

Der Föhn : seine Eigenschaften und Erscheinungsformen

Autor(en): **Frey, Karl**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen / Naturforschende Gesellschaft des Kantons Solothurn**

Band (Jahr): **37 (1996)**

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-543374>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Der Föhn

Seine Eigenschaften und Erscheinungsformen

von Karl Frey

Adresse des Autors:

Dr. Karl Frey
Haldenstrasse 18
4600 Olten

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	Seite 187
1. Begegnungen mit dem Föhn	Seite 188
1.1. Föhneinbruch in den Voralpen	Seite 188
1.2. Föhneinbruch in der Arktis	Seite 188
2. Der Einfluss des Föhns auf das Wettergeschehen	Seite 188
2.1. Die Alpen als Wetterscheide bei Föhn	Seite 188
2.2. Aussergewöhnliche Temperaturverteilung	Seite 190
2.3. Grosse Luftdruckdifferenzen	Seite 190
2.4. Föhntage und Föhnperioden	Seite 190
2.5. Die grössten Föhnstürme im 20. Jahrhundert	Seite 190
2.6. Gleichzeitigkeit von Süd- und Nordföhn	Seite 190
2.7. Föhn und Wetterfühligkeit	Seite 191
3. Das Werden und Vergehen einer typischen Föhnlage	Seite 191
3.1. Der Jahrhundertföhnsturm vom 7. und 8. November 1982	Seite 191
3.2. Das antizyklonale Föhnstadium	Seite 191
3.3. Das zyklonale Föhnstadium	Seite 192
3.3.1. Die Luftdruckdifferenzen	Seite 192
3.3.2. Die Temperaturverteilung	Seite 195
3.3.3. Die Wind- und Niederschlagsverhältnisse	Seite 195
3.3.4. Das Föhnende	Seite 195
4. Vielfältige Entwicklungsformen des Föhns	Seite 195
4.1. Antizyklonalföhn	Seite 195
4.2. Antizyklonaler Höhenföhn	Seite 195
4.3. Zyklonaler Höhenföhn	Seite 195
4.4. Zyklonaler Talföhn	Seite 195
4.5. Antizyklonaler Talföhn	Seite 196
4.6. Dimmerföhn	Seite 196
4.7. Doppelföhn: Süd- und Nordföhn gleichzeitig	Seite 196
4.8. Nordföhn	Seite 196
4.9. Föhnvorkommen lokaler Natur	Seite 196
5. Ein Modell des zyklonalen Talföhns	Seite 196
5.1. Das Antizyklonal- oder Vorstadium des Föhns	Seite 196
5.2. Das Zyklonal- oder Hauptstadium des Föhns	Seite 197
5.3. Historisches zu den Föhnmodellen	Seite 198
6. Literaturverzeichnis	Seite 198

Der Föhn

Seine Eigenschaften und Erscheinungsformen

Zusammenfassung

Zu Beginn werden zwei Durchbrüche des Föhns beschrieben: Der eine in den schweizerischen Voralpen, der andere an der Ostküste Grönlands. Am 8. November 1982 kam es im nördlichen Voralpengebiet zu einem Föhnsturm von ausserordentlicher Heftigkeit. Die auf 400 m ü.M. bezogene Druckdifferenz zwischen den Stationen Locarno-Monti und Kloten erreichte ein bis heute noch nie festgestelltes Ausmass von nahezu 24 Hectopascal.

Die Entwicklung dieser «Jahrhundertföhnlage» wird anhand der räumlichen Felder von Luftdruck, Temperatur, relativer Feuchtigkeit, Windrichtung und Windstärke beidseits der Alpen untersucht, insbesondere entlang eines Querschnittsprofils, das von SSE nach NNW über das Alpenmassiv verläuft.

Die wesentlichen Quellen für die gewaltige kinetische Energie dieses Föhnsturms sind der aussergewöhnliche Druckgradient und das barokline Solenoidfeld über dem nördlichen Voralpengebiet. Es bestand in den untersten 3000 Meter auf der Leeseite ein isobares Temperaturgefälle gegen den Alpenkamm, wie es in diesem Ausmass selten auftritt.

Summary

There is a description first of two foehn breakings down: one in the Swiss Prealps, the other on the east coast of Greenland.

On November 8, 1982, a foehn storm of unusual violence occurred in the Swiss Prealps. The difference in atmospheric pressure, related to 400 meters above sea-level, between Locarno Monti and Kloten, reached almost 24 hectopascal, an amount never observed before.

Einleitung

Mit dem Wetter und der Meteorologie war ich seit meiner Jugendzeit verbunden, und ich begann schon in der Primarschulzeit mit der Aufzeichnung von Wetterdaten, mit der Erstellung von Statistiken und graphischen Darstellungen. Schliesslich fand die Wetterentwicklung in der ganzen Schweiz mein Interesse, und an der Universität Basel wählte ich als Dissertationsthema «Beiträge zum Ablauf von Wetterlagen an Berg- und Talstationen». Bei dieser Arbeit, ergänzt durch die Untersuchungen, die

In order to explain the development of this «foehn situation of the century», the spatial fields of atmospheric pressure, temperature, relative humidity, direction and strength of winds are examined thoroughly on both sides of the Alps, especially along a SSE to NNW profile across the Alpine Massif.

The main sources of the enormous kinetic energy of this foehn storm are the extraordinary pressure gradient and the baroclinic solenoid field above the northern Prealps. On the lee-side, within the lowest 3000 meters, an isobaric lapse rate existed towards the crest of the Alps, which is rarely observed to extend this high.

Résumé

Tout d'abord deux percées du foehn sont décrites: l'une dans les Préalpes suisses, l'autre, sur la côte est du Groenland. Le 8 novembre 1982 s'est produit dans le nord des Préalpes une tempête de foehn d'une violence exceptionnelle. La différence de pression, rapportée à 400 m au-dessus du niveau de la mer, entre les stations Locarno Monti et Kloten, a atteint près de 24 Hectopascal, valeur jamais égalée jusqu'ici. Le développement de cette «situation de foehn du siècle» est étudiée au moyen des champs spatiaux de pression atmosphérique, température, hygrométrie relative, direction et force du vent, de part et d'autre des Alpes, en particulier le long d'un profil SSE-NNW à travers le massif alpin.

Les principales sources de l'énorme énergie cinétique de cette tempête de foehn sont l'extraordinaire gradient de pression et le champ solénoïdal barocline sur le nord des Préalpes. Dans les 3000 premiers mètres s'est produit une chute de température isobare contre la crête alpine, comme on en observe rarement.

ich als Wetteroffizier in der 4. Division in den Voralpen durchführen konnte, trat eine Wettererscheinung immer mehr in den Vordergrund: Der Föhn, dieser machtvolle und faszinierende Wind in unseren Alpen und in allen Gebirgen der Welt. Die umfangreiche Literatur über die Erscheinung des Föhns, die rund 150 Jahre zurückreicht, hat mich seither dazu angespornt, weiteren Geheimnissen des Föhns auf die Spur zu kommen sowie noch bestehende Probleme in seiner Entwicklung einer Lösung entgegenzuführen. An zahlreichen Veranstaltungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesell-

schaft und an internationalen meteorologischen Kongressen in Italien, Deutschland und Österreich hielt ich Referate zu diesem Thema.

1. Begegnungen mit dem Föhn

Auf meinen Reisen in viele Regionen unserer Erde bin ich dem Föhn in seinen vielfältigen Erscheinungsformen und prachtvollen Wolkengebilden immer wieder begegnet, dies in Grönland, Spitzbergen, Alaska, Kanada, in den nördlichen und südlichen Anden, in Neuseeland und in der antarktischen Halbinsel. Darüber folgen zwei Berichte.

1.1. Föhneinbruch in den Voralpen

Am Vormittag vom 7. März 1943, es war der Faschnachts-sonntag, trat nach einem Kaltluft einbruch in höheren Lagen eine Aufhellung ein. Über dem Mittelland bestand eine Hochnebeldecke, deren Obergrenze sich zwischen 1900 und 2100 m ü. M. bewegte. In 3000 m ü. M. war am Wolkenzug ein kräftiger Südostwind festzustellen. Ich befand mich auf der Melchsee-Frutt, die um 14 Uhr wieder vollständig vom Nebel erfasst wurde, wobei ein leichter Nordwind wehte. Mit Ski und Fellen begab ich mich dann alleine auf den Aufstieg zum Balmeregghorn. Auf einer Höhe von 2050 m ü. M. erreichte ich die Obergrenze des Hochnebels und sah, wie an den oberen Berghängen der über Nacht gefallene Pulverschnee plötzlich hoch aufgewirbelt und nach unten getragen wurde. Bei mir war es noch windstill. Die von oben absteigende Föhnströmung, sichtbar durch den feinen und wirbelnden Pulverschnee, erreichte nach ungefähr 10 Minuten, riesige Schneewolken vor sich hertreibend, meinen Standort in 2050 m ü. M.

Die ausserordentlich böige Föhnströmung, die grosse Wirbel erzeugte, wies wohl eine Geschwindigkeit von 20 bis 25 m/s auf. Zeitweise setzte sie kurzfristig aus und stiess weiter nach unten vor. Innerhalb einer Stunde brachte der Föhn den Nebel auf der Melchsee-Frutt bis hinunter ins Melchtal zum Verschwinden. Einzig über dem Mittelland vermochte sich die Hochnebeldecke mit einer Obergrenze in 800 m ü. M. zu halten. Auf der Frutt sank die relative Feuchtigkeit von 16 bis 18 Uhr von 100 auf 55 Prozent und bis um 20 Uhr auf 28 Prozent. An dieser Station stieg die Temperatur mit dem Föhneinbruch von -10 Grad, innerhalb einiger Stunden, auf $+1$ Grad, bei Windgeschwindigkeiten von 10 bis 18 m/s. Doch der Föhn vermochte sich vorerst nur bis 1500 m ü. M. hinunter durchzusetzen und hat den Talkessel von Stöckalp (1075m ü. M.) überweht. Hier betrug die Temperatur am Morgen des 8. März $-3,2$ Grad, auf der Frutt (1935 m ü. M.) dagegen 0,6 Grad. Um 20 Uhr hat ein heimkehrender Wettersoldat zwischen Stöckalp und Melchtal eine ungefähr 50 Meter breite Zone mit tauendem Schnee festgestellt, ein Hinweis, dass sich der Föhn bis zu dieser Stelle durchgesetzt hatte und dann über die in der Niederung lagernde Kaltluftschicht aufgestiegen ist. Wie aber ist eine derartige Aufstiegsfläche, eine

Grenzzone zwischen Kaltluft und Föhnströmung, beschaffen?

1.2 Föhneinbruch in der Arktis

Etwas mehr als 36 Jahre später, am 18. Juli 1979, flog unsere kleine Reisegesellschaft mit einem Helikopter von Angmagssalik (Ostküste Grönland, 65° N, 38° W) über zahlreiche Eisfjorde, vergletscherte Bergketten und einsame Eskimosiedlungen hinauf zur weiten Fläche des Inlandeises auf eine Höhe von 1200 m ü. M. Bei strahlendem Wetter wehte hier oben ein mässiger Westwind. Nach unserer Rückkehr zu unserem kleinen Hotel tauchten am westlichen Himmel prachttvolle Föhnwolken auf, zumeist *Alto cumulus lenticularis*. Während sich die anderen Reisegäste zur Ruhe legten, begab ich mich allein zu einem einsamen und unvergesslichen Spaziergang entlang des Eisfjordes nach Westen. Auf einem immer schmaler werdenden Pfad war ich tief beeindruckt von der grossartigen arktischen Landschaft, die sich mir in völliger Stille und Erhabenheit offenbarte. Doch dann, gegen 17 Uhr, wurde ich Zeuge eines grossartigen Naturschauspiels, das mir unvergessen bleiben wird. Auf der anderen, der nördlichen Seite des Eisfjordes, tauchte plötzlich eine dunklere Wolkenschlange auf, die sich von Osten entlang dem Boden gegen das von Inlandeis abfallende Gelände bewegte (Abb. 1). Gleich wurde mir bewusst, dass sich am Fusse des Inlandeises eine durch die wärmere Föhnströmung verursachte Zone mit tieferem Luftdruck gebildet haben musste, in die nun die über dem Eisfjord stark abgekühlte Luft mit grosser Geschwindigkeit einströmte. Wie von einer Tribüne aus konnte ich nun als einziger und einsamer Beobachter mitverfolgen, wie dieses Naturschauspiel seine Fortsetzung fand. Am westlichen und immer dünner werdenden Ende der Wolkenschlange setzte aus westlicher Richtung eine Aufgleitbewegung ein, die ebenfalls durch eine Wolkenbildung sichtbar wurde (Abb 2).

Wie Transmissionsriemen bewegten sich die beiden Wolkengebilde übereinander in gegensätzlicher Richtung. Auch nach der Rückkehr zu meinem Hotel konnte ich diesen seltsamen Strömungszustand zweier unterschiedlicher Luftmassen bis nach Sonnenuntergang um 21 Uhr verfolgen. In den östlichen und westlichen Küstenregionen von Grönland werden Föhneinbrüche häufig festgestellt, im Winter oft verbunden mit Temperaturerhöhungen von über 20 Grad. Die Grönländer glaubten früher, dass der Föhn durch übernatürliche Kräfte entsteht und machten für ihn böse Geister verantwortlich, die auf dem Inlandeis ihr Unwesen treiben. Diese Geister, oft teuflischen Wesen gleichgesetzt, sollen die warmen Stürme ins Tal senden, um den Küstenbewohnern Unglück zu bringen.

2. Der Einfluss des Föhns auf das Wettergeschehen

2.1. Die Alpen als Wetterscheide bei Föhn

Es ist längst bekannt, dass der Föhn das Wettergeschehen auf verhältnismässig kleinem Raum in ausserordent-

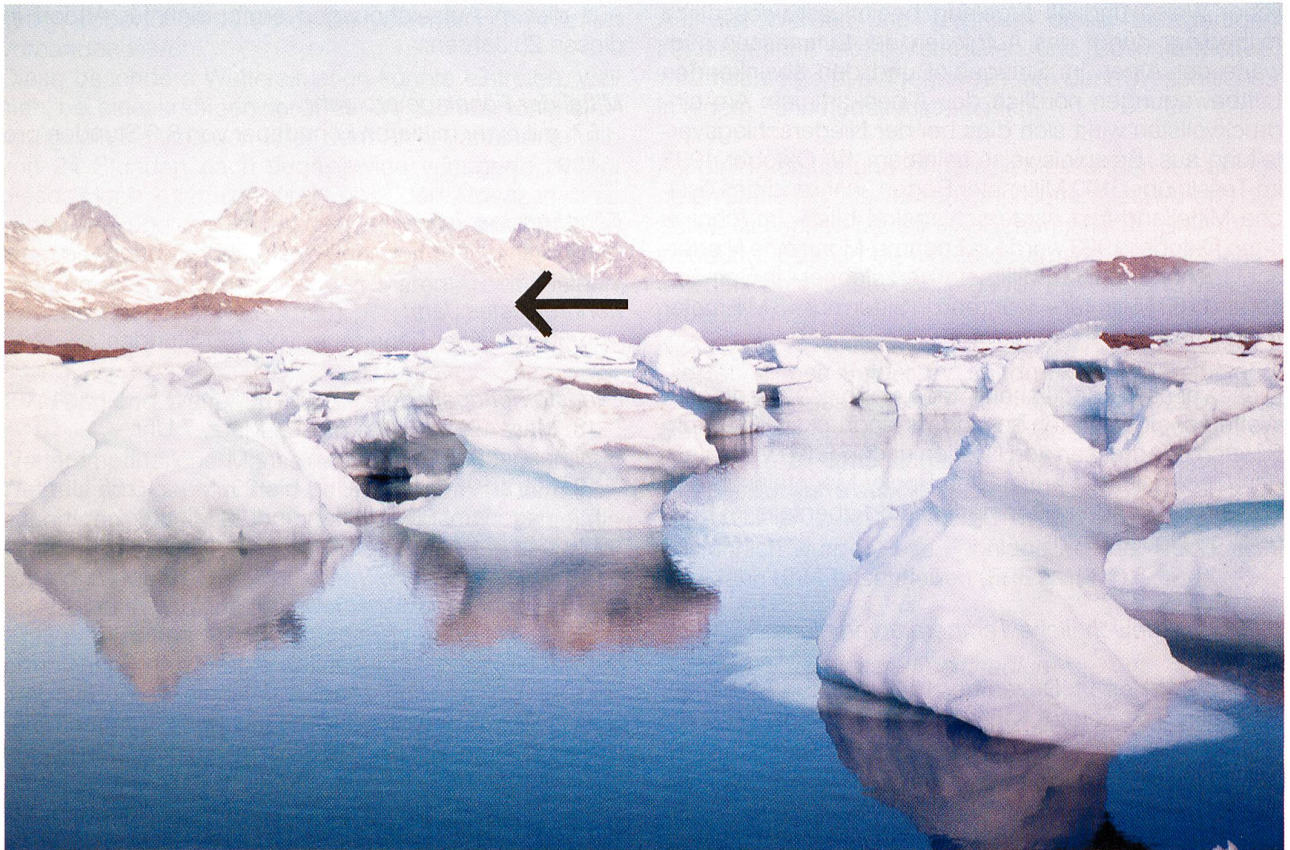


Abb. 1: Eine Wolkenschlange bewegt sich aus östlicher Richtung zum Fuss des Inlandeises.



Abb. 2: Die vom Inlandeis hinunterstürzende Föhnströmung gleitet über die kältere Wolkenschlange auf.

licher Weise und oft tagelang beeinflusst, wesentlich mitbedingt durch das Aufgleiten der Luftmassen südwärts der Alpen im Staugebiet und den absinkenden Luftbewegungen nördlich des Alpenkammes. Am eindrucksvollsten wirkt sich dies bei der Niederschlagsverteilung aus. Beispielsweise fielen am 12. Oktober 1993 im Tessin über 100 Millimeter Regen, während das östliche Mittelland fast niederschlagsfrei blieb. Im föhnreichen Oktober 1993 wurde in Locarno-Monti eine Niederschlagshöhe von 687 Millimeter verzeichnet – in Camedo sogar 1163 Millimeter –, während in Sitten nur 43 Millimeter Regen fielen.

Diese ausserordentlichen, topographisch bedingten Wetterscheiden, treten besonders eindrucksvoll auch im Bereich der grossen von Norden nach Süden verlaufenden Gebirgsketten auf, in den Rocky Mountains in den USA, in den Anden Südamerikas und ebenfalls im Südbirge Neuseelands.

2.2 Aussergewöhnliche Temperaturverteilung

Am Morgen des 11. Dezember 1942 wurde in Altdorf bei Föhn eine Temperatur von +14,4 Grad gemessen, während die Temperatur in Zürich gleichzeitig –5,3 Grad betrug, was der gewaltigen Temperaturdifferenz von 19,7 Grad entspricht. Altdorf war zu diesem Zeitpunkt auch um 13,2 Grad wärmer als Lugano. Bemerkenswert ist zudem, dass über dem nördlichen Alpenvorland das Temperaturgefälle die umgekehrte Richtung aufweist und gegen den Alpenkamm gerichtet ist, in einer Grössenordnung von 6 bis 8 Grad in einer Höhe von 2000 m ü. M.

Überall im Lee der grossen Gebirge können die Temperaturerhöhungen bei Föhneinbruch ein grosses Ausmass erreichen. In Spearfish, am Fuss der Rocky Mountains, hat der Föhnwind, Chinook genannt, am 22. Januar 1943 innerhalb zweier Minuten einen Temperaturanstieg von –20 auf +7 Grad gebracht.

2.3. Grosse Luftdruckdifferenzen

Die auf gleiche Höhe bezogenen Druckdifferenzen können zwischen Locarno und Zürich, mit einer Entfernung von 130 Kilometern, ein Ausmass bis zu 24 Hectopascal (hPa) erreichen, wie dies bei der Föhnlage vom 8. November 1982 der Fall gewesen ist. Mit der Höhe nehmen diese Druckunterschiede zwischen der Süd- und der Nordseite allmählich ab, sind jedoch in der Höhe des Alpenkammes noch gross und bewirken oft die grössten Windgeschwindigkeiten von über 100 bis 200 Kilometern pro Stunden im Bereich der Alpen und der Voralpen.

2.4. Föhntage und Föhnperioden

In den 28 Jahren von 1955 bis 1982 ist das Auftreten des Föhns in Altdorf, unter Verwendung von Thermo-Hygrographen und automatischen Windregistrierungen, fortlaufend erfasst worden.

Aus diesen Aufzeichnungen ergibt sich für Altdorf in diesen 28 Jahren:

Mittel der Föhntage pro Jahr:

57, mit einer mittleren Föhndauer von 8,9 Stunden pro Tag.

Föhnärmstes Jahr:

1955, mit einer Föhndauer von 266 Stunden.

Föhnreichstes Jahr:

1960, mit einer Föhndauer von 780 Stunden.

Längste Föhnperioden:

18. März 1956, 8 Uhr, bis 22. März, 7 Uhr, mit insgesamt 96 Stunden.

19. März 1974, 10.35 Uhr, bis 23. März, 0.55 Uhr, mit insgesamt 86 Stunden und 20 Minuten.

2.5. Die grössten Föhnstürme im 20. Jahrhundert

Die nachfolgend aufgezählten extremsten Föhnstürme sind oft bis weit ins Mittelland hinein vorgedrungen, wobei die ersten fünf den Charakter eines Dimmerföhnsturmes hatten. Bei den Föhnstürmen vom Jahres 1962 an ist in Klammer die Spitzengeschwindigkeit des Windes in Altdorf in Kilometern pro Stunde angegeben.

5. Januar	1919	
15. Februar	1925	
20./21. Mai	1937	
18. Dezember	1945	
29. März	1947	
7./8. November	1962	(138)
15. Januar	1975	(148)
8. Dezember	1977	(144)
13. Dezember	1981	(157)
7./8. November	1982	(138)

Alle diese Föhnstürme haben auf der Nordseite der Alpen zu gewaltigen Zerstörungen geführt und waren auf der Südseite der Alpen im Winter zumeist mit grossen Schneefällen und in den übrigen Jahreszeiten mit Überschwemmungen verbunden. Am Südkamm der Alpen kam es am 13./14. Februar 1951 zu einer gewaltigen Lawinenkatastrophe bei einer Föhnlage, und im Alpenvorland sind aus früheren Jahrhunderten zahlreiche Föhnbrände aus dem nördlichen Alpenvorland überliefert.

2.6. Gleichzeitigkeit von Süd- und Nordföhn

Süd- und Nordföhn weisen viele gemeinsame Eigenschaften auf, wobei jedoch ihr gleichzeitiges Auftreten als unmöglich erachtet wurde. Doch am 13. Dezember 1981 trat dieses ausserordentliche Ereignis dennoch ein: An diesem Tag, zwischen 16 und 20 Uhr, wehten der Nordföhn in Locarno und der Südföhn in Altdorf gleich-

zeitig, wobei für beide Winde die typischen Föhnkriterien vorhanden waren.

Diese besondere Wettersituation konnte eintreten, weil sich, bei einer kräftigen nordwest-westlichen Höhenströmung, ein Kaltlufthoch über dem Ärmelkanal innerhalb von 24 Stunden nach Jugoslawien verlagerte, wobei dieses Hoch kurzfristig direkt über den Alpenkamm zu liegen kam und die Gleichzeitigkeit dieser beiden Föhnarten bewirken konnte. Diese einzigartige Wettererscheinung hat der Verfasser in einer früheren Arbeit ausführlich beschrieben (FREY, 1986).

2.7. Föhn und Wetterfühligkeit

Wetterempfindliche Menschen reagieren bei gewissen Wetterlagen, insbesondere bei Föhnlagen, mit verschiedenartigen Krankheitssymptomen. Typisch ist dabei die «Fernfühligkeit»: Die Beschwerden treten auf, bevor der Föhn durchgebrochen oder die Wetterfront eingetroffen ist. Auf diese Problematik ist der Verfasser in einer im Jahr 1993 publizierten Arbeit eingegangen.

3. Das Werden und Vergehen einer typischen Föhnlage

3.1. Der «Jahrhundertföhnsturm» vom 7. und 8. November 1982

Am 8. November 1962 kam es in der Schweiz zu einem katastrophalen Föhnsturm, der vor allem im Berner Oberland gewaltige Schäden anrichtete und besonders die Wälder arg in Mitleidenschaft zog.

Genau 20 Jahre später, am 7./8. November 1982, entwickelte sich ein noch intensiverer Föhnsturm, der in seiner Stärke und seinem Ausmass unvergessen bleiben wird: Dächer wurden abgedeckt, Bäume entwurzelt, Leitungsmasten geknickt, Autos umgekippt, Schiffe aus der Verankerung gerissen und Brände entfacht.

Auf das Werden und Vergehen dieser einzigartigen Föhnlage, mit ihren Merkmalen und Besonderheiten, wird nachfolgend eingegangen, um dann Wesentliches in einem Föhnmodell festzuhalten.

Für die Untersuchung fanden die Messungen von geeigneten Stationen aus dem automatischen Netz (Anetz) der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) Verwendung. Ebenso die Wetterdaten von Klimastationen und der Radiosondenaufstiege von Payerne und Mailand (Abb. 3).

Die räumlichen Felder für Luftdruck, Temperatur und Windströmungen ergeben die wichtigen Hinweise über die Entwicklung und Funktionsweise des Föhns. Um Vergleiche zu ermöglichen, werden die Luftdruck- und Temperaturwerte auf Höhen von 400 m ü. M., 1000 m ü. M., 1600 m ü. M. und 2100 m ü. M. umgerechnet. Ausführlich wurde diese Föhnlage in einer Publikation vom Jahr 1984 beschrieben (FREY, 1984).

3.2. Das antizyklonale Föhnstadium

Am 5. November besteht westlich der Küsten von Frankreich und Skandinavien in der 500-hPa-Fläche ein Hochdruckkeil, der sich ostwärts bewegt. Südlich von Grönland bildet sich eine Zyklone, die sich in südöstlicher Richtung verlagert, unter Verstärkung zu einem Sturmtief. Dieses wird am 7./8. November über dem Golf von Biscaya stationär und ist verbunden mit einem kalten Höhentief an der gleichen Stelle. Dadurch wird das Wetter über Europa durch eine ausgeprägte Südsüdwestlage bestimmt.

Auf der Nordseite der Alpen ist seit dem Nachmittag vom 5. November ein antizyklonales Absinken der Luftmassen eingetreten, verbunden mit einer starken Abnahme der relativen Feuchtigkeit, während die Temperaturen über dem südlichen Alpenvorland allmählich absinken. Dadurch verstärkt sich das Luftdruckgefälle zwischen

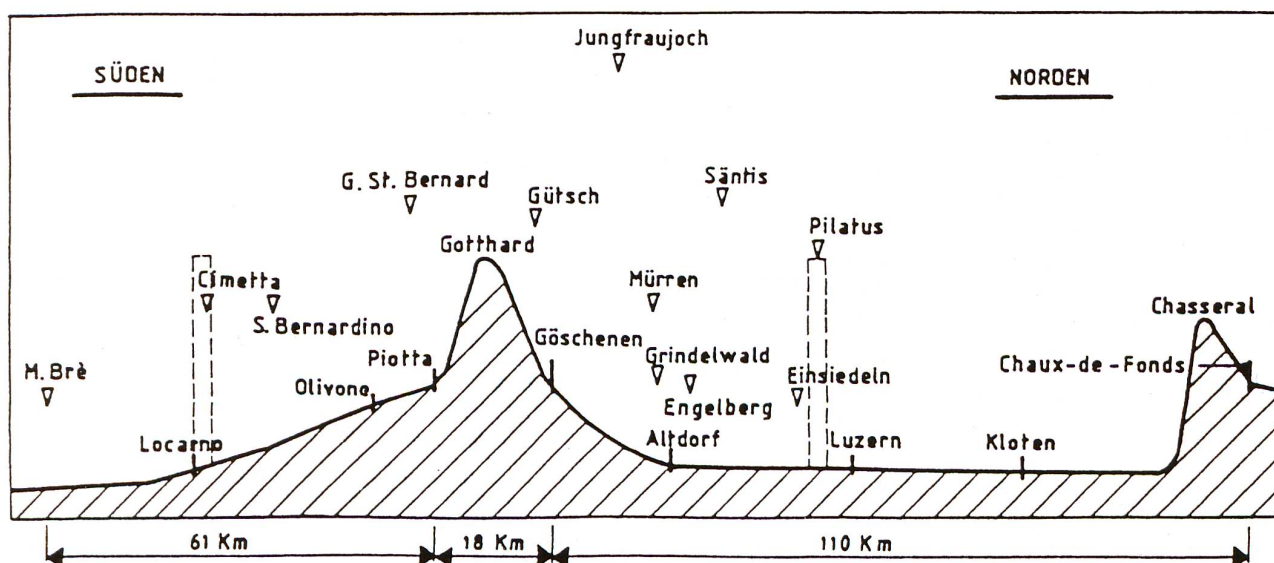


Abb. 3: Das Netz der Stationen, projiziert auf das Querschnittsprofil SSE-NNW über das Alpenmassiv

südlichen und nördlichen Stationen, während, noch vor dem Durchbruch des Föhns in die Täler, über dem nördlichen Alpenvorland, oberhalb 1000 m ü. M., ein isobares Temperaturgefälle gegen den Alpenkamm eintritt, das ein Ausmass von 6 bis 8 Grad erreicht. In diesem Antizyklonalstadium sind die Winde unterhalb von 1600 m ü. M. beidseits der Alpen noch schwach und drehen, unmittelbar nördlich des Alpenkamms, auf eine südliche Richtung.

3.3. Das zyklonale Föhnstadium

Nachdem sich die südlichen Höhenwinde verstärkten und sich auf dem Alpenkamm eine Föhnmauer gebildet hatte, ist der Föhn am 6. November um 20.10 Uhr bis nach Altdorf durchgebrochen und bewirkte eine Temperaturerhöhung von 4,2 auf 13,2 Grad und eine Abnahme der relativen Feuchtigkeit von 68 auf 31 Prozent. Der Talföhn wehte ununterbrochen bis am 9. November um 3.40 Uhr. Der Föhneinbruch in Glarus erfolgte erst am 7. November gegen 4 Uhr, in Luzern und Zürich am gleichen Tag um 18 Uhr. Der Höhepunkt des Zyklonalstadi-

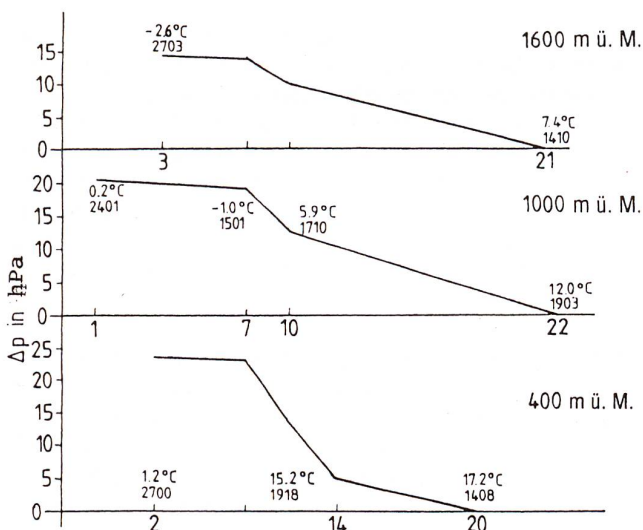


Abb. 4: Das Luftdruckgefälle von Süden nach Norden, kurz nach dem Höhepunkt der Südföhnlage am 8. November, 7 Uhr. Stationen: Mt. Bré (1), Locarno-Monti (2), Cimetta (3), Piotta (7), Göschenen (10), Altdorf (14), Kloten (20), Chasseral (21), Chaux-de-Fonds (22). Bei den Stationen stehen die gleichzeitig gemessenen Temperaturen, Windrichtungen und Windstärken in m/s.

ums des Föhns wurde am 8. November um 6 Uhr erreicht, mit den Messwerten, die nachfolgend dargelegt sind.

3.3.1 Die Luftdruckdifferenzen

Im Höhepunkt der Föhnlage haben die Luftdruckdifferenzen am 8. November um 6 Uhr das folgende Ausmass zwischen den einzelnen Stationen in verschiedener Höhe erreicht, wobei auch die Entfernung (e) angegeben ist (siehe unten).

Aus der Zusammenstellung über die Druckdifferenzen, und dem in Abb. 4 dargestellten Luftdruckgefälle von Süden über den Alpenkamm nach Norden, ergeben sich die folgenden Erkenntnisse:

- Die Druckdifferenzen zwischen der Süd- und der Nordseite der Alpen erreichen ein beträchtliches Ausmass, wobei $-23,6$ hPa zwischen Kloten und Locarno-Monti den Rekordwert im 20. Jahrhundert darstellen dürfte.
- Die Druckgradienten nehmen vor allem im unteren Bereich mit der Höhe rasch ab, sind jedoch auch in der Höhe des Alpenkamms noch bemerkenswert hoch.
- Das Druckgefälle ist erwartungsgemäss im Bereich des Alpenmassivs am grössten. Bezogen auf 400 m ü. M. beträgt dieses zwischen Piotta und Altdorf ($e = 37$ km) 75 Prozent desjenigen zwischen Locarno-Monti und Kloten ($e = 130$ km).
- Bemerkenswert ist im Bereich von 400 bis 1600 m ü. M. das schwache Druckgefälle auf der Luvseite gegen den Alpenkamm, das gegenüber demjenigen auf der Leeseite eine asymmetrische Beschaffenheit hat.
- In der dargelegten räumlichen Druckverteilung liegt ein wesentlicher Teil des grossen Potentials, das den Föhn auf der Leeseite oft zu verheerenden Sturmstärken anwachsen lässt, während in den Niederungen der Alpensüdseite fast Windstille besteht oder sogar leichte nördliche Winde wehen.

3.3.2. Die Temperaturverteilung

Das räumliche Temperaturfeld ist für die Dynamik des Föhns ebenfalls von grosser Bedeutung.

400 m ü. M.:	Kloten–Locarno-Monti Kloten–Altdorf	($e = 130$ km) ($e = 56$ km)	$-23,6$ hPa $-5,0$ hPa
1000 m ü. M.:	Chaux-de Fonds–Mt. Bré Olivone–Mt. Bré Göschenen–Piotta	($e = 189$ km) ($e = 52$ km) ($e = 18$ km)	$-20,3$ hPa $-0,5$ hPa $-6,1$ hPa
1600 m ü. M.:	Chasseral–Cimetta Mürren–San Bernardino	($e = 157$ km) ($e = 60$ km)	$-14,4$ hPa $-13,3$ hPa
2100 m ü. M.:	Pilatus–Cimetta	($e = 96$ km)	$-11,0$ hPa

Entlang des Geländeprofiles wurden im Höhepunkt der Föhnlage die folgenden Werte für die Temperatur und die relative Feuchtigkeit gemessen, mit der Angabe des bestehenden Wetters:

Locarno-Monti	(366 m ü.M.)	+1,2° und 92 %	mit Schneefall
Olivone	(905 m ü.M.)	-0,8° und 95 %	mit Schneefall
Piotta	(1007 m ü.M.)	-1,0° und 97 %	mit Schneefall
Gütsch	(2287 m ü.M.)	-3,9° und 93 %	mit Schneefall
Jungfrauoch	(3580 m ü.M.)	-8,5° und 98 %	mit Schneefall
Göschenen	(1110 m ü.M.)	+5,8° und 45 %	und stark bewölkt
Altdorf	(449 m ü.M.)	+15,2° und 30 %	und stark bewölkt
Kloten	(436 m ü.M.)	+17,2° und 27 %	und stark bewölkt

Die Temperaturgradienten (Temperaturzunahme nach unten pro 100 Höhendifferenz) betragen entlang des Geländeprofiles am 8. November:

Leeseite zwischen Altdorf und Gütsch 1,04 um 6 Uhr und 1,13 um 13 Uhr, zwischen Mürren und Jungfrauoch 1,09 um 6 Uhr und 1,03 um 13 Uhr.

Luvseite zwischen Locarno und Gütsch 0,27 um 6 Uhr und 0,28 um 13 Uhr.

Für die Leeseite ergibt sich der Temperaturgradient, der dem klassischen Föhnmodell entspricht und aus physikalischen Gründen eintreten muss, da die Druckzunahme über einen Höhenbereich von 100 m fast genau eine

Temperaturzunahme von 1 Grad bewirkt (HANN, 1866). Tagsüber treten zudem oft strahlungsbedingte überadiabatische Temperaturgradienten auf. Auf der Luvseite entspricht der geringe Temperaturgradient von knapp 0,3 Grad nicht ganz dem klassischen Föhnmodell, was auf die Strömungsverhältnisse südwärts der Alpen mit dem Luvwirbel zurückzuführen ist.

Besonders eindrücklich und für die Dynamik des Föhns von wichtiger Bedeutung ist der Temperaturverlauf beidseits der Alpen während der ganzen Föhnlage in verschiedenen Höhen (Abb. 5) und das räumliche Temperaturfeld mit den Druckflächen und den Strömungsverhältnissen (Abb 6).

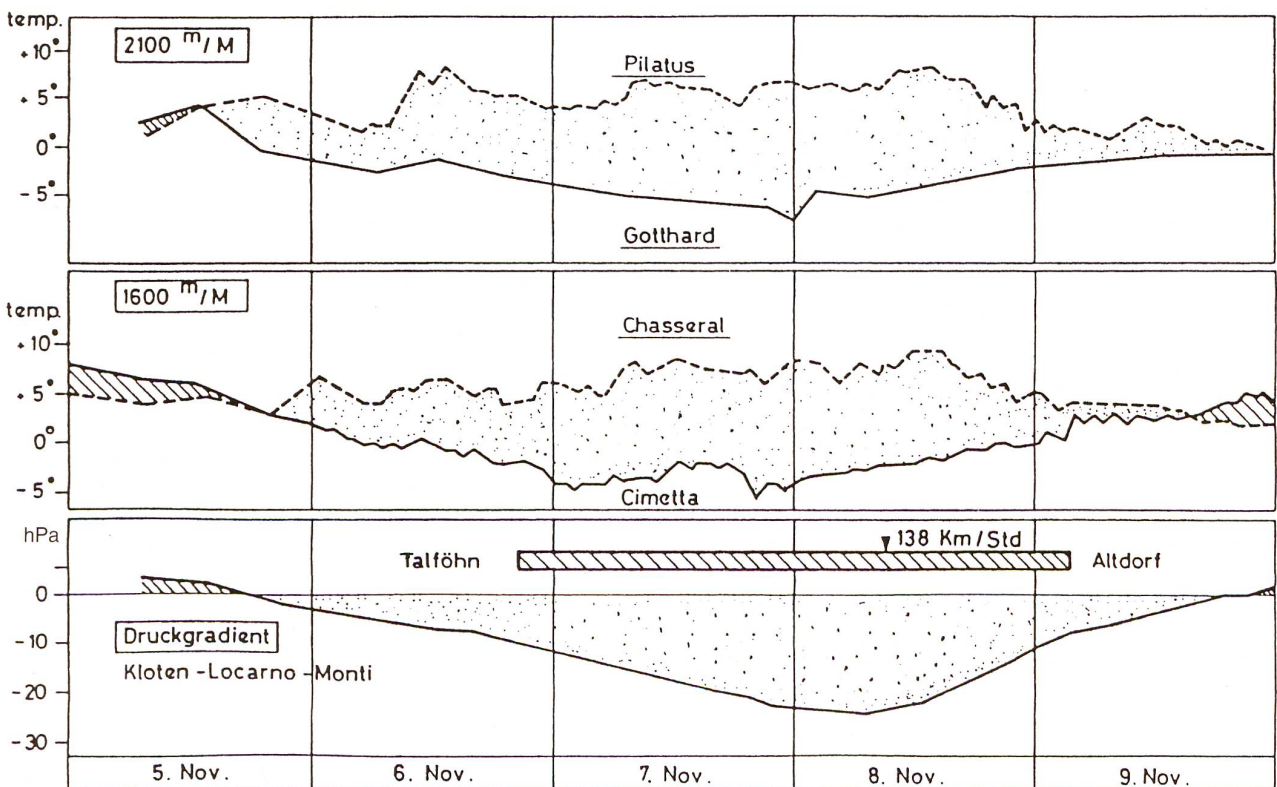


Abb. 5: Temperaturverlauf an den Stationspaaren Pilatus (2106 m ü.M.) und Gotthard (2096 m ü.M.) sowie Chasseral (1599 m ü.M.) und Cimetta (1632 m ü.M.) mit der Druckdifferenz zwischen Kloten und Locarno-Monti in 400 m ü.M. sowie der Föhndauer in Altdorf.

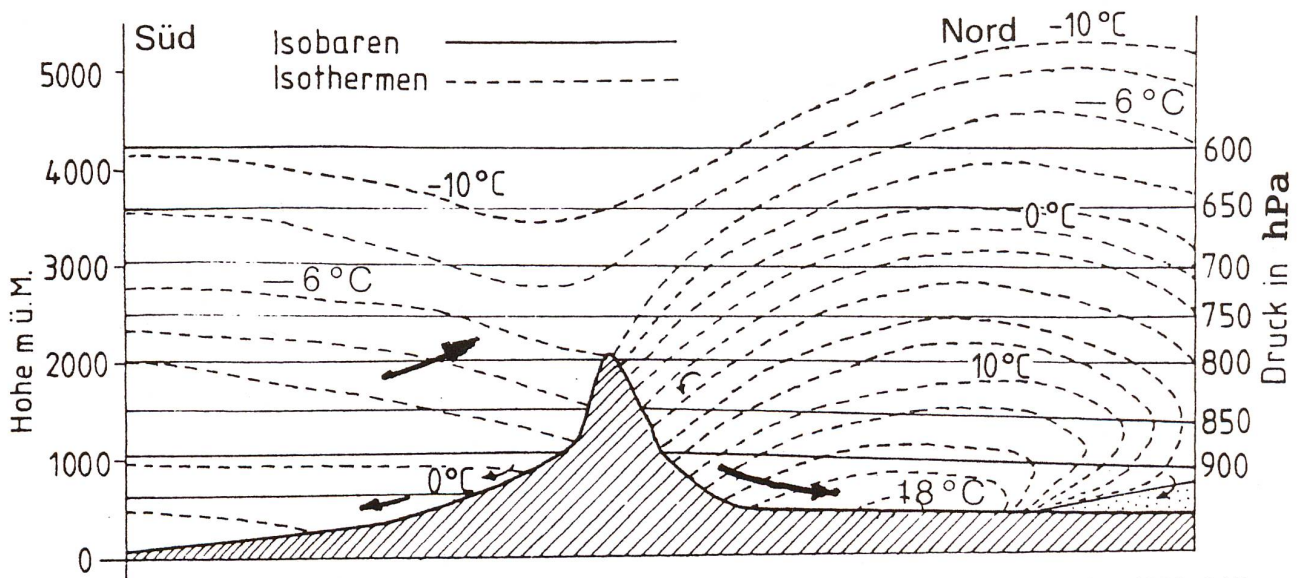


Abb. 6: Das Temperatur-, Druck- und Strömungsfeld im Höhepunkt der Föhnwindlage am 8. November 1982, 6 Uhr.

Die auf die gleiche Höhe reduzierten Temperaturdifferenzen zwischen der Nord- und der Südseite der Alpen betragen zum Zeitpunkt des Höhepunktes der Föhnwindlage in den verschiedenen Höhen:

400 m ü. M.:	Kloten–Locarno–Monti	(e = 130 km)	+16,6°
1000 m ü. M.:	Einsiedeln–Olivone	(e = 66 km)	+17,2°
	Grindelwald–Mt. Bré	(e = 97 km)	+17,6°
	Göschenen–Piotta	(e = 18 km)	+7,7°
	Olivone–Mt. Bré	(e = 52 km)	-1,0°
1600 m ü. M.:	Mürren–San Bernardino	(e = 60 km)	+15,2°
	Chasseral–Mürren	(e = 87 km)	-4,2°
2100 m ü. M.:	Pilatus–Gotthard	(e = 53 km)	+11,4°
	Gotthard–Cimetta	(e = 43 km)	-1,1°
2500 m ü. M.:	Säntis–Gr. St. Bernhard	(e = 50 km)	+9,9°

Auch die Radiosondenaufstiege vom 8. November, 1 Uhr, zeigen in 1000 und 1600 m ü. M. zwischen Payerne und Mailand ausserordentliche Temperaturdifferenzen von 14 bis 15 Grad, die nach oben abnehmen und in 5000 m ü. M. noch 2 Grad betragen.

Aus den obigen Darlegungen ergeben sich die folgenden Feststellungen, die für die Entwicklung des Föhnwindes von wichtiger Bedeutung sind:

- Die ausserordentlichen horizontalen Temperaturdifferenzen zwischen der Nord- und der Südseite der Alpen schwächen sich mit zunehmender Höhe ab, erreichen jedoch in der Höhe des Alpenkammes auf der Leeseite ein beträchtliches Ausmass.
- Auf der südlichen Luvseite lässt sich gegen den Alpenkamm ein leichter Temperaturfall feststellen. Ein Kältegebiet unmittelbar südlich und auf dem Alpenkamm entsteht durch die adiabatische Abkühlung der

aus Süden aufsteigenden, sehr stabil geschichteten Luftmassen, deren Stromlinien jedoch flacher als das Geländeprofil verlaufen.

- Für die Dynamik des Föhnwindes ist die grosse isobare Temperaturdifferenz, das Temperaturgefälle gegen den Alpenkamm, von wichtiger Bedeutung. Am 8. November um 1 Uhr erreichte die Temperaturdifferenz zwischen Pilatus und Gotthard mit 13,8 Grad den bisher höchsten festgestellten Wert. Dies 5 Stunden vor dem Höhepunkt der Föhnwindlage.

Über der Leeseite schneiden sich die isothermen und die isobaren Flächen (Abb. 6) und bilden ein sogenanntes baroklines Solenoidfeld, das der Föhnwindströmung die notwendige Absinkbeschleunigung und eine zusätzliche Energie verleiht.

- Die Luftsäule über Locarno ist im Höhenbereich von 2100 m ü. M. bis zum Boden um rund 14 Grad kälter

und damit schwerer als dies über Luzern der Fall ist. Bemerkenswert sind die am 8. November um 14 Uhr gemessenen Temperaturen: Locarno-Magadino (198 m ü. M.) +1,6 Grad und Luzern (456 m ü. M.) +21,8 Grad.

3.3.3 Die Wind- und Niederschlagsverhältnisse

Es ist bemerkenswert, dass die Winde auf der Luvseite unterhalb 1600 m ü. M. während der ganzen Föhnperiode verhältnismässig schwach bleiben. Während der Föhn mit sturmartiger Heftigkeit und gewaltiger Zerstörungskraft die Quertäler der nördlichen Voralpen durchbraust, wurde an zahlreichen Stationen im Tessin fast Windstille verzeichnet.

Beim Höhepunkt der Föhnentwicklung ergaben die Windmessungen auf der Luvseite, hinsichtlich Windrichtung und Geschwindigkeit in m/s:

Locarno-Monti:	2700
Monte Bré:	2401
Olivone:	0000
Piotta:	1501
Cimetta:	2703
San Bernardino:	1402

Am 8. November haben die Böenspitzen des Föhnsturmes die folgenden Höchstwerte erreicht:

Gütsch:	194 km/Std.	um 14 Uhr
Engelberg:	158 km/Std.	um 9 Uhr
Jungfrauoch:	156 km/Std.	um 7 Uhr
Altdorf:	138 km/Std.	um 9 Uhr
Pilatus:	130 km/Std.	um 6 Uhr
Luzern:	98 km/Std.	um 9 Uhr
Cimetta (Luvseite)	24 km/Std.	um 1 Uhr

Dem Radiosondenaufstieg von Payerne am 8. November um 1 Uhr ist zu entnehmen, dass sich in 4100 m ü. M., somit in der Höhe der Spitzen der Berner Alpen, ein Windmaximum von 123 km/h eines Südsüdwestwindes befand. Oberhalb dieser Starkwindzone, abgegrenzt durch eine leichte Inversion, nahm die Windstärke ab und betrug in 7900 m ü. M. nur noch 45 km/h. Dieser Föhnsturm erreichte somit im unteren Bereich der Troposphäre seine machtvollste Entwicklung.

Die vom 7. bis 9. November gefallenen Niederschlagsmengen zeigen die für eine Föhnlage typische Verteilung:

Mt. Bré:	108 mm
San Bernardino:	88 mm
Olivone:	83 mm
Locarno-Monti:	79 mm
Piotta:	25 mm
La Chaux-de-Fonds:	32 mm
Göschenen:	10 mm
Pilatus:	3 mm
Luzern:	2 mm
Altdorf:	1 mm

3.3.4. Das Föhnende

Eine schwache Kaltfront, die zu dem sich nach Norden verlagernden Biscaya-Tief gehörte, erreichte am Nachmittag des 9. Novembers die Schweiz. Durch das Einfließen von kühleren Luftmassen aus Nordwesten wurde, bei steigendem Luftdruck, das gegen den Alpenkamm gerichtete isobare Temperaturgefälle rasch abgebaut, zusammen mit der südnördlichen Druckdifferenz. Das Ende dieser Föhnlage trat an den einzelnen Stationen an den folgenden Zeitpunkten ein:

Kloten und Luzern	am 8. November um 17 Uhr
Engelberg	am 8. November um 21 Uhr
Glarus	am 8. November um 22 Uhr
Altdorf	am 9. November um 3.40 Uhr

4. Vielfältige Entwicklungsformen des Föhns

Bereits im Jahr 1957 hat der Verfasser eine Föhnklassifikation (FREY, 1957) dargelegt, die nun in folgender Weise ergänzt werden könnte:

4.1 Antizyklonalföhn

Dieser Föhn, auch «freier» Föhn genannt, ist von der orographischen Geländebeschaffenheit, der Windrichtung in der Höhe und dem Luftdruckgefälle unabhängig. Es handelt sich um ein Absinken der Luftmassen in der freien Atmosphäre, das unten durch eine Inversion, oft verbunden mit einer Hochnebelschicht, begrenzt ist.

4.2 Antizyklonaler Höhenföhn

Über den Alpen stellt sich ein Divergenzgebiet der Luftmassen ein, mit einem leichten Gefälle des Luftdruckes vom Alpenkamm nach Norden. Die Winde drehen zuerst in mittleren Höhen über dem nördlichen Alpenvorland auf eine südliche Richtung. Diese Entwicklungsphase wird auch als «Zwischenföhn» bezeichnet. Im Alpengebiet ist noch keine wesentliche Wolkenbildung eingetreten.

4.3 Zyklonaler Höhenföhn

Der verstärkte südliche Höhenwind erhält südwärts der Alpen eine durch das Gelände bewirkte aufsteigende Bewegungskomponente, wobei sich vermehrte Bewölkung und später auch eine Föhnmauer bildet. Die Föhnströmung vermag sich jedoch auf der Leeseite noch nicht bis in die Niederungen hinunter durchzusetzen.

4.4 Zyklonaler Talföhn

Der zyklonale Höhenföhn stürzt mit machtvoller Stärke und Böigkeit in die Quertäler des nördlichen Alpenvorlandes hinunter und gleitet über die in den Niederungen nicht ausgeräumte Kaltluftschicht auf. Die Grenze zwischen der warmen Föhnluft und der nordwärts zurück-

weichenden kälteren Luft pendelt manchmal hin und her, wodurch die «Föhnpausen» entstehen. Die Föhnmauer ist gut entwickelt, und südwärts der Alpen setzen Niederschläge ein. In den unteren Bereichen der Luvseite wehen nur schwache Winde, oft auch Winde mit nördlicher Komponente, was auf die Bildung eines «Luvwirbels» hinweist.

4.5 Antizyklonaler Talföhn

Dem antizyklonalen Höhenföhn gelingt es, unter Auslassung des zyklonalen Stadiums, bis in die Täler hinunter vorzudringen. Bei nur leichter bis mässiger Bewölkung kommt es zu keiner Ausbildung einer Föhnmauer über dem Alpenkamm. Das südliche und das nördliche Alpenvorland bleiben niederschlagsfrei (typische Beispiele: 11. Dezember 1942 und 26./27. Februar 1948).

4.6 Dimmerföhn

Der zyklonale Talföhn steigert sich zum Dimmerföhn, wobei die Föhnmauer bis weit zur Leeseite hinüber reicht und gelegentlich auch hier feiner Niederschlag fällt. Die föhnklare Durchsichtigkeit der Luft auf der Leeseite ist verschwunden und in einen diffusen und dämmerigen Zustand übergegangen. Der Druckunterschied zwischen der Süd- und Nordseite sowie die Höhenwinde haben sich erheblich verstärkt. Der den Alpenkamm überquerende südliche Höhenwind vermag dem absteigenden Gelände nicht mehr zu folgen, überweht den oberen Bereich der Föhntäler und stürmt dann heftiger und weiter als gewöhnlich ins Mittelland vor (typische Beispiele: 18. Dezember 1945 und 29. März 1947).

4.7 Doppelföhn: Süd- und Nordföhn gleichzeitig

Der Süd- und der Nordföhn, mit ihren typischen Eigenschaften, wehen für kurze Zeit gleichzeitig. Dieser seltene Fall kann dann eintreten, wenn in höheren Lagen eine stürmische Westströmung besteht und ein in der unteren Troposphäre bestehendes Kaltluftloch rasch über das Alpenmassiv hinwegzieht (typisches Beispiel: 13. Dezember 1981).

4.8 Nordföhn

Der Nordföhn ist der Bruder des Südföhns mit etwas kälteren, jedoch nicht sehr unterschiedlichen Eigenschaften. Durch hereinbrechende Kaltluftmassen steigt der Luftdruck auf der Nordseite der Alpen, während sich auf der Alpensüdseite der Druckfall in der oberen und mittleren Troposphäre fast unbeeinflusst bis in die Niederungen durchsetzen kann. Es stellt sich ein Druckgefälle von Norden nach Süden, eine nördliche Staulage, ein. Die kalten Luftmassen überfließen den Alpenkamm und dringen Bora-artig in die südlichen Alpentäler hinunter vor.

4.9 Föhnvorkommen lokaler Natur

Dazu zählen föhnartige Erscheinungen, die nicht mit einer alpenüberquerenden Strömung und einer entsprechenden Luftdruckdifferenz beidseitig des Gebirges in Zusammenhang stehen. Dazu gehören Gletscherwinde und «Luftlawinen» mit föhnartigem Charakter.

5. Ein Modell des zyklonalen Talföhns

Von den vielfältigen Erscheinungsformen des Föhns ist der zyklonale Talföhn gewissermassen der klassische Föhn, der in dieser Art am häufigsten vorkommt und die ausserordentlichen Wirkungen auf unser Wettergeschehen ausübt.

In einem Artikel, der auf Medienwirksamkeit ausgerichtet war, unterzog die «Schweizer Illustrierte» am 22. Dezember 1989 (KACHELMANN) die Darstellung des Föhns in Schulbüchern einer vernichtenden Kritik: «Föhn, das Rätsel ist gelöst – Vergessen Sie, was Sie in der Schule gelernt haben – Der älteste Schweizer ist ganz anders – Die Föhndarstellung in den Schulbüchern ist falsch – Mit dem Schulbuchwissen wird aufgeräumt – Die Schweizer Geographielehrer müssen umlernen – Das grösste, aber noch nicht das letzte Rätsel um den Föhn ist gelöst.» Doch worin soll nun die Lösung dieses grossen Rätsels des Föhns bestehen: Es wird darauf hingewiesen, dass die Föhnströmung auf der Luvseite nicht nach der klassischen Darstellung dem Geländeprofil folge, dass die Stromlinien flacher verlaufen und damit der Hebeeffekt der Luftmassen geringer sei. Dieses modifizierte Strömungsmodell der Föhnströmung auf der Südseite der Alpen, war jedoch schon in meiner Dissertation vor einem halben Jahrhundert enthalten und in wissenschaftlichen Kreisen auch damals keine sensationelle Neuigkeit (FREY, 1945).

Nachfolgend wird die Entwicklung einer klassischen Föhnlage zusammenfassend in zwei Stadien gezeigt.

5.1. Das Antizyklonal- oder Vorstadium des Föhns

In der Troposphäre setzt, häufig nach einem vorausgegangenen Kaltlufteinbruch, ein antizyklonales Absinken der Luftmassen ein. Kräftige positive Änderungen der relativen Topographie 500/1000 Hectopascal und der Höhen der oberen Druckflächen, verbunden mit einer Abkühlung der Tropopause und einer Verschiebung derselben nach oben, führen zum Aufbau eines Hochdruckkeils in der Höhe, der sich gegen das Alpengebiet verlagert.

Durch eine aus der mittleren Troposphäre absinkende Inversion wird eine von oben nach unten fortschreitende Erwärmung erzeugt, verbunden mit einer gleichzeitigen Abnahme der relativen Feuchtigkeit.

Diese Vorgänge wirken sich auf der Südseite der Alpen schwächer aus und werden dort früher beendet, wobei der Druckfall in den Niederungen nördlich des Alpenkamms beginnt.

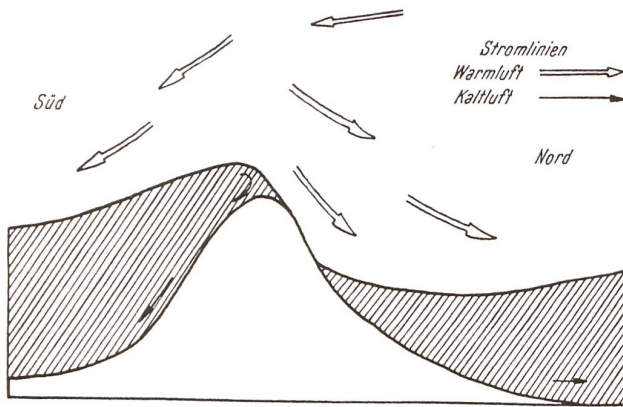


Abb. 7: Das Antizyklonalstadium des Föhnwindes mit einem Divergenzgebiet der Luftmassen über dem Alpenkamm.

Während in der Höhe, auf der Ostseite des durch die troposphärische Erwärmung gebildeten Hochdruckkeils, zumeist noch Winde mit nördlicher Komponente wehen, stellt sich in mittleren Höhen ein schwaches Druckgefälle vom Alpenkamm nach Norden ein. So beginnt der Föhn in vielen Fällen über dem nördlichen Alpenvorland als «Zwischenföhn», da über dem Alpengebiet ein Divergenzgebiet der Luftmassen entstanden ist (Abb. 7). Im Norden bildet sich in mittleren Höhen ein gegen die Alpen gerichtetes isobares Temperaturgefälle, das schon in diesem Vorstadium des Föhnwindes ein Ausmass von 4 bis 8 Grad annehmen kann. Von Bedeutung ist, dass die Luftmassen über dem Alpenkamm gegenüber denjenigen über dem nördlichen Alpenvorland zunehmend kälter und damit dichter werden.

5.2 Das Zyklonal- oder Hauptstadium des Föhnwindes

Mit dem zunehmenden Luftdruckgefälle zwischen der Süd- und Nordseite der Alpen verstärken sich in der Höhe die Winde mit südlicher Komponente, und die Zirkulation erhält ein meridionales Gepräge. Durch die von Süden aufsteigenden Luftmassen, die sehr stabil geschichtet sind, setzt über dem Alpenkamm eine trocken- bzw. feuchtadiabatisch bedingte Abkühlung ein, womit sich über dem nördlichen Alpenvorland die isobare Temperaturdifferenz vergrössert und in einzelnen Fällen ein Ausmass von über 10 Grad erreichen kann (Abb. 8).

Südwärts der Alpen besteht eine meist stark ausgebildete Staubeiwölkung, mit einem Niederschlagsgebiet und einer Föhnmauer über dem Alpenkamm. Auf der Nordseite der Alpen ist zumeist eine stark wechselnde, nach Westen zunehmende Bewölkung anzutreffen: Cirren, als Vorboten einer heranziehenden atlantischen Störung, abschmelzende Altocumuluswolken, Lenticularis genannt, und im eigentlichen Föhngebiet walzenartige Stratocumuluswolken, sogenannte «Rotoren», in deren Bereich eine grosse Turbulenz besteht. In den wogenartigen Wolkengebilden besteht im Absinkbereich in vielen Fällen ein ausgedehntes Aufhellungsgebiet, ein «Föhnfenster».

Das Föhnmodell lässt erkennen, wie die Temperatur im Luv gegen den Alpenkamm leicht abnimmt und dann auf der Leeseite in ausgeprägtem Mass ansteigt, wobei die stärkste Temperaturzunahme unmittelbar nördlich des Alpenkammes stattfindet.

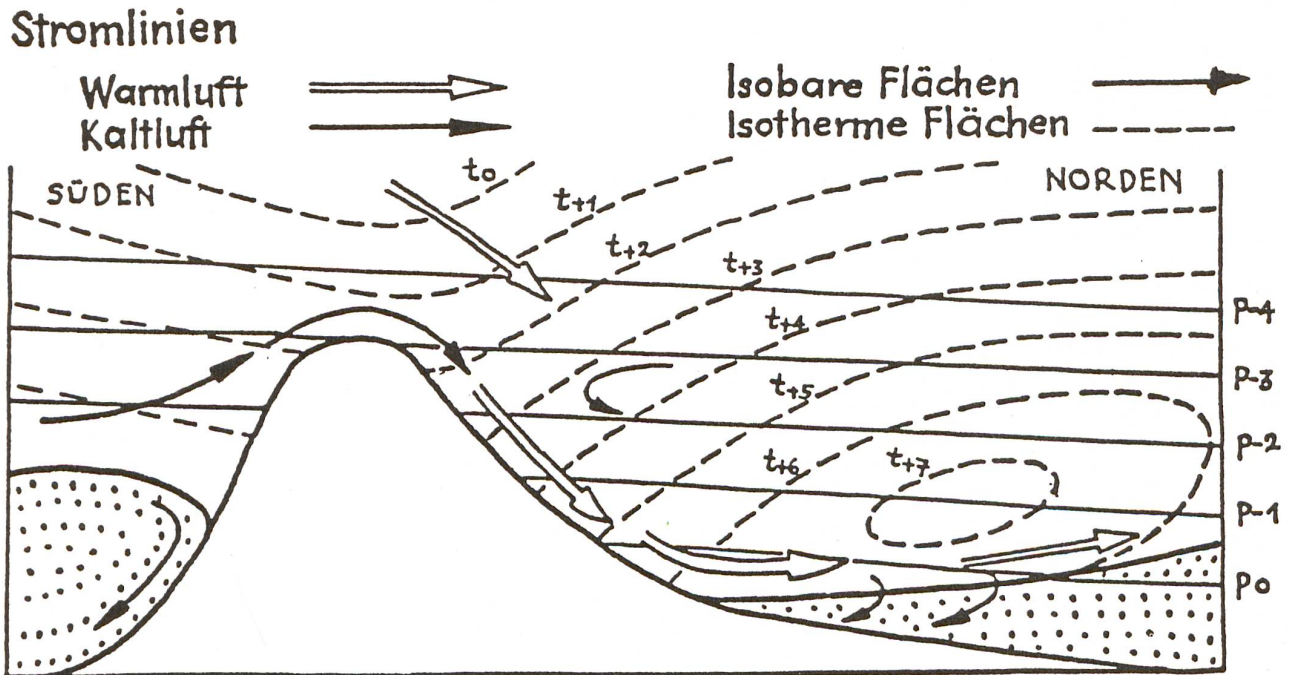


Abb. 8: Das Zyklonalstadium des Föhnwindes mit dem baroklinen Temperatur- und Druckfeld (Solenoidfeld) und den Strömungsrichtungen.

Über dem Alpenkamm befinden sich somit die kältesten und damit dichtesten Luftmassen. Auf der Leeseite, über dem nördlichen Alpenvorland, schneiden sich die isobaren und die isothermen Flächen und es entsteht ein Solenoidfeld mit baroklinem Charakter. Dieses erteilt der Föhnströmung eine Absinkbeschleunigung, so dass diese, im oberen Teil Bora-artig, bis in die Täler hinunter vorstossen kann.

Die gewaltige Energie eines Föhnsturmes hat ihre Quellen im aussergewöhnlichen Druckgradienten und im gut ausgebildeten baroklinen Solenoidfeld. Für das seit dem letzten Jahrhundert umstrittene Problem des «warmen und leichten Föhns», der «rätselhaft» in die Täler hinunter stürzt, besteht damit eine physikalische Erklärung.

Die Föhnströmung ist über dem Alpenkamm sehr kalt, hat im oberen Abstiegsbereich Bora-Charakter und erhält erst durch die adiabatisch bedingte Temperaturzunahme im unteren Teil eine überdurchschnittlich hohe Temperatur.

Die bis in die Täler hinunter vorgestossene Föhnströmung gleitet hier schliesslich über die verbleibenden Kaltluftschichten auf. In diesen wehen zumeist schwache, vor dem Föhneinbruch oft auch nördliche Winde. Durch das Hin-und-Her-Pendeln des Kaltluftkeils kann es in den Föhntälern zu mehrmaligen Föhnpausen kommen, mit kräftigen Temperaturschwankungen.

Auf der Südseite der Alpen werden die tieferen Luftschichten zumeist nicht in die alpenüberquerende Strömung einbezogen. Auch im Höhepunkt einer Föhnlage, mit Sturmesstärken in den nördlichen Tälern, bleiben die bodennahen Winde auf der Luvseite schwach. Oft besteht Windstille, oder es bildet sich bis in Höhen von 1500 m ü. M. hinauf sogar ein «Luvwirbel», mit schwachen nördlichen Winden in den Niederungen. Das klassische Strömungsmodell in den Schulbüchern, das die Strömung auch auf der Luvseite dem Geländeprofil folgen lässt, sollte deshalb, gemäss Abbildung 8, modifiziert werden.

5.3 Historisches zu den Föhnmodellen

Die Ansicht, dass der Föhn deshalb so warm sei, weil er aus der Sahara stamme, war in der Mitte des letzten Jahrhunderts noch weit verbreitet. Hann hat diese Ansicht mit seiner physikalischen Föhntheorie im Jahr 1866 endgültig widerlegt und eine befriedigende Erklärung für die grossen Temperaturerhöhungen beim Föhneinbruch in den Tälern gefunden.

Über Jahrzehnte hinweg war stark umstritten, aus welchem Grund es dem «warmen und leichten» Föhn gelinge, in die Täler hinunterzustürzen und die dichteren Kaltluftschichten auszuräumen. Wild, Berner Universitätsrektor und später Staatsrat in Petersburg, präsentierte 1867 und 1901 seine «Luftverdünnungstheorie». In ähnlichem Sinn suchte Streiff-Becker in den Jahren zwischen 1925 und 1942 dieses umstrittene Phänomen mit seiner «Injektorthorie» zu klären. Billwiller, der erste

Direktor der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, suchte die Erklärung mit seiner «Aspirationstheorie», wobei die dichtere Kaltluft in den Tälern durch eine heranziehendes Tiefdruckgebiet abgesaugt und zum Abfliessen gezwungen würde. Ficker führte zu Beginn des Jahrhunderts umfangreiche Föhnuntersuchungen im Raum von Innsbruck durch und schloss sich der Ansicht Billwillers weitgehend an.

In seiner Basler Dissertation entwickelte der Verfasser (FREY, 1945) die «Solenoidtheorie», die Wenger ansatzweise schon im Jahr 1916 vertrat und sah darin die physikalische Lösung des ungeklärten Problems hinsichtlich dem Hinunterstürzen des Föhns in die Täler. Diese Ansicht wurde am 2. September 1944 an der Tagung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Sils vorgetragen und fand allgemeine Zustimmung.

Der Band «Föhnstudien» (KUHN, 1989) gibt einen Überblick über die Föhnforschung der Zeitperiode 1866 bis 1986 von 130 Jahren. Dazu wurden 29 Beiträge von 25 Autoren ausgewählt. Dabei sind auch zwei Publikationen des Verfassers (FREY, 1984 und 1986) berücksichtigt und in vollem Umfang abgedruckt worden.

6. Literatur

BILLWILLER, R. (1878): Referat über die Arbeit von HEBERT. Zeitschrift für Meteorologie, Wien. S. 317.

DOVE, H. W. (1867): Über Eiszeit, Föhn und Scirocco. Berlin.

FICKER, H. (1905–1910): Innsbrucker Föhnstudien I.–IV. Wien.

FREY, K. (1945): Eine neue Ansicht über die Entwicklung des Föhns. Sonderdruck aus Basler Dissertation. Trimbach. 16 S.

FREY, K. (1950): Der Dämmerföhn vom 18. Dezember 1945. Internationale Tagung für alpine Meteorologie. Mailand 8 S.

FREY, K. (1953): Die Entwicklung des Süd- und Nordföhns. Archiv A für Meteorologie und Geophysik. Wien. 432–477.

FREY, K. (1957): Zur Diagnose des Föhns. Meteorologische Rundschau 6, 181–185.

FREY, K. (1984): Der Jahrhundertföhn vom 8. November 1982. Meteorologische Rundschau 37. 209–220.

FREY, K. (1986): Gleichzeitigkeit von Nord- und Südföhn. Archiv A für Meteorologie und Geophysik. Wien. 349–366.

- FREY, K. (1991): Besondere Strömungsverhältnisse bei Föhn. Referat an der Tagung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft vom 11. Oktober 1991 in Chur.
- FREY, K. (1993): Der Einfluss des Wetters auf den Menschen. Mitteilungsbroschüre Nr. 36 der Naturforschenden Gesellschaft des Kantons Solothurn.
- HANN, J. (1866): Zur Frage über den Ursprung des Föhns. Zeitschrift für Meteorologie. Wien. S. 158.
- KACHELMANN, (1989): Föhn – das Rätsel ist gelöst. Schweizer Illustrierte vom 22. Dezember 1989.
- KUHN, M. (1989): Föhnstudien. Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt. 504 S.
- LEHMANN, O. (1937): Zur Geschichte der Föhntheorie. Naturforschende Gesellschaft Zürich.
- SCHLEGEL, M. (1975): Der Alpenföhn, eine Dokumentation. Deutscher Wetterdienst, Offenbach. 23 S.
- STREIFF, R. (1942): Neue Untersuchungen über den Schweizer Föhn. Denkschrift Schweizerische Naturforschende Gesellschaft. Abhandlung 4.
- SUTERMEISTER, H. (1944): Hundert Jahre Föhnforschung. Zeitschrift Gesundheit und Wohlfahrt. Zürich. 567–593.
- WALTER, E. (1938): Der Schweizer Föhn. Neujahrsblatt Naturforschende Gesellschaft Zürich.
- WENGER, R. (1916): Über den gegenwärtigen Stand der Föhntheorie. Zeitschrift für Meteorologie. Wien. 1–10.
- WILD, H. (1867): Über Föhn und Eiszeit. Rektoratsrede Universität Bern vom 15. November 1867.
- WILD, H. (1901): Über den Föhn und Vorschlag zur Beschränkung seines Begriffs. Denkschrift Schweizerische Naturforschende Gesellschaft XXXVIII.



8. November 1982, 10.00 Uhr: Blick von oberhalb der Frohbürg nach Süden beim «Jahrhundert-Föhnsturm»