen auftritt. Weitere Probleme bereiten Änderungen der Messgeber an den verschiedenen Stationen. Aufgrund der quantitativen Grenzwerte, welche für die automatisierte Föhnbestimmung verwendet werden, können Inhomogenitäten in den Messdaten die Föhnerkennung verfälschen. Vorhin wurde bereits ein Beispiel für Altdorf im Winter 95/96 erwähnt, wo die Windrichtung rund 2 bis 3 Wochen lang um rund 80 Grad – 90 Grad im Gegenuhrzeigersinn verdreht war. Inhomogenitäten wurden soweit als möglich in den einzelnen Zeitreihen korrigiert oder ausgeschlossen.

9 Ausblick

Die hier vorgestellte automatisierte Föhnbestimmung wird seit April 2008 operationell auf dem DWH in Echtzeit alle 10 Minuten für alle hier vorgestellten Stationen berechnet.

Prinzipiell ist die Methode auch zur Bestimmung von Nordföhnfällen an Stationen der Alpensüdseite anwendbar. Weil sich die Station Gütsch nahe am Alpenhauptkamm befindet, ist sie auch für die Stationen der Alpensüdseite als Referenzstation geeignet. Die Bestimmung der Grenzwerte an den einzelnen Stationen der Alpensüdseite steht noch aus.

Für den Sturmwarndienst wäre es sicher von Vorteil, die Föhnluft weiter zu unterteilen in stürmischen Föhn, z.B. maximale Böenspitze grösser 25 Knoten innerhalb der vergangenen 30 Minuten, und in Dimmerföhn, bei welchem von Süden übergreifende Niederschläge eine starke Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit bringen, jedoch oft gepaart mit starken oder sogar stürmischen Südwinden. Die Daten für die Sturmwarnung Bodensee wichtige Station Altenrhein wurde in der Zwischenzeit ebenfalls bereits bearbeitet, aber die Implementierung auf dem DataWareHouse (DWH) der MeteoSchweiz ist noch ausstehend.

Dank

Ein herzlicher Dank geht an die Mitglieder der AGF: R. Werner, T. Gutermann, K. Burri und P. Hächler, welche mich beim Lektorat und mit Anregungen und Korrekturen bei dieser Arbeit unterstützt haben.

Literatur

BURRI, K., P. HÄCHLER, M. SCHÜEPP, R. WERNER, 1999: Der Föhnfall vom April 1993. Arbeitsbericht der MeteoSchweiz Nr. 196, Zürich.

DÜRR, B., 2000: Föhn heute und gestern – ein interdisziplinärer Forschungsbericht. Diplomarbeit, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.

KUHN, M., 1989: Föhnstudien. M. Kuhn (Hrsg.), Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.

SEIBERT, P., 1985: Untersuchungen zum Südföhn. Dissertation, Universität Innsbruck.

STEINACKER, R., 1983: Fallstudie eines Süd- und eines Nordföhns über den Alpen. Aero-Revue **8**, 41–44.

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

Arbeitsberichte der MeteoSchweiz

- 222** Schmutz C, Arpagaus M, Clementi L, Frei C, Fukutome S, Germann U, Liniger M, Schacher F: 2008, Meteorologische Ereignisanalyse des Hochwassers 8. bis 9. August 2007, 29 pp., CHF 64.-
- 221** Frei C, Germann U, Fukutome S, Liniger M: 2008, Möglichkeiten und Grenzen der Niederschlagsanalysen zum Hochwasser 2005, 19 pp., CHF 62.-
- 220** Ambühl J: 2008, Optimization of Warning Systems based on Economic Criteria, 79pp, CHF 75.-
- 219** Ceppi P, Della-Marta PM, Appenzeller C: 2008, Extreme Value Analysis of Wind Observations over Switzerland, 43pp, CHF 67.-
- 218** MeteoSchweiz (Hrsg): 2008, Klimaszenarien für die Schweiz – Ein Statusbericht, 50pp, CHF 69.-
- 217** Begert M: 2008, Die Repräsentativität der Stationen im Swiss National Basic Climatological Network (Swiss NBCN), 40pp, CHF 66.-
- 216** Della-Marta PM, Mathis H, Frei C, Liniger MA, Appenzeller C: 2007, Extreme wind storms over Europe: Statistical Analyses of ERA-40, 80pp., CHF 75.-
- 215** Begert M, Seiz G, Foppa N, Schlegel T, Appenzeller C, Müller G: 2007, Die Überführung der klimatologischen Referenzstationen der Schweiz in das Swiss National Climatological Network (Swiss NBCN), 47 pp., CHF 68.-
- 214** Schmucki D., Weigel A., 2006, [Saisonale Vorhersage in Tradition und Moderne: Vergleich der "Sommerprognose" des Zürcher Bööggs mit einem dynamischen Klimamodell](#), 46pp, CHF 68.-
- 213** Frei C: 2006, Eine Länder übergreifende Niederschlagsanalyse zum August Hochwasser 2005. Ergänzung zu Arbeitsbericht 211, 10pp, CHF 59.-
- 212** Z'graggen, L: 2006, Die Maximaltemperaturen im Hitzesommer 2003 und Vergleich zu früheren Extremtemperaturen, 74pp, CHF 75.-
- 211** MeteoSchweiz: 2006, Starkniederschlagsereignis August 2005, 63pp., CHF 72.-
- 210** Buss S, Jäger E and Schmutz C: 2005: Evaluation of turbulence forecasts with the aLMo, 58pp, CHF 70.–
- 209** Schmutz C, Schmuki D, Duding O, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Sion LSGS, 77pp, CHF 25.–
- 208** Schmuki D, Schmutz C, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Grenchen LSZG, 73pp, CHF 24.–
- 207** Moesch M, Zelenka A: 2004, Globalstrahlungsmessungen 1981-2000 im ANETZ, 83pp, CHF 26.–
- 206** Schmutz C, Schmuki D, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information St.Gallen LSZR, 78pp, CHF 25.–
- 205** Schmutz C, Schmuki D, Ambrosetti P, Gaia M, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Lugano LSZA, 81pp, CHF 26.–
- 204** Schmuki D, Schmutz C, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Bern LSZB, 80pp, CHF 25.–
- 203** Duding O, Schmuki D, Schmutz C, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Geneva LSGG, 104pp, CHF 31.–
- 202** Bader S: 2004, Tropische Wirbelstürme – Hurricanes –Typhoons – Cyclones, 40pp, CHF 16.-

Kürzlich erschienen

- 201** Schmutz C, Schmuki D, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Zurich LSZH, 110pp, CHF 34.-
- 200** Bader S: 2004, Die extreme Sommerhitze im aussergewöhnlichen Witterungsjahr 2003, 25pp, CHF 14.-

Veröffentlichungen der MeteoSchweiz

- 77 Rossa AM: 2007, MAP-NWS – an Optional EUMETNET Programme in Support of an Optimal Research Programme, *Veröffentlichung MeteoSchweiz*, **77**, 67 pp., CHF 73.-
- 76 Baggenstos D: 2007, Probabilistic verification of operational monthly temperature forecasts, *Veröffentlichung MeteoSchweiz*, **76**, 52 pp., CHF 69.-
- 75 Fikke S, Ronsten G, Heimo A, Kunz S, Ostrozlik M, Persson PE, Sabata J, Wareing B, Wichura B, Chum J, Laakso T, Säntti K, Makkonen L: 2007, COST 727: Atmospheric Icing on Structures Measurements and data collection on icing: State of the Art, 110pp, CHF 83.-
- 74 Schmutz C, Müller P, Barodte B: 2006, Potenzialabklärung für Public Private Partnership (PPP) bei MeteoSchweiz und armasuisse Immobilien, 82pp, CHF 76.-
- 73 Scherrer SC: 2006, Interannual climate variability in the European and Alpine region, 132pp, CHF 86.-
- 72 Mathis H: 2005, Impact of Realistic Greenhouse Gas Forcing on Seasonal Forecast Performance, 80pp, CHF 75.
- 71 Leuenberger D: 2005, High-Resolution Radar Rainfall Assimilation: Exploratory Studies with Latent Heat Nudging, 103pp, CHF 81.-
- 70 Müller G und Viatte P: 2005, The Swiss Contribution to the Global Atmosphere Watch Programme – Achievements of the First Decade and Future Prospects, 112pp, CHF 83.-
- 69 Müller WA: 2004, Analysis and Prediction of the European Winter Climate, 115pp, CHF 34.
- 68 Bader S: 2004, Das Schweizer Klima im Trend: Temperatur- und Niederschlagsentwicklung seit 1864, 48pp, CHF 18.-
- 67 Begert M, Seiz G, Schlegel T, Musa M, Baudraz G und Moesch M: 2003, Homogenisierung von Klimamessreihen der Schweiz und Bestimmung der Normwerte 1961-1990, Schlussbericht des Projektes NORM90, 170pp, CHF 40.-
- 66 Schär Christoph, Binder Peter, Richner Hans (Eds.): 2003, International Conference on Alpine Meteorology and MAP Meeting 2003, Extended Abstracts volumes A and B, 580pp, CHF 100.
- 65 Stübi R: 2002, SONDEX / OZEX campaigns of dual ozone sondes flights: Report on the data analysis, 78pp, CHF 27.-
- 64 Bolliger M: 2002, On the characteristics of heavy precipitation systems observed by Meteosat-6 during the MAP-SOP, 116pp, CHF 36.-
- 63 Favaro G, Jeannet P, Stübi R: 2002, Re-evaluation and trend analysis of the Payerne ozone sounding, 99pp, CHF 33.-
- 62 Bettems JM: 2001, EUCOS impact study using the limited-area non-hydrostatic NWP model in operational use at MeteoSwiss, 17pp, CHF 12.-
- 61 Richner H, et al.: 1999, Grundlagen aerologischer Messungen speziell mittels der Schweizer Sonde SRS 400, 140pp, CHF 42.-
- 60 Gisler O: 1999, Zu r Methodik einer Beschreibung der Entwicklung des linearen Trends der Lufttemperatur über der Schweiz im Zeitabschnitt von 1864 bis 1990, 125pp, CHF 36.-
- 59 Bettems J-M: 1999, The impact of hypothetical wind profiler networks on numerical weather prediction in the Alpine region, 65pp, CHF 25.-
- 58 Baudenbacher, M: 1997, Homogenisierung langer Klimareihen, dargelegt am Beispiel der Lufttemperatur, 181pp, CHF 50.-
- 57 Bosshard, W: 1996, Homogenisierung klimatologischer Zeitreihen, dargelegt am Beispiel der relativen Sonnenscheindauer, 136pp, CHF 38.-