

DER  
TRANSPORT KALTER LUFTMASSEN

ÜBER DIE

ZENTRALALPEN

VON

HEINZ V. FICKER,

ASSISTENT AN DER K. K. ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE.

*Mit 33 Textfiguren.*

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 26. APRIL 1906.

Ich folge mit dieser Arbeit einer Anregung von M. Margules, der bereits im Maihefte 1903 der Meteorologischen Zeitschrift einen Aufsatz »Über Temperaturschwankungen auf hohen Bergen« veröffentlicht hat. Wie Margules, so gehe auch ich aus von den Beobachtungen, die auf dem Sonnblick (3106 *m*) und in zwei nahen Fußstationen gemacht wurden. Da die südliche Talstation, Döllach, nur drei Jahre in Tätigkeit war, so beschränke ich mich auf das Material der Jahre 1901—1903. So wertvolle Aufschlüsse über alpin-meteorologische Fragen durch Bearbeitung der Beobachtungen so naher Stationen erwartet werden durften, war es doch geboten, die Beobachtungen auf anderen Alpengipfeln mitzubedenken, um über den Wirkungsbereich solcher Temperaturschwankungen im Alpengebiete wenigstens einen notdürftigen Überblick zu bekommen.

M. Margules hat in seiner eingangs zitierten, sehr knapp gefaßten Arbeit sowohl starke, aperiodische Erwärmungen wie Abkühlungen behandelt. Margules bezeichnete seine Abhandlung als Vorarbeit und gab der Erwartung Ausdruck, es möge eine ausführlichere Bearbeitung des auf dem Sonnblick und den beiden Talstationen gewonnenen Materiales von anderer Seite in Angriff genommen werden.

Ich beschränke mich in dieser Arbeit auf rasch verlaufende, intensive Abkühlungen, die auf dem Sonnblick-Observatorium in den Jahren 1901—1903 registriert wurden. Diese Beschränkung geschah mit Absicht. Erstens wollte ich die Arbeit nicht über Gebühr in die Länge ziehen, auf Kosten der Übersichtlichkeit. Zweitens glaubte ich, den einfacheren, leichter zu verfolgenden Fall vorher behandeln zu sollen. Die Trennung hat einen großen, unzugbaren Nachteil: Starke Erwärmungen und Abkühlungen folgen einander oft so rasch und stehen oft in so deutlich kenntlichem Zusammenhange, daß die Trennung schwer fällt. Dennoch glaube ich, der größeren Klarheit wegen die Scheidung vornehmen zu müssen. Wo durch

die Trennung die Verständlichkeit leiden könnte, werde ich der detaillierten Schilderung des Verlaufes einer Abkühlung die Skizzierung der vorhergegangenen oder nachfolgenden Erwärmung beifügen. Noch weitere Gründe veranlaßten mich, mich auf die Abkühlungen zu beschränken. M. Margules hat in seiner Arbeit hauptsächlich Erwärmungen behandelt. Ich konnte also hoffen, bei Bearbeitung von Abkühlungen leichter zu Ergebnissen zu kommen, welche die von Margules gewonnenen Resultate ergänzen könnten. Denn daß es sich höchstens um eine Ergänzung der von Margules gezogenen Schlüsse handeln könnte, war mir nach einer auch nur flüchtigen Durchsicht des Materiales klar. Ferner vermutete ich, daß gerade die im Alpengebiete auftretenden Abkühlungen durch den Alpenkamm selbst in einer für den Südadhang der Alpen klimatisch sehr wichtigen Weise modifiziert werden.

Bei Bearbeitung der Kälteeinbrüche in den Alpen hoffte ich auch einen besseren Einblick in die miteinander schwer verständliche Temperaturschichtung im Alpengebiete zu erhalten, die uns ja schon offenbar wird, wenn wir nur kurze Zeit die Morgenmeldungen der Gipfelstationen in den täglichen Wetterberichten verfolgen. Nicht zuletzt mag auch der Umstand mitbestimmend gewesen sein, gerade die raschen Abkühlungen im Gebirge zu studieren, weil ich dadurch den Anschluß an frühere Arbeiten gewann. So erwartete ich vor allem einige Aufschlüsse aus dem Vergleiche zwischen Südföhn auf der Nordseite der Alpen und Nordföhn auf der Südseite.

Bei Bearbeitung größerer Abkühlungen im Alpengebiete ist die Betrachtung der gleichzeitigen Druckänderungen notwendig. Denn die Luftdruckaufzeichnungen in der Höhe und im Tale setzen uns in den Stand, die Mitteltemperatur der zwischenliegenden Luftsäule zu berechnen. Durch dieses Verfahren werden wir unabhängig von den lokal beeinflussten Taltemperaturen, die oft nur schwer einen Vergleich mit Gipfeltemperaturen gestatten. Durch einen Vergleich der Taltemperatur mit der berechneten Mitteltemperatur der Luftsäule über dem Tale erhalten wir jedoch einen Einblick in die Ursachen der Störung im Tale selbst und sind oft in der Lage, annähernd anzugeben, ob die im Tale beobachtete Temperaturanomalie hoch hinaufreicht oder nur in einer seichten Luftschicht über dem Tale herrscht. Die Taltemperaturen ganz auszuschalten und sich nur auf die berechneten Mitteltemperaturen zu stützen, würde zwar die Betrachtung vereinfachen, scheint mir aber in einer Arbeit, die einen bescheidenen Beitrag zur alpinen Meteorologie liefern will, nicht ganz angebracht. Mir schien es zweckentsprechend, im Texte nur die Terminbeobachtungen (7a, 2p, 9p), nebst Wind und Feuchtigkeit wiederzugeben, die Mitteltemperaturen der nördlichen und südlichen Luftsäule, Sonnblicktemperatur und Luftdruckgang auf dem Sonnblick und in den Tälern graphisch darzustellen, die stündlich registrierten Temperaturwerte des Sonnblicks und der zwei Talstationen jedoch in einem Anhang mitzuteilen. So glaube ich, den Text nicht allzusehr mit reinem Zahlenmaterial zu belasten, andererseits aber doch die Möglichkeit zu bieten, das ganze, benützte Material kennen zu lernen, falls sich jemand dafür interessieren sollte.

Im folgenden sei eine kurze Beschreibung der beiden Talstationen gegeben, um das Verständnis für manche Ausführungen zu erleichtern. Ich übernehme die Beschreibung aus der Arbeit von Margules der die beiden Stationen durch persönliche Bereisung des Gebietes kennen gelernt hat:

Bucheiben (Lechnerhäusel) liegt im Hüttwinkeltale, 8 km nördlich vom Sonnblick, zirka 1200 m hoch. Das Tal fällt von hier sachte nach Norden ab, ist unterhalb des Marktes Rauris (910 m) von einer niedrigen Barre gesperrt, die in einer engen Schlucht den Bach durchläßt. Weiterhin senkt sich das Gelände steil zum Salzachtale, dem noch im Norden 2000 m hohes Gebirge vorgelagert ist. Die Station besteht seit Februar 1898, wurde zuerst von dem früheren Sonnblickbeobachter Peter Lechner besorgt, nach dessen Tode von Herrn Makarius Janschütz übernommen. Richard-Autographen für Luftdruck, Temperatur, Feuchtigkeit.

Döllach im oberen Mölltale, 10 km südwestlich vom Sonnblick, zirka 1000 m, hat eine kesselähnliche Lage. Das Tal erweitert sich dort, verengt sich weiter unten, hat etwa 12 km weit die Richtung nach Süd, biegt dann nach Ost ab. Im Süden trifft man zunächst den Iselsberg, jenseits des Drautaales die Kette der Karnischen Alpen. Die Station bestand seit November 1900 bis Ende 1903. Baro- und Thermograph Richard. Beobachter Herr Johann Forcher, Schulleiter.

Als Höhenunterschied Bucheben-Sonnblick nehme ich 1910 *m*, für die Südseite Döllach-Sonnblick 2110 *m*, Mittelwerte aus den von Margules und von mir angestellten Berechnungen.

Die Luftdruckwerte von Bucheben, die zur Konstruktion der Diagramme benützt wurden, sind auf das Niveau von Döllach reduziert, weil dann die Verschiedenheiten im Gange auf der Nord- und Südseite besser ersichtlich sind.

Die Mitteltemperatur der Luftsäulen wurde nach der Formel, die Margules benützt, berechnet:

$$t_m = \frac{gH \log e}{R} \cdot \frac{1}{\log B - \log b} - 273$$

(*e* Basis der natürlichen Logarithmen, *g* Schwerebeschleunigung für 2000 *m* und  $\varphi = 47^\circ$ ; *H* = 1910 *m* für die Nordsäule, 2110 *m* für die Südsäule; *R* = 287 (bei Berücksichtigung des Wasserdampfgehaltes  $R = 287 + 109 \left(\frac{d}{b}\right)$ , worin *d* Dampfdruck, *b* Luftdruck), *B* und *b* beobachteter Luftdruck unten und oben).

Bei Bearbeitung des Materiales wurde in folgender Weise vorgegangen: Es wurden intensive, rasch verlaufende Abkühlungen auf dem Sonnblick aufgesucht. Hieran schloß sich der Vergleich mit den beiden Talstationen, sowie eine Betrachtung der Änderungen der Mitteltemperaturen der beiden Luftsäulen. Für die Mitteilung im Texte erschien es jedoch zweckmäßiger, von der Nordseite aus zu gehen, das nördliche Tal mit der Höhe zu vergleichen und dann auf die Südseite überzugehen. An die Betrachtung der Temperaturverhältnisse schließt sich dann die Diskussion des Luftdruckganges in den drei Stationen. Vorangestellt aber wurde jedem Falle eine Skizzierung der Wetterlage.

Haben wir dann eine Übersicht über die Verhältnisse im Sonnblickgebiete gewonnen, so erscheint es zweckmäßig, den Verlauf des Kälteeinbruches auf anderen Alpengipfeln zu verfolgen. Hierzu werden benützt: Schmittenhöhe 1968 *m*, 37 *km* NNW vom Sonnblick), Zugspitze 2964 *m*, 136 *km* WNW vom Sonnblick, Säntis 2500 *m*, 260 *km* WSW vom Sonnblick, fallweise noch Rigi Kulm 1787 *m* und St. Gotthard 2100 *m*. Auf der Südseite der Alpen Obir 2044 *m*, 135 *km* SE vom Sonnblick. Nordalpine Talstationen wurden selten benützt, an südalpinen Talstationen finden sich Riva am Gardasee 90 *m* und Lugano 275 *m*.

Die Beobachtungen entnahm ich den Jahrbüchern der betreffenden Staaten. Herr Direktor Erk in München gestattete mir in liebenswürdigster Weise, Auszüge aus dem Beobachtungsjournal des Zugspitze-Observatoriums zu machen, wofür ich ihm an dieser Stelle bestens danke.

Der Zweck der Arbeit bringt es mit sich, eine Reihe einander ähnlicher Fälle in mehr oder minder ausführlicher Weise zu behandeln, da sich kein Fall findet, der alle Begleiterscheinungen in gleich deutlicher Weise erkennen ließe. So blieb nichts übrig, als in einer für den Leser ermüdenden Weise eine Reihe im Grundzuge ähnlicher, im Detail häufig verschiedener Fälle zu diskutieren, um dann hieraus allgemeinere Schlüsse abzuleiten. Die Methode der Bearbeitung brachte noch einen Übelstand mit sich. Wir finden in allen Fällen der Abkühlung auf dem Sonnblick eine Drucksteigerung im Tale. Solche Drucksteigerungen kommen auch bei Erwärmungen vor. Sie werden hier nicht behandelt. Ich erwähne diesen Umstand, um dem Vorwurfe zu entgehen, es seien nur jene Fälle ausgesucht worden, in welchen sich eine Übereinstimmung mit einer vielleicht vorgefaßten Meinung kundgab. Ich hoffe, solche abweichende Fälle später behandeln zu können.

Es folgen einige wenig komplizierte Fälle:

### Kälteeinbruch vom 16.—18. Oktober 1902.

Wetterlage: 16. Oktober. Hoher Druck liegt über Unteritalien, Balkan, Südungarn, tiefer Druck bedeckt den Norden des Kontinentes. Schwaches Druckgefälle vom Süd- zum Nordfuße der Alpen. In der Höhe südwestliche Winde.

17. Oktober. Hoher Druck rückt keilförmig aus Westen längs des Nordabfalles der Alpen vor.

Südlich der Alpen hat sich eine Depression gebildet. Starkes Druckgefälle vom Nordfuße zum Südfuße der Alpen (Innsbruck 758·3 mm, Riva 753·6 mm Hg, beide Stationen auf Meeresebene reduziert). In der Höhe nordwestliche Winde, Sonnblick noch SW<sub>2</sub>.

18. Oktober. Keil hohen Druckes von Westen her am Nordrande der Alpen. Tiefer Druck im Norden, steht in Verbindung mit einem Gebiete tiefen Druckes im Süden der Alpen. Druckgefälle vom Nordfuß zum Südfuße der Alpen (Innsbruck 761·9, Riva 757·6 m). In der Höhe nördliche Winde vorherrschend.

Diese Änderung der Wetterlage war mit folgenden Erscheinungen am Sonnblickgebiete verbunden.

Nördliches Tal, Nordsäule, Sonnblick: Zur Übersicht seien die Terminbeobachtungen in Bucheben und vom Sonnblick mitgeteilt.

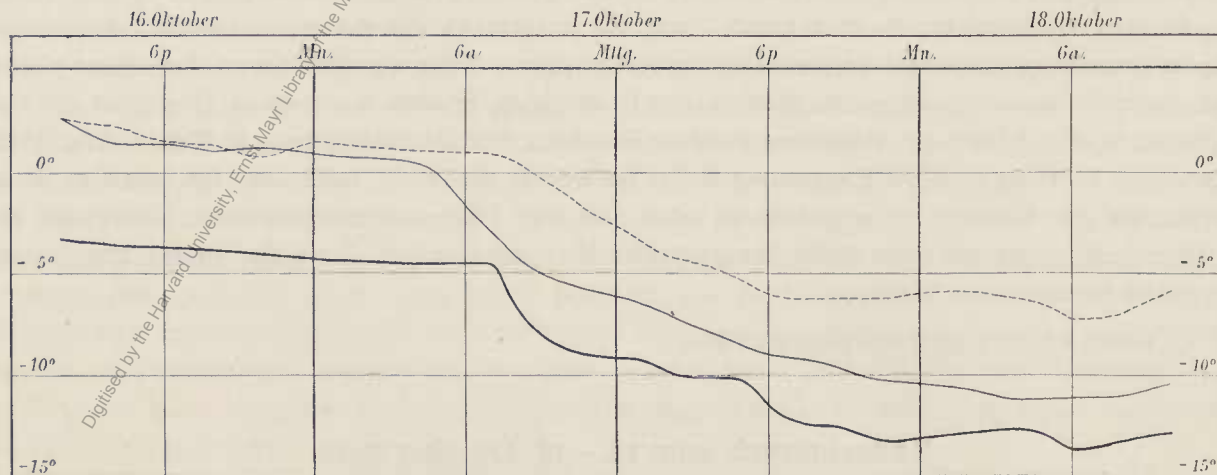
Bucheiben 1200 m.

	Temp.			Rel. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
16. Oktober	3·1	12·5	6·1	97	35	92	W 1	S 7	N 1
17. >	1·7	1·5	0·7	99	92	100	N 2	0	N 1
18. >	0·3	4·6	3·3	81	52	91	0	0	W 1

Sonnblick 3106 m.

	Temp.			Rel. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
16. Oktober	-4·8	3·4	-4·2	88	85	90	WSW 3	WSW 4	WSW 4
17. >	-4·6	9·9	-12·8	90	81	80	SW 2	N 3	N 4
18. >	-13·8	-12·5	-11·6	81	80	82	N 6	N 1	W 2

Fig. 1.



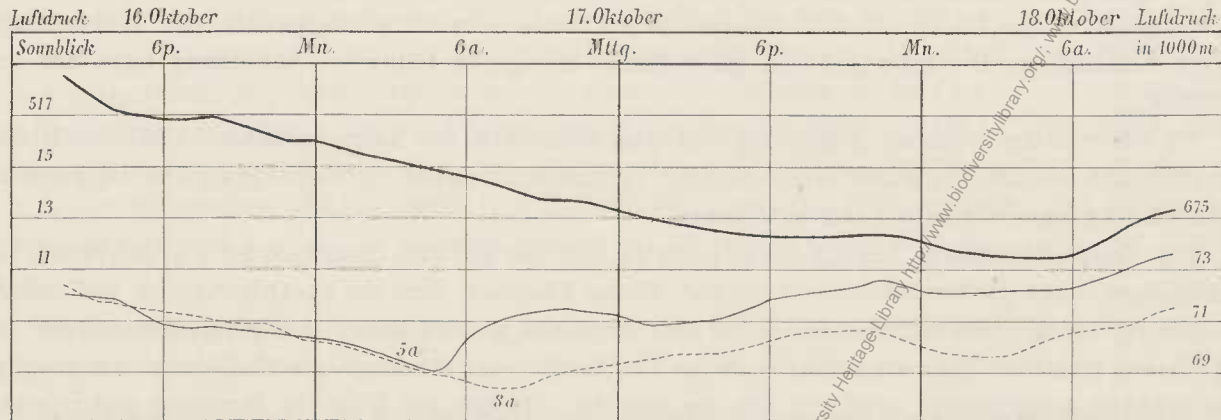
Gang der Temperatur auf dem Sonnblick und der Mitteltemperatur der Luftsäulen auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

———— Sonnblick      - - - - - Nordseite      ····· Südseite.

Am Morgen des 16. Oktober ist Bucheben kalt, doch zeigt die Mitteltemperatur der nördlichen Luftsäule (siehe Diagramme) an, daß eine warme Luftströmung bereits tief in das Tal hinabreicht. Die Höhe,

bis zu welcher die Erwärmung hinabreicht, kann nicht angegeben werden. Doch kann die kalte Luftschicht im Tale nicht sehr hoch reichen, weil sonst die nachfolgende, sprungartige Erwärmung der

Fig. 2.



Gang des Luftdruckes auf dem Sonnblick (3106 m) und in 1000 m Höhe auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

————— Sonnblick      - - - - - Nordseite      - - - - - Südseite.

Taltemperatur von größerem Einflusse auf die Mitteltemperatur der Luftsäule sein müßte. Von 7a bis 2p steigt in Bucheben die Temperatur um fast 10°, der WSW in der Höhe dringt als Föhn in das nördliche Tal. Wir finden um 2p in Bucheben eine relative Feuchtigkeit von 35 Prozent bei S<sub>7</sub>. Die Temperaturdifferenz Sonnblick-Buchebe beträgt gleichzeitig 16° bei 1900 m Höhendifferenz. (Es sei bemerkt, daß bei Fallwind auf der Nordseite nur sehr selten der Temperaturgradient von 0.96° pro 100 m gefunden wird. Speziell die Morgentemperaturen scheinen bei Föhn sehr stark gestört. Die Ursache der Störung scheint gleicher Art zu sein wie bei den Innsbrucker Föhnpausen: seitlicher Einschub kalter Luft unter die Föhnströmung.)

Der Föhn in Bucheben dauert nicht lange, er erlischt im Tale, die Temperatur beginnt langsam zu sinken. Um 9p verzeichnet Bucheben bereits N<sub>1</sub> mit starkem Schneefall, auf dem Sonnblick weht noch WSW<sub>4</sub>. Trotzdem die Temperatur im Tale seit 2p um 6° gesunken ist, ist die Luftsäule nur wenig kälter geworden — die kalte Luftschicht reicht nicht hoch. Die nördliche Luftsäule ist nicht mehr homogen. Unten eine kalte, von Norden eindringende, von Schneefall begleitete Luftströmung, oben eine warme, südliche Strömung. Analog dem Abfall der Temperatur im Tale verringert sich die Temperaturdifferenz Sonnblick-Buchebe. Die Berechnung der Temperaturabnahme für 100 m würde uns in diesem Falle einen Wert geben, dem keinerlei Gültigkeit für die ganze Luftsäule zukommt. Denn in der unteren Schicht muß der Kondensation wegen ein anderer Gradient gültig sein als für die obere, warme Strömung.

Von 10p (16. Oktober) bis 5a (17. Oktober) bleibt sodann die Temperatur in Bucheben fast konstant. Um 5a beginnt erneut raschere Abkühlung, gleichzeitig erfolgt rasches Sinken der Mitteltemperatur der Luftsäule. Die Temperatur auf dem Sonnblick bleibt vorerst noch ungeändert. Das rasche Sinken der Mitteltemperatur der Luftsäule bei ungeänderter Temperatur oben deutet an, daß die kalte Luft, unter deren Einfluße das Talbecken schon seit dem Vorabend steht, rasch in die Höhe schwillt, ohne vorerst Sonnblickhöhe zu erreichen. Um 7a meldet Sonnblick noch SW<sub>2</sub>. Um diese Zeit — starke Abkühlung im Tale — erreicht die Temperaturdifferenz Sonnblick-Buchebe ihren kleinsten Wert, 6.6° bei 1900 m Höhendifferenz. Nach 7a erreicht die kalte Luft Sonnblickhöhe, es folgt rascher Temperaturfall, der Wind dreht nach Nord. Es sind mehr als 12 Stunden vergangen, ehe die kalte Luftmasse von Bucheben bis in Sonnblickhöhe anschwellen konnte. Sowohl im Tale wie auf der Gipfelstation dauert bis 18. Oktober die Abkühlung fort mit regelmäßigem Absinken der Mitteltemperatur der nördlichen Luftsäule. Erst nachdem die Abkühlung den Sonnblick erreicht hat, ist die nördliche Luftsäule, wenigstens

bis in Sonnblickhöhe, von einer einheitlichen Luftströmung ausgefüllt. Der Verlauf der Abkühlung im Tale, verglichen mit dem Gange der Mitteltemperatur der Luftsäule, zeigt zwei Etappen des Abkühlungsprozesses der Säule: Im ersten Stadium rascher Fall im Tale, ungeänderte Mitteltemperatur der Säule — Abkühlung in einer scichten Schichte über dem Talbecken. Im zweiten Stadium erneut starke Abkühlung im Tale, gleichzeitiges Sinken der Mitteltemperatur der Säule — rasches Anschwellen der kalten Schicht im Tale. Endstadium: Die kalte Luft füllt gleichförmig die ganze Säule — Abkühlung auch auf dem Sonnblick.

Ob während der weiteren Abkühlung auf dem Sonnblick die kalte Luftmasse beträchtlich über Sonnblickhöhe anschwillt, darüber lassen sich nur Vermutungen anstellen. Die Frage wird bei Besprechung des Luftdruckganges wiederholt sich aufdrängen.

Die Gesamtabkühlung beträgt bis 12p des 17. Oktober auf dem Sonnblick 9·6°, in Bucheben 13°, die Mitteltemperatur der Nordsäule sinkt um 13°. Dieser Vergleich dient nur zur Orientierung, weil schwer zu sagen ist, welche Zeitabschnitte betrachtet und verglichen werden sollen. Am sichersten scheint mir die Differenz zwischen Temperaturmaximum am 16. Oktober und Minimum am 17. Oktober zu nehmen. Diese Wahl ist gerechtfertigt, weil wir um 2p des 16. Oktober bei Föhn in Bucheben gleichförmige Temperaturschichtung in der Nordsäule annehmen dürfen. In anderen Fällen, in welchen wir diese Annahme nicht machen dürfen wegen mehr stabiler Temperaturschichtung, wird der Vergleich zwischen der Abkühlung im Tale und auf der Höhe wesentlich andere Resultate ergeben. Daß die Erniedrigung der Mitteltemperatur der Luftsäule von gleichem Betrage ist wie die Abkühlung im Tale, erscheint plausibel, wenn sowohl im betrachteten Anfangs- wie Endzustande die Luftsäule von einer einheitlichen Luftströmung ausgefüllt war.

Wir wenden uns der Südseite des Gebirges zu.

Südliches Tal, südliche Luftsäule. Nachstehend zur Orientierung die Terminbeobachtungen aus Döllach. Sonnblick wurde früher mitgeteilt.

	Temp.			Rel. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
16. Oktober	7·6	12·9	10·0	93	50	74	0	S 3	S 1
17. >	7·5	4·4	3·3	95	94	73	0	0	N 1
18. >	4·2	7·0	0·0	47	35	84	N 3	N 2	N 3

Um 2p des 16. Oktober finden wir in Döllach gleiche Temperatur wie auf der Nordseite und niedrige Feuchtigkeit bei stärkerem Südwind, also nahezu gleiche Verhältnisse wie auf der Nordseite, wo Föhn herrscht. (Bei Föhn in Bucheben dürfen föhnartige Erscheinungen auf der Südseite nicht überraschen. Wie eingangs erwähnt, ist dem Dorfe Döllach im Süden der Iselsberg vorgelagert, von dem vielleicht Teilströmungen des Südwindes in das Talbecken erwärmt niedersinken. Bei Betrachtung der gleichzeitigen Verhältnisse auf der Nord- und Südseite wird dieser Umstand öfters störend empfunden).

Nach Eintritt der Abkühlung auf der Nordseite erscheint Döllach wärmer. Die Mitteltemperaturen der beiden Luftsäulen bleiben einander gleich, bis um 5a des 17. Oktober auf der Nordseite die kalte Luft rasch in die Höhe rückt. Bald nach Eintritt der Abkühlung auf dem Sonnblick beginnt die südliche Luftsäule abzukühlen, ohne daß zunächst zu bemerken wäre, daß die kalte Luft auch wirklich in das südliche Talbecken herabsteigt. Nur allmählich füllt sich die Südsäule ebenfalls mit kälterer Luft. Im Süden keine Fallwinderscheinungen. Die Feuchtigkeit bleibt hoch, die Temperaturdifferenz Sonnblick-Döllach gering. Erst am Abend des 17. Oktober, nachdem die Temperatur auf dem Sonnblick fast um 10° gesunken ist, setzt in Döllach Nordwind ein mit raschem Fall der relativen Feuchtigkeit. Dabei bleibt die Temperatur in Döllach fast ungeändert, ebenso die Mitteltemperatur der Südsäule. Stärkere Abkühlung

der Luftsäule hatte bereits früher stattgefunden, doch blieb die südliche Säule trotzdem um zirka  $3^{\circ}$  höher temperiert als die Nordsäule: Die niedersinkende kalte Luft wird durch Kompression erwärmt, für den Abstieg auf der Südseite gilt der Temperaturgradient für Vertikalbewegung trockener Luft, auf der Nordseite der kleinere Gradient für Wolkenluft, wenigstens in einem Teile der Luftsäule. Die kalte Luft erwärmt sich bei dem Abstieg auf der Südseite rascher als sie bei dem Aufstiege auf der Nordseite kälter wird. Von eigentlichem Föhn kann in Döllach nicht gesprochen werden. Da die Temperatur gegenüber dem Vortage erheblich erniedrigt erscheint, wäre dieser Fallwind eher als Bora zu bezeichnen. Mit Eintritt des Nordwindes in Döllach steigt die Temperaturdifferenz Sonnblick-Döllach auf  $18^{\circ}$ , bei 2100 *m* Höhendifferenz. Warum in diesem Falle nicht der Gradient des indifferenten Gleichgewichtes gefunden wird, soll später besprochen werden, wenn die Betrachtung mehrerer Fälle gestattet, den Vorgang des Abstieges der kalten Luft auf der Südseite genauer zu verfolgen. Dieser Fall soll mehr zur Übersicht dienen.

Wir betrachten den Luftdruckgang in der Höhe und im Tale während des Kälteeinbruches. Das Diagramm ist der leichteren Übersicht wegen mit dem Temperaturdiagramme reproduziert.

Luftdruck Sonnblick 3106 *m*: Konstanter, langsamer Fall bis gegen Mittag des 18. Oktober. Der Eintritt der Abkühlung bleibt ohne Einfluß auf den Luftdruck in der Höhe. Der Anstieg von Mittag des 18. Oktober an wird vielleicht verursacht durch Vorgänge in der Luftsäule über dem Gipfel. Hierüber könnten nur schwer zu begründende Vermutungen geäußert werden. Ich verzichte auf deren Wiedergabe. Der Windwechsel von WSW in N bleibt ebenfalls ohne Einfluß auf den Gang des Luftdruckes.

Luftdruck in 1000 *m* Höhe auf der Nord- und Südseite: Zuerst Fall parallel mit dem Gang auf dem Sonnblick, geringer Überdruck auf der Südseite, bei Föhn auf der Nordseite. Das erste Stadium der Abkühlung in Bucheben vollzieht sich ebenfalls noch bei fallendem Drucke, doch rückt der höhere Druck auf die Nordseite. Um 5a beginnt in Bucheben erneut rasche Abkühlung; dem raschen Anschwellen der kalten Luft im nördlichen Tale entspricht rasche Druckzunahme in Bucheben bei fallendem Drucke und konstanter Temperatur in der Höhe. Die Drucksteigerung ist bewirkt durch die Ausfüllung der nördlichen Säule mit kälterer Luft.

Ehe die kalte Luft über den Sonnblick in die südliche Luftsäule einströmen kann, fällt der Druck in Döllach, so daß ein bedeutender Überdruck (+ 3 *mm*) auf der Nordseite entsteht. Doch hindert die zwischenliegende Gebirgskette den Ausgleich so lange, bis die kalte Luft bis in Sonnblickhöhe angeschwollen und in das südliche Tal übertreten kann. Nun erfolgt Druckzunahme auch auf der Südseite, da jetzt auch die südliche Luftsäule sich allmählich mit kälterer Luft füllt. Doch ist der Druckanstieg viel geringer als auf der Nordseite, entsprechend der durch Kompression bewirkten höheren Mitteltemperatur der Südsäule.

Der höhere Druck bleibt auf der Nordseite. Wir finden, wie infolge des Kälteeinbruches und der Kompression auf der Südseite der anfänglich von Süd nach Nord gerichtete Gradient sich umkehrt.

Es kann folgende Frage gestellt werden: Welcher Energievorrat speist die Nordströmung auf dem Sonnblick, da ja der Überdruck auf der Nordseite sich wegen der Bergkette nicht ausgleichen kann? Die Frage läßt sich durch Betrachtung der Verhältnisse im Sonnblickgebiete allein nicht beantworten.

Die Luftdruckverhältnisse im Sonnblickgebiete geben ein Bild im Kleinen von der Änderung der gesamten Wetterlage vom 16.—18. Oktober. Während des Vorüberziehens der Depression auf der Nordseite finden wir am 16. Oktober Föhn im nördlichen Tale. Auf der Rückseite der Depression strömt kalte Luft ein, staut sich am Alpenkamme, strömt als Fallwind auf die Südseite der Alpen. Die keilförmige Ausbuchtung der Isobaren am Nordabhange der Alpen ist erklärlich durch die niedrigere Mitteltemperatur der nördlichen Luftsäule.

Wir betrachten noch kurz den Kälteeinbruch in anderen Gebieten der Alpen.

Nordseite:

Schmittenhöhe 1968 *m*; 35 *km* nordwestlich vom Sonnblick.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	8 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	8 <sup>h</sup>
16. Oktober	3·0	1·4	3·0	NW 2	NW 2	SW 1
17. >	- 3·6	- 3·0	- 5·0	NW 3	NW 3	NW 4

Der Kälteeinbruch erfolgt in der Nacht vom 16.—17. Oktober, ist in der Hauptsache vorbei, während er auf dem Sonnblick noch nicht begonnen hat.

Zugspitze 2964 *m*, 135 *km* WNW vom Sonnblick.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
16. Oktober	- 2·6	1·2	- 3·1	SW 7	SE 6	SSE 6
17. >	- 8·6	- 8·8	- 11·4	NW 3	NNW 5	NNW 6

Die Zugspitze verzeichnet am 16. Oktober durchwegs starke, südliche Winde. Nach dem Temperaturautogramme der Zugspitze beginnt starke Abkühlung um 1 *a* des 17. Oktober mit Windwechsel, also um 7 Stunden früher als auf dem Sonnblick. Um 7 *a* dieses Tages ist Zugspitze bei NW<sub>3</sub> um 4° kälter als Sonnblick, der noch SW<sub>2</sub> verzeichnet. Um 2 *p* hingegen, wo auch auf dem Sonnblick bereits die Abkühlung in vollem Gange ist, ist Sonnblick kälter. Die Gesamtabkühlung auf der Zugspitze von 2 *p* (16. Oktober) bis 9 *p* (17. Oktober) beträgt 10° wie auf dem Sonnblick.

Säntis 2500 *m*, 260 *km* WNW vom Sonnblick.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
16. Oktober	- 0·2	0·3	- 2·8	SW 4	SW 2	SW 3
17. >	- 5·6	- 7·5	- 8·0	SW 3	SW 3	WSW 1

Wie den stündlichen Temperaturwerten, die in den Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt für den Säntis publiziert worden, entnommen wurde, begann rasche Abkühlung auf dem Säntis um 8 *p* des 16. Oktoker, 5 Stunden früher als auf der Zugspitze, 12 Stunden früher als auf dem Sonnblick, so daß um 7 *a* des Folgetages der Säntis kälter erscheint als der um 600 *m* höhere Sonnblick. Windwechsel trat auf dem Säntis mit der Abkühlung nicht ein. Die Gesamtabkühlung betrug in der gleichen Zeit wie auf dem Sonnblick 9·1° (Sonnblick 9·5°, Zugspitze 10·2°).



Südseite der Alpen:

Obir 2044 m, 135 km SE vom Sonnblick.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
16. Oktober	1·4	5·0	1·0	W 3	W	SW 8
17. >	1·0	— 1·0	— 1·2	SW 8	NE 3	NE 5
18. >	— 6·4	— 5·0	— 5·8	NE 6	N 2	NW 1

Am Abend des 16. Oktober und Morgen des 17. Oktober herrscht auf dem Obir Südweststurm, dann erfolgt langsame Abkühlung mit Windwechsel. Starke Abkühlung tritt erst in der Nacht vom 17.—18. Oktober ein, erheblich später als auf dem Sonnblick. Die Temperaturen des Obir stimmen gut überein mit den berechneten Mitteltemperaturen der südlichen Luftsäule. Da der Obir 2000 m, Döllach 1000 m, Sonnblick 3100 m hoch ist, so scheint tatsächlich die berechnete Mitteltemperatur der Säule auch noch für entferntere Gebiete Gültigkeit zu haben. In jener Zeit, in welcher die Abkühlung noch nicht bis zum Obir vorgerückt ist, kann eine Übereinstimmung selbstredend nicht erwartet werden.

Stationen am Südfuße der Alpen:

Riva 90 m.

	Temp.			Wind			Relat. Feucht.		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
16. Oktober	14·6	18·1	16·0	N 1	S 2	o	90	68	85
17. >	13·7	16·5	14·8	o	o	N 3	97	87	60
18. >	8·4	14·7	13·7	N 1	S 3	S 3	76	59	61

Lugano 275 m.

	Temp.			Wind			Relat. Feucht.		
	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
16. Oktober	12·4	15·0	12·4	NE 0	NE 0	NE 0	97	83	97
17. >	10·3	16·4	8·0	N 0	N 2	N 1	92	34	60
18. >	11·0	14·6	8·0	N 1	N 0	S 0	45	60	81

In beiden Stationen tritt am 17. Oktober Nordwind mit starkem Fall der relativen Feuchtigkeit ein. Die Temperaturen lassen eine wesentliche Beeinflussung durch den Fallwind nicht erkennen. Die intensive Abkühlung der nordalpinen Stationen — ich verzichte auf die Mitteilung von Beobachtungen — ist am Südfuße der Alpen nicht mehr fühlbar. Höher gelegene Stationen der Südseite wie Döllach zeigen noch Abkühlung. Je tiefer die südliche Luftsäule reicht, in die kalte Luft von der Nordseite fallwindartig eindringt, um so geringer muß die Abkühlung werden. Wir werden Fälle kennen lernen, in welchen sogar Erwärmung eintritt.

Kälter werden auch die Luftsäulen über Riva und Lugano, trotz der ungeänderten Temperatur unter, denn von 2p des 17. Oktober an beginnt in beiden Stationen Druckanstieg

Überblicken wir den ganzen Fall, so finden wir folgendes: Auf der Rückseite einer im Norden der Alpen vorüberziehenden Depression tritt Abkühlung ein, zuerst auf dem Säntis, später auf der Zugspitze, dann auf dem Sonnblick. Im Sonnblickgebiete selbst tritt die Abkühlung zuerst im Tale ein, arbeitet sich langsam in die Höhe und tritt dann über den Gebirgskamm auf die Südseite der Alpen über. Hier tritt in der Höhe (Obir) starke Abkühlung ein, in der Tiefe kommt es zu fallwindartigen Erscheinungen, die in der Höhe von 1000 *m* (Döllach) noch von Abkühlung begleitet sind, in Riva und Lugano jedoch die Temperatur im wesentlichen ungcändert lassen. Der Luftdruckgang in der Höhe zeigt keine nachweisbare Beeinflussung durch die Abkühlung, in den Tälern steigt der Druck analog der Abkühlung, die in den Luftsäulen über den Tälern eintritt, stärker auf der Nordseite, schwächer auf der Südseite.

Wir reihen weitere Fälle an, um die Ähnlichkeit des Vorganges in weiteren Kälteeinbrüchen darzutun und um vielleicht eintretende Abweichungen festzustellen.

### Kälteeinbruch vom 25.—26. Jänner 1902.

Wetterlage: 25. Jänner. Hoher Druck im Südosten Europas, tiefer Druck im Nordwesten (Zentrum an der Westküste Skandinaviens). Am Südfuße der Alpen (Riva, Klagenfurt) ein abgeschlossenes, kleines Gebiet hohen Druckes. Starkes Druckgefälle vom Südfuße zum Nordfuße der Alpen (Riva 760·6 *mm*, Innsbruck 754·2 *mm*). Föhnlage; in der Höhe starke, südliche Winde. 26. Jänner. Im Osten des Kontinentes ist unter dem Einflusse der ostwärts ziehenden, skandinavischen Depression der Druck stark gefallen, ebenso über der Adria und über Norditalien. Ein Keil hohen Druckes erstreckt sich von Westen über die Alpen. Druckgefälle vom Nord- zum Südfuße der Alpen (Innsbruck 752·5 *mm*, Riva 750·2 *mm*). In der Höhe nördliche bis nordwestliche Winde.

Die Änderung der Wetterlage ist ähnlich der im vorhergehenden Falle geschilderten.

Nördliches Tal, Nordsäule, Sonnblick.

#### Bucheoben 1200 *m*.

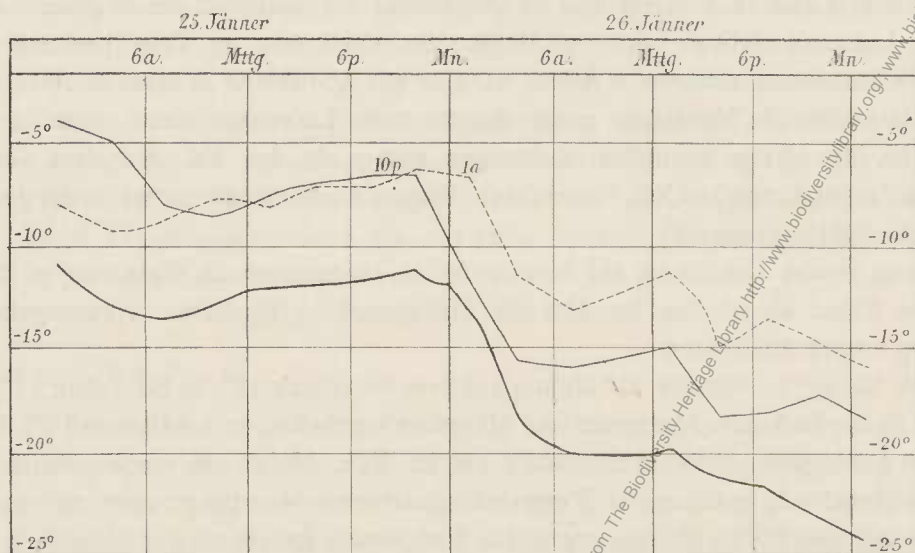
	Temp.			Wind			Relat. Feucht.		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
25. Jänner	0·8	3·3	0·0	SW 5	SW 9	N 6	49	53	93
26. >	- 0·2	- 3·6	- 7·9	SW 1	N 4	W 4	88	61	81

#### Sonnblick 3106 *m*.

	Temp.			Wind			Relat. Feucht.		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
25. Jänner	-13·6	-12·1	-11·3	SSW 5	S 7	SSE 5	90	91	91
26. >	-20·5	-21·1	-22·1	NE 2	NE 3	SSE 1	87	85	86

Am Morgen des 25. Jänner finden wir im nördlichen Tale eine sehr stabile Temperaturschichtung. Die Temperaturdifferenz Sonnblick-Bucheeben beträgt nur 8°. Die Differenz wächst dann sehr rasch, ist

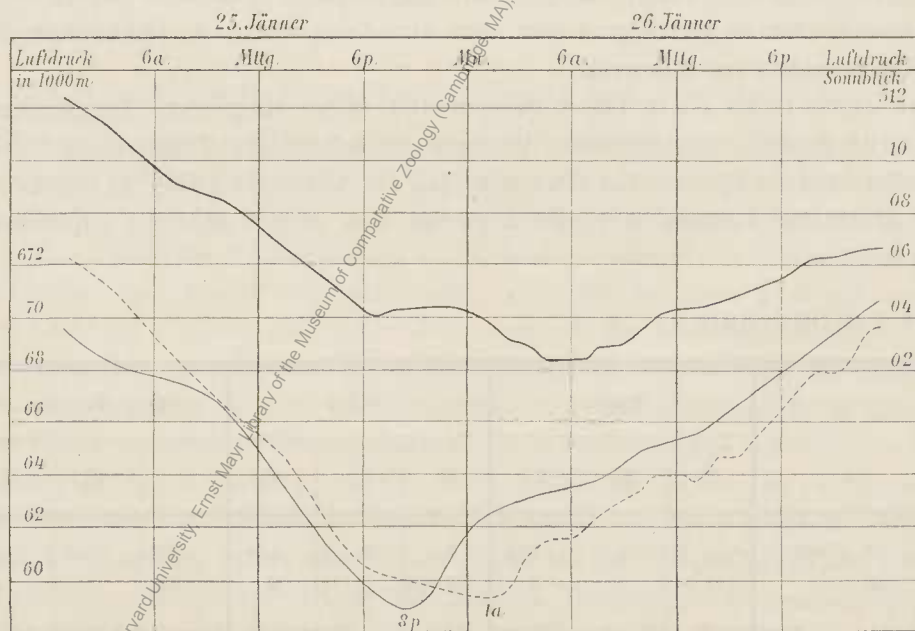
Fig. 3.



Gang der Temperatur auf dem Sonnblick und der Mitteltemperatur der Luftsäulen auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

———— Sonnblick      - - - - - Nordseite      ····· Südseite.

Fig. 4.



Gang des Luftdruckes auf dem Sonnblick (3106 m) und in 1000 m Höhe auf der Nord und Südseite des Gebirges.

———— Sonnblick      - - - - - Nordseite      ····· Südseite.

um 7a bereits 14.4°, wobei beachtenswert ist, daß die Temperatur im Tale steigt, auf dem Gipfel fällt. Auch die Luftsäule wird kälter. Ein Luftstrom, der in der ganzen Masse potentiell wärmer ist als die Luft im Tale, arbeitet sich langsam in das Tal hinunter, erreicht dieses als Föhn, verdrängt die kalte Schicht im Tale oder mischt sich mit ihr. In letzterem Falle ist begreiflich, warum trotz des Föhns der adiabatische Gradient für trockene Luft nicht erreicht wird. Um 2p ist die Temperaturdifferenz Sonnblick-Bucheeben auf 15.5° gestiegen, Feuchtigkeit und Wind zeigen Föhn an. Die Luftsäule wird um Mittag wieder etwas wärmer, entsprechend der geringen Erwärmung auf den Sonnblick. Diese langsame Erwärmung auf dem

Gipfel dauert an bei andauerndem südlichem Winde, während im Tale von zirka 7<sup>h</sup> an rasche Abkühlung mit raschem Anstieg der relativen Feuchtigkeit und nachfolgendem Schneefalleintritt. Um 9<sup>p</sup> meldet Bucheben N<sub>6</sub>. Kalte Luft ist in das nördliche Tal eingebrochen, ohne daß vorerst die Mitteltemperatur der Luftsäule sinken würde. (Es sei bemerkt, daß im Diagramme der Zeitpunkt des Beginnes der Abkühlung in der nördlichen Luftsäule nicht gleich ist mit Beginn der Abkühlung im Tale. Letzterer fällt natürlich auf einen früheren Zeitpunkt). Anfänglich haben wir also nur Abkühlung in einer seichten Schichte über dem Tale. Nach 10<sup>p</sup> kühlt die Nordsäule rasch ab, die kalte Luftmasse rückt rasch in die Höhe und erreicht um 1<sup>a</sup> (26. Jänner) den Sonnblick, 6 Stunden später als das Tal. Auf dem Sonnblick erfolgt Windwechsel, um 7<sup>a</sup> (26. Jänner) ist NE<sub>2</sub> verzeichnet. (Wegen Anemometerbruches ist der genaue Zeitpunkt des Windwechsels nicht anzugeben.)

Es erfolgt nun rasche Abkühlung auf dem Sonnblick, langsamere im Tale, wo ja die bedeutende Abkühlung schon früher eingetreten ist. Um die Mittagszeit in Bucheben vorübergehend schwache Erwärmung, dann erneut Abkühlung.

Bis 12<sup>p</sup> (26. Jänner) beträgt die Abkühlung auf dem Sonnblick 13°, in Bucheben 11°, in der Luftsäule 12°. (Wird in der Luftsäule Maximum und Minimum verglichen, so erhält man 14°). Die Abkühlung ist also in diesem Falle größer auf dem Sonnblick als im Tale. Hätte der vorhergehende Föhn in der ganzen Luftsäule einheitlich indifferentes Temperaturgleichgewicht erzeugt oder mit anderen Worten, hätte das Tal zur Zeit des Föhns gleiche, potentielle Temperatur gehabt als der Sonnblick, so würde die Abkühlung in Bucheben 16° betragen haben. Ob die eindringende kalte Luft die Taltemperatur mehr erniedrigt oder die Gipfeltemperatur, das ist nur abhängig von der mehr oder minder stabilen Temperaturschichtung, die vor dem Kälteeinbruche in der Luftsäule herrscht. Herrschte vor dem Kälteeinbruch indifferentes Temperaturgleichgewicht in der ganzen Säule, so kann die Abkühlung auf dem Gipfel nicht größer sein als im Tale. Sie kann höchstens gleich groß sein, aber nur dann, wenn die Abkühlung in der ganzen Luftsäule ohne Kondensation vor sich geht.

Ich bemerke, daß in Orten, die in Tälern gelegen sind, selten ungestörte Temperaturen beobachtet werden können, Gehängestationen sind besser. Ich verweise betreffs der Temperaturstörungen in Tälern bei Föhn auf die Innsbrucker Föhnstudien (Denkschriften der Akademie 1905), in welchen diese Verhältnisse eingehend geschildert werden. Am besten eignen sich zum Vergleich Gipfelstationen, welche später betrachtet werden.

#### Südliches Tal, Südsäule.

	Temp.			Wind			Relat. Feucht.		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
25. Jänner	3.5	3.0	0.9	0	S 5	0	85	62	100
26. »	2.9	0.0	0.7	N 2	N 5	N 1	68	42	75

Am 25. Jänner verzeichnet Döllach um Mittag starken Südwind mit geringer relativer Feuchtigkeit und gleicher Temperatur wie Bucheben, was auf Föhnwirkung vom südlich vorgelagerten Iselsberge her zurückzuführen sein dürfte. Um 9<sup>p</sup> finden wir in Döllach gesättigte Luft bei Windstille. Auf dem Sonnblick weht noch SSE<sub>3</sub>, die warme, südliche Luftströmung überweht den ausnehmend ungünstig gelegenen Talkessel von Döllach. (Ausnehmend ungünstig ist die Lage für Vergleiche zwischen Tal und Höhe. Die Luftsäule ist noch warm, sogar wärmer als um Mittag, analog dem langsamen Temperaturanstiege auf dem Gipfel. Um diese Zeit ist auf der Nordseite die Abkühlung bereits in vollem Gange). Bis 1<sup>a</sup> (26. Jänner) ändert sich im südlichen Tale nichts, die südliche Luftsäule bleibt warm, die Temperaturdifferenz Sonnblick-Döllach klein. Um 1<sup>a</sup> erreicht die Abkühlung den Sonnblick, fast gleichzeitig beginnt sehr rascher

und intensiver Temperaturfall in der südlichen Luftsäule, in Döllach selbst sinkt die Temperatur nur sehr wenig. Hingegen nimmt die relative Feuchtigkeit sehr rasch ab, die Temperaturdifferenz Sonnblick-Döllach wächst und erreicht nach Mittag, bei vorübergehender Erwärmung im Tale, den vollen Föhnbetrag von  $21^{\circ}$ . Am 26. Jänner durchwegs nördliche Winde in Döllach. Die kalte Luft der Nordseite ist über den Sonnblick übergetreten, hat, im Gegensatze zu dem früher behandelten Falle, sehr rasch die südliche Luftsäule gefüllt und ist in das Tal abgestiegen. Aber die vom Sonnblick abfließende kalte Luft hat sich während des raschen Abstieges durch  $2100\text{ m}$  erwärmt, so daß die Abkühlung am unteren Ende der Luftsäule eine geringe ist. Die Abkühlung in der südlichen Säule betrug  $10^{\circ}$ , gegenüber  $12^{\circ}$  in der Nordsäule. Der Unterschied ist in diesem Falle geringer, weil auch in der Nordsäule nach erfolgter Abkühlung eine rasche Temperaturabnahme mit der Höhe herrscht. Dieser Kälteeinbruch vollzog sich auf der Nordseite ohne starken Niederschlag.

Wir betrachten den Luftdruckgang während des Kälteeinbruches.

#### Luftdruck Sonnblick:

Der Luftdruck fällt ziemlich gleichmäßig bis  $7\text{ a}$  des 26. Jänner. Der Einbruch der kalten Luft bleibt anscheinend ohne Einfluß auf den Luftdruckgang. Ob die kleine, kurze Drucksteigerung vor dem Kälteeinbruch in Zusammenhang mit diesem selbst steht, scheint unwahrscheinlich. Der Druckanstieg von  $7\text{ a}$  (26. Jänner) an steht in keiner nachweisbaren Beziehung zu dem Temperaturgange auf dem Sonnblick, könnte höchstens durch Anschwellen der kalten Luft noch über Sonnblickhöhe erklärt werden. Diese Hypothese soll nicht weiter verfolgt werden. Jedenfalls zeigt uns der Luftdruckgang auf dem Sonnblick nichts, was mit dem Temperaturgange auf dem Berge selbst in Verbindung gebracht werden könnte. Von dem Zustande der Luftsäule über dem Berggipfel wissen wir nichts, wir beschränken uns daher auf die Luftsäulen Sonnblick-Tal.

#### Luftdruckgang in $1000\text{ m}$ Höhe auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

In den Tälern fällt zuerst der Druck parallel dem Drucke auf dem Sonnblick. Der höhere Druck ist auf der Südseite, bei Föhn auf der Nordseite. Der Fall des Druckes endet mit beginnender Abkühlung in den Tälern und in den zwei Luftsäulen, es erfolgt rasche Druckzunahme, früher auf der Nordseite entsprechend dem früheren Eintritte der Abkühlung. Der Gradient wechselt die Richtung, der höhere Druck rückt auf die Nordseite; der Gradient wird schwächer, nachdem die kalte Luft auf die Südseite übertreten kann, doch bleibt die Richtung gleich, der Überdruck auf der Nordseite. Rasche Drucksteigerung auf beiden Seiten finden wir nur im ersten Stadium der Abkühlung. Später wird der Anstieg schwächer, bleibt aber rascher als die später auf dem Gipfel eintretende Druckzunahme. Die erste, rasche Drucksteigerung in den Tälern sowie der Richtungswechsel des Gradienten kann ausreichend erklärt werden durch den Abkühlungsprozeß in beiden Luftsäulen zwischen Tal und Gipfel. Die Fortdauer des Anstieges ist teilweise erklärlich durch Nachströmen kälterer Luft in die Säulen. Zum größeren Teile dürfte er aber bewirkt sein durch Vorgänge, die nichts mehr zu tun haben mit den Vorgängen in den von uns betrachteten Luftsäulen zwischen  $1000\text{ m}$  und  $3100\text{ m}$ . Wir können resumieren: Bedeutende Druckänderungen im Tale lassen sich zurückführen auf Temperaturschwankungen in den Luftsäulen zwischen Sonnblick und den beiden Tälern. Diese Druckschwankungen können sehr beträchtlich sein. Sie addieren sich großen, aperiodischen Schwankungen, die wir auf dem Gipfel beobachten, welche letztere aus dem vorhandenen Materiale nicht erklärt werden können. (Temperaturänderungen in der Luftsäule über den Gipfel als Ursachen anzunehmen, liegt nahe und ist wahrscheinlich, aber nicht erweislich).

Der Vergleich des Luftdruckganges im Sonnblickgebiete mit der Änderung der gesamten Wetterlage in Europa liefert das gleiche Bild wie in dem Falle vom 16.—18. Oktober 1902. Der Kälteeinbruch ist ein Vorgang, der auf der Rückseite einer, im Norden Europas ostwärts ziehenden Depression vor sich geht. Wir finden am 25. Jänner eine Südföhnsituation, am 26. Jänner einen Keil relativ hohen Druckes am Nordabhange der Alpen. Dieser Keil ist ein Ausdruck für die niedrigere Mitteltemperatur der nörd-

lichen Luftsäule. Ich sehe keinen Grund, warum die für das Sonnblickgebiet festgestellten Verhältnisse nicht für das gesamte Alpengebiet Gültigkeit haben sollten.

Gipfelstationen auf der Nordseite der Alpen.

Schmittenhöhe 1968 *m*.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
25. Jänner	— 5·4	— 1·4	— 5·0	SW 4	SE 3	SE 2
26. >	— 12·0	— 12·0	— 13·0	NW 3	NW 6	NW 4

Die Schmittenhöhe stand am 25. Jänner unter dem Einflusse warmer, südlicher, schwacher Winde. Um 2*p* ergibt ein Vergleich mit Sonnblick eine Temperaturabnahme von 1° für 100 *m* zwischen 2000 und 3600 *m*, ein Beweis, daß nur die Taltemperaturen gestört (zu kalt) sind, worauf bei Bucheben hingewiesen wurde.

Um 9*p* meldet Schmittenhöhe noch SE<sub>2</sub>, während in Bucheben N<sub>6</sub> beobachtet wurde. Die kalte Luft war also bis Bucheben bereits vorgerückt, während sie 30 *km* NNW noch nicht bis in eine Höhe von 2000 *m* angeschwollen war. In der Nacht vom 25.—26. Jänner tritt dann auf der Schmittenhöhe starke Abkühlung mit Windwechsel und Schneefall ein. Die Gesamtabkühlung von 2*p* (25. Jänner) bis 9*p* (26. Jänner) beträgt 11·6°, auf dem Sonnblick in der gleichen Zeit nur 10°. Bucheben kühlt also nur deshalb weniger ab als Sonnblick, weil die im Tale beobachtete Temperatur eigentlich nicht benützt werden kann, wenn man die Temperaturschichtung in der ganzen Säule kennen lernen will. Bei Zwischenschaltung der Bergstation, bei der weniger Störungen vorausgesetzt werden dürfen, ergibt sich sofort ein anderes, richtiges Bild. Wir benützen Schmittenhöhe, um uns über den Temperaturgradienten der eingedrungenen kalten Luft zu orientieren. Für 2*p* (26. Jänner) ergibt sich  $\frac{dl}{dh} = 0·7$ , für 9*p* zu 0·8. Wir finden also auch nach dem Kälteeinbruch auf der Nordseite eine rasche Temperaturabnahme mit der Höhe, und wir begreifen, daß der Temperaturüberschuß, der auf der Südseite gegenüber der Nordseite durch Kompression erzeugt wird, nur gering sein kann. Würde für Aufstieg der Luft auf der Nordseite und Abstieg auf der Südseite der Gradient des Trockenstadiums bestimmend sein, so würde auf die Südseite nur die Temperatur der Nordstation übertragen, gleiche Höhe der Vergleichsstationen vorausgesetzt.

Zugspitze 2964 *m*.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
25. Jänner	— 10·8	— 8·6	— 15·8	SE 9	SE 7	NW 5
26. >	— 18·9	— 18·9	— 22·6	NW 4	NW 4	NW 9

Auf der Zugspitze ging dem Kälteeinbruch Südoststurm voraus. Um 6*p* (25. Jänner) trat jäher Temperaturfall ein, 7 Stunden früher als auf dem Sonnblick. Um 9*p* ist die Zugspitze bereits um 4·5° kälter als der höhere Sonnblick, auf dem noch SSE<sub>5</sub> herrscht. Nachdem die Kälte den Sonnblick erreicht hat, ist dieser, der größeren Höhe entsprechend, kälter. Die Gesamtabkühlung beträgt auf der Zugspitze 14°, in Übereinstimmung mit Sonnblick.

## Säntis 2500 m.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
25. Jänner	— 8·8	— 7·2	— 14·1	SSE 4	SSW 4	SW 5
26. »	— 15·4	— 10·1	— 18·2	W 1	SW 3	SW 4

Auf dem Säntis erfolgt der Kälteeinbruch um 3 p (25. Jänner), 3 Stunden früher als auf der Zugspitze, 10 Stunden früher als auf dem Sonnblick. Um 9 p ist Säntis um 2·8° kälter als der um 600 m höhere Sonnblick. Die Gesamtabkühlung beträgt 11°, weniger als auf Zugspitze und Sonnblick. Wie ein Vergleich zeigt, waren die letzteren, höheren Gipfel vor dem Kälteeinbruch potentiell wärmer. Der Kälteeinbruch erfolgte auf dem Säntis im wesentlichen ohne Windwechsel; höchstens eine Verstärkung der Westkomponente ist angedeutet. Rigi Kulm, 1787 m, auf dem der Kälteeinbruch analog dem Säntis erfolgt (Totalabkühlung ebenfalls 11°), verzeichnet nordwestliche Winde.

Lagerungsverhältnisse der kalten Luft um 9 p des 25. Jänner: Wir benützen die oben verzeichneten Daten, um uns einen Überblick über die Lagerung des Kaltluftgebietes in einem gegebenen Zeitpunkte zu verschaffen.

Um 9 p (25. Jänner) ist im Säntisgebiete die Abkühlung seit 6 Stunden im Gange, auf der Zugspitze seit 3 Stunden. Auf der Schmittenhöhe ist zwar geringe Abkühlung, aber noch kein Windwechsel erfolgt. Dieser tritt später ein. Im Sonnblickgebiete ist die kalte Luft eben erst im nördlichen Talgrunde erschienen, die Luftsäule unmittelbar nördlich des Sonnblickes ist noch warm, ebenso der Gipfel selbst.

136 km WNW vom Sonnblick reicht die kalte Luft nachweislich bereits bis 3000 m (Zugspitze), 260 km WNW nachgewiesenermaßen nur bis 2500 m (Säntis). Doch ist hier die Abkühlung schon seit 3 p (25. Jänner) im Gange, so daß fast mit Sicherheit vermutet werden muß, daß hier die kalte Luft schon höher reicht. Darauf weist auch rascher Druckanstieg auf dem Säntis<sup>1</sup> hin. Leider steht kein höheres Observatorium in der Schweiz zu Gebote.

37 km NW vom Sonnblick reicht die kalte Luft sicher noch nicht über 2000 m, unmittelbar nördlich des Sonnblickes bis 1200 m. Wir haben also eine von WNW vorrückende, kalte Luftmasse, deren Grenzfläche sich auf einer Länge von 136 km (Zugspitze—Sonnblick) um beiläufig 1800 m senkt. Wir haben eine keilförmig sich vorschiebbende, kalte Luftmasse, die nach Osten auskeilt. Darüber weht warme Luft aus Süden. Die Kälte erscheint zuerst in der Tiefe, was sowohl aus einem Vergleiche zwischen Sonnblick und Bucheben, wie auch aus dem Vergleiche zwischen Zugspitze und deren Fußstation Mittenwald geschlossen werden kann.

Ich halte die Konstatierung solcher Lagerungsverhältnisse nicht für unwichtig. Die kalte Luftmasse wandert auf der Rückseite der Depression wie eine Böe. M. Margules hat derartige Fälle theoretisch behandelt in einer Abhandlung »Die Energie der Stürme« (Jahrbuch der k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien 1903, Anhang), auf die hiemit verwiesen wird. Ob die Neigung des Keiles kalter Luft eine gleichmäßige ist, könnte erschlossen werden aus Druckänderungen passender Talstationen. Dies würde uns zu weit abführen von dem eigentlichen Zwecke der Arbeit. Es genügt die Konstatierung, daß die obere Grenzfläche der kalten Luftmasse auf einer Strecke von zirka 135 km um 1800 m abfällt.

<sup>1</sup> Säntis steht nicht im Hauptkamme der Alpen wie Sonnblick. Dem Säntis sind im Süden sehr hohe Gebirge vorgelagert. Ehe hier kalte Luft auf die Südseite der Alpen übertreten kann, muß sie hoch über Säntishöhe angeschwollen sein. Darum ist auch auf dem Säntis die Abkühlung mit Druckzunahme verbunden, während auf dem Sonnblick dieser unmittelbare Zusammenhang nicht ersichtlich ist. Die Druckzunahme auf dem Säntis gleichzeitig mit der Abkühlung kann deshalb mit großer Wahrscheinlichkeit so gedeutet werden, daß die kalte Luft über Säntishöhe wenigstens bis zur Höhe der südlich vorgelagerten Gebirge anschwillt.

## Südseite der Alpen:

Obir 2044 *m.*

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
25. Jänner	— 5·3	— 5·0	— 1·0	SW 8	SW 8	SW 8
26. >	— 6·3	— 11·5	— 12·2	SW 4	NW 3	NW 2

Auf dem Obir finden wir vor dem Kälteeinbruch nahezu gleiche Temperatur wie in gleicher Höhe auf der Nordseite der Alpen, bei Südweststurm. Der Kälteeinbruch erfolgt um 6<sup>h</sup> später als auf dem Sonnblick, knapp vor 7<sup>a</sup> (26. Jänner) in jäher Temperaturstufe verbunden mit Drehen des Windes nach NW. (In Klagenfurt, einer Station zwischen Zentralalpen und Karawanken, 450 *m* hoch, erfolgte der Kälteeinbruch um 3<sup>30</sup> *a*, wesentlich früher als auf dem Obir. Doch ist die plötzliche Abkühlung nicht sehr groß).

## Stationen am Südfuße der Alpen:

Riva 90 *m.*

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
25. Jänner	3·7	3·5	3·6	93	95	93	0	0	N 1
26. >	4·5	8·4	3·0	73	51	61	N 2	NE 2	0

Lugano 275 *m.*

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind			Druck (700+)		
	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
25. Jänner	1·0	1·0	1·2	97	96	97	N 0	N 0	N 0	32·1	27·5	23·9
25. >	— 1·0	5·2	1·2	86	32	27	N 0	N 1	N 2	26·1	29·4	35·3

Am 25. Jänner finden wir an beiden Stationen, vorwiegend bei Windstille, niedrige Temperaturen und hohe Werte der relativen Feuchtigkeit (Niederschlag sowohl in Riva wie Lugano). Am Folgetage, an dem die kalte Luft von der Nordseite der Alpen auf die Südseite übergetreten ist, finden wir höhere Temperaturen, raschen Fall der relativen Feuchtigkeit, völliges Aufklaren bei stärkeren nördlichen Winden, also alle Anzeichen von Fallwind, der aber diesmal völlig Föhncharakter hat. Während des Abstieges der Luft auf der Leeseite war die durch Kompression erzeugte Erwärmung stark genug, um in den Stationen am Südfuße der Alpen die Temperatur gegenüber dem Vortage zu erhöhen. Trotzdem weist der Luftdruckgang (Lugano ist mitgeteilt) auf der Südseite darauf hin, daß die Luftsäule im ganzen kälter geworden ist. In Döllach, in 1000 *m* Höhe, haben wir noch Abkühlung konstatieren können. Es kommt also nur darauf an, in welcher Höhe der Luftsäule wir uns befinden. Oberhalb 1000 *m* äußerte sich in diesem Falle der absteigende Luftstrom als Bora, unterhalb als Föhn. Auf den Umstand, daß Nordföhn auf der Südseite der Alpen zumeist bei steigendem Drucke vor sich geht, hat bereits R. Billwiller



jun. hingewiesen in einer Abhandlung »Der Bergeller Nordföhn« (Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt 1901). Die Ursache ist Ausfüllung der südlichen Luftsäule mit kälterer Luft.

Wir sehen also, nicht dadurch ist der Südfuß der Alpen vor den starken Abkühlungen der Nordseite geschützt, daß die Alpen etwa die kalten Nordwinde überhaupt abhalten. Der Nordwind und mit ihm die kalte Luft kommt auf die Südseite der Alpen. Aber in je größere Tiefe die kalte Luft auf der Südseite hinabdringt, um so geringer wird die Abkühlung, die sie verursacht; am Südfuße der Alpen kann sogar Temperaturerhöhung eintreten. In der Kompression der absteigenden Luft und der hiedurch bedingten, starken Erwärmung liegt der Schutz, den die Alpen den südlichen Stationen gewähren, eine klimatisch nicht unwichtige Tatsache.

Vergleichen wir den Fall mit dem Kälteeinbruch vom 16.—18. Oktober 1902, so ist die Ähnlichkeit des Verlaufes evident. Abweichungen beschränkten sich auf Details, hatten ihre Ursachen in etwas anderen Anfangsbedingungen und konnten erklärt werden.

Wir behandeln einen dritten, instruktiven Fall, ebenfalls aus dem Jahre 1902, zur Abwechslung einen Sommerfall. Ich behandle ihn in gleicher Weise wie früher, aber kürzer. Wiederholungen und eine gewisse Eintönigkeit lassen sich nicht vermeiden.

### Kälteeinbruch vom 10.—11. Juli 1902.

Wetterlage: 10. Juli. Hoher Druck im Südwesten des Kontinentes, tiefer Druck bedeckt den Norden (Zentrum über Jütland, Südkandinavien). In der Höhe westliche bis südwestliche Winde. In den Ostalpen besteht noch ein schwaches Gefälle vom Südfuße zum Nordfuße.

11. Juli. Relativ hoher Druck liegt keilförmig am Nordrande der Alpen. Die Depression ist nach Ost vorgerückt, südlich der Alpen und über der Adria eine Teildepression. Starkes Druckgefälle vom Nord- zum Südfuße der Alpen (Innsbruck 756.3 mm, Riva 751.0 mm).

Nördliches Tal, nördliche Luftsäule, Sonnblick.

Bücheben 1200 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
10. Juli	15.0	23.5	12.3	78	40	87	SW 1	NW 1	0
11. >	11.4	11.3	7.7	88	49	68	N 1	N 2	N 6

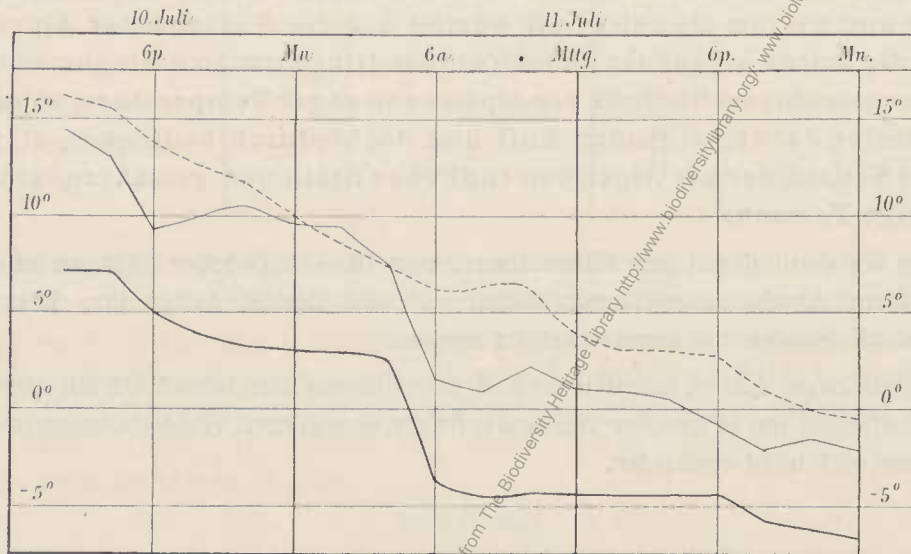
Sonnblick 3106 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
10. Juli	4.2	7.3	3.4	67	60	71	WSW 3	W 4	WSW 2
11. >	4.2	4.6	5.9	92	90	89	NE 3	NNE 2	N 2

Vor dem Kälteeinbruche in der nördlichen Luftsäule (wohl bei föhnartigem Niedersinken der Luft) nahezu indifferentes Temperaturgleichgewicht. Differenz Sonnblick-Bücheben um 1p (10. Juli) 17.7°,

Gradient pro 100 m im Mittel 0.93°. Nach 5 p rascher Temperaturfall mit Gewitter. Das Gewitter brach um 5<sup>15</sup> p aus und zeigt sich als Vorläufer des Kälteeinbruches (Druckanstieg erst viel später). Zuerst nur

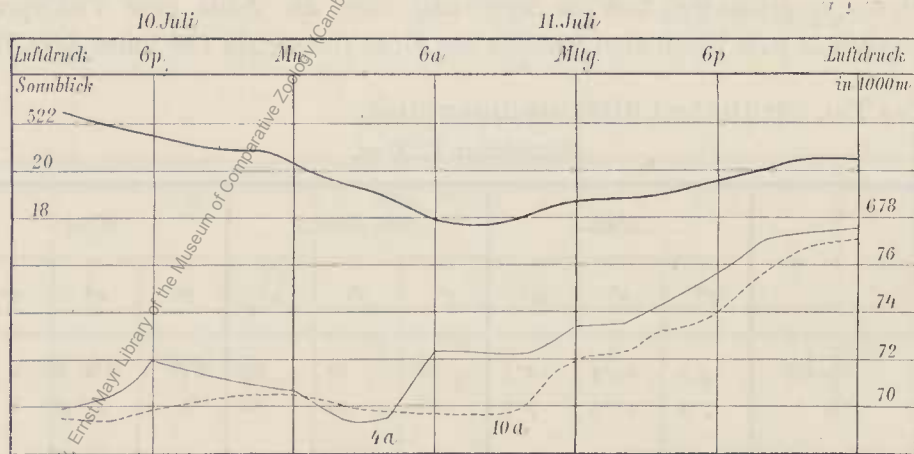
Fig. 5.



Gang der Temperatur auf dem Sonnblick und der Mitteltemperatur der Luftsäulen auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

— Sonnblick      - - - - - Nordseite      ····· Südseite.

Fig. 6.



Gang des Luftdruckes auf dem Sonnblick (3106 m) und in 1000 m Höhe auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

— Sonnblick      - - - - - Nordseite      ····· Südseite.

Abkühlung in einer seichten Schicht, da die Mitteltemperatur der Luftsäule nur langsam fällt. Erst nach 5 a (11. Juli) rasche Abkühlung in der ganzen Säule, gleichzeitig rascher Temperaturfall auf dem Sonnblick. Während des 11. Juli auf dem Sonnblick dann weitere langsame Abkühlung, im Tale um Mittag vorübergehend schwache Erwärmung, die auf den Gang der Mitteltemperatur der Luftsäule nur wenig Einfluß hat.

Die totale Abkühlung beträgt in Bucheben 16°, auf dem Sonnblick 14°, in der ganzen Luftsäule 16°. Der Betrag der Abkühlung auf dem Sonnblick weist auf rasche Temperaturabnahme in der eindringenden kalten Luftschicht hin.

Südliches Tal, südliche Luftsäule:

Döllach 1000 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
10. Juli	14·0	25·8	16·2	86	34	91	0	3	0
11. >	12·1	15·8	11·3	89	36	88	0	N 3	0

Auch im südlichen Tale finden wir um Mittag den Temperaturgradienten des indifferenten Gleichgewichtes. Um 3<sup>p</sup> beträgt die Differenz Sonnblick-Döllach 21° bei einer Höhendifferenz von 2100 m. Um 5<sup>h</sup> 30<sup>a</sup> bricht ein Gewitter los, das mit den Vorgängen auf der Nordseite nichts zu tun hat. Es ist bald zu Ende, der Druck fällt nach kurzem Anstiege neuerlich. Die Mitteltemperatur der südlichen Säule sinkt langsam, ebenso die Temperatur im Tale, bis nach 6<sup>h</sup> morgens (11. Juli) erneut Erwärmung folgt, nachdem die kalte Luft von der Nordseite über den Sonnblick übergetreten ist. Die Temperaturdifferenz Sonnblick-Döllach ist dann während acht Stunden über 20°, zeitweise über 21°, bei stärkerem Nordwind und großer Trockenheit. Döllach ist um diese Zeit wesentlich wärmer als Bucheben, die kalte Luft der Nordseite kommt als warmer Nordföhn in das südliche Tal.

Luftdruck Sonnblick:

Zuerst Fall. Anstieg folgt dem Temperatursturze bald nach.

Luftdruck in 1000 m Höhe auf der Nord- und Südseite.

Der Luftdruckgang ist durch die Gewitter gegenüber den früher beschriebenen Fällen erheblich gestört. Die Gewitter bewirken Druckanstieg in beiden Tälern, starken auf der Nordseite, schwachen auf der Südseite. Nach dem Gewitter stärkerer Fall auf der Nordseite, schwächerer auf der Südseite. Erneut starker Anstieg auf beiden Seiten wird erst durch die starke Abkühlung der beiden Luftsäulen bewirkt und tritt auf der Südseite stark verzögert und abgeschwächt ein, so daß der Überdruck endgültig auf die Nordseite rückt. Der starke Gradient von Nord nach Süd, der solange besteht, als die kalte Luft auf der Nordseite nicht bis in Sonnblickhöhe angeschwollen ist, ist unwirksam in der Richtung von Norden nach Süden. Er kann sich höchstens auf weiten Umwegen ausgleichen. Dies wäre näher zu untersuchen. Auch nach Abkühlung der Südsäule bleibt der Überdruck auf der Nordseite.

Über den Zusammenhang der Druckänderungen im Sonnblickgebiet mit der gesamten Wetterlage gilt das gleiche, was in den früheren Fällen bemerkt wurde. Eine Störung wurde nur durch die Gewitter verursacht.

Gipfelstationen der Nordseite.

Schmittenhöhe 1968 m.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
10. Juli	12·8	12·8	9·9	NW 1	NW 4	NW 2
11. >	1·8	5·2	1·0	NW 4	NW 3	NW 4

Die Temperaturen stimmen gut überein mit den berechneten Mitteltemperaturen der nördlichen Luftsäule. Starke Abkühlung erfolgt in der Nacht vom 10.—11. Juli. Sie scheint geringer als im Sonnblickgebiete, doch scheint nicht ausgeschlossen, daß das Temperaturmaximum am 10. Juli höher war, als die 2*p*-Ablesung anzeigt. Für 2*p* würde sich zwischen Bucheben-Schmittenhöhe eine Temperaturabnahme von 1·3° für 100*m* ergeben, also labiles Gleichgewicht. Nimmt man die Fußstation der Schmittenhöhe, Zell am Sec 769 *m*, so ergibt sich als Gradient 0·96°. Die Erwärmung dürfte am stärksten in den inneren Alpentälern gewesen sein. Dort war dann auch die Abkühlung größer, entsprechend der vorausgesehenen, größeren Erwärmung.

Zugspitze 2964 *m*.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
10. Juli	2·6	3·2	2·1	W 5	WSW 8	NW 9
11. >	— 5·6	— 4·3	— 5·0	NNW 9	NNW 8	NW 7

Auf der Zugspitze am 10. Juli WSW-Sturm. Bemerkenswert erscheint die niedrige Temperatur auf der Zugspitze, verglichen mit dem Sonnblick. Um 2*p* (10. Juli) ist eine Differenz von 4°. Die Temperaturschichtung ist im Zugspitzgebiete vor dem Kälteeinbruch wesentlich stabiler als im Sonnblickgebiete.

Mit Benutzung der Beobachtung in der Fußstation der Zugspitze, Mittenwald 914 *m*, ergibt sich für 2*p* der Gradient zu 0·8° für 100 *m*.

Um 9*p* (10. Juli) herrscht auf der Zugspitze bereits NW-Sturm, dessen Eintritt aber diesmal nicht mit starker Abkühlung verbunden ist. Jährer Temperaturfall erfolgt erst um 1*a* (11. Juli), drei Stunden früher als auf dem Sonnblick. Die Totalabkühlung beträgt auf der Zugspitze gegen 9°, ist wesentlich geringer als auf dem Sonnblick. Die wesentlich geringere Erwärmung vor dem Kälteeinbruch erklärt den Unterschied.

Säntis 2500 *m*.

	Temperatur			Wind		
	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
9. Juli	8·5	10·5	8·2	WSW 4	WSW 4	SW 4
10. >	6·2	5·6	4·9	SSW 5	SSW 5	WSW 5
11. >	— 1·6	— 1·6	— 2·8	SW 3	SW 3	SW 3

Langsame Abkühlung schon seit dem 9. Juli. Rasche Temperaturabnahme in der Nacht vom 10.—11. Juli, etwas früher als auf dem Sonnblick. Die Gesamtabkühlung beträgt 13°, auf dem niedrigeren Rigi Kulm (1787 *m*) 15·5°.

[Zur Abwechslung seien die Terminbeobachtungen (nur Temperatur) einiger nordalpiner Talstationen mitgeteilt:

	Altdorf 455 m			Zürich 493 m			Bregenz 440 m			Innsbruck 577 m			Salzburg 435 m		
	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
9. Juli	20·0	28·0	22·0	21·4	29·5	20·4	26·1	25·0	21·6	17·6	28·1	20·4	22·0	28·5	23·4
10. >	17·6	20·0	17·5	20·2	17·7	18·0	20·0	17·4	18·2	16·5	25·0	18·7	20·6	23·8	19·0
11. >	15·6	16·4	13·5	13·2	15·6	12·0	13·2	15·0	11·8	16·8	19·8	15·7	13·8	15·0	13·3

In den westlich gelegenen Stationen Altdorf, Zürich und Bregenz sind am 10. Juli schon wesentlich tiefere Temperaturen verzeichnet als am Vortage, was in Innsbruck und Salzburg weniger zum Ausdruck kommt. Die Abkühlung beträgt überall gegen 15°.].

Südseite der Alpen:

Obir 2044 m.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
10. Juli	11·8	10·0	11·6	0	SW 8	SW 1
11. >	8·2	5·0	2·5	NE 1	NE 5	N 3
12. >	0·8	8·1	4·2	N 2	NW 1	N 1

Kälteeinbruch mit Drehen des Windes nach Nord trat ein nach 7a (11. Juli); dies ist der Zeitpunkt raschen Temperaturfalles, um 3<sup>h</sup> später als auf dem Sonnblick. Die Gesamtabkühlung beträgt gegen 12°, ist etwas geringer als auf dem Sonnblick, entsprechend der größeren Erwärmung des Sonnblicks am 10. Juli. (Um 2p (10. Juli) betrug die Temperaturdifferenz Sonnblick-Obir nur 2·7° bei 1050 m Höhenunterschied). Der verspätete Eintritt der Abkühlung gegenüber der Nordseite kommt gut zum Ausdruck bei einem Vergleiche mit der gleich hohen, nordalpinen Schmittenhöhe. Um 7a (11. Juli) ist Obir um 6·4° wärmer, um 2p, nach erfolgtem Kälteeinbrüche auf der Südseite, gleich temperiert.

Stationen am Südfuße der Alpen:

Riva 90 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
10. Juli	24·5	28·3	26·1	65	65	53	0	S 3	0
11. >	22·6	30·5	25·2	63	17	21	0	0	N 3

Lugano 275 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
10. Juli	21·0	25·0	19·9	71	64	73	NW 0	NW 0	NW 0
11. >	21·8	26·8	19·4	33	31	36	N 1	N 2	N 1

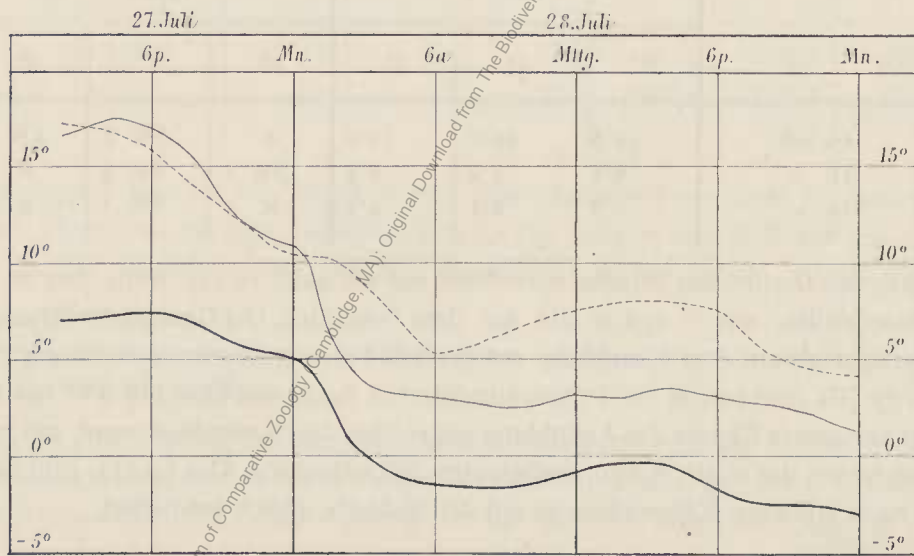
Wir finden am 11. Juli, also an dem Tage, für den der Übertritt der kalten Luft auf die Südseite der Alpen nachgewiesen ist (Döllach, Obir), schwache Temperaturerhöhung, rapiden Fall der relativen Feuchtigkeit bei Eintritt nördlicher Winde. Von der starken Abkühlung der nordalpinen Stationen ist nichts zu merken, die kalte Luft der Nordseite kommt als warmer Nordföhn auf die Südseite der Alpen. In beiden Stationen steigt am 11. Juli der Druck um 6 *mm*.

Ich füge einen ähnlichen Fall an.

**Kälteeinbruch vom 27.—28. Juli 1902.**

Wetterlage: 27. Juli. Hoher Druck im Osten und Südosten des Kontinentes. Ein zweites Hochdruckgebiet in Annäherung aus West. Das Zentrum einer Depression liegt über Südscandinavien. Schwaches Druckgefälle vom Süd- zum Nordfuße der Alpen. In der Höhe südliche bis südwestliche Winde vorherrschend.

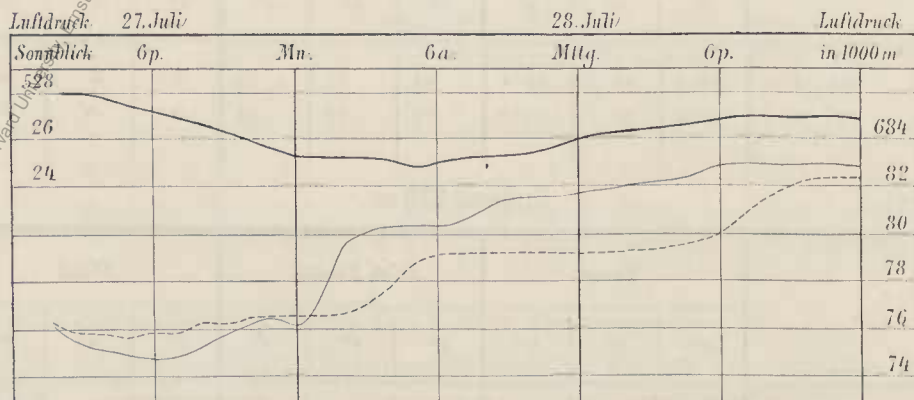
Fig. 7.



Gang der Temperatur auf dem Sonnblick und der Mitteltemperatur der Luftsäulen auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

— Sonnblick      - - - - - Nordseite      . . . . . Südseite.

Fig. 8.



Gang des Luftdruckes auf dem Sonnblick (3106 *m*) und in 1000 *m* Höhe auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

— Sonnblick      - - - - - Nordseite      . . . . . Südseite.

28. Juli. Hoher Druck ist keilförmig bis an den Nordrand der Alpen vorgerückt. Südlich der Alpen ist der Druck gefallen. Die Depression im Norden hat sich nordwärts verschoben. Starkes Druckgefälle vom Nordfuß zum Südfuß der Alpen (Innsbruck 766.9 mm, Riva 761.0 mm). In der Höhe nördliche bis nordwestliche Winde.

Nördliches Tal, nördliche Luftsäule, Sonnblick:

Bucheoben 1200 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
27. Juli	15.8	26.3	18.1	70	29	60	S 4	NW 1	
28. >	9.9	11.9	7.7	98	72	94	o	W 1	o

Sonnblick 3106 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
27. Juli	6.0	6.9	6.2	67	74	89	SW 3	SW 4	WSW 5
28. >	- 1.4	- 0.2	- 2.3	96	95	95	N 2	o	ENE 2

Vor dem Kälteeinbruch Föhn auf der Nordseite, um 2p (27. Juli) Differenz Sonnblick-Bucheoben 19° bei 1900 m Höhenunterschied. Die berechnete Mitteltemperatur der Nordsäule entspricht dem Temperaturmittel der Tal- und Gipfeltemperatur. Temperaturabnahme mit der Höhe linear, Temperaturschichtung dem indifferenten Gleichgewichte entsprechend. Um 9p meldet Bucheoben bereits NW<sub>1</sub> mit starker Abkühlung; Höhe noch warm bei WSW<sub>5</sub>. Das Vordringen der kalten Luft aus Nord ist mit Gewitter verbunden. Die kalte Luft wächst anfangs sehr langsam in die Höhe (langsame Temperaturabnahme in der Luftsäule), später sehr rasch mit Nordsturm und Gewitter (aus dem Journal ersichtlich), verbunden mit raschem Temperaturfall in der Nordsäule. Um 1a (28. Juli) erreicht die kalte Luft den Sonnblick, mit Wechsel des Windes von WSW<sub>3</sub> in NE<sub>1</sub>. Um Mittag des 28. Juli oben und im Tale geringe Erwärmung, dann erneut Abkühlung.

Die Temperatur sinkt im Tale im ganzen um 17°, auf dem Sonnblick nur um 10.5°, in der nördlichen Luftsäule um 15°. Wir haben hier den Fall, im Gegensatz zu dem früher behandelten vom 10. Juli, daß die Säule sich mit kälterer Luft füllt, für welche ein wesentlich kleinerer Temperaturgradient gilt als der des betrachteten Anfangsstadiums. Herrschte zuvor indifferentes Gleichgewicht und herrschte in der eindringenden kalten Luft nur eine mittlere Temperaturabnahme von 0.5°/100 m, so wird die Abkühlung, die wir auf dem Gipfel beobachten, nur halb so groß wie im Tale sein.

Südliches Tal, südliche Luftsäule:

Döllach 1000 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
27. Juli	12.6	28.4	18.2	90	37	71	o	S 4	W 2
28. >	12.6	19.0	12.6	94	44	93	o	S 1	o

Die Situation am 27. Juli ist ähnlich jener auf der Nordseite. Wir finden zeitweise eine Temperaturdifferenz von  $21^{\circ}$  zwischen Sonnblick und Döllach, also auch hier in der ganzen Säule Luft gleicher potentieller Temperatur. Die Abkühlung in den Abendstunden des 27. Juli hat mit dem Kälteeinbruch auf der Nordseite nichts zu tun; auf dem Sonnblick weht immer noch WSW bei konstanter Temperatur. Um 2<sup>30</sup>*a*—3*a*, also bald nach erfolgter Abkühlung auf dem Sonnblick, geht im südlichen Tale ein Gewitter nieder, und erniedrigt für wenige Stunden die Temperatur. Dann folgt rasche Erwärmung. Nur das Sinken der Mitteltemperatur der Luftsäule deutet an, daß kalte Luft in das südliche Tal übergetreten ist, doch bleibt die Südsäule konstant um  $3-4^{\circ}$  wärmer als die Nordsäule. Die kalte Luft erreicht nicht als Fallwind den Boden des südlichen Tales. Es treten weder nördliche Winde ein noch weist die Temperaturdifferenz Sonnblick-Döllach auf Fallwind hin.

Luftdruck Sonnblick: Langsamer Fall bis 5*a* (28. Juli); später Anstieg ohne direkten Zusammenhang mit dem Eintritte der starken Abkühlung.

Luftdruck im Tale in 1000 *m* Höhe: Zuerst Fall, dann beiderseits langsamer Anstieg, höherer Druck auf der Südseite. Starker Druckanstieg tritt auf der Nordseite früher ein und ist intensiver als auf der Südseite, so daß auch nach Übertritt der kalten Luft auf die Südseite höherer Druck auf der Nordseite bleibt. Da die Mitteltemperatur der nördlichen Luftsäule niedriger ist als die der Südsäule, so zeigt sich wie in den früheren Fällen der Keil hohen Luftdruckes im Norden der Alpen lediglich oder weitaus zum größten Teile als Temperatureffekt.

F. M. Exner hat in einer Abhandlung »Über Druck und Temperatur bewegter Luft«<sup>1</sup> die Keile hohen Luftdruckes im Norden der Alpen als Stauungserscheinung aufgefaßt, als Stauung, den eine Luftströmung mit einer nördlichen Komponente am Walle der Alpen erleidet. Der Vergleich der Alpen mit einem Stauwerke liegt nahe. Ich sehe in diesen Keilen den Ausdruck für die niedrigere Mitteltemperatur der Luftsäulen im Norden der Alpen, bewirkt durch die Kompression der auf der Südseite absteigenden Luft. Ich leugne die Möglichkeit einer Stauwirkung nicht. Aber soweit ich sehe, muß die Stauwirkung in der Größenordnung weit zurückstehen hinter dem Effekte, der auf die ungleiche Temperatur der beiden Luftsäulen als Ursache zurückzuführen ist. Die Berechnung, die Exner gibt, basiert auf der Voraussetzung, daß eine Luftmasse von gleicher Höhe, wie es die Alpen sind, auf diese trifft; sie kann für den Fall gelten, daß in eine bestehende Luftströmung ein Stauwerk von Alpenhöhe eingeschoben wird. Der Fall liegt anders. Seichte, kalte Bodenschichten dringen vor, die nur ganz allmählich in die Höhe wachsen.

Stationen auf der Nordseite der Alpen:

Schmittenhöhe 1968 *m*.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
27. Juli	15·3	23·0	14·2	E 1	E 2	NW 3
28. »	5·0	4·8	3·6	NW 2	NW 3	NW 2

Die Erwärmung vor dem Kälteeinbruch ist bemerkenswert groß. Zwischen Schmittenhöhe—Sonnblick ergäbe sich für 2 *p* (27. Juli) ein Gradient von  $1·4^{\circ}$  pro 100 *m*. Entweder herrscht in 3100 *m* Höhe über der Schmittenhöhe eine höhere Temperatur als 37 *km* südöstlich auf dem Sonnblick oder es herrscht

<sup>1</sup> Sitzungsberichte der kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien. Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Bd. CXIV, IIa, Oktober 1905.



labiles Gleichgewicht in einem Teile der nördlichen Luftsäule. Eine dritte Möglichkeit — zu hohe Temperatur auf der Schmittenhöhe, höher als in 2000 *m* in der freien Atmosphäre — scheint am wahrscheinlichsten. Um 9 *p* ist auf der Schmittenhöhe die Abkühlung nach Windwechsel in vollem Gange. Die Totalabkühlung beträgt 19°, um 8·5° mehr als auf dem Sonnblick wegen der größeren vorausgegangenen Erwärmung.

Zugspitze 2964 *m*.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
27. Juli	8·2	11·2	4·2	S	S 4	NW 7
28. >	— 1·2	— 0·6	— 1·0	NW 6	NW 4	NW 2

Vor dem Kälteeinbruch hohe Temperatur bei starkem Südwind. Um 4 *p* beginnt Abkühlung, um 9 *p* jäher Temperaturfall bei Nordweststurm, vier Stunden früher als auf dem Sonnblick. Die Totalabkühlung beträgt über 12°.

Säntis 2500 *m*.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
27. Juli	8·9	12·0	5·6	SSW 1	SSE 2	WSW 3
28. >	— 0·1	— 2·1	— 0·6	SW 2	SW 3	WSW 3

Der Kälteeinbruch erfolgt um 8 *p* (27. Juli), fast gleichzeitig wie auf der Zugspitze, früher als auf dem Sonnblick. Die Gesamt-Abkühlung beträgt 12° in Übereinstimmung mit Zugspitze. (Auf dem Rigi Kulm Abkühlung bereits seit dem 26. Juli, totale Abkühlung 15°). — Für die Lagerung der kalten Luftmasse um 9 *p* (27. Juli) gilt das gleiche, wie für den Kälteeinbruch vom 25.—26. Jänner 1902 gefunden wurde: keilförmige Lagerung, gegen Osten auskeilend.

Der Kälteeinbruch mit Gewitter läßt sich in allen nordalpinen Talorten gut verfolgen. Es gilt das gleiche wie im vorher behandelten Falle.

Stationen auf der Südseite der Alpen:

Obir 2044 *m*.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
27. Juli	12·0	17·8	12·5	NW 1	S 5	W 1
28. >	5·2	5·2	4·0	E 1	NE 1	NE 2

Auch auf der Südseite der Alpen ergibt sich vor dem Kälteeinbruch zwischen 2000 *m* und 3100 *m* ein Gradient von 1° pro 100 *m*, also größer als jener des indifferenten Gleichgewichtes. Doch liegt Obir schon weit vom Sonnblick entfernt. Starke Abkühlung tritt um 6<sup>h</sup> später als auf dem Sonnblick ein, mit Gewitter. Die Gesamtabkühlung beträgt über 13°, ist größer als die auf dem Sonnblick beobachtete. In diesem Falle ist der Einfluß der vorhergegangenen größeren oder geringeren Erwärmung auf den Betrag der nachfolgenden Abkühlung besonders schön ersichtlich.

## Südalpine Talstationen:

Riva 90 *m*.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	
27. Juli	20·5	27·9	25·4	78	55	67	o	S 2	o
28. >	22·6	26·8	22·0	83	63	85	o	S 1	o

Lugano 275 *m*.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
27. Juli	21·0	28·4	22·8	82	62	86	S o	S o	S o
28. >	23·4	28·4	22·7	48	29	34	N 1	N 2	N 2

Übereinstimmend melden beide Stationen am 28. Juli keine Änderung der Temperatur gegenüber dem Vortage. In Riva weist nichts auf Fallwindeinfluß hin, weder Feuchtigkeit noch Wind (noch Bewölkung); in Lugano hingegen nördliche Winde, auffallend niedrige Werte der relativen Feuchtigkeit (und völliges Aufklaren). Nachdem wir finden, daß die kalte Luft auf der Südseite absteigt, in Riva jedoch kein Anzeichen finden, so kann nur geschlossen werden, daß sie hier in der Höhe südwärts abfließt. Der Unterschied gegen Lugano ist auffallend.

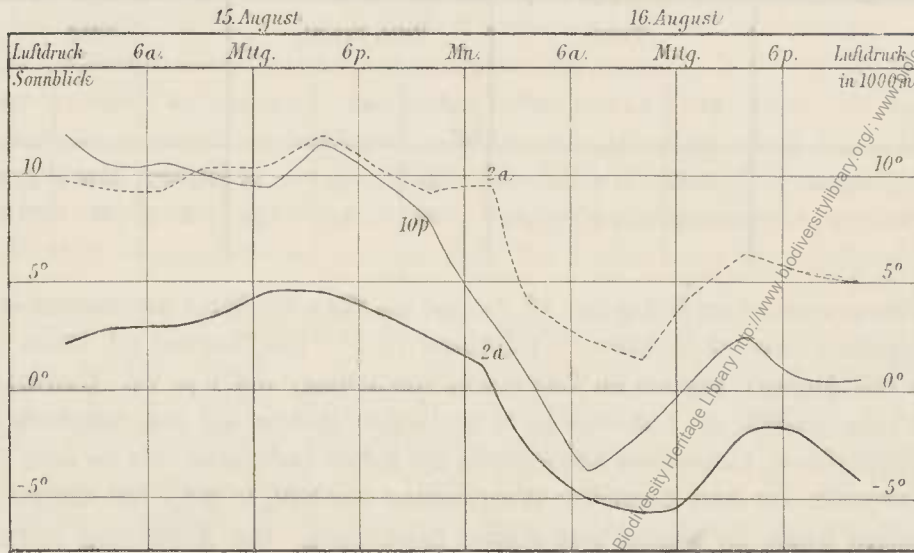
Ich füge einen dritten Fall mit Gewitter an.

## Kälteeinbruch vom 15.—16. August 1903.

Wetterlage. 15. August. Hoher Druck im Osten des Kontinentes und über dem westlichen Mittelmeere. Das Zentrum einer Depression über Irland. Druckgefälle vom Süd- zum Nordfuße der Alpen (Riva 758·7 *mm*, Innsbruck 755·1 *mm*). In den Ostalpen Föhn. In der Höhe südwestliche bis südöstliche Winde.

16. August. Druck im Alpengebiete gestiegen, ein Keil relativ hohen Druckes am Nordrande der Alpen. Starkes Druckgefälle vom Nordfuße zum Südfuße der Alpen (Innsbruck 764·1 *mm*, Riva 759·4 *mm*). In der Höhe starke nordwestliche Winde vorherrschend.

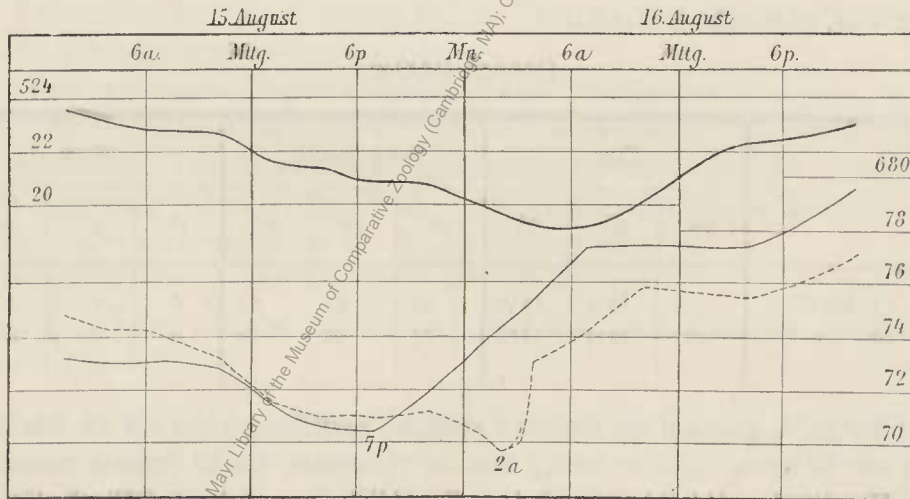
Fig. 9.



Gang der Temperatur auf dem Sonnblick und der Mitteltemperatur der Luftsäulen auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

———— Sonnblick      - - - - - Nordseite      . . . . . Südseite.

Fig. 10.



Gang des Luftdruckes auf dem Sonnblick (3106 m) und in 1000 m Höhe auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

———— Sonnblick      - - - - - Nordseite      . . . . . Südseite.

Nördliches Tal nördliche Luftsäule, Sonnblick.  
Bucheiben 1200 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7h	2h	9h	7h	2h	9h	7h	2h	9h
15. August	16.8	24.3	13.9	48	29	81	S 2	SW 6	NW 2
16. >	4.5	13.3	9.0	84	38	69	o	N 3	SW 1

## Sonnblick 3106 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
15. August	2·8	4·6	2·8	90	79	92	WSW 8	SSW 9	SSW 6
16. >	5·0	4·2	3·2	87	83	89	W 3	W 1	NE 1

Der SSW-Sturm erreicht um Mittag des 15. August als Föhn die Sohle des nördlichen Tales. Um 2p. beträgt die Temperaturdifferenz Sonnblick—Bucheoben 19·7°. Der Gradient pro 100m ist etwas größer als 1°. Um 7 p (15. August) beginnt im Tale rasche Abkühlung; um 9 p, bei Gewitter, ist NW<sub>2</sub> verzeichnet. Die Mitteltemperatur der Luftsäule ist in langsamem Sinken, auf dem Sonnblick noch konstante Temperatur bei SSW-Sturm. Langsames Anschwellen der kalten Luftmasse, bis sie nach 1 a (16. August) den Sonnblick erreicht; auf dem Sonnblick Windwechsel von SW<sub>3</sub> in NE<sub>2</sub>. Die Abkühlung ist intensiv, aber nicht von langer Dauer. Es beginnt bald erneute Erwärmung. Die Abkühlung betrug in Bucheoben 20°, auf dem Sonnblick 10°, in der ganzen Luftsäule 15°. Da während des Kälteeinbruches die Temperaturdifferenz Sonnblick—Bucheoben nur gegen 9° beträgt, auch nachdem die kalte Luft bis in Sonnblickhöhe angewachsen ist, sich also für die kalte Luftsäule ein mittlerer Temperaturgradient von nur 0·5° ergibt gegenüber 1° vor dem Kälteeinbruch, so erklärt sich die Differenz ohne weiteres.

## Südliches Tal, südliche Luftsäule.

## Döllach 1000 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
15. August	12·8	23·0	15·0	87	37	95	o	S 5	o
16. >	9·3	16·7	12·0	85	26	61	o	N 3	N 2

Wir finden am 25. August auf der Südseite ähnliche Verhältnisse wie auf der Nordseite. Auch die Mitteltemperatur der Südsäule differiert wenig von der Nordsäule. Am 16. August zwischen 3a und 4<sup>30</sup>a, also bald nach Eintritt der Abkühlung auf dem Sonnblick, verzeichnet Döllach Gewitter, um 3<sup>45</sup>a Sturm. Die kalte Luft der Nordseite stieg um diese Zeit in das südliche Tal ab, vielleicht nicht ganz bis zur Talsohle selbst. Um 7 a geht die Abkühlung in Döllach wieder in Erwärmung über und um 2 p ist bei N<sub>3</sub> und 26% relativer Feuchtigkeit Nordföhn in Döllach, bei fast 21° Temperaturdifferenz gegenüber dem Sonnblick. Die Mitteltemperatur der südlichen Luftsäule erfährt eine bedeutende Erniedrigung, aber sie bleibt um 3—4° wärmer als die Südsäule. Die Temperatur in Döllach selbst sinkt um 14° gegenüber 20° in Bucheoben.

Ich schalte eine Frage ein: Warum verzeichnet Döllach um 7 a, nachdem der Kälteeinbruch auf dem Sonnblick längst erfolgt ist, nicht Nordwind, während später um 2 p alle Anzeichen von Fallwind sich finden?

Wir kommen dadurch zu der Frage: Wie geht der Abstieg der kalten Luft auf der Südseite vor sich?

Wenn die kalte Luft auf der Nordseite bis Sonnblickhöhe angeschwollen ist und auf die Südseite überzufließen beginnt, so herrscht am oberen Ende der südlichen Luft-

säule labiles Gleichgewicht. Es tritt in dem oben geschilderten Falle zum Beispiel Luft in das obere Ende der südlichen Säule ein, deren Temperatur um  $10^\circ$  niedriger ist als die Temperatur der verdrängten Luft. Ein horizontales Abfließen der kalten Luft in der Höhe nach Süden ist unmöglich. Denn die kalte schwere Luft wird nach stabiler Lagerung in der südlichen Luftsäule streben, die potentielle Energie der Lage setzt sich um in kinetische, die kalte Luft wird sich vertikal so lange abwärts bewegen, als sie in der südlichen Luftsäule auf Luft höherer potentieller Temperatur trifft. Trifft sie, durch Kompression erwärmt, endlich auf Luft gleicher Temperatur, so hat die einströmende Luft ihre Gleichgewichtslage in der südlichen Luftsäule erreicht, sie wird nicht weiter absteigen, sondern sich, dem Zuflusse von oben entsprechend, horizontal ausbreiten.

Ist zur Zeit des Einbruches der kalten Luft in die Südsäule Döllach potentiell wärmer als Sonnblick, so wird Abkühlung im Tale eintreten können, deren Betrag gegeben ist durch die Differenz der potentiellen Temperaturen auf dem Berge und im Tale. Ist Döllach potentiell kälter, so wird die absteigende Luft nicht bis Döllach hinabkommen. (Eine Temperaturänderung im Tale könnte in diesem Falle noch immer durch Mischungsvorgänge stattfinden.) Dieser Fall, daß Döllach zur Zeit des Kälteeinbruches zu kalt ist, scheint oft vorzukommen. Wenn dann untertags infolge Insolation in dem Talkessel die Temperatur erhöht wird, damit auch die potentielle Temperatur, so kann jetzt die Möglichkeit eintreten, daß die kalte Luft der Höhe vollends als Nordwind bis in die Talsohle durchbricht wie in dem eben geschilderten Falle.

In dem eben geschilderten Falle haben wir es um 7 p. (16. August) sicher nicht mit Luft zu tun, die vom Sonnblick kommt. Dies beweist die geringe Temperaturdifferenz, vor allem aber die Feuchtigkeit (Sonnblick: Dampfdruck 2.6 mm, in Döllach 7.1 mm. Für 2 p. hingegen ist es nicht zweifelhaft, daß der gleiche Luftstrom Sonnblick und Döllach passiert.

Wer sich für die in Betracht kommenden theoretischen Verhältnisse interessiert, sei auf die bereits zitierte Arbeit von M. Margules »Die Energie der Stürme« verwiesen. — Wir haben hier den Fall, daß sich in einer Luftsäule labile Temperaturschichtung ausbildet und durch Fall der kalten Luft ausgleicht, dürfen aber nicht vergessen, daß in unserem Falle die Ausbildung des ganzen Zustandes gewissermaßen nur durch eine künstliche Trennungswand, die Alpenkette, ermöglicht ist.

Nach dieser Einschaltung wenden wir uns dem Luftdruckgange zu.

Luftdruck Sonnblick 3106 m: Zuerst langsamer Fall, später Anstieg ohne Beziehung zu dem Temperaturgange auf dem Gipfel.

Luftdruck in 1000 m Höhe: Zuerst Fall bei höherem Drucke auf der Südseite, dann starker Anstieg parallel mit dem Abfall der Mitteltemperaturen der Säulen, höherer Druck auf der Nordseite. Die frühere Abkühlung auf der Nordseite spricht sich darin deutlich aus, daß auf der Südseite der Druck zuerst noch weiter fällt. Erst das ausbrechende Gewitter bringt starken Anstieg. — Der Zusammenhang mit der Änderung der allgemeinen Wetterlage gleich wie in den früheren Fällen.

Stationen auf der Nordseite der Alpen:

Schmittenhöhe 1968 m.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
15. August	12.5	16.3	9.7	SE 2	SE 4	NW 2
16. >	— 0.3	4.3	2.7	NW 3	NW 3	NW 3

Vor dem Kälteeinbruch (mit Gewitter) ergibt sich um 2 p. wieder eine Temperaturabnahme von  $1^\circ$  pro 100 *m* zwischen Sonnblick und Schmittenhöhe; die Übereinstimmung mit den früheren Fällen ist bemerkenswert. — Um 9 p. ist bereits Abkühlung mit nordwestlichem Wind eingetreten. Um diese Zeit ist im Sonnblickgebiete selbst die kalte Luft gerade in der Sohle des nördlichen Tales erschienen. Die Abkühlung beträgt der starken vorherigen Erwärmung wegen über  $16^\circ$ .

Zugspitze 2964 *m*.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
15. August	5·1	6·1	— 2·0	SSE 4	SSE 3	NW 6
16. >	— 6·0	— 2·7	— 4·8	NW 7	SW 4	W 5

Der Kälteeinbruch, dem gleiche Verhältnisse wie auf dem Sonnblick vorausgehen, erfolgt früher. Bereits um 9 p (15. August) ist starke Abkühlung mit NW-Sturm eingetreten. (In der Fußstation Mittenwald ist Abkühlung seit dem Vortage mit nördlichen Winden im Gange.) Die Abkühlung beträgt auf der Zugspitze  $12^\circ$ .

Säntis 2500 *m*.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
14. August	7·3	11·0	8·5	SSW 1	SSE 1	SSE 3
15. >	6·3	4·6	— 1·2	SSE 3	S 3	SW 3
16. >	2·2	— 1·6	— 1·5	SW 4	SW 3	SW 3

Abkühlung ist bereits seit dem 14. August im Gange; starker Temperaturfall, wie gewöhnlich auf dem Säntis ohne Windwechsel, beginnt um Mittag des 15. August, wesentlich früher als auf der Zugspitze und Sonnblick. Um 9 p (15. August) ist Säntis um  $4^\circ$  kälter als Sonnblick trotz des Höhenunterschiedes von 600 *m*. Die Gesamt-Abkühlung beträgt  $13^\circ$ .

St. Gotthard 2100 *m*.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
14. August	8·6	11·6	9·3	S 1	SE 3	SE 4
15. >	8·4	7·7	3·6	SE 3	SE 3	NNW 5
16. >	0·0	4·6	1·4	NNW 4	N 3	N 3

Auf dem St. Gotthard erfolgt der Kälteeinbruch mit Windwechsel. Ich verzichte darauf, Mutmaßungen über die Ursachen der konstanten Abweichung auf dem Säntis wiederzugeben. Die Gesamt-Abkühlung beträgt auf dem St. Gotthard nicht ganz  $12^\circ$ . Von allen Gipfelstationen der Nordseite zeigt also nur die Schmittenhöhe eine Abweichung.

Ich möchte hier bei Besprechung der Schweizer Bergstationen auf eine andere Frage hinweisen, die vielleicht wert wäre, näher untersucht zu werden. Wir können für 9p (15. August) eine ähnliche Lagerung der kalten Luftmasse feststellen wie in früheren Fällen. Wir finden dann, wie später die kalte Luftmasse bis Sonnblickhöhe anschwillt. Ich sehe keinen Grund, warum die kalte Luft in den Schweizer Alpen nicht ebenfalls bis zur Kammhöhe anschwellen sollte. Wir haben sie ja in einigen Fällen in Lugano feststellen können, allerdings etwas modifiziert. Nachdem nun die mittlere Kammhöhe der westlichen Schweizer und französischen Alpen (Berner Alpen, Walliser Alpen, Montblancgruppe, Dauphinè) jene der Ostalpen bedeutend übertrifft, so müßte hier die kalte Luft in wesentlich größere Höhen anschwellen als weiter im Osten; mit anderen Worten: die Luftsäule, die abgekühlt wird, ist im Westen bedeutend höher. Die Drucksteigerung an der Basis der Luftsäule müßte also schon wegen dieser rein orographischen Ursache in den Westalpen größer sein, was sicher nicht ohne Einfluß auf die Intensität der Westkomponente der ostwärts strömenden kalten Luftmasse bleiben könnte. Flüchtige Vergleiche zwischen Salzburg und dem fast gleich hohen Altdorf fielen nicht ungünstig für diese Mutmaßung aus.

Südseite der Alpen:

Obir 2044 m.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
15. August	9·8	13·3	10·4	S 5	S 5	SW 6
16. >	3·4	4·1	4·1	SW 1	N 1	o

Starke Abkühlung tritt am 16. August um 6a ein, 5 Stunden später als auf dem Sonnblick. Gesamt-  
abkühlung 10°. (In Klagenfurt annähernd gleichzeitig rasche, aber viel kleinere Temperaturerniedrigung).

Stationen am Südfuße der Alpen:

Riva 90 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
15. August	21·5	27·2	21·8	77	48	90	o	S 2	N 1
16. >	18·9	26·4	20·9	63	37	55	N 1	o	N 1

Lugano 275 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
15. August	20·7	22·8	19·4	87	66	62	S o	SE o	SE 1
16. >	17·4	25·2	16·7	46	36	49	NE o	SE o	SE o

In beiden Stationen zeigt sich am 16. August bei Ausheiterung Fallwindeinfluß. Eine wesentliche Temperaturänderung ist nicht eingetreten. Nach den in Döllach beobachteten Verhältnissen konnte dies erwartet werden.

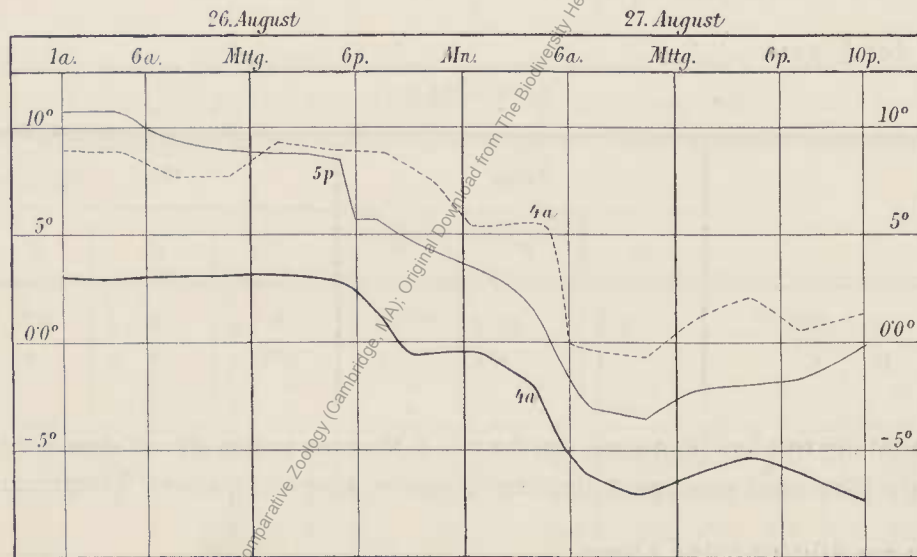
Ich füge einen Kälteeinbruch im Sommer 1901 an, der ohne Gewitter verläuft.

### Kälteeinbruch vom 26.—27. August 1901.

Wetterlage: 26. August. Hoher Druck bedeckt den Süden des Kontinentes, eine Depression liegt zwischen England und Skandinavien, eine abgeschlossene Sekundäre im nördlichen Vorland der Ostalpen. Druckgefälle vom Süd- zum Nordfuße der Alpen.

27. August. Ein Keil hohen Druckes nördlich der Alpen. Die Depression im Norden hat sich wenig verlagert, steht im Zusammenhange mit einer Teildepression südlich der Alpen. In

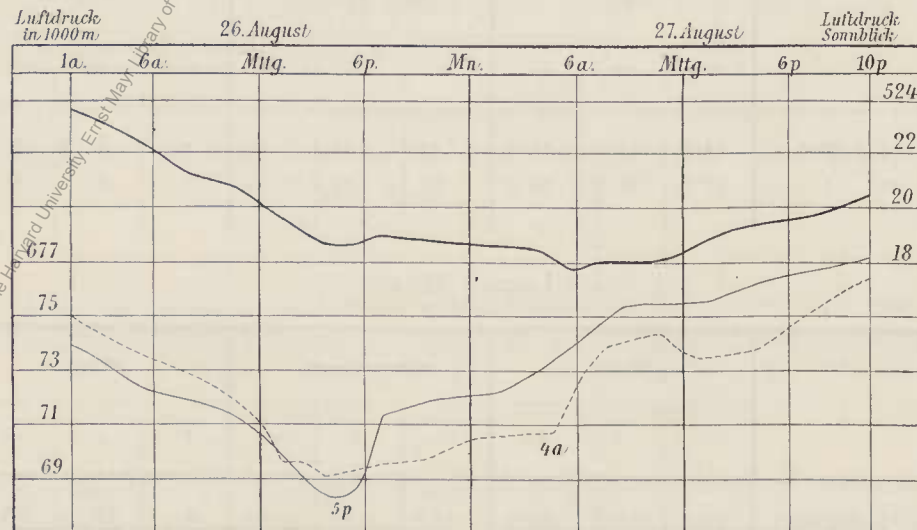
Fig. 11.



Gang der Temperatur auf dem Sonnblickgipfel und der Mitteltemperatur der Luftsäulen auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

— Sonnblick      - - - - - Nordseite      - - - - - Südseite.

Fig. 12.



Gang des Luftdruckes auf dem Sonnblick 3106 m und in 1000 m Höhe auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

— Sonnblick      - - - - - Nordseite      - - - - - Südseite.



der Höhe nördliche bis nordwestliche Winde. Starkes Druckgefälle vom Nordfuße zum Südfuße der Alpen.

28. August. Hoher Druck, von SW ausgehend, reicht weit nördlich über die Alpen hinaus. In der Höhe südliche Winde vorherrschend.

Nördliches Tal, nördliche Luftsäule, Sonnblick:

Bucheoben 1200 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
26. August	14.7	19.3	10.4	77	65	88	SW 1	SW 4	0
27. >	5.5	7.5	3.8	85	76	84	0	N 2	NW 1

Sonnblick 3106 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
26. August	3.0	2.9	0.5	93	94	93	SSW 6	SSW 7	NE 3
27. >	6.2	5.8	7.2	89	87		N 2	NNE 1	NE 1

Der starke SW-Wind, der auf dem Sonnblick dem Kälteeinbruch vorausgeht, dringt um Mittag als Föhn in das nördliche Tal. Um 6 p beginnt in Bucheoben rasche Abkühlung. Um 6<sup>30</sup>p notiert der Beobachter Nordsturm von kurzer Dauer, dem bei weiterem Temperaturfalle Windstille folgt.

Wir vergleichen die Temperatur in Bucheoben und Sonnblick mit der Mitteltemperatur der Luftsäule

	4 <sup>h</sup>	5 <sup>h</sup>	6 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>
Bucheoben . . . . .	18.8	17.7	14.5	11.3
Sonnblick . . . . .	2.8	2.5	2.2	1.7
Nördliche Luftsäule . . .	8.9	8.4	5.9	5.7

Von 4—5 p überall fast konstante Temperatur. Von 5—6 p in Bucheoben Abkühlung von 3°, in der Luftsäule um 2.5°, auf dem Sonnblick konstante Temperatur. Von 6—7 p kühlt Bucheoben um weitere 3° ab, die Luftsäule bleibt konstant, Sonnblick sehr geringe Abkühlung. Man kann schließen, daß in diesem Falle die einbrechende kalte Luft gleich anfangs sehr hoch reicht, weil die Beeinflussung der Mitteltemperatur der Luftsäule so groß ist

Bemerkenswert ist ferner, daß zwischen 6 und 7 p der weiteren Abkühlung im Tale keine Temperaturerniedrigung in der Luftsäule entspricht, während zur gleichen Zeit starker Druckanstieg im Tale stattfindet. Vielleicht findet die weitere Abkühlung nur in einer seichten Schichte über dem Tale statt, die dann bei langsamer steigendem Drucke langsam in die Höhe schwillt und zwischen 7 und 8 p den Sonnblick erreicht, wobei Windwechsel von SW<sub>2</sub> in N<sub>2</sub> stattfindet. Starke Abkühlung tritt auf dem Sonnblick jedoch erst um 2 p (27. August) ein.

Solange Föhn auf der Nordseite herrscht, also im großen und ganzen lineare Temperaturabnahme angenommen werden kann, stimmt die berechnete Mitteltemperatur der Luftsäule mit den Mitteln aus den Beobachtungen auf dem Berge und im Tale überein. Nachdem kalte Luft das Tal bis in Sonnblickhöhe füllt, erscheinen die berechneten Temperaturen als zu niedrig. Dies erklärt sich, wenn wir bedenken, daß der Kälteeinbruch mit Kondensation verbunden ist, wobei die Temperaturabnahme nicht mehr linear ist und der Gradient mit der Höhe zunehmend dem adiabatischen Werte sich nähert.

Südliches Tal, südliche Luftsäule:

Döllach 1000 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
26. August	14·5	19·0	14·3	94	58	100	S 1	S 2	o
27. >	7·6	15·0	8·0	89	36	90	N 1	N 4	N 1

Die Temperaturverhältnisse auf der Südseite vor dem Kälteeinbruch unterscheiden sich nicht wesentlich von jenen der Nordseite. Der Einbruch der kalten Luft erfolgt erst nach 4 a (26. August), 11<sup>h</sup> später als auf der Nordseite, 2<sup>h</sup> nach Beginn starker Abkühlung auf dem Sonnblick. Die südliche Luftsäule, die von oben her abgekühlt wird, kühlt viel rascher ab als die nördliche Säule, aber nicht so intensiv, bleibt um 2—3° wärmer als die Nordsäule. In Döllach tritt wieder rasch Erwärmung ein, um Mittag (26. August) Nordföhn bei 21° Temperaturdifferenz zwischen Sonnblick und Döllach. (Um 2 p. ist Döllach um 7·5° wärmer als Bucheben auf der Nordseite.)

Am Abend des 26. August tritt Temperaturerhöhung in beiden Luftsäulen ein bei fallender Temperatur auf dem Sonnblick und in beiden Tälern. Die Wetterlage am 28. August läßt vermuten, daß antizyklonale Luftströmungen von der Höhe in beide Täler hinabdringen, ohne die Talsohlen selbst zu erreichen.

Luftdruck Sonnblick: Zuerst fallender Druck, später Anstieg ohne Beziehung zum Eintritte der Abkühlung.

Luftdruck in 1000 m Höhe: Zuerst Fall bei Föhn auf der Nordseite, höherer Druck im Süden. Nach dem Kälteeinbruch starker Anstieg, der Gradient wechselt die Richtung, starker Anstieg auf der Südseite um 11<sup>h</sup> verzögert gegenüber der Nordseite. Der höhere Druck bleibt auf der Nordseite. Bei Nordföhn in Döllach geringe Druckabnahme.

Der Kälteeinbruch erfolgt auf der Rückseite einer Depression, der Keil hohen Druckes im Norden der Alpen am 27. August ist erzeugt durch die tiefere Mitteltemperatur der nördlichen Luftsäule.

Stationen auf der Nordseite der Alpen:

Schmittenhöhe 1968 m.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
26. August	11·0	14·0	6·2	SE 2	SE 1	NW 4
27. >	— 0·6	2·0	1·0	NW 4	NW 3	NW 2

Vor dem Kälteeinbruch ergibt sich zwischen Schmittenhöhe und Sonnblick ein Gradient von  $0.97^\circ$ , der Kälteeinbruch erfolgte zwischen 2 p und 9 p (26. August); Gesamtabkühlung  $14.6^\circ$ , fast so groß wie in Bucheben.

Zugspitze 2964 m.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
26. August	4.0	1.6	0.0	SE 6	SW 4	NW 7
27. >	— 5.9	— 5.0	— 5.0	NW 8	NW 5	NW 2

Der Kälteeinbruch erfolgte um 12<sup>h</sup> Mittags, 8<sup>h</sup> früher als auf dem Sonnblick; die Abkühlung beträgt gegen  $10^\circ$ , ist von gleichem Betrage wie auf dem Sonnblick.

Säntis 2500 m.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
26. August	5.3	3.4	2.2	SW 2	NW 5	WSW 5
27. >	— 3.3	— 2.5	— 2.7	SW 4	SW 2	SW 3

Stärkere Abkühlung beginnt auf dem Säntis am 25. August zwischen 7 p und 8 p mit vorübergehendem Drehen des Windes nach NW. Die weitere Abkühlung erfolgt bei SW-Wind.

Stationen auf der Südseite der Alpen:

Obir 2044 m.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
26. August	8.4	7.0	5.0	SW 6	SW 8	SW 8
27. >	2.8	1.4	1.0	E 4	N 6	N 1

Rasche Abkühlung erfolgte nach 7 a des 27. August mit Drehen des Windes nach N, 5 Stunden später als auf dem Sonnblick.

Stationen am Südfuße der Alpen:

Riva 90 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
26. August	20.6	21.6	18.1	91	89	95	0	0	S 1
27. >	18.9	23.9	16.9	78	47	87	N 2	S 1	0

Lugano 275 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
26. August	19.0	16.0	15.7	91	89	92	SE 0	SE 0	SE 0
27. >	17.0	23.4	15.0	49	30	61	W 0	N 1	N 0

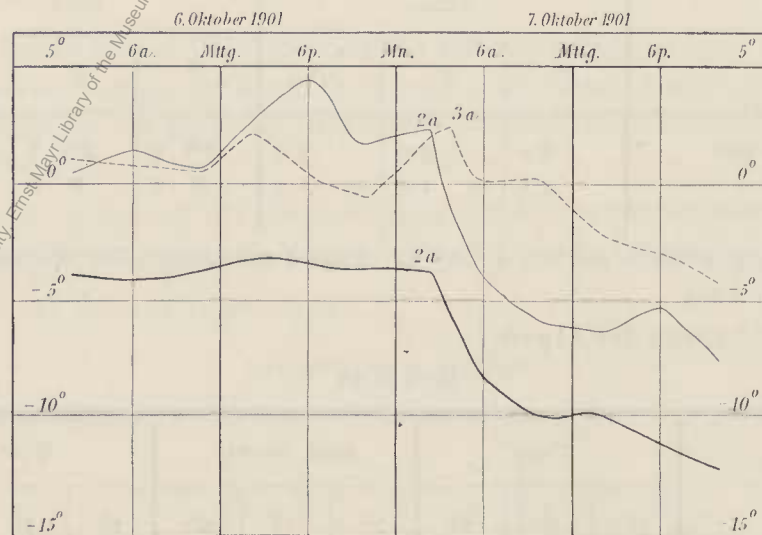
Sowohl Riva als Lugano verzeichnen am 26. August höhere Temperaturen, niedrigere Werte der relativen Feuchtigkeit als am Vortage, überdies Eintritt nördlicher Winde. Die kalte Luft der Nordseite kommt als erwärmter Fallwind (Nordföhn) an den Südfuß der Alpen bei steigendem Drucke. Im letzteren Umstande liegt ein Unterschied gegenüber dem Südfohn der Nordseite. Bestimmend dafür, ob ein Fallwind bei steigendem oder fallendem Drucke verläuft, ist natürlich nur der Umstand, ob die Mitteltemperatur der ganzen Luftsäule zwischen Gebirgskamm und Tal sinkt oder steigt. An der Basis im Tale kann wie zum Beispiel in Döllach Erwärmung oder Abkühlung eintreten. Aus der Taltemperatur allein kann ohne weitere Vergleiche nichts über den Gang des Druckes und des Ganges der Mitteltemperatur der Luftsäule ausgesagt werden.

Es folgt ein Fall, in dem die Druckschwankung auf dem Sonnblick größer ist als in den bisher geschilderten Fällen und parallel mit dem Gange im Tale geht.

**Kälteeinbruch vom 6—7. Oktober 1901.**

Wetterlage: 6. Oktober. Eine umfangreiche Depression beherrscht fast ganz Europa, Zentrum der Depression über Skandinavien. (Eine keilförmige Ausbuchtung der Isobaren auf der Westseite der Westalpen ist bereits zu erkennen.) Geringes Druckgefälle vom Süd- zum Nordfüße der Alpen; in der Höhe südwestliche Winde.

Fig. 13.

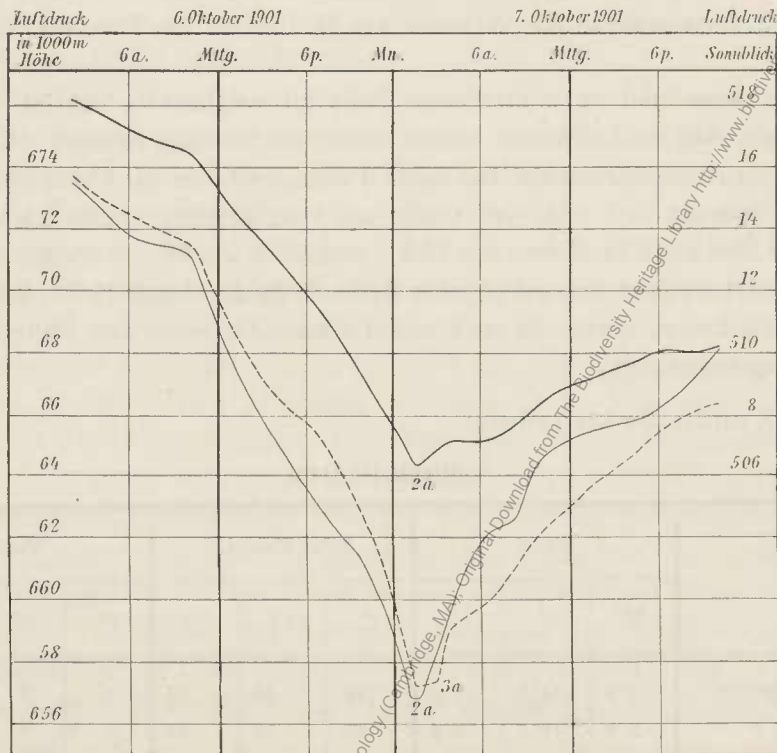


Gang der Temperatur auf dem Sonnblickgipfel und Gang der Mitteltemperatur der Luftsäulen auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

———— Sonnblick      - - - - - Nordseite      . . . . . Südseite.

7. Oktober. Keilförmige Ausbuchtung der Isobaren auf der Nordseite der Alpen (auf der Rückseite der Depression). Druckgefälle vom Nord- zum Südfuße der Alpen (Innsbruck 748.0 mm, Riva 744.5 mm). In der Höhe westliche bis nordwestliche Winde.  
 8. Oktober. Ein Keil relativ hohen Druckes lagert (von Westen her) über den Alpen.

Fig. 14.



Gang des Luftdruckes auf dem Sonnblick 3106 m und in 1000 m Höhe auf der Nord- und Südseite des Gebirges.  
 ————— Sonnblick      - - - - - Nordseite      ······· Südsite.

Nördliches Tal, nördliche Luftsäule, Sonnblick:

Bucheoben 1200 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
6. Oktober	5.0	15.5	11.4	97	43	53	0	SW 4	S W 10
7. >	2.1	6.9	0.6	94	66	85	SW 1	0	0

Sonnblick 3106 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
6. Oktober	-4.6	-3.2	-3.8	90	92	91	SW 3	W 3	S 5
7. >	-9.0	-9.8	-12.0	79	88	80	WNW 2	W 2	WNW 3

Dem Kälteeinbruch geht auf der Nordseite heftiger Föhn voraus, der sich mühsam durch im Tal stagnierende kalte Luft (Bodennebel) in die Tiefe arbeitet. Noch um 9 p in Bucheben SW-Sturm. Der Föhn endigt um 2 a (7. Oktober), es folgt rasche Abkühlung mit Regen und Schneefall. Der Beobachter notiert am 7. Oktober »Öfters NW Sturm mit Schneefall«. Die Terminbeobachtungen ergeben den Windwechsel nicht.

Gleichzeitig wie in Bucheben tritt Abkühlung mit Windwechsel auf dem Sonnblick ein. (Eine Zeitdifferenz ist nicht festzustellen. Ich verweise auf die Innsbrucker Föhnstudien I, wo ähnliche Fälle sich finden.)

Die Abkühlung unten und oben in diesem Falle zu vergleichen, scheint nicht ratsam. Aus der Wetterlage ergibt sich, daß am 8. Oktober bereits antizyklonale Lage besteht. Bereits am 7. Oktober abends tritt vollkommen Ausheiterung ein. Die tiefen Taltemperaturen am Abend des 7. Oktober scheinen durch Ausstrahlung bewirkt zu sein. Ich wähle als Vergleichszeit daher 2 p (6. Oktober) bis 9 a (7. Oktober). In dieser Zeit kühlt Bucheben um 13·5°, Sonnblick um 7°, die nördliche Säule um zirka 10° ab. (Bis 12 p [7. Oktober] ergaben sich bei gleicher Reihenfolge die Werte 15·5°, 9·5°, 12·5°. Das Verhältnis bleibt fast ungeändert. Immerhin ist Vorsicht notwendig, wenn dem Kälteeinbruch Wetter nachfolgt, das Ausstrahlung begünstigt.)

Südliches Tal, südliche Luftsäule:

Döllach 1000 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
6. Oktober	5·2	14·2	11·4	100	46	58	o	S 5	S 4
7. >	5·4	10·2	1·5	99	25	84	N 2	N 4	o

Die eigenartige Lage von Döllach bringt es mit sich, daß sowol Süd- als Nordföhn in dem Talkessel auftreten können. Immerhin ist, wie der Vergleich der Luftsäulentemperatur anzeigt, die Föhnwirkung auf der Nordseite viel stärker. Der Kälteeinbruch erfolgt um 3 a (7. Oktober), 1 Stunde später als auf dem Sonnblick. Diese geringe Zeitdifferenz ergibt sich aus einem möglichst gewissenhaften Vergleiche der Autographenstreifen; ganz sichergestellt ist sie nicht. Der Beobachter in Döllach notiert Sturm von 3 a bis 4<sup>30</sup> a, ohne Angabe der Richtung. Die Temperaturdifferenz Sonnblick—Döllach weist um diese Zeit nicht auf Fallwind hin. Dies ist aber in den Morgenstunden nie der Fall. M. Margules, der diesen Fall kurz in seiner eingangs zitierten Arbeit behandelt hat, spricht nämlich die Vermutung aus, daß die Abkühlung in diesem Falle nicht über den Sonnblick, sondern vielleicht vom Drautale komme. Ich wende dagegen ein, daß Obir die Abkühlung erst 4<sup>h</sup> später hat, ebenso Klagenfurt. Ebenso spricht gegen die Annahme von Margules der Gang der Windrichtung auf dem Sonnblick. SW endet um 2<sup>30</sup> a, dann folgt Kalme, etwas später starke Schwankungen von NW—SE, um 3<sup>30</sup> a sehr ruhiger NNW. Ich halte es für wahrscheinlich, daß die Abkühlung der südlichen Luftsäule vom Norden, vom Sonnblick her, vor sich geht. Im weiteren Verlaufe des 7. Oktober finden wir alle Anzeichen von nördlichem Fallwind in Döllach: Nordwind, rapiden Fall der relativen Feuchtigkeit, 18—20° Temperaturdifferenz zwischen Sonnblick und Döllach. Die tiefen Temperaturen am Abend des 7. Oktober bei Kalme und völliger Aufheiterung dürften wie in Bucheben auf Ausstrahlung zurückzuführen sein. Die Mitteltemperatur der Südsäule hielt sich während des Kälteeinbruches wesentlich höher als im Norden, am Abend des 7. Oktober vermindert sich die große Differenz. Aber mit dem Kälteeinbruch hat diese Erscheinung nichts mehr zu tun. Der Endzustand, den wir hier betrachten müssen, ist ein anderer als in den vorher behandelten Fällen. Im übrigen bietet der Fall das gewohnte Bild.

Luftdruck Sonnblick 3106 *m*: Die Druckerniedrigung, die dem Kälteeinbruch vorangeht, ist weit stärker als in allen übrigen Fällen. Mit Eintritt der Abkühlung beginnt Druckanstieg, während in den früheren Fällen dieser unmittelbare Zusammenhang nie zu erkennen war. Die Vermutung ist nicht ganz abzuweisen, daß die kalte Luftmasse hoch über den Sonnblick anschwillt.

Luftdruck in 1000 *m* Höhe: Zuerst Fall parallel mit dem Druck auf dem Sonnblick, höherer Druck auf der Südseite. Mit der stärkeren Erwärmung der beiden Luftsäulen wird der Druckabfall etwas rascher wie auf dem Gipfel. Mit Einbruch der kalten Luft beginnt sehr starker Druckanstieg, viel intensiver wie auf dem Sonnblick. Höherer Druck auf der Nordseite.

Der Fall ist nur bezüglich der Intensität der Schwankung von den früheren verschieden. Auffällig ist der Umstand, daß der Druck vor dem Kälteeinbruch oben und unten fast parallel fällt, nach dem Kälteeinbruch im Tale jedoch stärker steigt. Man kann schließen, daß die Abkühlung mehr auf die unteren Luftschichten sich beschränkt und deshalb auf den Luftdruckgang im Tale viel mehr einwirkt.

Im Tale müßten wir unter allen Umständen annähernd den gleichen Gang wie auf dem Gipfel finden. Dem Drucke im Tale addiert sich jedoch das jeweilige Gewicht der Luftsäule zwischen Gipfel und Tal. Dieser Einfluß kann unter Umständen so groß werden, daß der Gang des Druckes im Tale sich umkehrt gegenüber jenem auf dem Gipfel, so, wie wir es in den früheren Fällen nach Eintritt der Abkühlung im Tale, allerdings nur für kürzere Zeiträume, gefunden haben. Wir sehen aber daraus, daß der Druckanstieg, den wir im Tale nach erfolgter Abkühlung beobachten, bei fallendem Druck auf dem Gipfel, kleiner sein muß, als es der wirklichen Gewichtszunahme der Luftsäule entsprechen würde. Der beobachtete Druckanstieg müßte vermehrt werden ungefähr um jene Anzahl von *mm Hg*, um welche der Druck in der gleichen Zeit auf dem Gipfel fällt. Der ideale Fall wäre jener, daß während der ganzen großen Schwankungen im Tale der Druck auf dem Gipfel konstant bliebe. Solange man die Luftsäule nur bis in eine Höhe von 3100 *m* hinaufreichen lassen kann, wird dieser Fall nicht leicht gefunden werden können. Entgegengesetzter Gang unten und oben ist jedoch nicht selten.

In Bezug auf die Wetterlage verläuft dieser Fall wie alle übrigen. Es ist ein Kälteeinbruch auf der Rückseite einer Depression.

Stationen auf der Nordseite der Alpen:

Schmittenhöhe 1968 *m*.

	Temp.			Wind		
		2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
6. Oktober	7·2	7·0	5·0	E 2	NW 1	E 1
7. >	— 3·4	— 1·4	— 5·0	NW 9	NW 2	NW 3

Der Kälteeinbruch erfolgt in der Nacht vom 6.—7. Oktober. Die Abkühlung beträgt 10°, wenn man die Abendbeobachtung am 7. Oktober aus den früher angegebenen Gründen nicht berücksichtigt.

Zugspitze 2964 *m*.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
6. Oktober	— 3·8	— 0·5	— 0·4	SW 9	SE 9	SW 10
7. >	— 10·2	— 11·5	— 13·1	NW 8	NW 9	NW 7

Die Erwärmung bei Süd Sturm vor dem Kälteeinbruch ist größer als auf dem Sonnblick, selbst wenn man die 150 *m* Höhendifferenz berücksichtigt. Der Kälteeinbruch erfolgt um 11 *p* (6. Oktober), 3 Stunden früher als auf dem Sonnblick, mit Eintritt von NW-Sturm; die Abkühlung beträgt 11—12°, ist etwas größer als auf dem Sonnblick, der vorherigen größeren Erwärmung entsprechend.

Säntis 2500 *m*.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
6. Oktober	— 1·9	— 0·2	— 0·1	SW 3	SW 3	SSW 4
7. >	— 8·0	— 7·6	— 9·4	WSW 3	WSW 2	SW 3

Ein Vergleich mit der Zugspitze ergibt, um wie viel größer auf letzterem Gipfel die Erwärmung ist, wenn man bedenkt, daß der Höhenunterschied fast 500 *m* beträgt. Rasche Abkühlung auf dem Säntis tritt ein um 11 *p* (6. Oktober), gleichzeitig mit Zugspitze.

Die Gesamtabkühlung ist etwas geringer wie auf der Zugspitze der geringeren vorhergegangenen Erwärmung wegen.

Wir betrachten noch einige, teilweise außeralpine Gipfelstationen in Frankreich.

Puy de Dome (Sommet) 1467 *m*.

	Temp.			Wind		
	6 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	6 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
6. Oktober	— 3·0	— 5·0	— 7·8	W 9	SW 9	W 9
7. >	— 0·2	— 0·3	— 0·2	NW 7	W 8	N 7

Der Kälteeinbruch erfolgt wie auf den Alpengipfeln in der Nacht vom 6.—7. Oktober mit Windwechsel. Die Abkühlung scheint geringer zu sein.

Mont Ventoux 1900 *m*.

	Temp.			Wind		
	6 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	6 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
6. Oktober	— 1·5	— 5·3	— 0·3	N 1	N 1	NW 1
7. >	— 1·5	— 0·4	— 3·0	NW 3	NW 3	N 3

Die Abkühlung scheint hier etwas früher begonnen zu haben, da auf den Schweizer Gipfeln (Säntis, Rigi Kulm) das Maximum der Erwärmung erst um 9 *p* (6. Oktober) verzeichnet ist.



Pic du Midi 2859 m.

	Temp.			Wind		
	6 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	6 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
6. Oktober	0·5	1·7	1·0	W 1	NW 3	4
7. >	— 2·8	— 3·2	— 5·8	W 3	W 4—5	W 1

Eine Zeitdifferenz gegenüber den Alpengipfeln ergibt sich auf diesem Pyrenäengipfel nicht. Die Abkühlung scheint langsamer vor sich zu gehen und ist nicht sehr bedeutend.

Auf dem Brocken 1148 m und auf der Schneekoppe 1610 m ist Abkühlung seit dem 4. Oktober in Gang. Jedenfalls weist dieser Vergleich aller Stationen darauf hin, daß die eindringende kalte Luftmasse sich rasch ausgebreitet hat. Um genau den Eintritt der Abkühlung für jede Station fixieren zu können, müßten stündliche Werte zur Verfügung stehen, was nur bei Säntis der Fall ist.

Stationen auf der Südseite der Alpen:

Obir 2044 m.

	Temp.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
6. Oktober	0·5	2·2	2·0	SW 4	SW 8	SW 8
7. >	— 3·4	— 3·1	4·4	NE 3	NW 4	NW 1

Die Abkühlung tritt mit Windwechsel um 6 a (7. Oktober) ein, 4 Stunden später als auf dem Sonnblick.

Stationen am Südfuße der Alpen:

Riva 90 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
6. Oktober	18·9	18·8	18·6	87	63	57	0	S 5	S 5
7. >	10·3	21·2	13·4	69	54	57	N 1	N 3	N 1

Lugano 275 m.

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
6. Oktober	10·6	17·6	13·2	92	65	97	NE 0	NE 0	NE 0
7. >	14·6	15·8	10·4	35	30	30	N 3	N 2	N 1

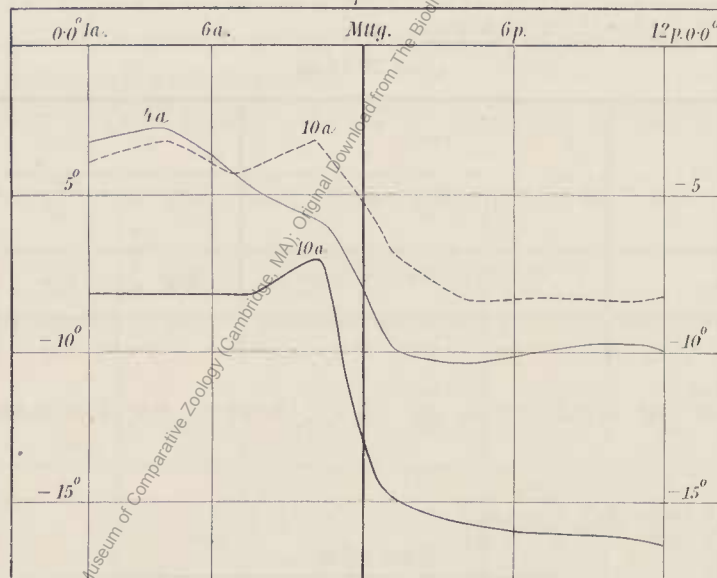
Beide Stationen verzeichnen am 7. Oktober stärkere nördliche Winde, niedrige Werte der relativen Feuchtigkeit; Riva ist etwas wärmer als am Vortage, Lugano etwas kälter. Fallwindeneinfluß ist nicht zu verkennen. Von der starken Temperaturschwankung auf der Nordseite ist am Südfuß der Alpen nichts mehr zu bemerken. Der ganze Fall bietet uns kein wesentlich anderes Bild als die früheren trotz der sehr starken Druckschwankung. Vielleicht reichten die Temperaturschwankungen bis in viel größere Höhen hinauf als in den früheren Fällen, aber ein Beweis kann dafür derzeit nicht erbracht werden.

In folgendem werden einige Fälle kurz behandelt ohne Mitteilung von Terminbeobachtungen, um das Material nicht zu sehr zu häufen. Da ich alle raschen Abkühlungen untersucht habe, die auf dem Sonnblick in den Jahren 1901—1903 beobachtet wurden, so liegt mir daran, für alle nachzuweisen, daß sie gleichartig verlaufen. Die Diagramme und die im Anhang mitgeteilten Temperaturbeobachtungen mögen zur Orientierung dienen.

Kälteeinbruch am 16. April 1901.

Fig. 15.

16 April 1901

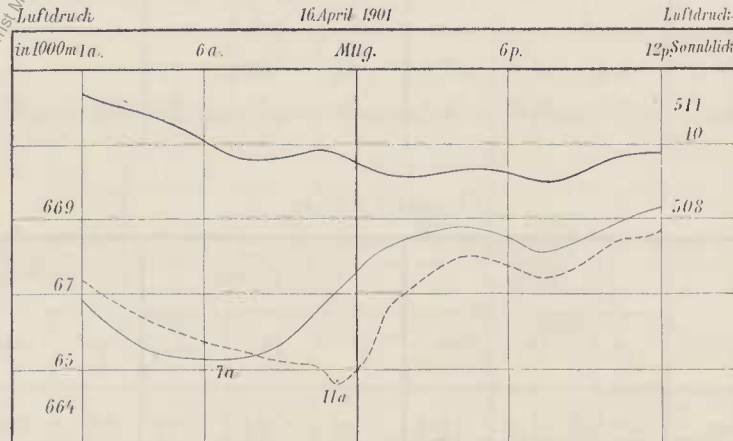


Gang der Temperatur auf dem Sonnblick und Gang der Mitteltemperaturen der Luftsäulen auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

— Sonnblick      - - - - - Nordseite      ····· Südseite.

Fig. 16.

16 April 1901



Gang des Luftdruckes auf dem Sonnblick (3106 m) und in 1000 m Höhe auf der Nord- und Südseite.

— Sonnblick      - - - - - Nordseite      ····· Südseite.

Nördliches Tal, nördliche Luftsäule, Sonnblick: Eine ziemlich stabile Temperaturschichtung geht dem Kälteeinbruch voraus. In der Höhe WSW<sub>3</sub>, im Tale SW, mit Bodennebel. Von 4 a an in Bucheben langsame konstante Abkühlung, in der Höhe noch geringe Erwärmung; die Temperaturdifferenz zwischen Sonnblick und Bucheben wird immer kleiner, je kältere Luft unten mit Nordwind eindringt. Das langsame Emporwachsen der kalten Luftschichte ist schon ersichtlich aus der langsamen Abnahme der Mitteltemperatur der nördlichen Luftsäule. Um 11 a, 7<sup>h</sup> später als Bucheben, erreicht die kalte Luft den Sonnblick. Gleichzeitig schlägt auf dem Sonnblick WSW<sub>1</sub> in NE<sub>1</sub> um. Die Temperatur sinkt in Bucheben um 9°, auf dem Sonnblick um 9·6°, in der nördlichen Luftsäule um 7·3°.

Die Erscheinung, daß Sonnblick gleich stark abkühlt wie das Tal, erklärt sich aus der vorausgegangenen, stabilen Temperaturschichtung. Wäre der Südwind auf dem Sonnblick als Föhn in das Tal durchgebrochen, so müßte um 4 a die Temperatur in Bucheben 10·7° statt 4·4° gewesen sein. Die Abkühlung hätte dann 15° betragen.

Südliches Tal, südliche Luftsäule. Der Kälteeinbruch erfolgt um 1<sup>h</sup> später als auf dem Sonnblick. Die Temperaturdifferenz Sonnblick—Döllach erreicht um diese Zeit den Föhnbetrag von 19·6° ohne daß die Feuchtigkeit darauf hinweisen würde. Der Kälteeinbruch kommt mit Nordwind. Erst am Folgetage weist auch die Feuchtigkeit auf Nordföhn (Bora) hin. Die Abkühlung ist nicht so bedeutend wie auf der Nordseite, die südliche Luftsäule ist nach dem Kälteeinbruch wärmer als die Nordsäule.

Zugspitze 2964 m. Der Kälteeinbruch erfolgte in der Nacht vom 15.—16. April mit Westwind früher als auf dem Sonnblick. (Um 7 a [16. April] ist Zugspitze bereits um 2° kälter als Sonnblick.)

Obir 2044 m. Abkühlung beginnt 4<sup>h</sup> später als auf dem Sonnblick. Windwechsel von SW in NE.

Riva und Lugano verzeichnen am 16. und 17. April nichts Bemerkenswertes, am 18. April heftiger Nordföhn mit enorm niedrigen Werten der relativen Feuchtigkeit ohne wesentliche Temperaturänderung.

Luftdruckgang ergibt das gewohnte Bild. (Siehe Diagramme.) Die Abkühlung und mit ihr die Drucksteigerung kommt auf der Rückseite einer im Norden Europas vorüberziehenden Depression.

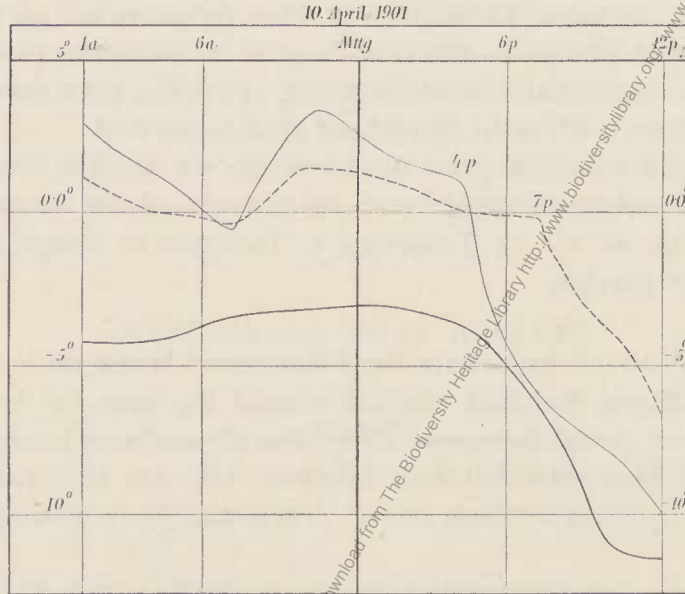
### Kälteeinbruch am 10. April 1901.

Nördliches Tal, nördliche Luftsäule, Sonnblick: Dem Kälteeinbruch geht Föhn voraus. Die Morgentemperatur in Bucheben scheint durch Föhnpause gestört. Die Störung reicht wohl hoch hinauf, weil sie in der Mitteltemperatur der nördlichen Luftsäule deutlich zum Ausdruck kommt (auch im Luftdruckgange), dann rasche Erwärmung im Tale bei Föhn (Bucheben: 2 p SW<sub>7</sub>, 62<sup>o</sup>/<sub>o</sub>). Um 4 p notiert der Beobachter Beginn von Nordsturm. Gleichzeitig beginnt rascher Temperaturfall. 2<sup>h</sup> später erreicht die kalte Luft Sonnblickhöhe; Windwechsel um 8 p. Bis Mitternacht fällt die Temperatur in Bucheben um 12·6°, auf dem Sonnblick um 8°, in der Luftsäule um 13°. Der Wert für Bucheben scheint zu klein, wobei zu beachten ist, daß die Temperaturdifferenzen zwischen Sonnblick und Bucheben vor dem Kälteeinbruch bei weitem nicht den vollen Föhnbetrag erreichten.

Südliches Tal, südliche Luftsäule: Dem Kälteeinbruche gehen auf der Südseite ähnliche Temperaturverhältnisse wie auf der Nordseite voraus (morgens sehr stabile Temperaturschichtung). Der Kälteeinbruch erfolgt etwas später wie auf dem Sonnblick, doch scheint die kalte Luft nicht als Fallwind in das Tal hinabzugelangen, trotzdem um 9 p N<sub>5</sub> notiert ist. Aber die Temperaturdifferenzen Sonnblick—

Döllach sind viel zu klein, die Feuchtigkeit (85%) weist ebenfalls nicht auf Föhn hin. Die Abkühlung im südlichen Tale und in der südlichen Luftsäule ist wesentlich geringer als auf der Nordseite.

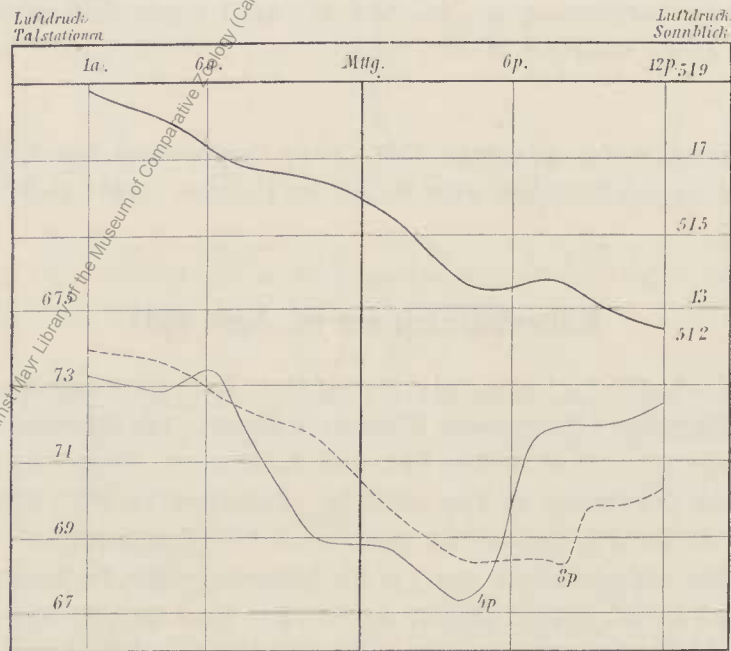
Fig. 17.



Temperaturgang auf dem Sonnblick und Gang der Mitteltemperaturen der Luftsäulen auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

————— Sonnblick      - - - - - Nordseite      ····· Südseite.

Fig. 18.



Gang des Luftdruckes auf dem Sonnblick (3106 m) und in 1000 m Höhe auf der Nord- und Südseite.

————— Sonnblick      - - - - - Nordseite      ····· Südseite.

Luftdruckgang: Auf dem Sonnblick während des ganzen Tages fallender Druck. Im Tale zuerst Föhn (auf die Unterbrechung in Bucheben wurde bereits hingewiesen), nach Abkühlung der Luftsäulen Anstieg, verspätet und viel schwächer auf der Südseite. Höherer Druck vor dem Kälteeinbruch auf der

Südseite (Föhn im nördlichen Tale), nach dem Kälteeinbruch auf der Nordseite. — Ein Vergleich mit der Wetterlage ergibt ein von den früheren Fällen wenig abweichendes Bild.

Wir verfolgen das Vorrücken und Anwachsen der kalten Luftmasse.

Salzburg 425 *m* verzeichnet am Vortage Föhn, um 7 *a* (10 April) bereits NW<sub>2</sub>, und dann tagsüber konstante Temperaturabnahme. Zell am See 768 *m* (Fußstation der Schmittenhöhe) notiert erst um 2 *p* NE<sub>3</sub> und ist um diese Zeit noch um 3·6° wärmer als Salzburg. Schmittenhöhe 2044 *m* um 2 *p* noch SW<sub>3</sub>, um 9 *p* NW<sub>4</sub> und gegenüber 2 *p* einen Temperaturfall von 11°. In Bucheben 1000 *m* begann die Abkühlung um 4 *p*, auf dem Sonnblick 3106 *m* um 6 *p* (Windwechsel erst um 8 *p*), auf dem Obir 2044 *m* um 11 *p* (kleine, aber rasche Abkühlung mit Windwechsel).

Die Abkühlung schreitet also von Nord nach Süd vor und erscheint immer zuerst in der Talstation, später erst auf dem Gipfel.

Ähnlich ist der Vorgang im Zugspitzgebiete, wenn wir die Talstationen (Mittenwald, Partenkirchen) berücksichtigen. Überdies tritt auf der Zugspitze 2964 *m* die Abkühlung um 4<sup>h</sup> früher ein als auf dem Sonnblick, auf dem Säntis 2500 *m* um 5<sup>h</sup> früher als auf der Zugspitze. Hieraus muß nicht geschlossen werden, daß die kalte Luftmasse von Westen her vordringt, sondern die kalte Luft schwillt im Westen früher in größere Höhen an als im Sonnblickgebiete.

Am Südfuße der Alpen, in Riva und Lugano, werden am Abend des 10. April Gewitter notiert. Weitere Anzeichen für Eindringen kalter Luft sind unsicher. Nachdem schon in Döllach in 1000 *m* Höhe ein schwacher Fallwindeinfluß zu erkennen war, ist anzunehmen, daß in größeren Tiefen noch weniger Anzeichen gefunden werden können.

#### Kälteeinbruch vom 13.—14. Juni 1902.

Der Kälteeinbruch erfolgt auf der Rückseite einer Depression, die im Norden vorbeizieht und vorher Föhn bewirkt hat. Der Kälteeinbruch erfolgt in Bucheben um 7 *p* (13. Juni), 13 Stunden später auf dem Sonnblick, in Döllach 2 Stunden später als auf dem Sonnblick. Die Gesamtabkühlung ist auf der Südseite viel geringer. Stündliche Druckwerte stehen für diesen Fall nicht zur Verfügung. Ich verzichte auf die Wiedergabe eines Diagrammes von Termindaten und beschränke mich darauf, die Lagerung der kalten Luftmasse für 9 *p* des 13. Juni festzustellen, für jenen Zeitpunkt, in welchem die Abkühlung in Bucheben eben begonnen hat, während auf dem Sonnblick noch WSW<sub>2</sub> bei fast konstanter Temperatur herrscht.

Auf der Schmittenhöhe 1968 *m* herrscht bereits um 2 *p* N<sub>1</sub>, um 9 *p* NW<sub>2</sub> mit Schneefall und einer Abkühlung von 4·4°. Die kalte Luftmasse, die im Sonnblickgebiete eben erst in der Sohle des nördlichen Tales (1000 *m*) erschienen ist, reicht 35 *km* nördlich vom Sonnblick um 9 *p* zuverlässig bis 2000 *m* hinauf.

Auf der Zugspitze 2964 *m* dauert Erwärmung bei SE bis 2 *p* (im Tale bereits während des ganzen Tages langsame Abkühlung). Bis um 9 *p* ist auf dem Gipfel mit NNW<sub>7</sub> bereits eine Abkühlung von 4·6° eingetreten. Das Kaltluftgebiet reicht hier schon bis 3000 *m*. Um 9 *p* ist Zugspitze um 3° kälter als Sonnblick.

Säntis 2500 *m* ist am 12. Juni relativ warm, ebenso Rigi Kulm 1787 *m*. Von 2 *p* (12. Juni) bis 7 *a* (13. Juni) ist die Temperatur auf dem Säntis um 5°, auf dem Rigi Kulm um 7·5° gesunken, während im Sonnblickgebiete um diese Zeit, auch auf dem Gipfel, Erwärmung erst beginnt. Die Abkühlung hält an. Um 2 *p* (13. Juni) ist Säntis kälter als Sonnblick und Zugspitze, um 9 *p* noch immer kälter als Sonnblick, da mittlerweile Abkühlung auf der Zugspitze eingetreten ist.

Um 9 *p* (13. Juni) finden wir also folgende Lagerung: Die kalte Luft reicht im Säntisgebiete wohl schon hoch über 2500 *m*, im Zugspitzgebiete sicher bis 3000 *m*, 35 *km* nordwestlich vom Sonnblick bis 2000 *m*, ist im nördlichen Tale gerade im Tale erschienen und erreicht erst 12 Stunden später den Sonnblick selbst, so daß um 7 *a* (14. Juni) Zugspitze um 5·8°, Säntis um 3·1° kälter erscheinen als Sonnblick

obwohl dieser um 140 *m*, beziehungsweise 600 *m* höher ist. Während aber jetzt auf dem Sonnblick die Abkühlung rasch vor sich geht, beginnt auf Säntis und Zugspitze bereits wieder Erwärmung. Erst um 9 *p* finden wir eine Temperaturschichtung, die mit der Höhe der Gipfel übereinstimmt.

Sonnblick 3106 *m*:  $-9.6^{\circ}$ ; Zugspitze 2964 *m*:  $-8.9^{\circ}$ ; Säntis 2500 *m*:  $-5.0^{\circ}$ ; Schmittenhöhe 1968 *m*:  $-2.0^{\circ}$ .

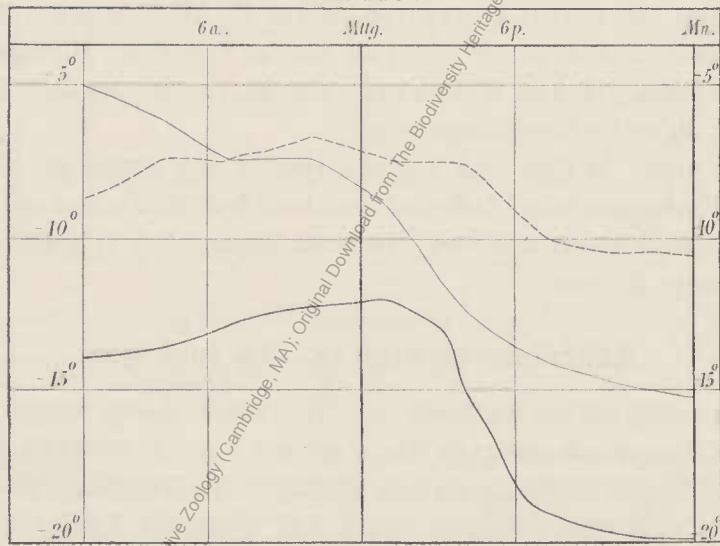
Derartige Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Gipfelstationen sind nicht selten in den Wetterkarten zu finden. Sie erklären sich meist auf ähnliche Weise.

Auf dem Obir 2044 *m* tritt Abkühlung mit Windwechsel 5 Stunden später als auf dem Sonnblick ein.

Kälteeinbruch am 2. Februar 1901.

Fig. 19.

2. Februar 1901

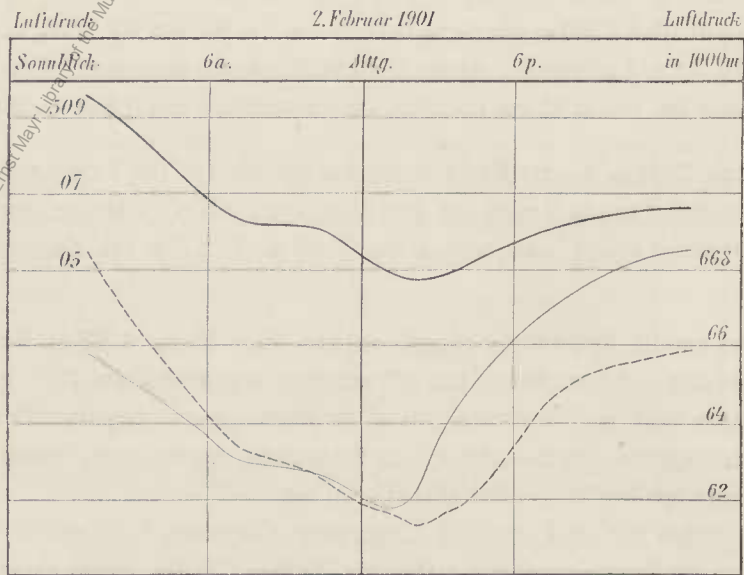


Gang der Temperatur auf dem Sonnblick und der Mitteltemperatur der Luftsäulen auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

———— Sonnblick      - - - - - Nordseite      . . . . . Südseite.

Fig. 20.

2. Februar 1901



Gang des Luftdruckes auf dem Sonnblick (3106 *m*) und in 1000 *m* Höhe auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

———— Sonnblick      - - - - - Nordseite      . . . . . Südseite.

Nördliches Tal, nördliche Luftsäule, Sonnblick: Am Vorabend heftiger Föhn im nördlichen Tale (9p: SW<sub>10</sub>, 60%). Am Morgen des 2. Februar herrscht im Tale Windstille, auf dem Gipfel WSW<sub>4</sub>, die Temperaturdifferenz Bucheben—Sonnblick ist noch groß, ohne den Föhnbetrag zu erreichen. Die nördliche Luftsäule ist noch warm, aber in langsamer Abkühlung. Um 1p beginnt im Tale rascher Temperaturfall bei N<sub>7</sub>, in der Höhe erst nach 3p, wobei der Wind von S nach NNE dreht. Die Abkühlung beträgt in Bucheben bis Mitternacht 9·3°, auf dem Sonnblick 7·6°, in der nördlichen Luftsäule 10°. Das Tal war in den Morgenstunden zu kalt.

Südliches Tal, südliche Luftsäule: Am Morgen des 2. Februar finden wir im südlichen Tale eine sehr stabile Temperaturschichtung. Um 8a beträgt die Differenz Sonnblick—Döllach nur 7·5°, Döllach ist wesentlich kälter als Bucheben. Der Fall der Mitteltemperatur der südlichen Luftsäule beginnt fast gleichzeitig mit dem Temperaturfalle auf dem Sonnblick, doch ist die Abkühlung in der südlichen Säule sehr gering. Sie bleibt um zirka 4° wärmer als die Nordsäule. Die Temperatur im Tale sowie die Feuchtigkeit läßt keine Beeinflussung durch den Kälteeinbruch erkennen. Während Bucheben um 12p um 8° kälter ist als um 1a des gleichen Tages, beträgt diese Differenz in Döllach nur 1°. Die kalte, über den Sonnblick eindringende Luft erniedrigt wohl die Temperatur der südlichen Luftsäule, aber das Tal selbst erreicht sie der kalten, stagnierenden Luft im Tale wegen nicht. Der Abtrieb der kalten Luft ist dort zu Ende, wo sie auf Luft gleicher Temperatur trifft. Hiemit in Übereinstimmung finden wir am 2. Februar zu allen Terminen Kalmen verzeichnet.

Luftdruckgang: Auf dem Sonnblick fallender Druck bis zum Eintritte starker Abkühlung; hierauf Druckanstieg. Dieser selten beobachtete Zusammenhang zwischen Abkühlung und Druckanstieg auf dem Sonnblick erinnert an den Kälteeinbruch vom 6.—7. Oktober 1901. In beiden Fällen ist der vorausgegangene Druckfall stärker als in den übrigen geschilderten Fällen.

Im Tale zuerst fallender Druck bis zum Eintritte der Abkühlung, dann starker Anstieg bei höherem Druck auf der Nordseite. Der Fall vor dem Kälteeinbruch geht annähernd parallel mit dem Luftdrucke auf dem Gipfel, der nachfolgende Anstieg ist viel stärker als in der Höhe. Die Abkühlung scheint mehr ein Vorgang in den untersten Luftschichten zu sein. — Die Wetterlage am 2. Februar ist ungleich komplizierter als in den früheren Fällen. Doch ist die keilförmige Ausbuchtung der Isobaren am Nordabhang der Alpen nicht zu verkennen.

Schmittenhöhe 1968 m: Hier trat der Kälteeinbruch etwas früher ein als auf dem Sonnblick, mit NW-Wind. Zum Beweise, wie intensiv gestört die Temperaturschichtung im Sonnblickgebiete vor dem Kälteeinbruch gewesen ist, stelle ich die Temperaturen vom Sonnblick, Schmittenhöhe, Zell am See (Fußstation der Schmittenhöhe 768 m) einander gegenüber.

	Zell am See 768 m			Schmittenhöhe 1968 m			Sonnblick 3106 m		
	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
1. Februar	-18·4	-7·4	-11·2	-11·8	-5·2	-8·4	-10·2	-11·2	-12·2
2. »	2·2	-1·0	-2·6	-7·0	-10·0	-13·0	-12·8	-12·7	-19·5

Am 1. Februar Temperaturumkehr, Zell am See kälter als Schmittenhöhe. Von 9p (1. Februar) bis 7a (2. Februar) in Zell am See mit Süd Sturm Erwärmung von 13°. Der Kälteeinbruch auf dem Sonnblick wirkt in Zell am See zwar abkühlend, aber die Temperaturen sind hoch gegenüber jenen, die am Vortage

beobachtet wurden. Ich erwähne diesen Fall — ein ähnlicher folgt später ausführlich — um darzutun, warum man bei dem Studium von Kälteeinbrüchen die starken Abkühlungen auf dem Gipfel aufsuchen soll. Bei tiefen Taltemperaturen ist es oft schwer, zu entscheiden: Ist die kalte Luft an Ort und Stelle durch Ausstrahlung entstanden oder handelt es sich um ein Eindringen kalter Luftmassen aus einem anderen entfernten Gebiete?

Ich mache hier eine Einschaltung. Wir haben in einer großen Anzahl von Fällen feststellen können, daß der Kälteeinbruch in der Weise vor sich geht, daß sich eine kalte Luftmasse unter eine warme Luftströmung einschiebt und diese immer mehr und mehr in die Höhe drängt. Dieses Eindringen geht keilförmig vor sich, ähnlich, nur in größerem Maßstabe, wie es in den »Innsbrucker Föhnstudien I« bei Erklärung der Föhnpause in, wie ich glaube, einwandfreier Weise nachgewiesen werden konnte. In einem passend gewählten Momente haben wir dann im nördlichen Tale folgendes Verhältnis: im Tale eine kalte Luftmasse, die gegen Süden drängt, darüber warmen Südwind. Dennoch unterscheidet sich diese Lagerung nicht unwesentlich von jener, die wir als Temperaturumkehr bezeichnen. Bei der durch Ausstrahlung bedingten Temperaturumkehr nimmt die Temperatur anfänglich bis zu einer gewissen Höhe zu, dann wieder ab, so, wie wir es am 1. Februar bei Zell am See, Schmittenhöhe und Sonnblick sehen. Ein Temperatursprung braucht an der Umkehrstelle der Temperatur nicht stattzufinden. Ganz anders verhält es sich, wenn kalte Luft unter warme sich lagert. Da finden wir zwei scharf getrennte Luftschichten übereinander, in deren jeder die Luft nach steigender potentieller Temperatur geschichtet ist. (Oder es kann auch in beiden Säulen als Grenzfall indifferentes Gleichgewicht herrschen. Dann ist in jeder Masse für sich die potentielle Temperatur in der ganzen Masse gleich. Da den Kälteeinbrüchen meistens Föhn vorausgeht, dürfte in der oberen warmen Schicht indifferentes Gleichgewicht zumeist vorausgesetzt werden.)

An der Grenze zwischen kalter und warmer Luft tritt ein Temperatursprung ein. Die obere warme Masse hat in ihrer ganzen Höhe eine höhere potentielle Temperatur als die oberste Schicht der kalten Luftmasse in der Tiefe.

Zum Unterschiede von der Temperaturumkehr finden wir in jeder der beiden Luftmassen Temperaturabnahme mit der Höhe; die Lagerung ist nicht so stabil als bei der gewöhnlichen Temperaturumkehr. Würden wir in unserem Falle eine plausible Annahme über die Temperaturabnahme in der kalten eindringenden Luftmasse machen können, so könnte man aus den Druckänderungen im Tale die jeweilige Höhe der Sprungschicht berechnen und könnten auch das Höherrücken der kalten Luftschicht rechnerisch verfolgen. Aber eine wesentliche Ergänzung unserer bisher gewonnenen Vorstellung von dem Eindringen kalter Luft in das nördliche Tal dürfen wir nicht erwarten. Gerade entgegengesetzt ist der Fall, wenn die kalte Luft über den Sonnblick auf die Südseite übertritt. Denn dort füllt sich zuerst der obere Teil einer warmen Luftsäule mit kalter Luft. An der Grenzfläche findet ein Übergang von höherer zu niedrigerer Temperatur statt, an der Sprungstelle herrscht labiles Gleichgewicht.

Was Abweichungen in den einzelnen Fällen verursacht, sind nur die verschiedenen Gleichgewichtsverhältnisse, die vor dem Kälteeinbruch in beiden Luftsäulen herrschend sind. Deshalb sind die im Sommer beobachteten Fälle durchsichtiger, weil zumeist in beiden Luftsäulen Verhältnisse herrschen, die dem indifferenten Gleichgewichtszustande nahe kommen. Im Winter kann durch vorher bestandene Temperaturanomalien im Tale (Temperaturumkehr) bei einem Kälteeinbruch sogar Erwärmung auftreten. Ein sicheres Kriterium bieten dann nur die berechneten Mitteltemperaturen der Luftsäulen. Wir werden dem Falle noch begegnen.

### Kälteeinbruch vom 6—7. März 1903.

Wetterlage: 5. März. Tiefer Druck im SE und NW des Kontinentes; hoher Druck im NE; eine Zone relativ hohen Druckes zieht quer durch den Kontinent von SW nach NE. Ein kleines abgeschlossenes Hochdruckgebiet liegt am Nordrande der Ostalpen (über Innsbruck, Zell am

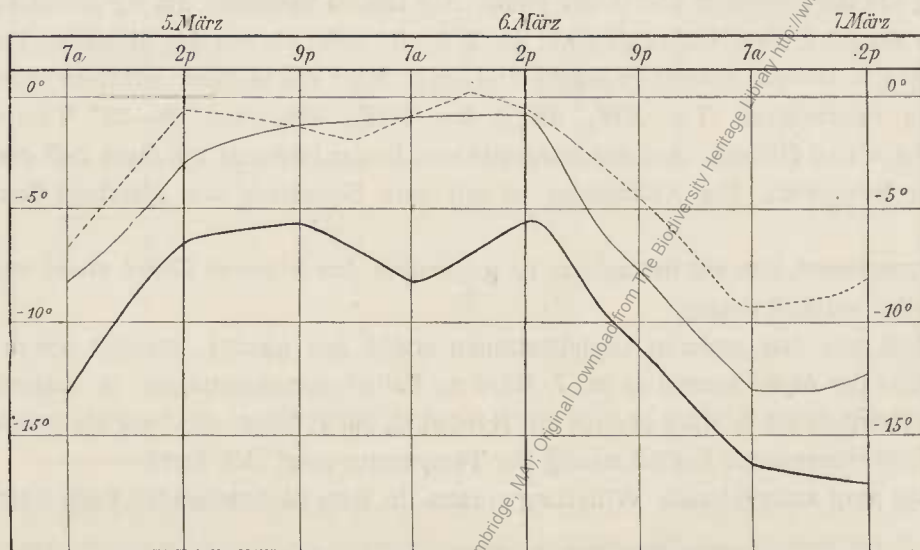


See, Salzburg). Druckgefälle vom Nordfuß zum Südfuße der Alpen (Innsbruck 771·6 mm, Riva 768·7 mm). In der Höhe nordwestliche und nördliche Winde vorherrschend.

6. März. Die Lage der beiden Tiefdruckgebiete ist wenig verändert; hoher Druck im SW und NE des Kontinentes. In der Höhe südwestliche Winde vorherrschend.

7. März. Relativ hoher Druck liegt keilförmig am Nordrande der Alpen; südlich der Alpen ist der Druck gefallen. Starkes Gefälle vom Nordfuß zum Südfuße der Alpen (Innsbruck 770·9 mm, Riva 764·7 mm). In der Höhe nordwestliche bis nordöstliche Winde.

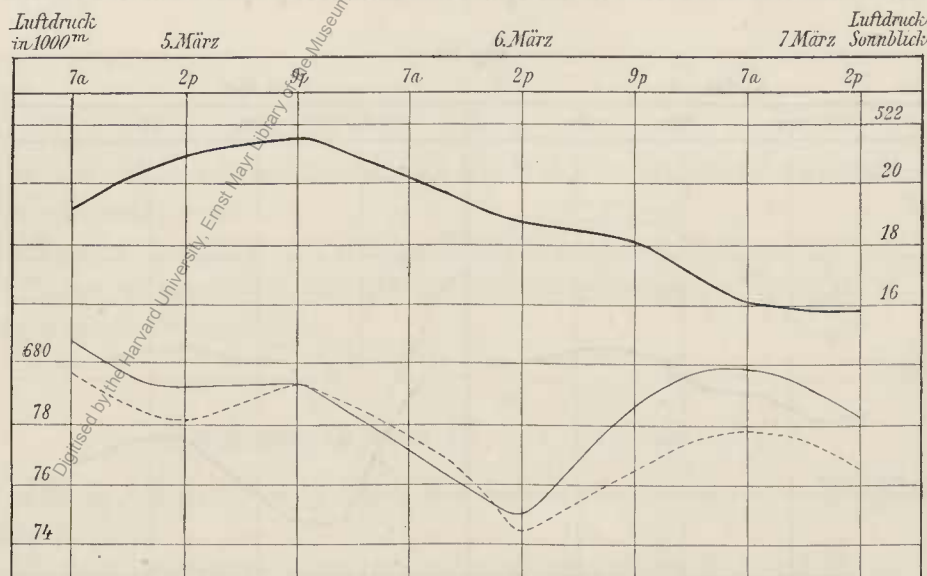
Fig. 21.



Gang der Temperatur auf dem Sonnblick (3106 m) und der Lufttemperaturen der Luftsäulen auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

———— Sonnblick      ——— Nordseite      - - - - - Südseite.

Fig. 22.



Gang des Luftdruckes auf dem Sonnblick (3106 m) und in 1000 m Höhe auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

———— Sonnblick      ——— Nordseite      - - - - - Südseite.

Dem Kälteeinbruch geht beträchtliche Erwärmung in der Höhe, starker Anstieg der Mitteltemperatur der beiden Luftsäulen, geringe Erwärmung in den Tälern am 5. März bei nördlichen Winden in der Höhe voraus.

Die Erwärmung dürfte bewirkt sein durch antizyklonale Strömungen, die nicht ganz bis in das Tal hinabgelangen. Aufklaren und sehr geringe Feuchtigkeit in der Höhe weisen darauf hin. Die Erwärmung in der Höhe hielt am 6. März bei südwestlichen Winden an. Die Temperaturdifferenzen Sonnblick-Tal betragen auf beiden Seiten um diese Zeit nur 4–7°, bis um Mittag des 6. März auch in den Tälern stärkere Erwärmung eintritt.

Am 6. März abends beginnt rasche Abkühlung fast gleichzeitig auf allen drei Stationen, verbunden mit Niederschlag auf der Nordseite und in der Höhe. Auf allen 3 Stationen um 9 p nördliche Winde. Die Mitteltemperatur der nördlichen Luftsäule sinkt um 2·5–3° tiefer als auf der Südseite. Zu starken Fallwinderscheinungen in Döllach kommt es jedoch erst am 3. März mit starken nordwestlichen Winden und geringer relativer Feuchtigkeit (7 a: NW<sub>3</sub>, 48<sup>0</sup>/<sub>0</sub>; 2 p: NW<sub>3</sub>, 38<sup>0</sup>/<sub>0</sub>) bei 19–20° Temperaturdifferenz zwischen Sonnblick und Döllach. Auf der Nordseite und in der Höhe ist um diese Zeit die Luft gesättigt bei andauerndem Schneefall. Die Abkühlung ist auf dem Sonnblick von gleichem Betrage als in den Tälern.

Der Anfangszustand, den wir betrachten, ist gegenüber den früheren Fällen etwas verschieden; der Kälteeinbruch selbst verläuft analog.

Der Vergleich mit den anderen Gipfelstationen ergibt das gleiche Resultat wie in allen früheren Fällen. Am Südfuße der Alpen kommt es am 7. März zu Fallwinderscheinungen. In Lugano beginnt Fall der relativen Feuchtigkeit am 6. März abends mit Nordwind, am 7. März sinkt sie bei anhaltendem Nordwind bis 14<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. Eine wesentliche Beeinflussung der Temperatur zeigt sich nicht.

Diesem Falle ging antizyklonale Witterung voraus. In dem nachstehenden Falle folgt sie nach.

### Kälteeinbruch vom 17.—18. Mai 1903.

Der Kälteeinbruch erfolgt auf der Rückseite einer Depression.

Am Morgen des 17. Mai sehr stabile Temperaturschichtung. Die Temperaturdifferenz Sonnblick-Tal beträgt auf beiden Seiten nur zirka 10°. In der Höhe morgens NW<sub>4</sub>, später mit WSW Erwärmung in der

Fig. 23.

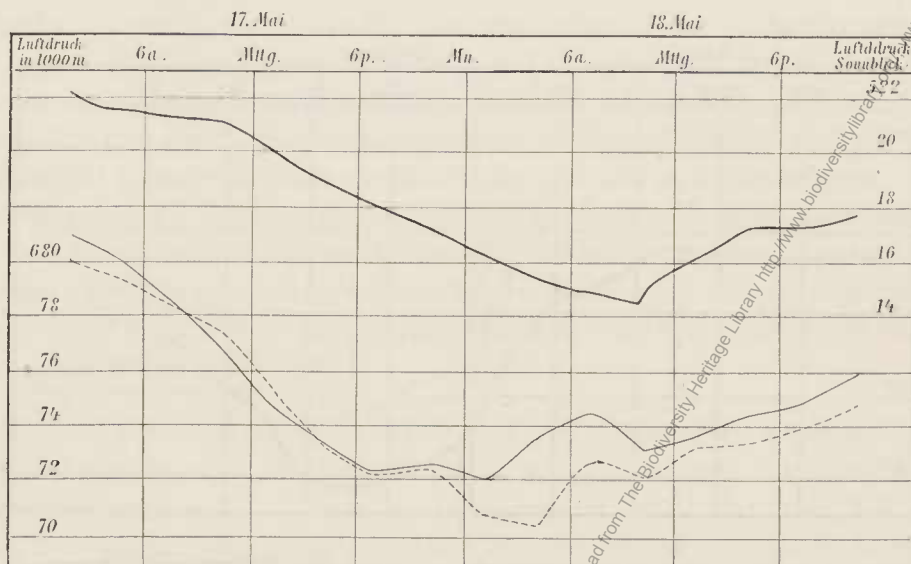


Gang der Temperatur auf dem Sonnblick und der Mitteltemperatur der Luftsäulen auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

————— Sonnblick      - - - - - Nordseite      ······ Südseite.

Höhe; Föhnerscheinungen im nördlichen Tale (um 12<sup>h</sup> Mittag 18.5° Differenz zwischen Sonnblick und Bueheben; um 2<sup>p</sup> in Bueheben S<sub>2</sub>, 38<sup>0</sup>/<sub>0</sub>). Nach 7<sup>p</sup> beginnt im Tale rasche Abkühlung mit Regen und

Fig. 24.



Gang des Luftdruckes auf dem Sonnblick (3106 m) und in 1000 m Höhe auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

————— Sonnblick      - - - - - Nordseite      ······· Südseite.

Schneefall. Um 3<sup>a</sup> (18. Mai), um 8<sup>h</sup> später als im Tale, beginnt die Abkühlung auf dem Sonnblick. Die Abkühlung auf dem Gipfel beträgt 8°, in Bueheben 13.5°, in der nördlichen Luftsäule 9°.

Eine Stunde später als auf dem Sonnblick tritt rasche Abkühlung in Döllach ein. Die Abkühlung beträgt hier nur 8°, in der südlichen Luftsäule 9°. Um 2<sup>p</sup> (18. Mai) in Döllach N<sub>3</sub> und 25<sup>0</sup>/<sub>0</sub> relative Feuchtigkeit, die Temperaturdifferenz Sonnblick-Döllach beträgt in den Mittagstunden 19—20°. Döllach erscheint wärmer als am Vortage. Rasche Erwärmung auf dem Gipfel und in den beiden Luftsäulen folgt (bei steigendem Drucke) nach bei fast völligem Aufklaren. Die Taltemperaturen sind dabei abends sehr tief.

Im Luftdruckgange der Stationen ist nur der relativ starke Anstieg erwähnenswert, der lange nach erfolgtem Kälteeinbruche bei erneuter Erwärmung eintritt.

Auf Zugspitze und Säntis beginnt Abkühlung um 12<sup>h</sup> früher, auf dem Obir um 3<sup>h</sup> später als auf dem Sonnblick. Wie in früheren Fällen kann für 9<sup>p</sup> (17. Mai) eine keilförmige Lagerung der kalten Luft auf der Nordseite festgestellt werden.

Riva und Lugano verzeichnen am 18. Mai zeitweise nördliche Winde und höhere Temperatur als am Vortage, verbunden mit gänzlicher Ausdehnung und geringer relativer Feuchtigkeit.

Ich schließe einen ähnlichen Fall an.

### Kälteeinbruch vom 23.—24. Februar 1903.

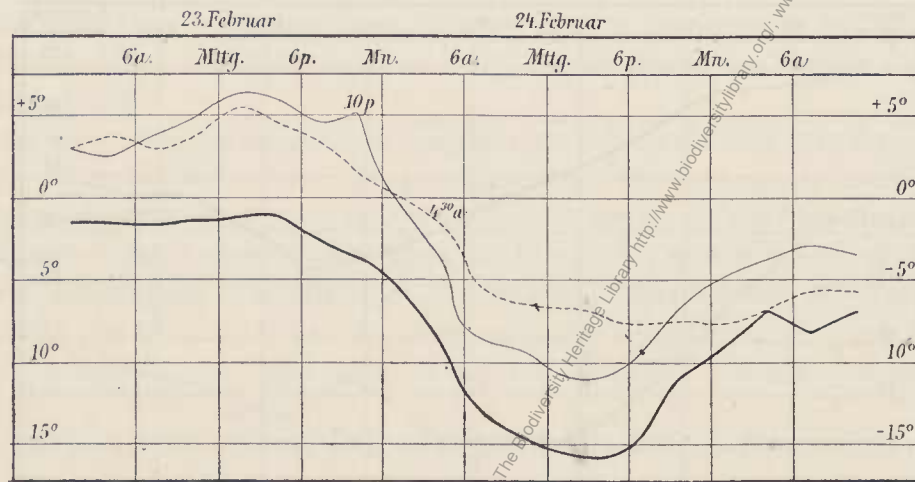
Wetterlage: 23. Februar. Hoher Druck im Süden des Kontinentes. Die Alpen am Rande des Hochdruckgebietes.

24. Februar. Keilförmige Ausbuchtung der Isobaren am Nordabhange der Alpen auf der Rückseite einer Depression.

25. Februar. Die Alpen nahe dem Rande eines im Südosten des Kontinentes lagernden Hochdruckgebietes.

Dem Kälteeinbruch geht Föhn auf der Nordseite voraus (Buchebeben 23. Februar 2p: SW<sub>3</sub>, 32<sup>0</sup>/<sub>0</sub>; 9p: S<sub>5</sub>, 39<sup>0</sup>/<sub>0</sub>). Nach 9p beginnt im nördlichen Tale rasche Abkühlung mit Schneefall. Auf dem Sonnblick

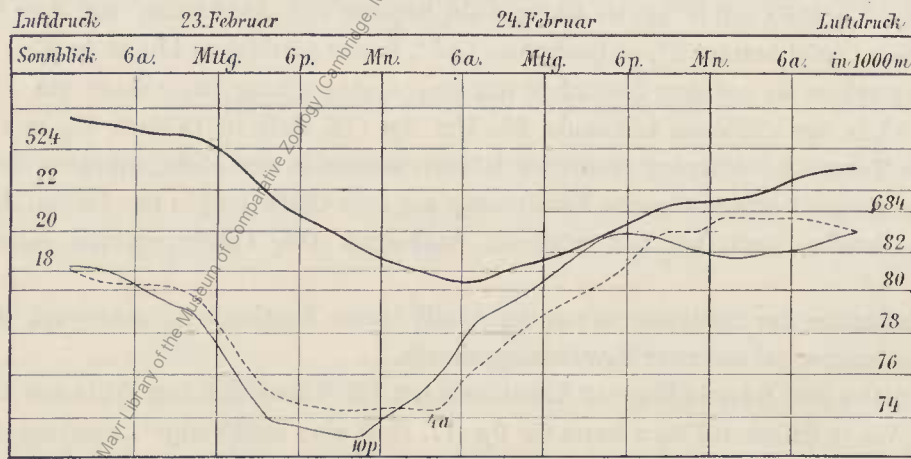
Fig. 25.



Gang der Temperatur auf dem Sonnblick und der Mitteltemperatur der Luftsäulen auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

———— Sonnblick      - - - - - Nordseite      - - - - - Südseite.

Fig. 26.



Gang der Temperatur auf dem Sonnblick (3106 m) und in 1000 m Höhe auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

———— Sonnblick      - - - - - Nordseite      - - - - - Südseite.

flaut WSW-Sturm ab, geht um Mitternacht in W, um 2a (24. Februar) in N über. Gleichzeitig beginnt rasche Abkühlung vier Stunden später als im Tale.

Döllach ist vor dem Kälteeinbruch bei Föhn auf der Nordseite kälter als Buchebeben. Starke Abkühlung in der südlichen Luftsäule tritt ein, nachdem die kalte Luft den Sonnblick erreicht hat. Die Südsäule bleibt jedoch um 3° wärmer als die Nordsäule. Der Temperaturabnahme in der Südsäule entspricht im Tale eine rasche, wenn auch nicht sehr starke Erwärmung. Die kalte Luft kommt in diesem Falle als Föhn bereits in 1000 m Höhe auf der Südseite an (Döllach 24. Februar 7a: N<sub>2</sub>, 62<sup>0</sup>/<sub>0</sub>; 2p: N<sub>4</sub>, 39<sup>0</sup>/<sub>0</sub> bei 20° Differenz Sonnblick-Döllach).

Bei allseitigem vollständigen Aufklaren sinkt dann am Abend des 24. Februar die Temperatur in den Tälern sehr stark durch Ausstrahlung, während auf dem Sonnblick rasche Erwärmung folgt. Die

Erwärmung dringt trotz der starken Abkühlung in Bucheben tief in das nördliche Tal hinab, weniger tief in das südliche, wie aus den Mitteltemperaturen der Luftsäulen ersichtlich ist. Sonnblick ist in den Morgenstunden des 25. Februar wärmer als Bucheben, doch muß angenommen werden, daß die Abkühlung im Tale sich nur auf eine seichte Schicht beschränkt.

Bemerkenswert ist der Luftdruckgang. Vor und während des Kälteeinbruches finden wir das gewohnte Bild: zuerst Fall, nach Abkühlung Anstieg im Tale; Übergang des höheren Druckes auf die Südseite. Die starke Erwärmung auf dem Sonnblick erfolgt bei Druckanstieg. Auf der Südseite folgt der Druck dem Gange auf dem Gipfel; die Erwärmung reicht hier nicht tief hinab. Auf der Nordseite jedoch, wo die Erwärmung tief hinabgreift, finden wir gleichzeitig eine geringe Druckabnahme.

Die ganze sehr starke Abkühlung war nur von kurzer Dauer und hatte mehr den Charakter einer Schwankung, einer Unterbrechung der antizyklonalen Wetterlage des Vortages und Folgetages. Die Kälteperiode war auf dem Sonnblick von kürzerer Dauer gewesen, d. h. die der Abkühlung nachfolgende Erwärmung hatte in der Höhe früher begonnen. Die kalte Luft hatte sich zuerst im nördlichen Tale ausgebreitet, die warme Luft früher in der Höhe.

Schmittenhöhe 1968 *m*: Ist um 2 *p* (23. Februar) sehr warm. Temperatur gleich hoch wie die berechnete Mitteltemperatur der Nordsäule um diese Zeit. Bis 9 *p* ist schon bedeutende Abkühlung eingetreten. (Temperatur auf der Schmittenhöhe viel niedriger als die berechnete Mitteltemperatur.) Die Abkühlung hält an während des 24. Februar, geht in der Nacht vom 24.—25. Februar in starke Erwärmung über. Doch scheint die Erwärmung verzögert gegenüber dem Sonnblick. Denn um 9 *p* (24. Februar) verzeichnen Schmittenhöhe und Sonnblick gleiche Temperatur.

Zugspitze 2964 *m*: Die Abkühlung tritt um 5<sup>h</sup> früher ein als auf dem Sonnblick. Die nachfolgende Erwärmung beginnt früher als auf dem Sonnblick.

Säntis 2500 *m*: Rasche Abkühlung beginnt um 6<sup>h</sup> früher als auf der Zugspitze, um 11<sup>h</sup> früher als auf dem Sonnblick; Säntis ist um 9 *p* (23. Februar) kälter als die genannten viel höheren Berge. Die nachfolgende Erwärmung beginnt früher, um 9 *p* (24. Februar) ist Säntis um 7° wärmer als Zugspitze und Sonnblick.

Obir 2044 *m*: Rasche Abkühlung beginnt um 6<sup>h</sup> später als auf dem Sonnblick.

Riva 90 *m*, Lugano 275 *m*: Keine Temperaturänderung am 24. Februar. Während in Riva nur vollständige Ausweitung eintritt, verzeichnet Lugano nördliche Winde bei großer Trockenheit. (24. Februar 2 *p*: NE<sub>2</sub>, 20<sup>0</sup>/<sub>0</sub>).

Hiebei ist zu bedenken, daß in 2000 *m* auf der Südseite (Obir) die Abkühlung noch sehr stark war, während zirka 1800 *m* tiefer ein Temperatureffekt überhaupt nicht mehr wahrzunehmen ist.

In den Fällen, wo auf den Einbruch kalter Luft weitere starke Temperaturniedrigung in den Tälern infolge Ausstrahlung folgt, soll ein Vergleich zwischen dem Betrag der Abkühlung oben und unten nicht angestellt werden. Ich erwähne nur, daß von 2 *p* (21. Februar) bis Mitternacht des 24. Februar die Abkühlung im nördlichen Tale 22° beträgt.

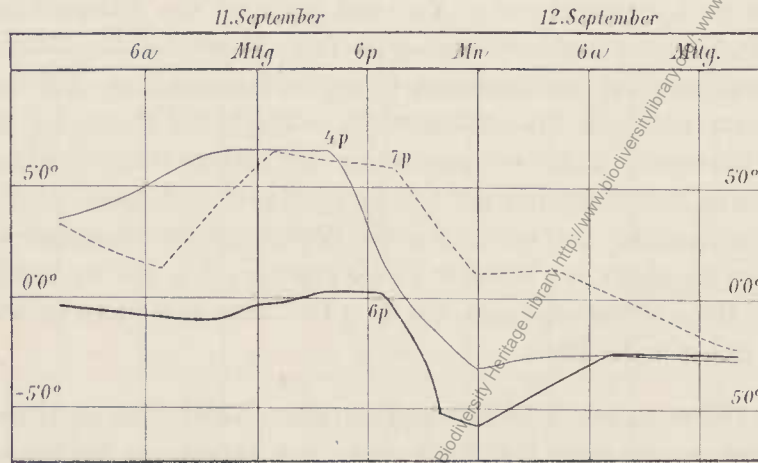
Die gestörte Temperaturschichtung, die dem Kälteeinbruche nachfolgt, kann in Zusammenhang gebracht werden mit absteigenden Luftströmen, die den Gipfel erwärmen, während das Tal durch Ausstrahlung abkühlt. Diese Erklärung trifft in dem nachfolgenden Falle nicht zu trotz der ähnlichen Temperaturverhältnisse.

### Kälteeinbruch vom 11.—12. September 1903.

Dem Kälteeinbruch geht Föhn auf der Nordseite voraus; in Bucheben am 11. September um 2 *p* SW<sub>0</sub>, 38<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, 16—17° Differenz zwischen Sonnblick und Tal. Bald nach 2 *p* folgt rasche Abkühlung, die

den Sonnblick um 7 p erreicht, mit Windwechsel. Auf dem Sonnblick ist die Abkühlung nicht von langer Dauer. Um 7 a (12. September) weht auf dem Sonnblick bereits wieder leichter SSW (bei Schneefall), ver-

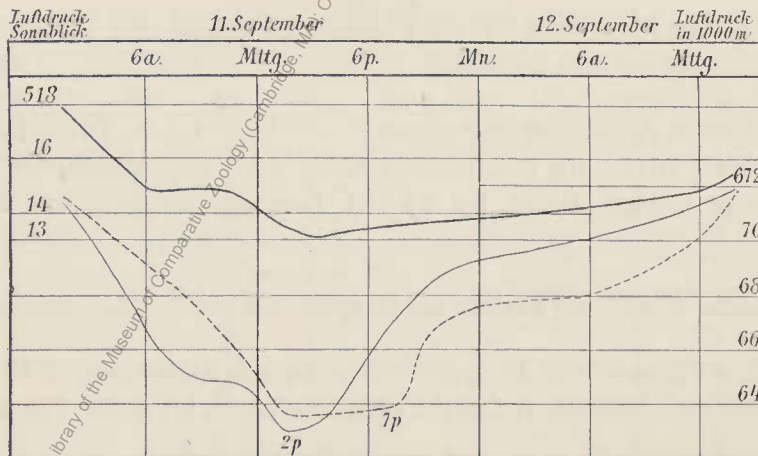
Fig. 27.



Gang der Temperatur auf dem Sonnblick und der Mitteltemperatur der Luftsäulen auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

— Sonnblick      - - - - - Nordseite      ····· Südseite.

Fig. 28.



Gang des Luftdruckes auf dem Sonnblick (3106 m) und in 1000 m Höhe auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

— Sonnblick      - - - - - Nordseite      ····· Südseite.

bunden mit Erwärmung in der Höhe bei konstanter langsamer Abkühlung im Tale. Die Temperaturdifferenz Sonnblick-Buchebe beträgt um 7 a (12. September) nur 4.3°, die Mitteltemperatur der Nordsäule ist gleich der Sonnblicktemperatur und sinkt im Verlaufe des 12. September sogar unter dieselbe.

Die tiefe Temperatur im Tale kann nicht auf Ausstrahlung zurückgeführt werden, da im Tale Regen und Schneefall herrscht, die Erwärmung in der Höhe nicht auf absteigende Luftströme, da es auf dem Sonnblick schneit. Da die Schmittenhöhe um 7 a (12. September) kälter als der um 1100 m höhere Sonnblick ist, muß geschlossen werden, daß auf dem Sonnblick der kalten kurzdauernden Nordströmung eine warme Südströmung folgte, die aber nicht tief in das nördliche Tal hinabreicht. Während der Sonnblick am 12. September südwestliche Winde verzeichnet, notiert Schmittenhöhe tagsüber nordwestliche. Von der durch Ausstrahlung bedingten Temperaturumkehr unterscheidet sich die skizzierte Temperaturschichtung wesentlich: In der ganzen nördlichen Luftsäule herrscht Kondensation; am oberen Ende süd-

licher Wind, von der Basis bis weit über die Mitte hinauf nördliche Winde; in jeder der beiden übereinander fließenden Luftströmungen Temperaturabnahme mit der Höhe.

Auf der Südseite ist der Kälteeinbruch durch ein um 8 p des 11. September niedergehendes Gewitter, durch langsame Abkühlung in Döllach, durch Sinken der Mitteltemperatur der Luftsäule angedeutet. Die Temperaturdifferenz Sonnblick-Döllach erreicht nie den Föhnbetrag, die Feuchtigkeit bleibt hoch. Die kalte Luft der Nordseite erreicht nicht den Boden des südlichen Tales. Döllach bleibt wärmer als Bucheben, die südliche Säule wärmer als die nördliche. Die warme Luftströmung, die auf dem Sonnblick am Morgen des 12. September eintritt, reicht nicht weit hinab in das südliche Tal. Die Südsäule wird um diese Zeit sogar kälter.

Zugspitze 2964 m: Nach SW-Sturm um 7 a (11. September) begann die Abkühlung wesentlich früher als auf dem Sonnblick. Um 9 p (11. September) und 7 a (12. September) ist Zugspitze kälter als Sonnblick. Die Abkühlung ist von längerer Dauer als auf dem Sonnblick, doch folgt rasche Erwärmung mit Südostwind nach.

Säntis 2500 m: Rasche Abkühlung beginnt um 7 a (11. September), 12<sup>h</sup> früher als auf dem Sonnblick. Die nachfolgende Erwärmung tritt später ein als auf dem Sonnblick. Um 7 a (12. September) ist Säntis kälter als der um 600 m höhere Tauerngipfel.

St. Gotthard 2100 m: Die Abkühlung beginnt später als auf dem Säntis. Um 2 p (11. September) ist St. Gotthard um 9·5° wärmer als Säntis.

Obir 2044 m: Auf dem Obir ist die Abkühlung nur durch eine kleine Stufe um 6 a (12. September), 10<sup>h</sup> später als auf dem Sonnblick, markiert.

Riva 90 m und Lugano 275 m: Die Temperaturen erfahren keine Änderung. In Lugano sind niedrige Werte der relativen Feuchtigkeit verzeichnet.

Luftdruckgang: Auf dem Sonnblick zuerst Fall bei Föhn auf der Nordseite. Nach Eintritt der Abkühlung Anstieg, der noch andauert, nachdem erneut rasche Erwärmung beginnt. In den Tälern zuerst rascher Fall, höherer Druck auf der Südseite. Nach dem Kälteeinbruch Anstieg bei höherem Druck auf der Nordseite.

Eine ähnliche gestörte Temperaturschichtung, wie sie in diesem Falle dem Kälteeinbruche nachfolgt, geht dem nächsten Falle voraus.

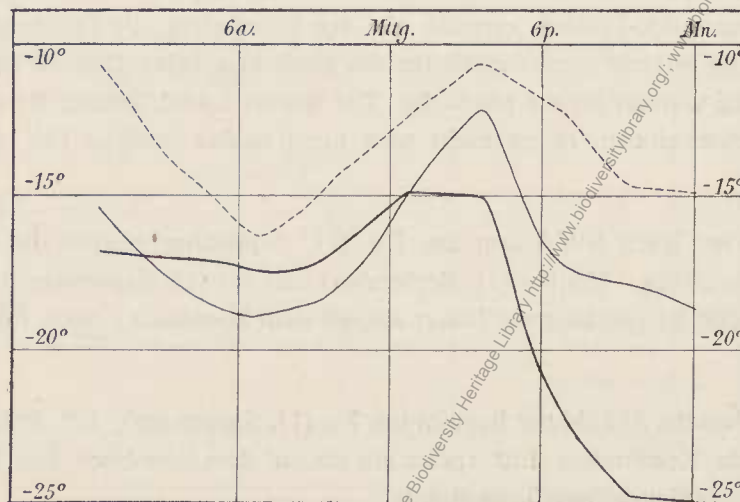
### Kälteeinbruch am 28. März 1901.

Am Morgen des 28. März finden wir eine ungemein stabile Temperaturschichtung in der nördlichen Luftsäule. Die berechnete Mitteltemperatur ist niedriger als die Sonnblicktemperatur. Um 7 a (28. März) finden wir folgende Schichtung auf der Nordseite:

	Temp.	Wind
Salzburg 427 m . . . .	— 4·8	W 2
Zell am See 768 m . . . .	— 5·2	S 1
Bucheoben 1200 m . . . .	— 9·6	W 1
Schmittenhöhe m 1968 . .	— 15·4	NW 3
Sonnblick 3106 m . . . .	— 17·4	SW 3

Hiezu ist folgendes zu bemerken. Der südliche Wind auf dem Sonnblick hat erst um 1 a als ESE<sub>3</sub> begonnen. Am Vortage herrschten (bei einem Keil hohen Druckes im Norden der Alpen) durchwegs

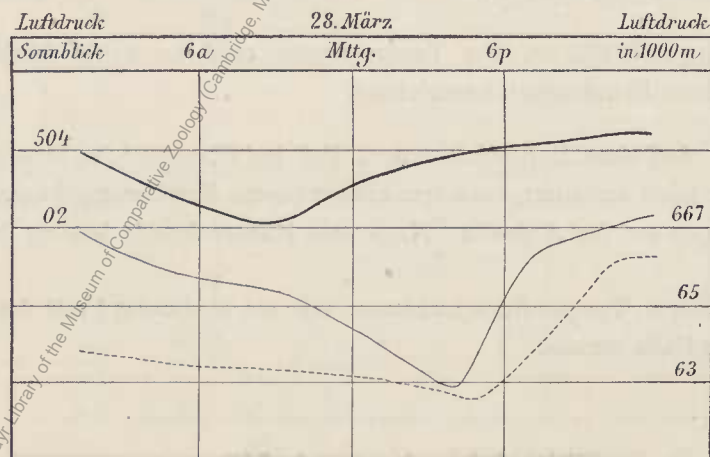
Fig. 29.



Gang der Temperatur auf dem Sonnblick und der Mitteltemperatur der Luftsäulen auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

———— Sonnblick      - - - - - Nordseite      . . . . . Südseite.

Fig. 30.



Gang des Luftdruckes auf dem Sonnblick (3106 m) und in 1000 m Höhe auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

———— Sonnblick      - - - - - Nordseite      . . . . . Südseite.

starke nordöstliche Winde mit Erwärmung in der Höhe, Abkühlung im Tale. In der Nacht vom 27.—28. März erfolgte in der Höhe geringe Abkühlung, mit Beginn des Südwindes erneut Erwärmung. Die Erwärmung reicht auf keinen Fall tief hinab, wie aus Schmittenhöhe und der Mitteltemperatur der Nordsäule geschlossen werden kann. Wahrscheinlich ist die Temperatur knapp unter Sonnblickhöhe viel tiefer als auf dem Gipfel. Streng bewiesen kann diese Annahme nicht werden, aber ich sehe keine andere Erklärung für die tiefe Mitteltemperatur der Nordsäule. (Rechnet man von Schmittenhöhe aus mit dem Temperaturgradienten zwischen Bucheben und Schmittenhöhe die Temperatur in 3106 m, so erhält man  $-23^{\circ}$ . Beobachtet wurden  $-17^{\circ}$ . Obige Annahme, daß in 3100 m Höhe eine warme Luftströmung eingesetzt hat, die nicht weit in die Tiefe reicht, ist wahrscheinlich.)



Die warme Strömung dringt dann rasch in die Tiefe, die Luftsäule wird rasch warm; bis um 2p tritt im Tale Erwärmung von 12° ein bei SW<sub>1</sub> und 38%, Differenz Sonnblick-Döllach 16·4°. Nach 3p folgt rasche Abkühlung im Tale und fast gleichzeitig auf dem Sonnblick. Die Abkühlung ist oben und unten von gleichem Betrage (11·5°). Während aber im Tale die Temperatur um 12p nicht tiefer liegt als um 1a des gleichen Tages, erscheint Sonnblick um 7° kälter. Im Tale kommt wegen der vorher bestandenen gestörten Schichtung die Abkühlung nicht recht zum Ausdruck. Die Mitteltemperatur der Nordsäule ist gleich der am Morgen beobachteten.

Döllach ist am Morgen des 28. März zwar erheblich wärmer als Bucheben, doch ist auch in der Südsäule die Lagerung sehr stabil. Um Mittag folgt ebenfalls starke Erwärmung, der Kälteeinbruch erfolgt wenig später als auf dem Sonnblick unter boraartigen Erscheinungen. Um 9p N<sub>5</sub>, 54%, 20° Differenz zwischen Sonnblick und Döllach. Döllach bleibt wärmer als Bucheben, die Südsäule wärmer als die Nordsäule. Die südliche Luftsäule erscheint sogar nach dem Kälteeinbruch wärmer als vorher.

Luftdruckgang: Der Luftdruckgang weicht etwas ab von dem Gange in früheren Fällen. Da schon vor dem Kälteeinbruch die Nordsäule viel kälter ist als die Südsäule, ist höherer Druck auf der Nordseite. Bei Erwärmung während des 28. März fällt der Druck rasch in Bucheben, schwach in Döllach. Nach dem Kälteeinbruch rascher Druckanstieg, stärker auf der Nordseite. Sowohl am Vortage wie am Folgetage liegen Keile relativ hohen Druckes im Norden der Alpen.

In der Höhe tritt der tiefste Druck früher ein als im Tale. Der Erwärmung auf dem Sonnblick und in den Tälern entspricht Druckanstieg auf dem Sonnblick. Eine Erklärung scheint jedoch ausgeschlossen, wenn man nur die Luftsäule zwischen Tal und Gipfel in Betracht zieht.

Zugspitze 2964 m: Um 7a kälter als Sonnblick bei SW<sub>4</sub>. Um 2p ist bereits NW<sub>5</sub> eingetreten, geringe Abkühlung folgt nach. Die Abkühlung beträgt auf der Zugspitze nur 3·5° gegenüber 10° auf dem Sonnblick. Säntis geht analog mit Zugspitze. Die Erwärmung, die am 28. März auf dem Sonnblick eingetreten war, erreichte weder Zugspitze noch Säntis. Deshalb ist die Abkühlung auf dem Sonnblick viel stärker. Auf dem Obir ist die Schwankung nicht nachzuweisen.

Zugspitze 2p	—19·6°	9p	—22·5°
Sonnblick	—14·4		—24·5

Lugano 275 m: verzeichnet vom 27.—29. März starken Nordföhn ohne starke Erwärmung. Dies ist verständlich, wenn wir bedenken, daß am 27. und 29. März Keile hohen Druckes im Norden der Alpen lagen, die Schwankung am 28. März jedoch nur im Sonnblickgebiete auftrat. Die Terminbeobachtungen von Lugano sind:

	Temp.			Relat. Feucht.			Wind		
	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>
27. März	4·0	7·8	2·8	22	13	23	N 2	N 2	N 2
28. „	0·8	8·0	1·6	22	13	18	N 0	SE 1	N 2
29. „	0·8	6·2	0·0	18	14	47	N 2	N 2	N 0

Riva verzeichnet nur am 29. März große Trockenheit.

Aus den letzten Fällen geht deutlich hervor, in welchem engen Zusammenhange rasche Erwärmungen und rasche Abkühlungen auf einem Berggipfel stehen; der Betrag der Abkühlung erscheint bedingt durch den Betrag der vorhergegangenen Erwärmung. Bei der Verfolgung der einzelnen Kälteeinbrüche mußte notwendigerweise, wenn auch nur flüchtig, der jeweilige Anfangs- und Endzustand

skizziert werden. Die Hauptaufgabe aber blieb die Beschreibung der Abkühlungen. In dem folgenden, dem letzten Falle, wird von diesem Gebrauch abgewichen. Wir betrachten fünf Tage, in welchen wir zwar zwei rasche Abkühlungen konstatieren können, aber am bemerkenswertesten ist eine ungemein starke Erwärmung, die wir aus zwei Gründen des näheren verfolgen: Erstlich scheint es erwünscht, in einer Arbeit, die zum guten Teile von Fallwinderscheinungen auf der Südseite des Gebirges handelt, einen typischen Fall von Nordföhn in Döllach anzuführen. Zweitens soll untersucht werden, wie sich die Druckverteilung im Alpengebiete gestaltet, wenn mit nordwestlichen Winden Erwärmung der Luftsäulen eintritt.

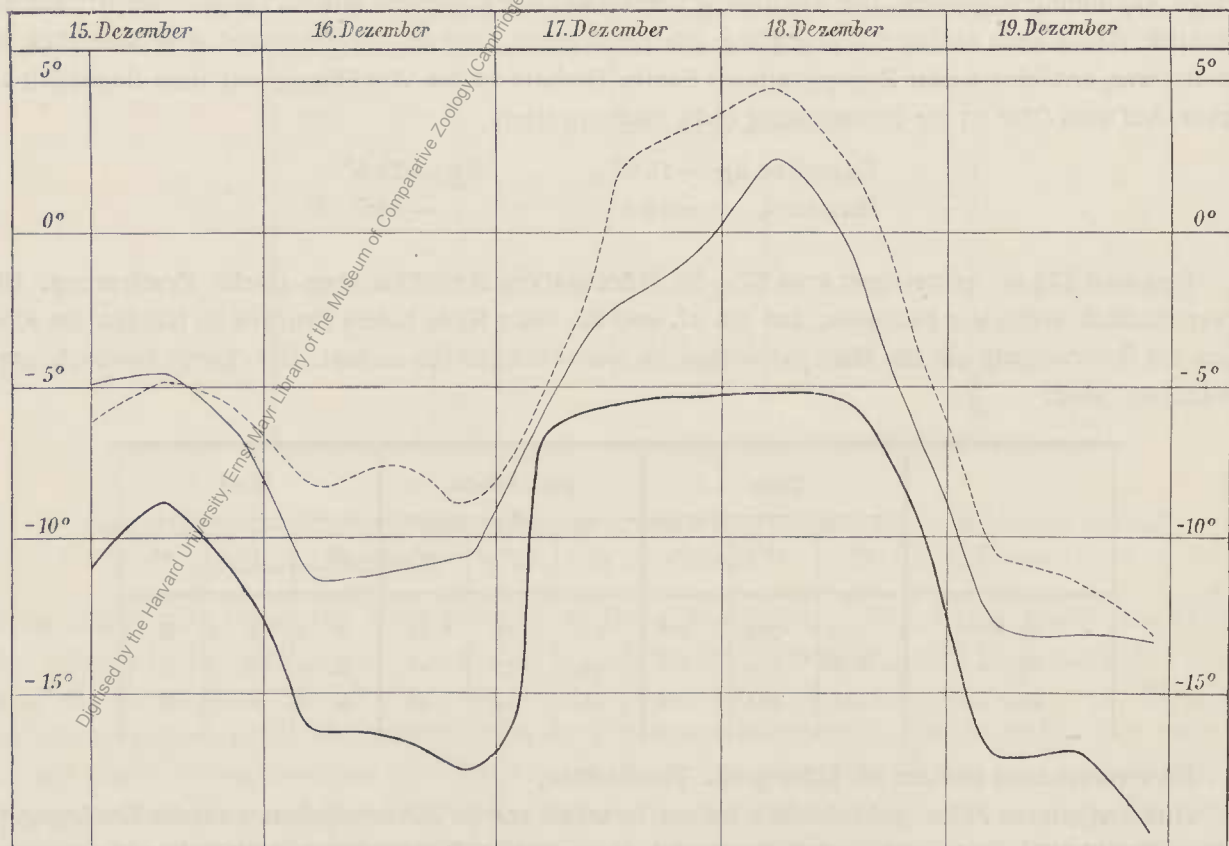
### Temperaturschwankungen vom 15.—19. Dezember 1902.

Wetterlage: 15. Dezember. Hoher Druck im Osten des Kontinentes, tiefer Druck über England und Unteritalien. Im Alpengebiete Strahlungswetter. Druckgefälle vom Nord- zum Südfuße der Alpen (Innsbruck 775.1 mm, Riva 772.2 mm). Höhen warm, wolkenlos bei variablen Winden.

16. Dezember. Die Depression im Norden Englands hat sich vertieft. Von SW zieht hoher Druck keilförmig an den Nordrand der Alpen. Verstärktes Druckgefälle vom Nord- zum Südfuße der Alpen (Innsbruck 775.4 mm, Riva 769.0 mm). In der Höhe westliche bis nordöstliche Winde.

17. Dezember. Die Depression ist ostwärts bis Skandinavien vorgerückt und erstreckt sich südwärts fast bis an die Alpen. Hoher Druck über Spanien und Südungarn; geringes Druckgefälle vom Nord- zum Südfuße der Alpen. In der Höhe (Ostalpen) starke nordwestliche Winde mit starker Erwärmung.

Fig. 31.



Gang der Temperatur auf dem Sonnblick und der Mitteltemperatur der Luftsäulen auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

————— Sonnblick

----- Nordseite

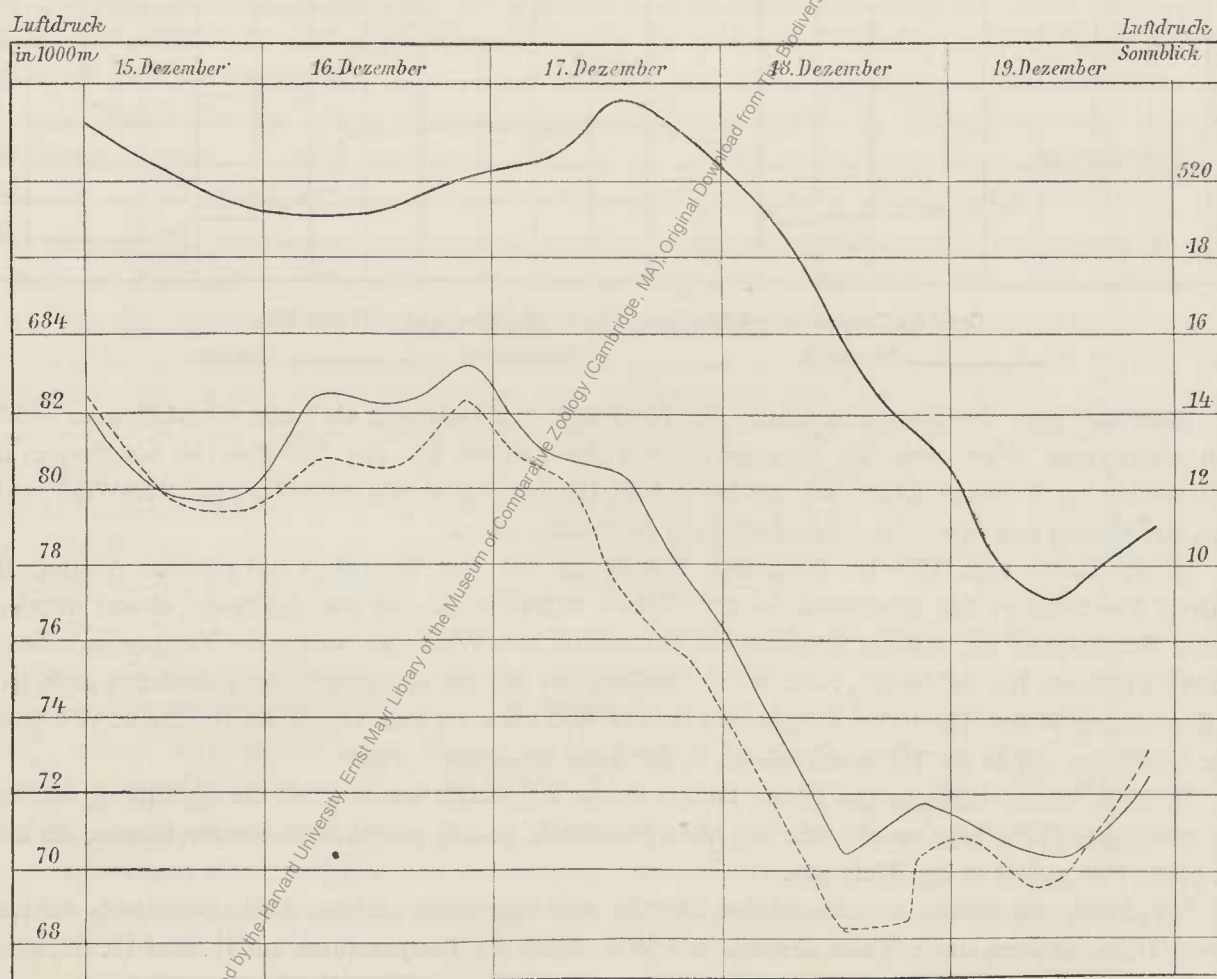
..... Südseite.

18. Dezember. Auf der Rückseite der Depression keilförmige Ausbuchtung der Isobaren fast bis an den Nordrand der Alpen. In der Höhe westliche bis nordwestliche Winde. Druck in Riva um 3 mm höher als in Innsbruck.

19. Dezember. Ein Keil relativ hohen Druckes liegt über den Alpen. Druckgefälle vom Nord zum Südfuße der Alpen (Innsbruck 763.1 mm, Riva 760.2 mm). In der Höhe westliche bis nordwestliche Winde.

Voraus sei bemerkt, daß bei Annäherung der Depressionen an die Alpen Südföhnerscheinungen auf der Nordseite der Alpen nicht auftreten. Von 11 a des 15. Dezember an verzeichnet Sonnblick ausschließlich nördliche Winde (bis Mittag des 19. Dezember N, dann NE). Die großen Temperaturschwankungen traten ohne Windwechsel ein. Der Fall verdient eine ausführliche Bearbeitung bezüglich der Wetterlage. Ich muß mich auf die Temperaturänderungen im Sonnblickgebiete beschränken. Der besseren Übersicht wegen ist auch ein Diagramm des Temperaturganges auf dem Sonnblick, in Bucheben und Döllach beigegeben.

Fig. 32.



Gang des Luftdruckes auf dem Sonnblick und in 1000 m Höhe auf der Nord- und Südseite des Gebirges.

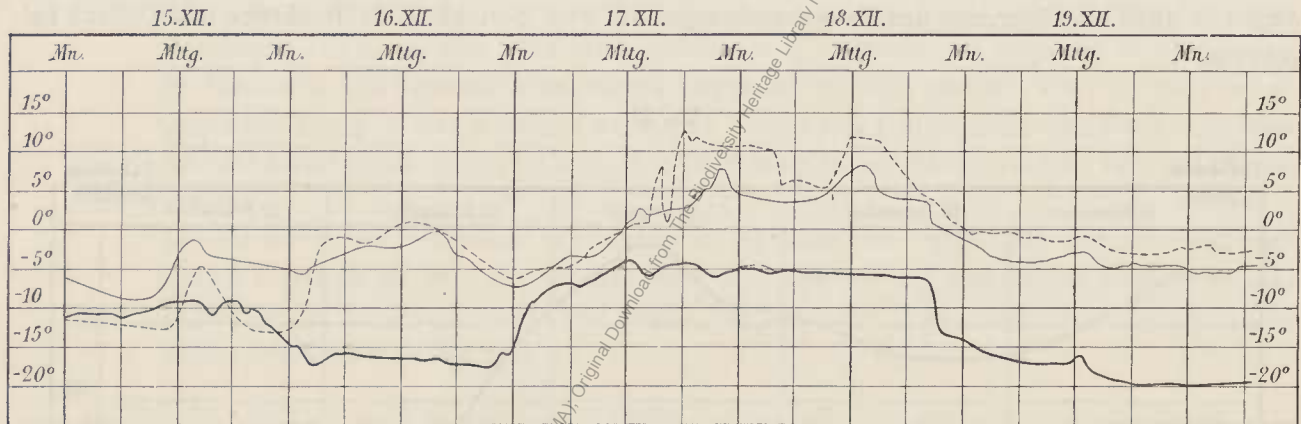
————— Sonnblick      - - - - - Nordseite      - - - - - Südseite.

Am 15. Dezember typisch antizyklonale Verhältnisse. Auf dem Sonnblick extrem niedrige Werte der relativen Feuchtigkeit (7 a: 26% bei SSW<sub>3</sub>; 2 p: 20% bei NW.; 9 p: 26% bei N<sub>3</sub>). Die Täler und weit hinaus das Alpenvorland sind sehr kalt.

Die Temperaturumkehr ist schön ersichtlich bei Gegenüberstellung der folgenden Stationen:

Nordseite				Südseite			
7 a: Salzburg . . .	427 m	—12°		Klagenfurt . . .	450 m	—10°	
Bucheben . . .	1200	— 8		Döllach . . .	1000	—12	
Schmittenhöhe	1968	— 4		Obir . . .	2044	— 8	
Sonnblick . . .	3106	—11					
Mitteltemperatur der Nordsäule (1200—3106 m) — 4·9				Mitteltemperatur der Südsäule (1000—3106 m) —6·2			

Fig. 33.



Gang der Temperatur auf dem Sonnblick, im nördlichen und südlichen Tale.

———— Sonnblick      ———— Nordseite      - - - - - Südseite.

Berechnet man die Mitteltemperatur der Nordsäule mit Salzburg als Basis, so erhält man  $-5.8^\circ$ , einen niedrigeren Wert, weil die unterste Schicht die kälteste ist. Die Südsäule ist am Morgen des 15. Dezember noch etwas kälter als die Nordsäule (Döllach kälter wie Sonnblick) bei SW-Wind in der Höhe. Bei Eintritt von nördlichem Wind wird die Nordsäule kälter.

In der Nacht vom 15. auf den 16. Dezember Abkühlung auf dem Sonnblick mit raschem Anstiege der relativen Feuchtigkeit bei Nordwind, in den Tälern Erwärmung. Auf der Nordseite nimmt dabei die relative Feuchtigkeit zu, auf der Südseite, bei nordwestlichem Winde ab, wobei die Temperaturdifferenz Sonnblick-Döllach bis  $18^\circ$  steigt; Nordföhn in Döllach. Die Mitteltemperatur beider Luftsäulen sinkt trotz der Erwärmung in den Tälern bei steigendem Drucke und höherem Drucke auf der Nordseite. Wir finden einen Luftstrom, der in der Höhe abkühlend, in der Tiefe erwärmend wirkt.

In allen bisher betrachteten Fällen konnte immer festgestellt werden, daß die Abkühlung früher in dem nördlichen Tale begann als wie auf dem Sonnblick, so daß geschlossen werden konnte, die kalte Luft breite sich zuerst in der Tiefe aus.

Die Erklärung dieses Ausnahmefalles liegt in dem ungemein stabilen Anfangszustande der Luftsäulen: Höhe abnorm warm, Täler abnorm kalt. Wir stellen die Temperaturen am 15. und 16. Dezember einander gegenüber:

Nordseite.			
15. Dezember, 7 a		16. Dezember, 9 p	
3100 m	—11°		—17°
2000	— 4		—12
1200	— 8		— 6
400	—12		— 1

An Stelle des stabilen Zustandes tritt ein weniger stabiler. In der Höhe von 1200 *m* hat sich wenig geändert. Oberhalb ist Abkühlung, unterhalb Erwärmung eingetreten. Es handelt sich um einen Vorgang, der die in den Luftsäulen herrschende Temperaturumkehr ausgleicht. In den früheren Fällen haben wir gefunden: Je stabiler der Anfangszustand ist, um so geringer ist bei einem Kälteeinbruch die Abkühlung im Tale, verglichen mit jener auf dem Berge. Die Anfangslagerung kann so stabil sein, daß im Tale Erwärmung eintritt. Als Kälteeinbruch kann der Fall freilich nicht bezeichnet werden, es sei denn, wir würden nur die Luftschichten über 1200 *m* betrachten. — Ich fahre fort in der Besprechung des Falles.

Um 9 *p* (17. Dezember) beginnt starke Erwärmung auf dem Sonnblick ohne Windwechsel; 3<sup>h</sup> später beginnt langsame Erwärmung im Tale. Infolge des früheren Eintrittes der Erwärmung auf dem Sonnblick sinkt die Temperaturdifferenz Sonnblick-Tal bis 2°. Die Erwärmung dringt nur langsam in die Tiefe. Um 7 *a* (17. Dezember) sind die berechneten Mitteltemperaturen nur wenig höher als die Sonnblicktemperatur. Erst am 17. Dezember nachmittags tritt auch starke Erwärmung in den Talern selbst ein; in den Abendstunden bricht in Döllach Nordföhn aus mit rapidem Fall der relativen Feuchtigkeit. Der Nordföhn hält an bis 18. Dezember nachmittags; die Temperaturdifferenz Döllach-Sonnblick beträgt zeitweise 20°.

Bemerkenswert ist der Gang des Luftdruckes bei Beginn der Erwärmung. Auf dem Gipfel Anstieg, im Tale Fall, obwohl im Tale selbst Erwärmung erst viel später nachfolgt. Vom Mittag des 17. Dezember an rascher Fall unten und oben.

Am Abend des 18. tritt rasche Abkühlung ohne Windwechsel ein. Die Südseite bleibt unter Fallwindeinfluß wärmer. Nach Beginn der Abkühlung tritt im Tale Druckanstieg ein mit Nordsturm auf der Nordseite. Auf dem Gipfel tritt Drucksteigerung ein ohne Beziehung zum Beginne der Abkühlung.

Da auch bei warmen Nordwinden die Südsäule durch Kompression wärmer ist als die Nordseite, entsteht ein Gradient vom Nord- zum Südfuß der Alpen, der in den Wetterkarten bei Reduktion der Werte auf das Meeresniveau zum Ausdruck kommt. Die zum Teil starken Gradienten sind nicht wirksam, weil sie nur entstehen durch den Alpenkamm selbst, der den Ausgleich bis in große Höhen hinauf verhindert, worauf Hann längst hingewiesen hat. Diese fiktiven Gradienten sind erzeugt durch die Kompression der auf der Leeseite absteigenden Luft. Zumeist ist ihre Entstehung verbunden mit einer Abkühlung der ganzen Luftsäulen. Notwendig ist dies nicht, wie soeben gezeigt wurde, aber es ist der weitaus häufigere Fall bei Keilen hohen Druckes im Norden der Alpen. (Es würde sich verlohnen, die Keile hohen Druckes am Südrande der Alpen zu untersuchen, bei Föhn auf der Nordseite. Sie scheinen häufiger mit Erwärmungen der beiderseitigen Luftsäulen verbunden zu sein.)

Welche Kraft jedoch eine warme Luftströmung veranlaßt, durch potentiell viel kältere Luftschichten sich bis zum Boden des südlichen Tales hinunterzuarbeiten, davon habe ich keine bestimmte Vorstellung. Ein Fallen der warmen Luft infolge eines labilen Zustandes, wie es bei den Kälteeinbrüchen meistens der Fall zu sein scheint, ist ausgeschlossen. Wegen des langsamen Tieferrückens der warmen Strömungen kann vermutet werden, daß die kalten, tieferliegenden Schichten allmählich durch Mischung erwärmt werden.

Die Temperaturschwankungen in der Periode von 15.—19. Dezember 1902 zeigen nicht nur sehr schön, wie starke Erwärmungen und Abkühlungen einander ablösen, sondern beweisen auch, wie verschieden temperierte Luftmassen innerhalb kurzer Zeit durch Wind gleicher Richtung über die Alpen transportiert werden können; ferner auch, wie kompliziert sich die Verhältnisse gestalten, wenn ein komplizierter Anfangszustand betrachtet wird.

Ich schließe hiemit die Besprechung der einzelnen Fälle und versuche, einen Überblick über die gewonnenen Ergebnisse zusammenzustellen.

## Übersicht.

Die Untersuchung aller in den Jahren 1901—1903 auf dem Sonnblick beobachteten, rasch verlaufenden und intensiven Temperaturerniedrigungen lieferte folgende Ergebnisse:

1. Alle starken Abkühlungen auf dem Sonnblick traten mit nördlichen Winden ein (Ausnahmen wurden nicht gefunden; die Möglichkeit von Ausnahmen soll nicht bestritten werden).
2. Fast alle starken Abkühlungen lassen sich in Zusammenhang bringen mit Vorgängen auf der Rückseite eines im Norden der Alpen ostwärts ziehenden Gebietes niedrigen Luftdruckes.

Während bei Annäherung einer Depression an die Alpen Föhn auf der Nordseite des Gebirges auftritt mit starker Erwärmung der nördlichen Luftsäule und fallendem Drucke, strömen auf der Rückseite kalte nördliche Winde ein. Es tritt Abkühlung bis in große Höhen bei steigendem Drucke im Tale ein.

### Vorgänge auf der Nordseite und auf dem Sonnblick.

3. Die Abkühlung beginnt im Sonnblickgebiete immer zuerst im nördlichen Tale mit Eintritt nördlicher Winde, Erhöhung der relativen Feuchtigkeit und zumeist auch mit Niederschlägen. (Das gleiche Resultat ergibt der Vergleich zwischen der Zugspitze und deren Fußstationen.)

Die kalte Luft breitet sich zuerst in der Tiefe des nördlichen Tales aus. In der Höhe dauert die warme, meist südliche Strömung länger an; die kalte Luft lagert sich unter die warme Strömung; im nördlichen Tale beginnt Druckanstieg. Die berechneten Mitteltemperaturen der nördlichen Luftsäule beweisen ein Anwachsen der kalten Luftmasse in die Höhe; die Mitteltemperatur der Säule nähert sich immer mehr der Temperatur auf dem Sonnblick, bis die kalte Luftmasse Sonnblickhöhe erreicht und auf dem Gipfel plötzliche Abkühlung mit Windwechsel eintritt.

4. Die Zeitdifferenzen zwischen dem Beginne rascher Abkühlung im Tale und dem Beginne der Abkühlung auf dem Gipfel sind oft sehr beträchtlich und können bis zu 12 Stunden und darüber betragen. In einigen wenigen Fällen ist die Zeitdifferenz zu gering, um mit Sicherheit konstatiert werden zu können. In keinem Falle jedoch tritt die Abkühlung früher in der Höhe ein.
5. In der Zeit, in der die Abkühlung im Tale begonnen hat, ohne daß die kalte Luftmasse bis in Sonnblickhöhe reicht, finden wir folgende Temperaturschichtung im nördlichen Tale: In der Tiefe eine kalte, aus Norden strömende Luftmasse, in der Höhe eine warme Südströmung. In jedem der beiden Luftströme nimmt die Temperatur mit der Höhe ab, wodurch sich die Schichtung von dem als »Temperaturumkehr« (Strahlungseffekt) bekannten Zustande unterscheidet. An der Grenzfläche beider Strömungen findet ein unsteter Übergang zu höherer Temperatur statt. Die obere Strömung ist in ihrer ganzen Masse potentiell wärmer als die in der Tiefe eindringende kalte Strömung.
6. Mit Eintritt der Abkühlung beginnt Druckanstieg im Tale. Der Anstieg ist in kurzer Zeit oft sehr beträchtlich (Druckstufen).

Der Eintritt der Abkühlung auf dem Sonnblick bleibt auf den Gang des Luftdruckes in der Höhe meist ohne direkten Einfluß. Druckstufen wie im Tale wurden auf dem Sonnblick nicht gefunden. Die starke Abkühlung auf dem Sonnblick verläuft gewöhnlich bei fallendem Drucke. Druckanstieg folgt meist später nach ohne nachweisbaren Zusammenhang mit dem Temperaturgange auf dem Gipfel. Der Druckanstieg ist immer viel geringer als der im Tale beobachtete.

(Alle Vorgänge, zu deren Erklärung eine Betrachtung wesentlicher höherer Luftsäulen notwendig ist, wurden aus der Diskussion ausgeschaltet, da Beobachtungen aus größerer Höhe fehlen und

Erklärungsversuche sich auf Analogieschlüsse stützen müßten, als deren Basis die in der Luftsäule unter 3000 *m* konstatierten Verhältnisse zu gelten hätten.)

7. Der Betrag der Abkühlung auf dem Gipfel im Vergleiche zu dem Betrage der Abkühlung im nördlichen Tale ist bestimmt durch zwei Faktoren: 1. durch die in der nördlichen Luftsäule herrschende Temperaturschichtung vor dem Kälteeinbruche, 2. durch die Größe des Temperaturgradienten in der eindringenden kalten Luftmasse.

Am einfachsten ist der Fall, wenn dem Kälteeinbruche indifferentes Gleichgewicht in der nördlichen Luftsäule vorausgeht. Dieser Fall ist häufig bei Föhn auf der Nordseite der Alpen. In diesem Falle ist die Abkühlung auf dem Gipfel geringer wie im Tale und kann nur dann gleich groß werden, wenn in der einströmenden kalten Luftmasse bis in 3000 *m* Höhe hinauf ebenfalls indifferentes Gleichgewicht herrscht. Letztere Bedingung ist selten erfüllt, weil die Kälteeinbrüche fast durchwegs mit Kondensationsvorgängen wenigstens in einem Teile der nördlichen Luftsäule verbunden sind.

Herrscht vor dem Kälteeinbruch in der Nordsäule stabiles Gleichgewicht, so ist der Betrag der Abkühlung im Tale, verglichen mit jenem auf dem Gipfel, abhängig von der größeren oder geringeren Stabilität des Anfangszustandes. Ist dieser sehr stabil, so daß der mittlere Temperaturgradient in der eindringenden kalten Luftmasse größer ist als der mittlere Gradient im betrachteten Anfangsstadium, so kann die Abkühlung auf dem Gipfel beträchtlicher sein als im Tale. Geht wirkliche und intensive Temperaturumkehr voraus, so kann im Tale Erwärmung, auf dem Gipfel Abkühlung eintreten, aber die Luftsäule im ganzen wird dabei kälter; im Tale trotz der Erwärmung Drucksteigerung.

8. Vergleiche mit einigen anderen nordalpinen Gipfelstationen ergaben, daß die starke Abkühlung auf dem Säntis 2500 *m* am frühesten beginnt. Zuweilen erscheint hier die kalte Luft um einen Tag früher als auf dem Sonnblick. Später als auf dem Säntis, früher als auf dem Sonnblick beginnt rasche Abkühlung auf der Zugspitze 2964 *m*. Die Zeitdifferenzen gegenüber Sonnblick halten sich zwischen 3 und 14 Stunden. Auf der Schmittenhöhe 1968 *m* beginnt die Abkühlung früher als auf dem Sonnblick, wiederholt gleichzeitig wie in der nördlichen Fußstation des Sonnblick, in Bucheben 1200 *m*.

Infolge des späteren Eintreffens der kalten Luft auf dem Sonnblick finden sich häufig große horizontale Temperaturgradienten in 3000 *m* Höhe.

Auf der Zugspitze und der Schmittenhöhe tritt mit der Abkühlung Windwechsel im gleichen Sinne wie auf dem Sonnblick ein. Auf dem Säntis hingegen kann deutlicher Windwechsel fast nie konstatiert werden. St. Gotthard verzeichnet bei Kälteeinbrüchen nördliche Winde. Aus dem Umstande, daß in einem bestimmten Zeitpunkte auf Säntis, Zugspitze, Schmittenhöhe sowie im nördlichen Talboden (Bucheben) Abkühlung bereits eingetreten ist, die den Sonnblick erst bedeutend später erreicht, kann auf eine keilförmige Lagerung der kalten Luftmasse in dem betrachteten Zeitpunkte geschlossen werden. Die Abkühlung auf der Rückseite einer ostwärts ziehenden Depression wird bewirkt durch keilförmiges Einströmen kalter Luft unter warme Strömungen. Die kalte Luft auf der Rückseite der Depressionen breitet sich zuerst in der Tiefe aus, ihr Vorwärtsschreiten geschieht wie jenes der Böen.

9. Die Erwärmung, die einigen Kälteeinbrüchen bald nachfolgt, tritt zuerst in der Höhe auf und dringt langsam in die Täler hinab, bei andauernder Abkühlung im Tale selbst, langsamer Erwärmung der Luftsäule zwischen Gipfel und Tal, Druckanstieg in der Höhe.

#### Vorgänge auf der Südseite.

10. Abkühlung im südlichen Tale tritt später ein als im nördlichen Tale, später als auf dem Sonnblick. Die Zeitdifferenz gegenüber Sonnblick ist oft sehr gering.

11. Die durch den Kälteeinbruch verursachte Abkühlung ist im Temperaturgange Döllachs häufig nicht mehr deutlich kenntlich. In allen Fällen jedoch sinkt die Mitteltemperatur der Südsäule. Da die kalte Luft auf der Südseite absteigt, ist die Abkühlung der südlichen Luftsäule infolge Kompression wesentlich geringer als auf der Nordseite.

Je nach der Temperatur, die in Döllach dem Kälteeinbruch vorausgeht, kommt es im südlichen Tale zu bora- oder föhnartigen Erscheinungen. Erstere sind häufiger bei starken Nordwinden, Aufklaren und Fall der relativen Feuchtigkeit.

12. Da mit Übertritt der kalten Luft über den Sonnblick auf die Südseite im oberen Teile der Südsäule labiles Gleichgewicht eintreten muß, steigt die kalte Luft infolge ihrer größeren Dichte so lange auf der Südseite ab, bis sie auf Luftschichten gleicher Dichte trifft. Bei sehr stabilem Anfangszustande der Südsäule gelangt die kalte Luft überhaupt nicht bis zum Grunde des südlichen Tales. Dann tritt in Döllach keine Temperaturänderung ein, die mit dem Kälteeinbruch auf der Nordseite in Zusammenhang gebracht werden könnte.

13. Mit Abkühlung der südlichen Luftsäule, gleichviel ob in Döllach selbst Abkühlung oder Erwärmung eintritt, beginnt Druckanstieg im südlichen Tale. Der Druckanstieg ist der geringeren Abkühlung der Südsäule entsprechend, weniger stark als auf der Nordseite. Hieraus resultieren bedeutende Gradienten zwischen Nord- und Südseite der Alpen im Niveau von 1000 *m*, die sich aber der zwischenliegenden Gebirgskette wegen in der Richtung des größten Gefälles nicht ausgleichen können. Für die Entstehung der auf dem Sonnblick beobachteten nördlichen Winde sind die im Niveau von 1000 *m* gefundenen Druckdifferenzen bedeutungslos.

Auf die ungleiche Mitteltemperatur der beiden Luftsäulen sind die charakteristischen keilförmigen Ausbuchtungen der Isobaren auf der Nordseite der Alpen zurückzuführen. Nur insofern sind sie eine Stauungserscheinung, als die kalte Luft erst dann auf die Südseite der Alpen übertreten kann, wenn sie auf der Nordseite bis zur mittleren Kammhöhe der Gebirge angeschwollen ist.

14. Auf dem Obir 2044 *m* tritt Abkühlung später ein als auf dem Sonnblick. Gleichzeitig erfolgt Windwechsel in gleichem Sinne wie auf dem Sonnblick. Der Betrag der Abkühlung ist meist geringer wie auf dem Sonnblick.

15. Die Stationen am Südfuße der Alpen (Riva, Lugano) verzeichnen am Tage des Übertrittes der kalten Luft auf die Südseite der Alpen niemals starke Abkühlung, oft jedoch geringe Erwärmung; in den meisten Fällen ist eine wesentliche Temperaturänderung gegenüber dem Vortage nicht zu konstatieren. Fast in allen Fällen ist Fallwindeinfluß durch rapide Abnahme der relativen Feuchtigkeit, durch Ausweitung und Eintritt nördlicher Winde deutlich nachzuweisen; steigender Druck weist jedoch darauf hin, daß die Luftsäule im ganzen kälter wird. Der Südfuß der Alpen ist durch den Alpenwall selbst von den meisten Kälteeinbrüchen geschützt infolge der bedeutenden, durch Kompression bewirkten Erwärmung der absteigenden Luft auf der Leeseite.<sup>1</sup>

Dieser Übersicht der Ergebnisse füge ich einige Bemerkungen bei.

Der Temperaturgradient von 0.96° wird häufiger auf der Südseite der Alpen gefunden (bei Kälteeinbrüchen) als bei Föhn auf der Nordseite der Alpen. Manchmal beträgt der Temperaturgradient zwischen Döllach und Sonnblick mehr als 1°, wie es auch bei Bora in Triest gefunden wurde. F. M. Exner führt diese zu großen Gradienten zurück auf eine Saugwirkung des Windes auf der Leeseite. Wenn man

<sup>1</sup> Dies trifft zu für die häufigen Kälteeinbrüche auf der Nordseite. Bei so starken Abkühlungen, wie sie in der Zeit vom 31. Dezember 1904 bis 2. Jänner 1905 in Europa eintraten, tritt natürlich auch am Südfuße der Alpen Temperatursturz ein. Aber auch in solchen Fällen ist die Abkühlung wesentlich geringer als auf der Nordseite.



bedenkt, daß die kalte Luft wohl in den meisten Fällen auf der Leeseite, dem Gehänge folgend, absteigt, nicht aber das südliche Tal überweht, so scheint eine andere Ursache als Saugwirkung näherliegend. Wenn warme Luft (vor einem Kälteeinbruche) im Tale liegt, kalte Luft aus der Höhe eindringt und sich mit der warmen Luft mischt, so resultieren für das Tal höhere Temperaturen, als der Temperaturabnahme in der absteigenden Strömung entspricht. Hiedurch fällt die Temperaturdifferenz zwischen Gipfel und Tal zu groß aus, so daß sich auch zu große Werte für die Temperaturabnahme mit der Höhe ergeben.

Entgegengesetzt ist der Vorgang zumeist bei Südföhn, der bei dem Abstiege auf der Nordseite potentiell kältere Luft trifft. (Dem Südföhn geht ja meist ein sehr stabiler Zustand auf der Nordseite voraus). Infolge der Vermischung der warmen absteigenden Luft mit der kalten, im Tale lagernden ergeben sich für die nördliche Talstation häufig niedrigere Temperaturen als theoretisch zu erwarten wäre. Deshalb wird zwischen Bucheben und Sonnblick auch bei starkem Südwinde im Tale nur selten ein Temperaturgradient gefunden, der den vollen Föhnbetrag erreicht.

Aus der ganzen Untersuchung geht ferner hervor, daß Stationen, die in Tälern liegen, nur dann brauchbar sind, wenn es sich darum handelt, die im Tale auftretenden Temperaturanomalien zu verfolgen. Soll der ungestörte Verlauf einer Erscheinung verfolgt werden, so sind niedrige Berg- oder doch wenigstens Gehängestationen besser zu gebrauchen. Liefert eine Talstation jedoch brauchbare Druckwerte, so kann man sich durch Berechnung der Mitteltemperaturen der Luftsäule Gipfel—Tal von den Störungen im Tale größtenteils unabhängig machen.

Zum Schlusse sei bemerkt, daß die in den »Innsbrucker Föhnstudien I« mit großer Vorsicht ausgesprochene Ansicht, daß das Ende des Föhns immer durch einbrechende kalte Luft verursacht wird, die sich unter die Föhnströmung lagert und diese in die Höhe drängt, sich vollauf bestätigt hat. Fast allen Kälteeinbrüchen geht Föhn auf der Nordseite des Sonnblicks voraus. Hier ergibt sich auch ungezwungen eine Erklärung für das dem Föhn meist nachfolgende schlechte Wetter. Kalte Luft schwillt am Nordabhange der Alpen in die Höhe und kühlt unter Kondensationsprozessen ab. Beide Vorgänge, Föhn auf der Vorderseite einer Depression in Alpennähe, böenartiger Einbruch kalter Luft auf der Rückseite scheinen somit eng verbunden.

Die Alpen sind nicht nur eine geologische, sondern auch eine überaus wichtige meteorologische Störungslinie. Nie wird dies deutlicher offenbar, als wenn wir eine in den Nordalpen einbrechende kalte Luftmasse auf ihrem Wege über die Alpen begleiten und feststellen, wie die Alpen zwar die nördlichen Winde nicht abhalten, aber durch Kompression die kalten Massen erwärmen und so in den meisten Fällen die südlichen Stationen vor den jähren und intensiven Temperaturschwankungen der Nordseite schützen.

## ANHANG.

Anhangsweise werden die Temperaturbeobachtungen von Sonnblick-Bucheoben und Döllach an den für die Untersuchung wichtigen Tagen mitgeteilt. Es wird genügen, den Gang von 2 zu 2 Stunden mitzuteilen. *Dn* bedeutet die Temperaturdifferenz Sonnblick-Bucheoben, *Ds* die Differenz Sonnblick-Döllach. Die Reihenfolge der einzelnen Fälle ist die gleiche wie in der vorausgehenden Diskussion.

Gang der Temperatur auf dem Sonnblick, in Bucheoben und Döllach während der Kälteeinbrüche in den Jahren 1901—1903.

	2 <sup>h</sup> a	4 <sup>h</sup> a	6 <sup>h</sup> a	8 <sup>h</sup> a	10 <sup>h</sup>	Mittag	2 <sup>h</sup> p	4 <sup>h</sup> p	6 <sup>h</sup> p	8 <sup>h</sup> p	10 <sup>h</sup> p	12 <sup>h</sup> p
16. Okt. 1902 Bucheoben . .	3·5	3·4	3·2	4·0	6·0	12·0	12·3	11·5	10·8	7·7	6·7	6·4
Sonnblick . .	— 4·5	— 4·6	— 4·8	— 4·7	— 4·5	— 4·0	— 3·4	— 3·5	— 3·8	— 4·0	— 4·3	— 4·4
Döllach . .	7·8	7·4	7·3	8·5	11·1	13·2	12·9	12·5	11·5	10·4	9·5	8·7
<i>Dn</i> . . . . .	8·0	8·6	8·0	8·7	10·5	16·0	15·7	15·0	14·6	11·7	11·0	10·8
<i>Ds</i> . . . . .	12·3	12·0	12·1	12·2	15·6	17·2	16·3	16·0	15·3	14·4	13·8	13·1
17. Okt. 1902 Bucheoben . .	6·3	6·1	5·3	1·4	1·3	1·8	2·0	0·9	0·3	0·0	— 0·3	— 0·3
Sonnblick . .	— 4·5	— 4·6	— 4·6	— 7·0	— 8·8	— 9·2	— 9·9	— 10·1	— 11·7	— 12·6	— 13·0	— 13·0
Döllach . .	8·0	8·7	7·8	6·0	4·1	4·6	4·4	4·1	3·5	3·2	3·4	3·8
<i>Dn</i> . . . . .	10·8	10·7	7·9	8·4	10·1	11·0	11·9	11·0	12·0	12·6	13·3	13·3
<i>Ds</i> . . . . .	12·5	12·6	12·4	13·0	12·9	13·8	14·3	14·2	15·2	15·8	16·4	16·8
25. Jän. 1902 Bucheoben . .	— 2·4	0·6	0·8	0·4	2·6	3·0	3·3	3·1	2·7	1·5	— 0·1	— 3·0
Sonnblick . .	— 11·0	— 12·9	— 13·8	— 13·0	— 13·0	— 12·6	— 12·1	— 12·0	— 11·8	— 11·5	— 11·3	— 12·0
Döllach . .	— 1·8	— 2·5	— 3·8	— 3·0	1·7	3·0	3·0	3·0	1·5	0·9	0·5	0·5
<i>Dn</i> . . . . .	8·6	13·5	14·6	13·4	15·6	15·6	15·4	15·1	14·5	13·0	11·2	9·0
<i>Ds</i> . . . . .	9·2	10·4	10·0	10·0	14·7	15·6	15·1	15·0	13·3	12·4	11·8	12·5
26. Jän. 1902 Bucheoben . .	— 4·2	— 5·3	— 5·8	— 6·5	— 5·2	— 2·5	— 3·6	— 4·0	— 7·8	— 7·8	— 7·5	— 8·4
Sonnblick . .	— 16·5	— 19·0	— 19·8	— 20·0	— 20·0	— 20·0	— 19·8	— 21·3	— 21·9	— 22·1	— 23·2	— 24·5
Döllach . .	— 1·0	— 2·7	— 2·9	— 3·0	— 2·4	— 0·4	0·0	— 1·0	— 4·0	— 6·0	— 6·2	— 5·2
<i>Dn</i> . . . . .	12·3	13·7	14·0	13·5	14·8	17·5	16·2	17·3	14·1	14·3	15·7	16·1
<i>Ds</i> . . . . .	15·5	16·3	16·9	17·0	17·6	19·6	19·8	20·3	17·9	16·1	17·0	19·3
10. Juli 1902 Bucheoben . .	13·1	12·4	13·0	18·0	20·0	23·0	23·5	20·5	15·0	13·1	12·0	11·1
Sonnblick . .	3·6	3·0	3·8	4·5	5·0	5·7	7·3	7·2	5·0	4·0	3·2	3·0
Döllach . .	13·6	12·4	12·5	16·9	21·4	25·0	25·8	26·8	20·7	17·2	14·9	14·2
<i>Dn</i> . . . . .	9·5	9·4	9·2	13·5	15·0	17·3	16·2	13·3	10·0	9·1	8·8	8·1
<i>Ds</i> . . . . .	10·0	9·4	8·7	12·4	16·4	19·3	18·5	19·6	14·3	13·2	11·7	11·2

	2 <sup>h</sup> a	4 <sup>h</sup> a	6 <sup>h</sup> a	8 <sup>h</sup> a	10 <sup>h</sup> a	Mittag	2 <sup>h</sup> p	4 <sup>h</sup> p	6 <sup>h</sup> p	8 <sup>h</sup> p	10 <sup>h</sup> p	12 <sup>h</sup> p
11. Juli 1902												
Bucheoben . .	10·8	11·0	7·2	7·8	11·0	10·8	11·3	11·5	10·0	7·3	8·8	8·4
Sonnblick . .	2·7	2·3	3·5	4·5	4·3	4·5	4·6	4·5	4·4	5·6	6·1	6·4
Döllach . . .	13·0	13·2	12·0	13·4	16·3	16·8	15·8	10·3	14·4	13·6	10·5	10·0
Dn . . . . .	8·1	8·7	10·7	12·3	15·3	15·3	15·9	16·0	14·4	12·9	14·9	14·8
Ds . . . . .	10·9	10·9	15·5	17·9	20·6	21·3	20·4	20·8	18·8	19·2	16·6	16·4
27. Juli 1902												
Bucheoben . .	13·1	12·7	12·1	17·0	20·0	25·0	26·3	26·6	22·0	19·0	17·8	17·3
Sonnblick . .	4·4	4·4	4·8	6·1	6·3	6·5	6·9	7·1	7·6	7·0	5·8	5·2
Döllach . . .	13·4	12·4	12·4	15·0	19·0	24·0	27·0	28·4	25·6	19·2	17·8	16·1
Dn . . . . .	8·7	8·3	7·3	10·9	13·7	18·5	19·4	18·9	14·4	12·0	12·0	12·1
Ds . . . . .	9·0	8·0	7·6	8·9	13·3	17·5	20·1	21·3	18·0	12·2	12·0	10·9
28. Juli 1902												
Bucheoben . .	11·3	10·4	9·9	11·0	11·0	11·2	11·9	11·8	11·0	10·0	9·3	8·9
Sonnblick . .	1·2	1·0	1·4	1·4	1·2	0·4	0·2	0·3	1·2	2·2	2·5	3·0
Döllach . . .	16·0	12·6	12·7	14·0	17·4	18·0	19·0	17·8	15·6	13·9	12·2	11·4
Dn . . . . .	10·1	11·4	11·3	12·4	12·2	11·6	12·1	12·1	12·2	12·2	11·8	11·9
Ds . . . . .	14·8	13·6	14·1	15·4	18·6	18·4	19·2	18·1	16·8	16·1	14·7	14·4
15. Aug. 1903												
Bucheoben . .	15·4	14·2	17·0	20·0	21·4	22·4	24·3	22·3	20·1	16·8	13·1	9·3
Sonnblick . .	2·1	2·7	2·8	3·0	6	4·4	4·6	4·4	3·8	3·2	2·3	1·8
Döllach . . .	11·9	12·1	12·6	14·7	16·4	21·1	23·0	22·2	19·8	16·6	14·7	13·6
Dn . . . . .	13·3	11·5	14·2	17·0	17·8	18·0	19·7	17·9	16·3	13·6	10·8	7·5
Ds . . . . .	9·8	9·4	9·8	11·7	12·8	16·7	18·4	17·8	16·0	13·4	12·4	11·8
16. Aug. 1903												
Bucheoben . .	7·9	6·4	4·2	5·2	9·3	12·1	13·3	13·4	11·0	9·5	8·7	7·3
Sonnblick . .	1·3	3·0	4·3	5·3	5·4	5·2	4·2	2·0	1·7	2·5	3·7	4·0
Döllach . . .	13·1	9·3	9·6	10·5	12·8	14·5	16·7	17·4	14·4	12·5	11·1	9·9
Dn . . . . .	9·2	9·4	8·5	10·5	14·7	17·3	17·5	15·4	12·7	12·0	12·4	11·3
Ds . . . . .	14·4	12·3	13·3	15·8	18·2	19·7	20·9	19·4	16·1	15·0	14·8	13·9
16. Aug. 1901												
Bucheoben . .	14·7	13·6	14·2	15·6	17·5	19·4	19·3	18·8	14·5	10·5	9·7	9·5
Sonnblick . .	3·1	0	3·0	2·9	3·1	3·0	2·9	2·8	2·2	0·2	0·5	0·5
Döllach . . .	14·0	13·6	13·9	15·0	16·0	17·5	19·0	17·3	16·3	15·1	14·0	13·6
Dn . . . . .	11·6	10·8	11·2	12·7	14·4	16·4	16·4	16·0	12·3	10·3	10·2	10·0
Ds . . . . .	10·9	10·6	10·9	12·1	12·9	14·5	16·1	14·5	14·1	14·9	14·5	14·1
27. Aug. 1901												
Bucheoben . .	9·4	7·9	5·5	4·7	3·7	6·8	7·5	7·0	7·5	4·7	3·1	2·3
Sonnblick . .	0·6	2·0	5·2	6·8	6·9	6·8	5·8	5·5	5·7	6·8	7·7	7·8
Döllach . . .	13·2	13·1	10·0	7·7	9·2	12·5	15·0	15·3	11·5	8·9	8·0	8·0
Dn . . . . .	10·0	9·9	10·7	11·5	10·6	13·6	13·3	12·5	13·2	11·5	10·8	10·1
Ds . . . . .	13·8	15·1	15·2	14·5	16·1	19·3	20·8	20·8	17·2	16·7	15·7	15·8
6. Okt. 1901												
Bucheoben . .	0·3	5·9	5·1	6·5	10·0	14·5	15·5	13·3	12·3	11·9	11·3	11·2
Sonnblick . .	4·0	4·2	4·4	4·6	4·0	3·2	3·2	3·3	3·6	3·8	3·8	3·9
Döllach . . .	6·9	6·8	6·0	5·5	7·0	13·1	14·2	13·0	12·1	12·0	11·4	11·4
Dn . . . . .	10·3	10·1	9·5	11·1	14·0	17·7	18·7	16·6	15·9	15·7	15·1	15·1
Ds . . . . .	10·9	11·0	10·4	10·1	11·0	16·3	17·4	16·3	15·7	15·8	15·2	15·3

	2 <sup>h</sup> a	4 <sup>h</sup> a	6 <sup>h</sup> a	8 <sup>h</sup> a	10 <sup>h</sup> a	Mittag	2 <sup>h</sup> p	4 <sup>h</sup> p	6 <sup>h</sup> p	8 <sup>h</sup> p	10 <sup>h</sup> p	12 <sup>h</sup> p
7. Okt. 1901												
Buchebeben . . .	11·0	2·3	2·1	2·2	2·1	6·0	6·9	5·1	3·0	1·9	0·1	— 0·1
Sonnblick . . .	— 3·9	— 7·2	— 8·4	— 9·8	— 10·1	— 9·8	— 9·8	— 10·1	— 11·1	— 11·9	— 12·1	— 12·7
Döllach . . .	10·7	8·0	5·8	5·5	6·1	8·9	10·2	8·9	5·3	2·6	1·1	0·6
Dn . . . . .	14·9	9·5	10·5	12·0	12·2	15·8	16·7	15·4	14·1	13·8	12·2	12·6
Ds . . . . .	14·6	15·2	14·2	16·3	16·2	18·7	20·2	19·2	16·4	14·5	13·2	13·3
16. April 1901												
Buchebeben . . .	4·0	4·4	1·1	2·0	1·2	— 1·3	— 2	— 1·5	— 1·1	— 2·0	— 3·1	— 4·5
Sonnblick . . .	— 8·2	— 8·3	— 8·3	— 8·2	— 7·0	— 13·5	— 15·4	— 15·8	— 15·9	— 10·1	— 10·2	— 16·6
Döllach . . .	4·9	4·2	3·5	4·1	7·9	2·7	0·2	1·0	0·7	— 0·2	— 0·5	— 0·6
Dn . . . . .	12·2	12·7	9·4	10·2	8·2	12·2	13·2	14·3	14·8	14·1	13·1	12·1
Ds . . . . .	13·1	12·5	11·8	12·3	14·9	16·2	15·6	16·8	16·6	15·9	15·7	16·0
10. April 1901												
Buchebeben . . .	8·5	5·2	5·5	6·4	12·9	11·8	11·5	11·3	4·5	1·8	0·7	0·3
Sonnblick . . .	— 4·3	— 4·1	— 3·8	— 3·5	— 3	— 3·2	— 3·2	— 3·7	— 4·2	— 9·8	— 11·0	— 11·4
Döllach . . .	6·4	5·8	6·0	7·9	11·3	11·8	12·4	9·6	8·7	6·0	3·2	3·0
Dn . . . . .	12·8	9·3	9·3	9·9	16·2	15·0	14·7	15·0	8·2	11·6	11·7	11·7
Ds . . . . .	10·7	9·9	9·8	11·4	12·6	14·0	15·6	13·3	12·9	15·8	14·2	14·4
13. Juni 1902												
Buchebeben . . .	8·0	7·2	8·0	12·0	14·9	17·0	15·0	16·0	15·5	11·5	10·6	8·7
Sonnblick . . .	— 1·4	— 1·7	— 1·6	— 1·0	— 0·2	0·0	0·0	0·0	— 0·3	— 0·9	— 1·5	— 2·0
Döllach . . .	11·1	10·9	11·1	12·1	14·8	15·6	15·3	16·1	15·3	13·4	11·9	11·0
Dn . . . . .	9·4	8·9	9·6	13·0	15·1	17·0	15·0	16·0	15·8	12·4	12·1	10·7
Ds . . . . .	12·5	12·6	12·7	13·1	15·0	15·6	15·3	16·1	15·6	14·3	13·4	13·0
14. Juni 1902												
Buchebeben . . .	9·1	8·0	7·7	6·0	4·2	3·6	4·9	4·6	3·5	3·0	3·4	3·2
Sonnblick . . .	— 2·0	— 2·4	— 2·8	— 3·8	— 6·0	— 8·0	— 9·2	— 9·2	— 9·1	— 9·5	— 9·6	— 9·6
Döllach . . .	10·4	10·8	10·7	11·1	9·2	8·2	8·0	9·0	10·8	8·8	7·0	5·1
Dn . . . . .	11·1	10·4	10·5	9·8	10·2	11·6	14·1	13·8	12·6	12·5	13·0	12·8
Ds . . . . .	12·4	13·2	13·5	14·9	15·4	16·2	17·2	18·2	19·9	18·3	16·6	14·7
2. Febr. 1901												
Buchebeben . . .	10·5	— 0·1	— 0·1	— 0·4	0·0	2·3	— 2·0	— 4·5	— 4·7	— 5·2	— 6·1	— 7·0
Sonnblick . . .	— 13·9	— 13·7	— 13·0	— 12·5	— 12·4	— 12·2	— 12·7	— 15·0	— 18·5	— 19·4	— 19·7	— 19·8
Döllach . . .	— 5·3	— 5·2	— 5·1	— 5·0	— 3·2	— 0·3	0·0	— 1·6	— 3·7	— 3·8	— 4·4	— 6·5
Dn . . . . .	14·4	13·6	12·9	12·1	12·4	14·5	10·7	10·5	13·8	14·2	13·6	12·8
Ds . . . . .	8·6	8·5	7·9	7·5	9·1	11·9	12·7	13·4	14·8	15·6	15·3	13·3
5. März 1903												
Buchebeben . . .	— 6·1	— 8·0	— 8·3	— 6·9	— 0·3	— 3·6	6·1	3·6	1·7	— 0·1	— 0·6	— 0·8
Sonnblick . . .	— 15·6	— 14·6	— 13·3	— 12·0	— 10·2	— 8·4	— 6·6	— 6·4	— 5·8	— 5·8	— 5·8	— 6·4
Döllach . . .	— 4·7	— 5·3	— 5·2	— 3·0	3·0	5·8	8·2	6·8	2·6	— 0·2	— 1·2	— 1·9
Dn . . . . .	9·5	6·6	5·0	5·1	9·9	12·0	12·7	10·0	7·5	5·7	5·2	5·6
Ds . . . . .	10·9	9·3	8·1	9·0	13·2	14·2	14·8	13·2	8·4	5·6	4·6	4·5
6. März 1903												
Buchebeben . . .	— 0·5	— 0·4	— 0·4	— 0·3	4·2	6·5	6·5	7·4	5·3	2·2	— 0·2	— 1·2
Sonnblick . . .	— 6·7	— 7·3	— 7·9	— 8·0	— 6·8	— 5·9	— 5·8	— 5·7	— 7·0	— 9·4	— 11·8	— 12·3
Döllach . . .	— 2·4	— 2·9	— 3·1	— 0·4	4·5	7·5	10·3	10·0	6·7	6·3	4·1	2·9
Dn . . . . .	6·2	6·9	7·5	7·7	10·0	12·4	12·3	13·1	12·3	11·6	11·6	11·1
Ds . . . . .	4·3	4·4	4·8	7·6	11·3	13·4	16·1	15·7	13·7	15·7	15·9	14·2

Digitised by the Ernst Mayr Library of the Museum of Comparative Zoology, Cambridge, MA. Downloaded from the Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

	2 <sup>h</sup> a	4 <sup>h</sup> a	6 <sup>h</sup> a	8 <sup>h</sup> a	10 <sup>h</sup> a	Mittag	2 <sup>h</sup> p	4 <sup>h</sup> p	6 <sup>h</sup> p	8 <sup>h</sup> p	10 <sup>h</sup> p	12 <sup>h</sup> p
7. März 1903												
Bucheoben . .	- 2·0	- 2·4	- 3·5	- 3·8	- 2·9	- 0·9	-	-	-	-	-	-
Sonnblick . .	-13·4	-14·4	-15·2	-16·8	-16·8	-17·0	-	-	-	-	-	-
Döllach . .	2·3	1·8	1·2	1·4	2·5	3·2	-	-	-	-	-	-
D <sub>n</sub> . . . . .	11·4	12·0	11·7	13·0	13·9	16·1	-	-	-	-	-	-
D <sub>s</sub> . . . . .	15·7	16·2	16·4	18·2	19·3	20·2	-	-	-	-	-	-
17. Mai 1903												
Bucheoben . .	2·1	2·7	3·4	6·4	9·9	13·5	13·5	13·1	12·0	8·0	5·9	4·9
Sonnblick . .	- 6·8	- 7·0	- 6·8	- 6·0	- 5·5	- 5·0	- 4·3	- 4·1	- 4·2	- 4·4	- 4·6	- 4·6
Döllach . .	4·3	3·8	4·4	7·6	9·9	11·7	12·0	11·2	11·3	9·3	8·2	7·6
D <sub>n</sub> . . . . .	8·9	9·7	10·2	12·4	15·4	18·5	17·8	17·2	16·2	12·4	10·5	9·5
D <sub>s</sub> . . . . .	11·1	10·8	11·2	12·0	15·4	16·7	16·3	15·9	15·4	13·7	12·8	12·2
18. Mai 1903												
Bucheoben . .	4·7	2·5	0·0	1·7	6·0	6·3	8·2	8·0	6·0	2·7	1·3	0·1
Sonnblick . .	- 4·7	- 7·0	-10·8	-11·7	-11·0	- 9·6	- 8·6	- 7·7	- 7·9	- 8·6	- 9·1	- 9·6
Döllach . .	7·4	7·0	3·9	4·1	7·8	9·3	10·4	13·0	11·0	6·7	4·2	2·8
D <sub>n</sub> . . . . .	9·4	9·5	10·8	13·4	17·0	15·9	16·8	15·7	13·9	11·3	10·4	9·7
D <sub>s</sub> . . . . .	12·1	14·0	14·7	15·8	18·8	18·9	19·0	20·7	18·9	15·3	13·3	12·4
23. Febr. 1903												
Bucheoben . .	4·1	4·4	4·7	4·4	7·6	10·5	14·2	12·9	10·7	10·3	7·0	5·6
Sonnblick . .	- 1·7	- 1·8	- 1·8	- 1·7	- 1·5	- 1·4	- 1·4	- 1·3	- 2·0	- 3·0	- 3·8	- 4·5
Döllach . .	3·1	3·0	2·2	2·8	5·5	8·6	11·8	9·2	5·6	4·3	2·2	1·4
D <sub>n</sub> . . . . .	5·8	6·2	6·5	6·4	8·5	11·9	15·6	14·2	12·7	13·3	10·8	10·1
D <sub>s</sub> . . . . .	4·8	4·8	4·0	4·5	7·0	10·0	13·2	10·5	7·6	7·3	6·0	5·9
24. Febr. 1903												
Bucheoben . .	4·7	3·0	0·3	0·5	- 0·2	- 2·2	- 1·5	- 0·4	- 2·5	- 5·5	- 6·8	- 7·7
Sonnblick . .	- 5·5	- 8·5	-11·4	-13·8	-14·7	-15·0	-15·4	-15·8	-15·9	-14·0	-10·8	- 9·8
Döllach . .	1·5	1·9	4·2	2·7	4·2	4·6	5·0	2·7	0·8	- 2·0	- 3·2	- 4·3
D <sub>n</sub> . . . . .	10·2	11·5	11·7	13·3	14·5	12·8	13·9	15·4	13·4	8·5	4·0	2·1
D <sub>s</sub> . . . . .	7·0	10·4	15·6	16·5	18·9	19·6	20·4	18·5	16·7	12·0	7·6	5·5
11. Sep. 1903												
Bucheoben . .	4·0	4·6	5·0	13·8	16·4	16·3	16·2	11·7	8·8	6·0	5·9	3·1
Sonnblick . .	- 0·4	- 0·6	- 0·8	- 0·9	- 0·6	- 0·3	0·0	0·3	- 0·3	- 2·6	- 5·3	- 6·1
Döllach . .	10·7	9·9	9·0	9·2	10·9	14·0	15·3	13·9	12·7	12·0	8·8	7·8
D <sub>n</sub> . . . . .	4·4	5·2	5·8	14·7	17·0	16·6	16·2	11·4	9·1	8·6	11·2	9·2
D <sub>s</sub> . . . . .	11·1	10·5	9·8	10·1	11·5	14·3	15·3	13·6	13·0	14·6	14·1	13·9
28. März 1901												
Bucheoben . .	9·7	-10·1	-10·2	- 8·9	- 3·5	- 1·2	2·0	- 2·0	- 7·9	- 8·4	- 9·0	- 9·6
Sonnblick . .	-16·9	-17·0	-17·2	-17·9	-17·0	-16·0	-14·4	-15·2	-20·0	-23·2	-24·8	-25·1
Döllach . .	- 5·1	- 5·3	- 5·6	- 4·7	- 2·2	- 0·4	1·8	0·4	- 4·0	- 4·7	- 4·8	- 4·8
D <sub>n</sub> . . . . .	7·2	6·9	7·0	9·0	13·5	14·8	16·4	13·2	12·1	14·8	15·8	15·5
D <sub>s</sub> . . . . .	11·8	11·7	11·6	13·2	14·8	15·6	16·2	15·6	16·0	18·5	20·0	20·3
15. Dez. 1902												
Bucheoben . .	- 6·5	- 7·2	- 8·0	- 8·0	- 6·8	- 2·4	- 2·0	- 2·6	- 3·9	- 4·7	- 5·0	- 5·0
Sonnblick . .	-10·3	-10·4	-10·7	-11·0	-10·0	- 9·2	- 8·8	-10·2	- 9·7	-10·3	-12·0	-14·0
Döllach . .	-11·0	-11·4	-12·0	12·0	-10·8	- 7·0	- 4·5	- 7·8	-10·2	-10·8	-10·5	-10·0
D <sub>n</sub> . . . . .	3·8	3·2	2·7	3·0	3·2	6·8	6·8	7·6	5·8	5·6	7·0	9·0
D <sub>s</sub> . . . . .	- 0·7	- 1·0	- 1·3	- 1·0	- 0·8	2·2	4·3	2·4	- 0·5	- 0·5	1·5	4·0

	2 <sup>h</sup> a	4 <sup>h</sup> a	6 <sup>h</sup> a	8 <sup>h</sup> a	10 <sup>h</sup> a	Mittag	2 <sup>h</sup> p	4 <sup>h</sup> p	6 <sup>h</sup> p	8 <sup>h</sup> p	10 <sup>h</sup> p	12 <sup>h</sup> p
16. Dez. 1902 Bucheben . .	- 4·9	3·1	- 3·0	- 2·7	- 2·0	- 1·5	- 0·2	- 0·8	3·7	- 5·9	- 6·9	- 7·5
Sonnblick . .	- 15·3	- 14·8	- 15·3	- 16·3	- 16·3	- 16·1	- 16·4	- 16·9	- 17·4	- 17·4	17·0	- 15·3
Döllach . .	- 9·7	- 2·0	- 0·9	- 1·2	1·0	1·9	- 1·0	- 4	- 2·0	- 5·0	- 6·5	- 7·0
D <sub>n</sub> . . . .	10·4	11·7	12·3	13·6	14·3	14·6	16·2	16·1	13·7	11·5	10·1	7·8
D <sub>s</sub> . . . .	5·6	12·8	14·4	15·2	17·3	18·0	17·4	16·5	15·4	12·4	10·5	8·3
17. Dez. 1902 Bucheben . .	- 6·0	- 4·9	- 4·1	- 4·5	- 3·0	0·2	2·0	1·9	3·0	4·0	6·0	4·7
Sonnblick . .	- 10·2	- 7·8	- 6·9	- 6·4	- 5·8	- 5·7	- 5·6	- 4·8	- 4·7	- 5·2	- 5·6	- 5·2
Döllach . .	- 5·7	- 5·3	- 5·0	- 4·0	- 0·8	0·5	2·0	8·3	10·2	11·6	11·8	12·0
D <sub>n</sub> . . . .	4·2	2·9	2·8	1·9	2·8	5·2	7·6	6·7	7·7	9·2	11·6	9·9
D <sub>s</sub> . . . .	4·5	2·5	1·9	2·4	5·0	7·2	7·6	13·1	14·9	16·8	17·4	17·2
18. Dez. 1902 Bucheben . .	3·9	3·6	3·2	3·6	5·1	7·0	7·9	5·5	3·9	0·5	- 0·5	- 1·3
Sonnblick . .	- 5·2	- 5·3	- 5·2	- 5·2	- 5·4	- 5·6	- 5·6	- 6·4	- 7·2	- 9·0	- 12·2	- 13·2
Döllach . .	12·7	9·4	9·2	7·8	8·9	13·7	13·5	11·4	7·4	4·4	2·5	2·2
D <sub>n</sub> . . . .	9·1	8·9	8·4	8·8	10·5	12·6	13·5	11·9	11·1	9·5	11·7	11·9
D <sub>s</sub> . . . .	17·9	14·7	14·4	13·0	14·3	19·3	19·1	17·8	14·6	13·4	14·7	15·4
19. Dez. 1902 Bucheben . .	- 1·1	- 2·0	- 3·3	- 3·1	- 3·3	- 2·7	—	—	—	—	—	—
Sonnblick . .	- 14·2	- 15·2	- 16·5	- 17·2	- 17·3	- 17·1	—	—	—	—	—	—
Döllach . .	1·2	0·9	0·2	0·0	0·7	1·3	—	—	—	—	—	—
D <sub>n</sub> . . . .	13·1	13·2	13·3	14·1	14·0	14·4	—	—	—	—	—	—
D <sub>s</sub> . . . .	15·4	16·1	16·7	17·2	16·6	15·8	—	—	—	—	—	—

Wien, k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.

April 1906.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Denkschriften der Akademie der Wissenschaften.Math.Natw.Kl. Frueher: Denkschr.der Kaiserlichen Akad. der Wissenschaften. Fortgesetzt: Denkschr.oest.Akad.Wiss.Mathem.Naturw.Klasse.](#)

Jahr/Year: 1907

Band/Volume: [80](#)

Autor(en)/Author(s): Ficker Heinrich von

Artikel/Article: [Transport kalter Luftmassen über die Zentralalpen. \(Mit 33 Textfiguren\). 131-200](#)