Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt
Publications de l'Institut Suisse de Météorologie
Pubblicazioni della Centrale Meteorologica Svizzera

1981

43

Mittlere Temperatur- und Windverteilung im Dischmatal bei Davos bei typischen sommerlichen Witterungslagen

von Charlotte Urfer

551.524: 551.553.12: 551.584.31 (494.261.35)

SZ ISSN 0080-7346

Mittlere Temperatur- und Windverteilung im Dischmatal bei Davos bei typischen sommerlichen Witterungslagen

von Charlotte Urfer

Osservatorio Ticinese della Centrale
Meteorologica Svizzera, Locarno-Monti

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kurzfassung, Résumé, Riassunto, Summary	3
1. Einleitung und Zielsetzung	4-6
1.1 Daten	6-7
2. Temperaturverhältnisse im Mittel über alle Tage	8
2.1 Mittlere Tagesgänge der Temperatur im Talquerschnitt	8
2.2 Tagesgänge der mittleren Temperaturgradienten und -differenzen	8-10
3. Temperaturverhältnisse bei typischen Wetterlagen	10
3.1 Mittlere Tagesgänge der Temperatur im August	10-12
3.2 Tagesgänge der Temperaturgradienten und -differenzen	12
3.2.1 Gradienten zwischen Kämmen und Hangmitte	12
3.2.2 Gradienten zwischen Hangmitte und unterem Hangviertel	12-15
3.2.3 Gradienten zwischen unterem Hangviertel und Talgrund	15
3.2.4 Differenzen zwischen Stationen gleicher Höhe	15-16
4. Häufigkeitsverteilungen der Temperaturdifferenzen	16
4.1 Temperaturdifferenzen zwischen Tal und unterem Hangviertel	16
4.2 Temperaturdifferenzen zwischen Stationen desselben Hanges	16-18
4.3 Temperaturdifferenzen zwischen beiden Hängen	18-22
5. Mittlere Windrosen bei ausgesuchten Wetterlagen	22
5.1 Windrosen an ungestörten Tagen	22-25
5.2 Windrosen bei Föhn in der Höhe	25-26
5.3 Windrosen bei Bise	26-27
5.4 Windrosen bei Nordstaulagen	27
Zusammenfassung	27-28
Literaturverzeichnis	28
Dank	28-29

Kurzfassung

In einem einheitlichen SSE-NNW verlaufenden Alpental in Mittelbünden sind während sieben Sommern an insgesamt acht verschiedenen Messstellen unter anderem Temperatur und Wind registriert worden. Für ausgewählte Wetterlagen lassen sich trotz des relativ eingeschränkten Materials gesicherte Gesetzmässigkeiten für die Temperaturverteilung, für den Tagesgang der Temperaturgradienten zwischen benachbarten Stationspaaren und für die Temperaturdifferenzen ähnlich hoch gelegener Stationen gegenüberliegender Talseiten bestimmen. Aus den Windregistrierungen wurden im weitern mittlere Windrosen über Tag- und Nachtstunden getrennt berechnet.

Résumé

Dans une vallée alpestre au centre des Grisons, orientée uniformément SSE-NNO ont été enregistrés à huit stations pendant sept étés successifs, entre autres données la température et le vent. Pour certaines situations météorologiques, il a été possible, malgré le nombre relativement limité de données, d'établir des relations bien déterminées pour la répartition des températures, pour la variation diurne des gradients de température entre paires de stations voisines, et pour les différences de températures entre stations situées à la même altitude sur les flancs opposés de la vallée. A partir des enregistrements du vent, des roses des vents pour les heures diurnes, respectivement nocturnes ont été établies.

Riassunto

Nel Grigione meridionale, in una vallata alpina, che si estende in modo unitario da SSE a NNO, sono stati registrati tra l'altro vento e temperatura presso otto diversi punti di misura durante sette estati. Per situazioni meteorologiche scelte, è possibile determinare delle leggi fisiche affidabili, riguardanti la temperatura, sebbene il materiale a disposizione sia relativemente ristretto. In questo lavoro abbiamo determinato le leggi per la distribuzione della temperatura, il gradiente di temperatura diurno tra coppie di stazioni limitrofe, la differenza di temperatura tra stazioni situate ad altitudini equivalenti sui due versanti della valle. Dalla registrazione dei venti furono inoltre calcolate, separatamente per le ore diurne e notturne, le rose medie dei venti.

Summary

In the Swiss Alps in a valley of uniform direction from SSE to NNW air temperature and wind data were recorded among other parameters at eight different locations during seven summer seasons. In spite of the limited amount of data, significant laws for daily variations of the temperature and the gradients of temperature between neighbouring stations were found on selected weather situations. The difference of temperature between stations at similar altitude on opposite side of the valley was also determined. Finally the polar diagram of average wind speed was calculated separately for day and night time.

1. Einleitung und Zielsetzung

Im Rahmen des Gebirgsprogramms der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen (EAFV) waren im Dischmatal, einem von SSE[1)] nach NNW[1)] orientierten hochalpinen Nebental in Mittelbünden, von 1959 bis 1965, fünf bis sechs über den Talquerschnitt verteilte Klimastationen eingerichtet und betreut worden (Abb. 1a bis 1c). Sie sollten dazu dienen, die Ergebnisse der intensiven Messkampagne im Versuchsfeld der EAFV auf dem Stillberg in das Gesamtklima des Tales einzuordnen. Das gesamte Registriermaterial beinhaltet jedoch eine solche Fülle von wertvollen Klimadaten, dass diese zu einer Bearbeitung im Sinne einer Mesoklimatologie in einem einheitlichen Alpental, wenigstens für den Sommer, herausforderten. Zu diesem Zweck

Abb. 1a Flugaufnahme des Dischmatales bei Davos. Ansicht gegen Südosten talaufwärts mit den meteorologischen Stationen

rechte Talseite, WSW Hang:						linke Talseite, ENE Hang:		
BK	Baslerkopf	2536 m	T	Teufi	1700 m	St	Stillberg	2130 m
L	Lucksalp	2104 m	OM	Ob Mäder	1960 m	Gy	Gyrenspitz	2364 m
CJ	Chalet Jäger	1870 m	Vfl	Versuchsfläche	2094 m	BB	Brämabüel	2560 m

[1)] der Einfachheit halber werden in der nachfolgenden Arbeit das Tal als S-N orientiert und die beiden Hänge meist nur kurz als Ost- und Westhang bezeichnet

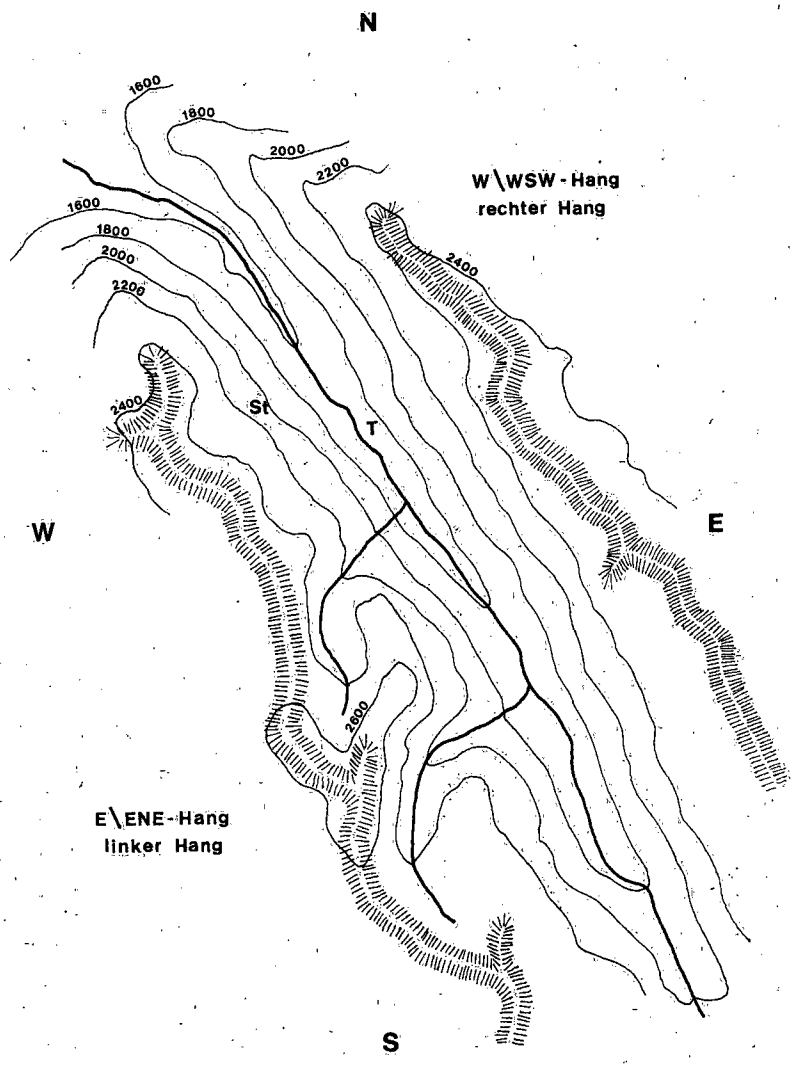


Abb. 1b Kartenskizze des Dischma

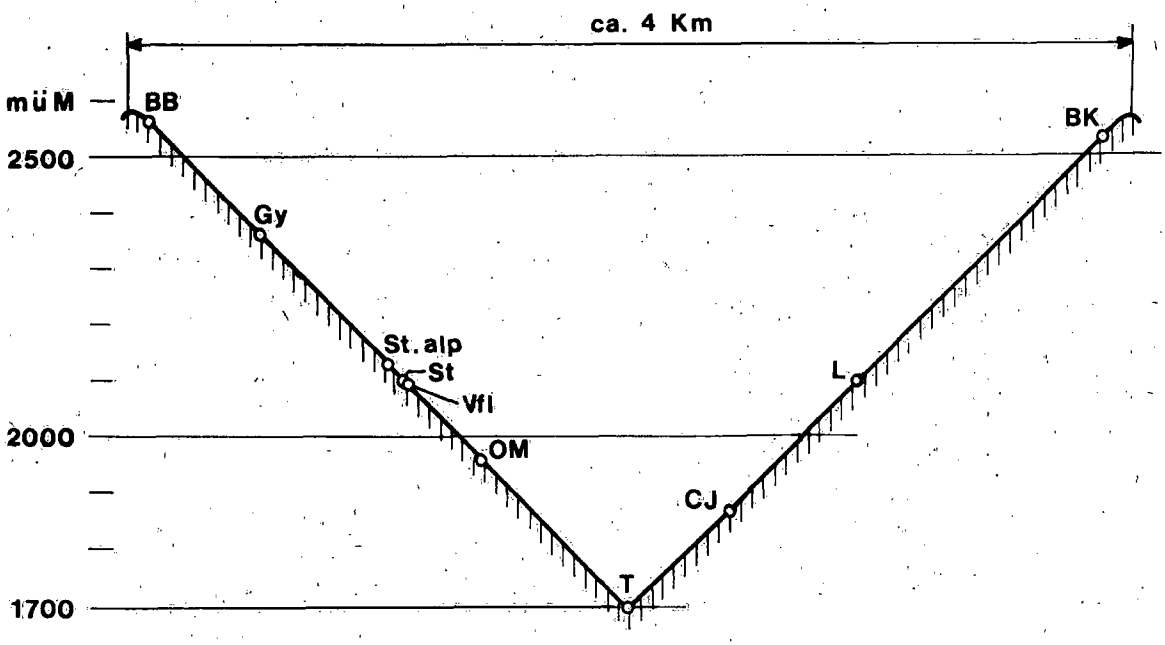


Abb. 1c Die Stationen im Talquerschnitt, Blick von S nach N

mussten die Standorte allerdings verschiedentlich gewechselt werden: Drei Sommer lang standen die Stationen regelmässig verteilt zwischen Talgrund und beidseitigen Kämmen. Im Interesse einer detaillierten Winduntersuchung waren im Sommer 1962 alle Stationen am ostexponierten Hang aufgestellt. Für die Temperaturprobleme war es nötig, sich auf die beidseitigen unteren Hänge zu konzentrieren. Somit sind im Gesamten schliesslich acht Standorte erfasst worden, worunter allerdings die Kontinuität der Messreihen litt. Da ausserdem für den Beginn der Messungen die Ausaperung im Versuchsgelände abgewartet werden und ihr Abbruch möglichst vor dem Einschneien erfolgen musste, ist das Material oft nicht so homogen, wie man es sich gerne gewünscht hätte (Messperioden und Standorte siehe Tabelle 1). Dennoch lassen sich viele wertvolle Ergebnisse aus diesem quasi "Nebenprodukt" der Forstwissenschaft gewinnen, wenn man sie unter dem Gesichtspunkt einer dynamisch-synoptischen Klimatologie erarbeitet.

Ab 1964 wurden Ergebnisse einzelner Teilbearbeitungen publiziert: So auch über die Niederschlagsverteilung im Dischma (URFER, 1970a), die allgemeine Windzirkulation im Tal bei schönem Wetter (URFER, 1970b), die Windverteilung über alle Wetterlagen (NAEGELI, 1971) und die Temperaturen im Talquerschnitt bei ausgesuchten Witterungslagen (URFER, 1979). In der vorliegenden Arbeit möchten wir noch in Ergänzung zu URFER (1979) die mittleren horizontalen Temperaturdifferenzen und die vertikalen Temperaturgradienten zwischen den verschiedenen Standorten sowie als Ergänzung zu NAEGELI (1971) die mittleren Windrosen aller Stationen in Abhängigkeit von den vier typischsten Wetterlagen diskutieren.

1.1 Daten

Wir stützen uns bei der Bearbeitung auf stündliche Temperatur- und halbstündliche Windauswertungen. In URFER (1979) finden sich nähere Angaben über die Betreuung der Stationen und den Auswertemodus betreffend die Temperatur, bei NAEGELI (1971) über den Wind. In der erstzitierten Arbeit sind auf Seite 315 sieben für die Gegend Mittelbünden typische Wetterlagen definiert, wovon wir hier vier für die Gegenüberstellung ausgewählt haben[1]:

Ungestörtes Schönwetter ("U"): Wolkenloser Himmel (die Bewölkungsverhältnisse in der Nacht müssen aus denen des Vor- und Nachtages abgeschätzt werden).

Lage antizyklonal, gradientschwaches Hoch über den Niederungen Mitteleuropas, Wind im 500 mbar-Niveau schwächer als 8 m/s.

Süd-Föhn in der Höhe ("(F)"): Leicht bewölkter Himmel, erste Ac- sowie Ci-Bewölkung, erstes Absinken in der freien Atmosphäre. Aus Druckverteilung und relativer Feuchtigkeit ist eine Föhntendenz zu erkennen.

Antizyklonale SW-Strömung, Hochdruckzentrum zieht sich gegen SW bis SE zurück.

Bise ("B"): Bei nachlassendem, NE-SW gerichtetem Druckgradienten in der Höhe (kanalisiertem E-Wind im Mittelland) dominiert der Hochdruckeinfluss. Es wird in den Bergen rascher wolkenlos als in den Niederungen.

Advektion trockener Kaltluft zwischen einem Hoch im N und einem Tief im S.

Nord-Staulage ("S"): Wegfall der direkten Einstrahlung bei fast ununterbrochenem Niederschlag, begleitet von stetigem Temperaturfall.

Advektion feuchter Kaltluft bei Hochaufbau im NW.

[1] Kat. 2 der Einteilung URFER (1979: S. 315) nimmt zwischen "U" und "(F)" (vgl. obige Abkürzungen für die hier ausgewählten Wetterlagen) eine Zwischenstellung ein; sie ist von "U" nur wenig verschieden. Kat. 4 grenzt nahe an eine "komplexe Wetterlage". Kat. 7 ist synoptisch nicht exakt reproduzierbar. Deshalb übergehen wir diese drei Kategorien in der vorliegenden Arbeit.

Beginn der Messungen		Namen der Stationen, verwendete Abkürzungen und Höhenangaben (m ü.M.)								
		Brämabüel BB 2560	Gyrenspitz Gy 2364	Stillberg St 2130	Versuchsfläche Vfl 2094	Ob. Mäder OM 1960	Teufi T 1700	Chalet Jäger CJ 1870	Lucksalp L 2104	Baslerkopf BK 2536
9. Mai	1964				23	10	23	23	23	
5. Juni	1960	26		26			26		26	(25)
16. Juni	1961	15		15			15		15	15
25. Juni	1963			6		6	6	6	3	
	1964		12		30	30	30	30	30	
19. Juni	1965				12	12	12	12	12	
21. Juli	1959	11		11			11		11	11
	1960	28		31			31		31	26
	1961	31		31			31		31	29(31)
21. Juli	1962	11	11	11		11	11			
	1963			31		31	31	31	31	
	1964		31		31	31	31	31	31	
	1965		31		31	31	31	31	31	
August	1959	31		31			31		31	31
	1960	31		31			31		29	(31)
	1961	31		31			31		31	29(31)
	1962	31	31	31		31	31			
	1963			31		31	31	31	31	
	1964		31		31	31	31	31	31	
	1965		31		31	31	31	31	25	
September	1959	30		30			30		30	30
	1960	27		30			30		28	(30)
	1961	30		30			30		30	30
	1962	17	24	24		24	24			
	1963			30		30	30	30	30	
	1964		30		30	27	30	30	30	
	1965		30		30	21	30	30	26	

Tab. 1 Stationsverzeichnis und Anzahl der ausgewerteten Tage für die Temperaturregistrierung

Für die Auswahl der Tage haben wird uns auf folgende Unterlagen gestützt:

- SMA (1959-65): Uebersicht über den Witterungsverlauf, Alpenwetterstatistik, Frontenkalender, Wetterbericht (mit u.a. Föhneinsatz und -ende in Altdorf, Zusammenstellung der Druckdifferenzen zwischen Kloten und Magadino)
- Höhenwetterkarten des Deutschen Wetterdienstes
- Robitzsch-Registrierung (soweit vorhanden) auf Stillberg
- Registrierungen der Thermohygrographen in bezug auf Homogenität des Verlaufs von Temperatur und Feuchtigkeit
- Gelegentliche Witterungsnotizen vom Dischma und persönliches Wettertagebuch.

2. Temperaturverhältnisse im Mittel über alle Tage

Wie es in der klassischen Klimatologie üblich ist, gehen wir von der mittleren Temperaturverteilung aus und wählen diese als Ausgangsbasis für die weiteren Diskussionen. Im Verlaufe der Untersuchungen hat sich dann allerdings herausgestellt, dass die mittleren Differenzen zwischen zwei Stationen vor allem statistische Bedeutung besitzen. In Wirklichkeit treten gerade diese Werte selten auf; häufiger sind dagegen Differenzen, die mehr oder weniger systematisch um den Mittelwert streuen (vgl. Kap. 4 und Abb. 6 a bis h).

2.1 Mittlere Tagesgänge der Temperatur im Talquerschnitt

Die Temperaturdifferenzen zwischen zwei benachbarten oder gegenüberliegenden Stationen (Abb. 3) variieren im Laufe des Tages stark und zwischen überraschend hohen Extremwerten, so dass wir zwei Graphiken über den mittleren Tagesgang der Temperatur an den sieben wichtigsten Stationen und an den Beispielen von Juli und September vorausschicken, welche dieses Ergebnis sofort verständlich werden lassen (Abb. 2 a und b): Die Tagesgänge der Temperatur an den verschiedenen Stationen verlaufen nie über längere Zeit parallel; sie schneiden sich sogar in gewissen Fällen mehrmals täglich.

In Alpentälern mit grösseren Strahlungsintensitäten als im dunstgetrübten Tiefland treten wegen der geländebedingten stark unterschiedlichen Besonnungsverhältnisse grosse Temperaturdifferenzen zwischen den verschiedenen Expositionen auf. Der Vergleich zwischen der Talstation und den Hangstationen lässt sofort erkennen, wie ausgeprägt häufig und stark die nächtliche Temperaturinversion auch noch in den Sommermonaten ist. BIDER (1966) findet in ganzjährigen Untersuchungen im Raume von Basel, GENSLER (mündliche Aussage) im Schweizer Mittelland für den Sommer eine grössere Häufigkeit der bodennahen Inversionen, weil die Nächte öfters wolkenlos sind als im Winter. Die Inversionen sind allerdings von wesentlich kürzerer Dauer, da sie nur wenige Stunden über Sonnenaufgang hinaus fortbestehen. Im Dischma erreichen die Inversionen und die Differenzen zwischen Hanglagen ähnlicher Meereshöhe ein kurzes, extremes Maximum, wenn morgens im S-N-Tal die E-exponierten Hänge schon besonnt sind, während der Talgrund und der W-Hang noch im Bergschatten liegen. Am Nachmittag und Abend sind umgekehrt die Temperaturen im Talgrund höher als an den Hängen, und am W-Hang höher als am E-Hang.

2.2 Tagesgänge der mittleren Temperaturgradienten und -differenzen

Die aus den mittleren Temperaturen gerechneten mittleren Tagesgänge der Gradienten resp. der Differenzen zwischen den Stationen quasi-gleicher Meereshöhe (Abb. 3 a bis c) vermitteln einen ersten Eindruck über deren Grössenordnung und Veränderlichkeit.

Die stündlichen Werte der Gradienten und Differenzen normaler Monate[1]) variieren vom Mai bis September nicht systematisch und nur in so geringem Mass, dass sie, mit Ausnahme der Differenz OM-CJ zur Zeit der sich verschiebenden Sonnenauf- und -untergänge, gemittelt werden konnten. Dies würde man zwar a priori nicht erwarten, wenn man die Veränderlichkeit der Absolutwerte und der Tagesgänge der Temperatur bedenkt (Abb. 2).

Die Temperaturdifferenzen zwischen den verschiedenen Hangstationen zeigen immer eine Abnahme mit der Höhe, d.h. die Gradienten (Abb. 3 a und b) bleiben im Mittel immer positiv. Die Gradienten sind jedoch je nach Höhenlage und Exposition des Messortes verschieden gross und beschreiben einen deutlichen Tagesgang. Nachts bleiben sie relativ konstant bei 0,4 bis 0,5 °C/100 m. Weil aber, wie aus Abbildung 2 ersichtlich und in URFER (1979: Kapitel 3.2) besprochen, die Tagesamplitude der Temperatur in tieferen Lagen stärker ausgeprägt ist als in höheren, müssen auch die Temperaturdifferenzen zwischen zwei Stationen tagsüber grösser werden. Besonders in den oberen Hangabschnitten, wo die Unterschiede zwischen den gut durchlüfteten Kammlagen und den stark erwärmten Alpweiden zum Ausdruck kommen, wachsen die Gradienten auf 1 °C/100 m an und

[1]) Als "normale" Monate haben wir solche gewählt, deren Witterung dem langjährigen Mittel nahekommt. Mai 1964 - der einzige Spätfrühlingsmonat, an dem gemessen werden konnte - ist zwar fast 2 Grad wärmer als normal; aber die Anzahl der schlechten und schönen Tage halten sich vom 8. an (Beobachtungsbeginn) die Waage. Vom Juni 1961 sowie 1964 ist dasselbe zu sagen. Juli 1961 ist fast 1 Grad zu kühl, witterungsmässig jedoch durchschnittlich, sogar eher noch zu sonnig. August 1964 hat normale Temperatur und Sonnenscheindauer. September 1963 ist 1/2 Grad zu warm und etwas sonnenarm. Aber die anderen September weichen noch mehr von der Norm ab und sind vor allem überdurchschnittlich sonnig.

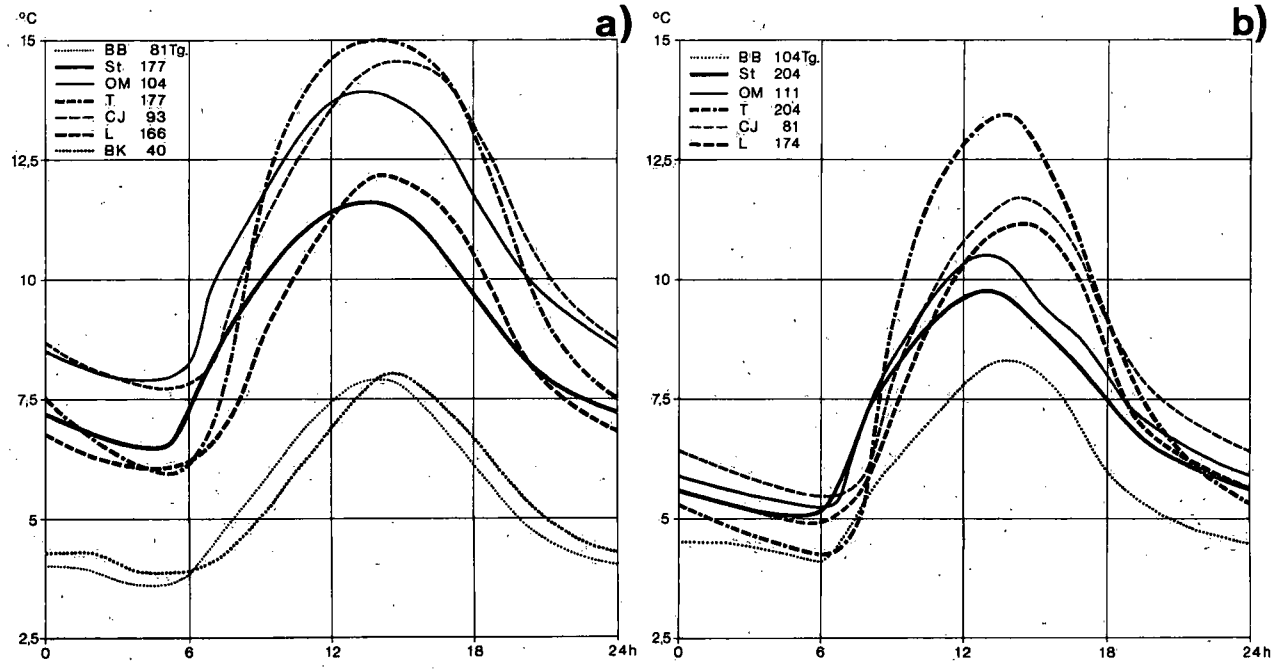
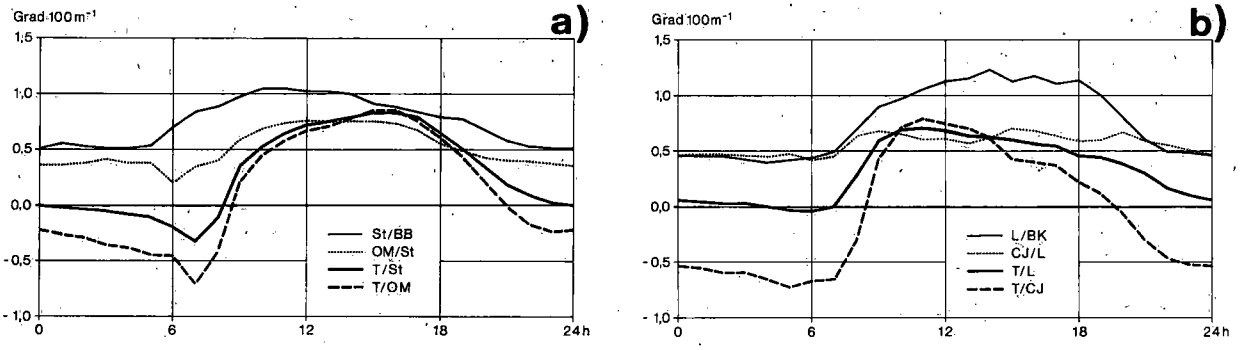


Abb. 2 Mittlere Tagesgänge der Temperatur an den verschiedenen Stationen im Talquerschnitt:
a im Juli
b im September
(aus URFER 1979)

BB 2560 m
St 2130 m
OM 1960 m
T 1700 m
BK 2536 m
L 2104 m
CJ 1870 m



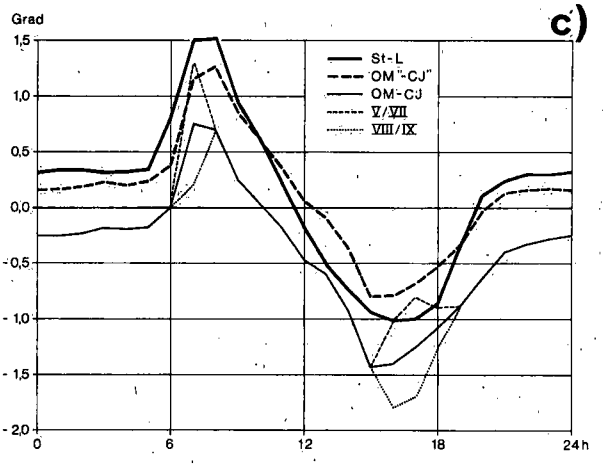


Abb. 3 Mittlere Temperaturgradienten normaler (vgl. Text) Monate:

a: linker Hang, T/OM, OM/St, Mai, Juni, August 1964, Sept. 1963
T/St dito, dazu Juni 1961
St/BB Juni 1961

b: rechter Hang, T/CJ, CJ/L Mai, Juni, August 1964, Sept. 1963
T/L dito, dazu Juli 1961
L/BK Juni 1961

c: mittlere Tagesgänge der Temperaturdifferenzen zwischen den Hangstationen gleicher Meereshöhe

St-L Mai, Juni, August 1964, Juli 1961, Sept. 1963
OM-CJ Mai, Juni, August 1964, Sept. 1963
OM"-CJ" Temperatur von CJ auf Meereshöhe von OM reduziert.

bleiben am W-Hang, welcher der direkten Sonneneinstrahlung am stärksten ausgesetzt ist, über Stunden überadiabatisch. Zwischen den Stationen OM und St sowie CJ und L finden sich ausgeglichenere Temperaturverhältnisse, so dass dort die Gradienten nur auf rund 0,7 bis 0,8 °C/100 m steigen.

Sogar die mittleren Gradienten zwischen Talgrund und unterem Hangviertel sind von Beginn der Nacht bis zum Sonnenaufgang im Tal negativ, und dies besonders ausgeprägt (ca. -0,7 °C/100 m) und zudem auch länger anhaltend zur tiefstgelegenen Hangstation CJ (170 m über Talgrund). Dies sind wohl an den Untersuchungsort gebundene Werte, welche nur bedingt auf andere Täler übertragen werden können. Ebenso sind die Isothermie zwischen T und L sowie die fast isothermen Verhältnisse zwischen T und St ortsspezifisch aus der Lage der Stationen zueinander entstanden.

Der Tagesgang der Gradienten zwischen Tal und unterem Hangviertel erhält durch die nächtliche Inversion einerseits und die stark ausgeprägte Temperaturamplitude in der Teufi andererseits einen grossen Ausschlag nach unten und nach oben. Am Nachmittag ergibt sich auch für diesen Hangabschnitt ein mittlerer Gradient von 0,8 °C am W- und am spätern Vormittag von 0,7 °C/100 m am E-Hang.

Um die Differenzen zwischen den Hangstationen gleicher Meereshöhe zu beurteilen (Abb. 3 c), sind die Werte von CJ aufgrund der Gradienten zwischen CJ und L auf das Niveau von OM reduziert worden. An den höheren Standorten (St und L) wird zur Zeit des Sonnenauf- und -unterganges der Temperaturunterschied etwas grösser als an den tieferen (CJ und OM), weil hier auch der Unterschied in der Dauer der Besonnung grösser ist.

Zunächst überrascht die Tatsache, dass über den ganzen Tag aufsummiert am sonnigeren WSW-Hang gegenüber St und OM schliesslich ein kleines Wärmedefizit verbleibt. Aufgrund der Windregistrierungen können wir dieses unerwartete Resultat damit erklären, dass gegen Ende des Tages und bis weit in die Nacht hinein der früh beschattete ENE-Hang bei einigermassen schönem Wetter in den Genuss eines lokalen katabatischen und kältemindernden Hangabwindes kommt (URFER 1979: Kapitel 2.3.2 und 4.2.3).

3. Temperaturverhältnisse bei typischen Wetterlagen

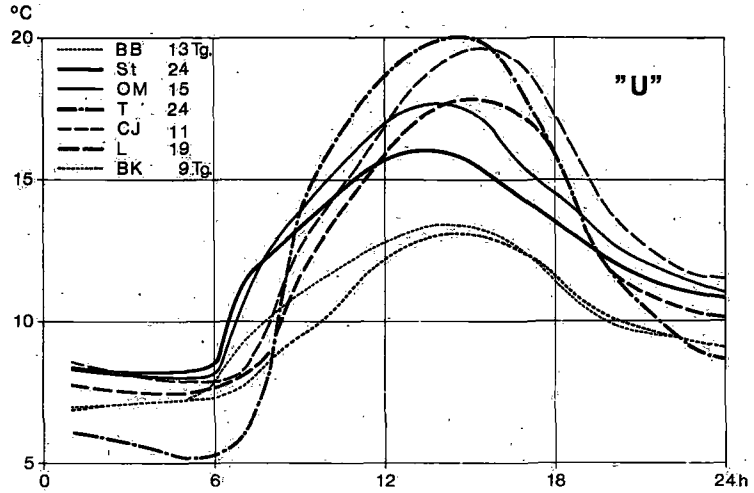
Um die in der Wirklichkeit auftretenden Temperaturdifferenzen besser kennen zu lernen, machten wir den Schritt von der klassisch-statistischen zur dynamisch-synoptischen Klimatologie.

Bei klar definierten Wetterlagen wiederholen sich immer wieder und von Jahr zu Jahr dieselben gleichbleibenden Gesetzmässigkeiten in der Temperaturverteilung. Die an solchen Tagen auftretenden Differenzen und Gradienten zwischen zwei Stationen lassen sich daher besser auf Tage mit wegfallenden Messungen und in gewissem Masse auch auf nicht untersuchte, aber ähnlich orientierte Täler übertragen.

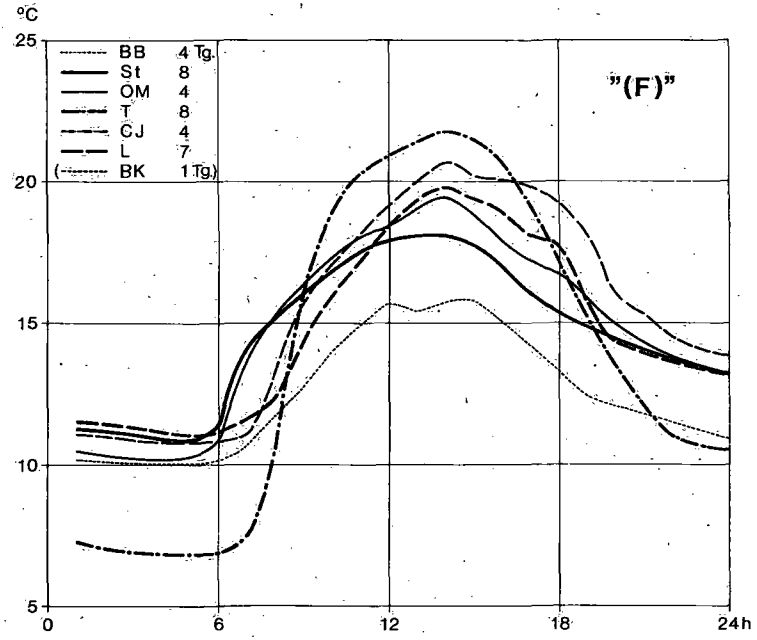
3.1 Mittlere Tagesgänge der Temperatur im August

In den Abbildungen 4 a bis d sind wiederum zunächst die mittleren Tagesgänge der Temperatur selber an den sieben Messstellen im Talquerschnitt für die vier typischen Wetterlagen "U", "(F)", "B" und "S" am Beispiel des Monats August aufgezeichnet. Auf einige grundlegende Unterschiede zu den Kurven in den Abbildungen 2 a und 2 b möchten wir noch hinweisen. Es fällt als erstes auf, dass die Temperaturen um 24 Uhr nicht mehr zu ihrem Ausgangspunkt von 00 Uhr zurückkehren, weil die Luftmasse im Laufe des Tages allmählich gewechselt hat (bei "S" und z.T. "(F)") oder alterte (bei "U" und "B"). Im weiteren stehen die Absolutwerte der Temperaturtagesgänge in einem etwas anderen Verhältnis zueinander. Während der "U"- und "(F)"-Tage ist es nachts in T kälter als an allen übrigen Stationen, die Kämme inbegriffen! Wenig voneinander verschieden sind zu Beginn des Tages die Werte aller Hangstationen, und erst in der darauffolgenden Nacht ist an den Hängen eine eindeutige Temperaturabnahme mit der Höhe festzustellen. Es liegt wohl nicht an der Anzahl der zu Grunde gelegten Tage allein, dass bei "U" und "B" die Kurven über den Tag ausgeglichener verlaufen als bei "(F)"; bei der Auswahl der Tage hat man für "U" und "B" heiteren Himmel vorausgesetzt, während bei "(F)" eine leichte, wechselhafte Bewölkung in Kauf genommen wird. Auf die Bedeutung des Buckels im Temperaturrückgang auf St und OM bei "U"-Tagen wurde schon verschiedentlich hingewiesen, insbesondere in URFER (1979). Es überrascht immerhin, dass er auch noch bei "B" deutlich zu erkennen und bei "(F)" auch bei den Stationen am W-Hang (CJ und L) zu finden ist. An "B"-Tagen reichen die Temperatursperrschichten nur bis

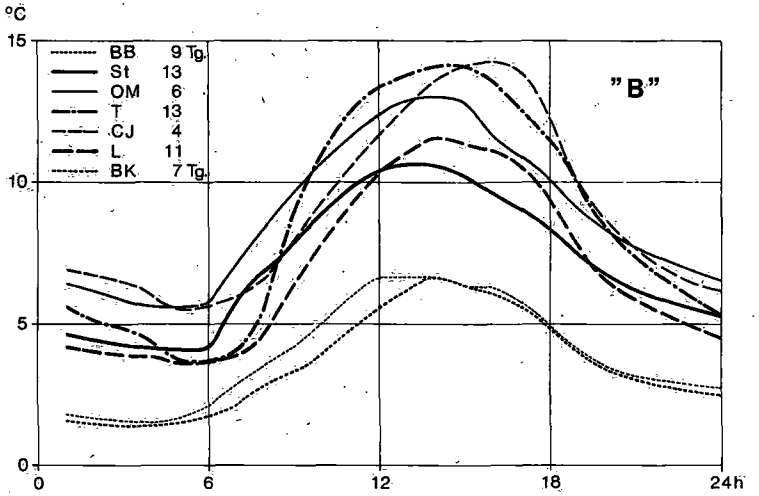
Abb. 4 Mittlerer Tagesgang der Temperatur im August bei typischen Wetterlagen



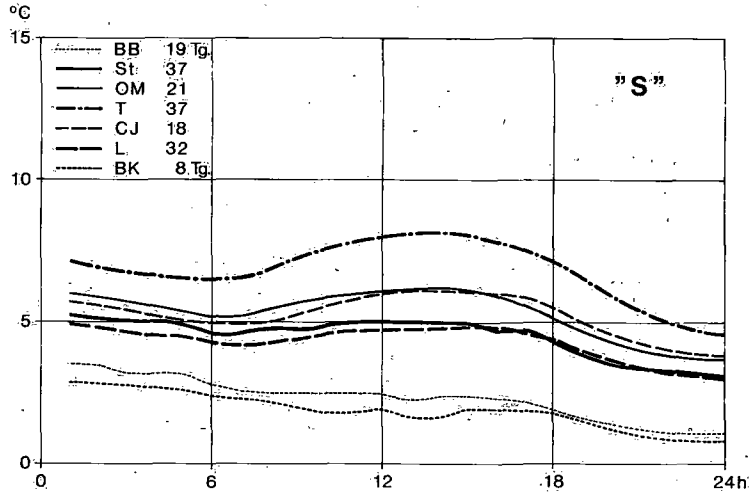
a: "U" ungestört



b: "(F)" Föhn in der Höhe



c: "B" Bise



d: "S" Staulage

zu den Hängen, während es auf den Kämmen ganztags kälter ist als an allen andern Stationen. Bei "S" stellt sich die Temperaturabnahme mit der Höhe ein und erreicht bis zum Ende des Tages ungefähr die Beträge, die man bei feuchter Advektion voraussetzt.

3.2 Tagesgänge der Temperaturgradienten und -differenzen

Aufgrund von Abbildung 4 wird man erwarten, dass die Temperaturgradienten je nach Witterung einen typischen, mehr oder weniger stark ausgeprägten Tagesgang aufweisen und in den Tages- und Nachtstunden wohl definiert und erklärt sind, dass aber zur Zeit von Sonnenauf- und -untergang zufällige Ueberschneidungen der Temperaturkurven auftreten, denen keine weitere klimatologische Bedeutung beigemessen werden darf. Zur Diskussion stellen wir die Werte in ausgeglichenen Phasen, wie sie auch auf andere S-N-Täler sinnvoll übertragen werden könnten.

Am Beispiel des Monats August sind aus den Tagesgängen über alle Tage typischer Witterung in den sieben Sommern 1959-1965 die mittleren Differenzen resp. Gradienten gerechnet worden. Der Reihe nach sollen sie für vier interessante Stationspaare besprochen werden.

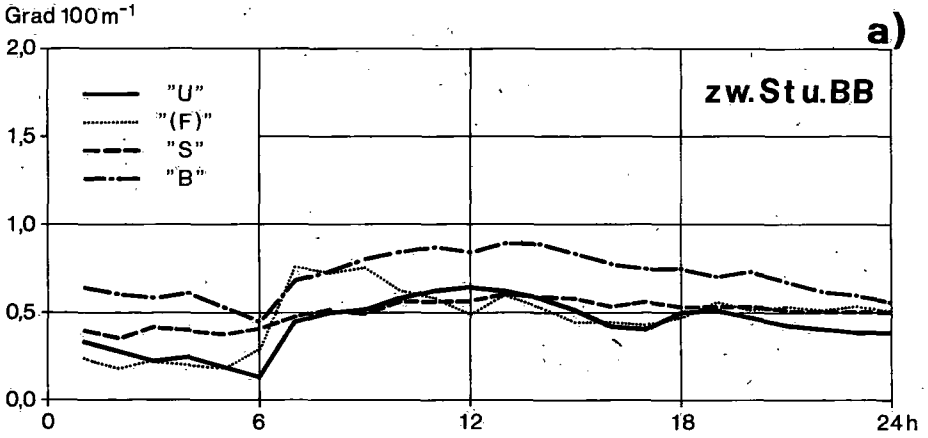
3.2.1 Gradienten zwischen Kämmen und Hangmitte

Selbst in den oberen Hangpartien, also zwischen Hangmitte (St resp. L) und Kamm (BB resp. BK), sind die Gradienten nicht bei allen Wetterlagen auf beiden Talseiten gleich (vgl. Abb. 5 a, oben und unten). Einzig bei den relativ ausgeglichenen Kurven der Staulagen besteht der Unterschied nur in einer kleinen Differenz tagsüber in den Absolutwerten und einem am E-Hang flacheren Maximum als am W-Hang. Eigentlich hätte man bei stetiger Kaltluftzufuhr und vollständig bedecktem Himmel über die 24 Tagesstunden einen konstanten und auf beiden Talseiten gleichen Gradienten erwartet. Aber bereits die geringe Einstrahlung genügt offenbar, um am E-Hang den Temperaturgradienten mittags um 0,3 und selbst am W-Hang um 0,2 ^{o}C/100 m ansteigen zu lassen. Umgekehrt wird die Veränderlichkeit des Gradienten im Laufe des Tages besonders bei starker Einstrahlung gross, also bei "U", ist aber auch beachtlich bei "(F)" und "B". Dass diese Tagesgänge der Gradienten am W-Hang grössere Amplituden aufweisen als am E-Hang, liegt in der viel stärkeren und längeren Ueberhitzung der Lucksalp (Abb.4 a-c) begründet. Ein absolut höchste Werte annehmender Gradient, der sich der Trockenadiabate nähert oder, wie am W-Hang, diese gar überschreitet, war für die trockene Kaltluftadvektion "B" am ehesten zu erwarten. Dass aber auch bei "(F)" die 1 ^{o}C/100 m-Grenze erreicht und bei "U" überschritten wird, ist nur der relativen Ueberhitzung der Alpen (St und L) zuzuschreiben. Hingegen hätte man nicht von vornherein kleine Gradienten für "U" und "(F)" - Lagen in der Nacht erwartet, so dass man fast von Isothermie zwischen den Stationen L und BK sprechen kann.

Ueber Stunden, sowohl in der Nacht als auch am Tag, sind die Gradienten bei "U" und "(F)" einander ähnlich. Nachts gleichen sich also unterhalb der Kammregionen antizyklonale und zyklonale Subsidenz im Effekt aus; am Tag überwiegen nicht nur bei "U" sondern auch bei "(F)" Einstrahlungseinflüsse und orographisch bedingte lokale Luftversetzungen gegenüber der grossräumigen Advektion.

3.2.2 Gradienten zwischen Hangmitte und unterem Hangviertel

Sowohl im Vergleich zwischen beiden Talseiten (Abb 5 b und c) als auch zwischen den verschiedenen Wetterlagen und erst recht im Tagesgang variiert der Temperaturgradient dieser Stationspaare sehr stark. Dabei sind die Tagesgänge am schattigeren E-Hang noch etwas ausgeprägter als auf der sonnigeren W-Seite, obwohl hier der Höhenunterschied zwischen den Stationen 150 m und nicht wie am Gegenhang 230 m beträgt. Grob gesagt pendeln bei "B" die Gradienten um 1,1 resp. 1,0 ^{o}C/100 m, also um die Trockenadiabate, und bei "S" um 0,5 resp. 0,4 ^{o}C/100 m, also im Bereich der Feuchtadiabaten. In den Nächten von "U" und "(F)" sinkt der Gradient nahe an oder unter die Isothermie. Aus der Tatsache, dass dabei der Gradient zur höher gelegenen Station OM (1960 m/M) grösser ist als zur tiefer gelegenen CJ (1870 m/M), müssen wir den Schluss ziehen, dass die Hauptinversionsgrenze in ungestörten klaren Nächten oftmals irgendwo zwischen beiden liegen muss (siehe auch URFER, 1979). Wir möchten uns der Vorstellung und den Beobachtungen von VANHUSEN (1967) anschliessen, dass die Inversion wohl keine genau definierte Höhe besitzt. Sicher ist zu unterst im Tal eine erste, sehr markante Temperaturumkehr vorhanden, auch von uns in den ersten drei bis vier Deka-



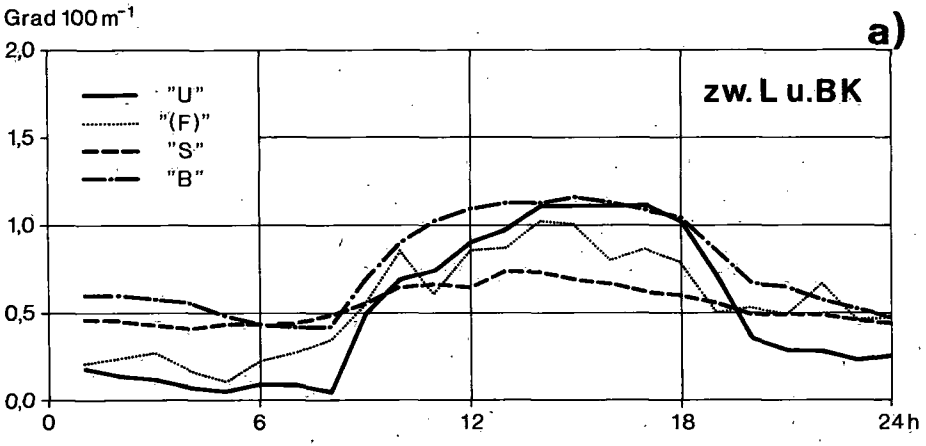
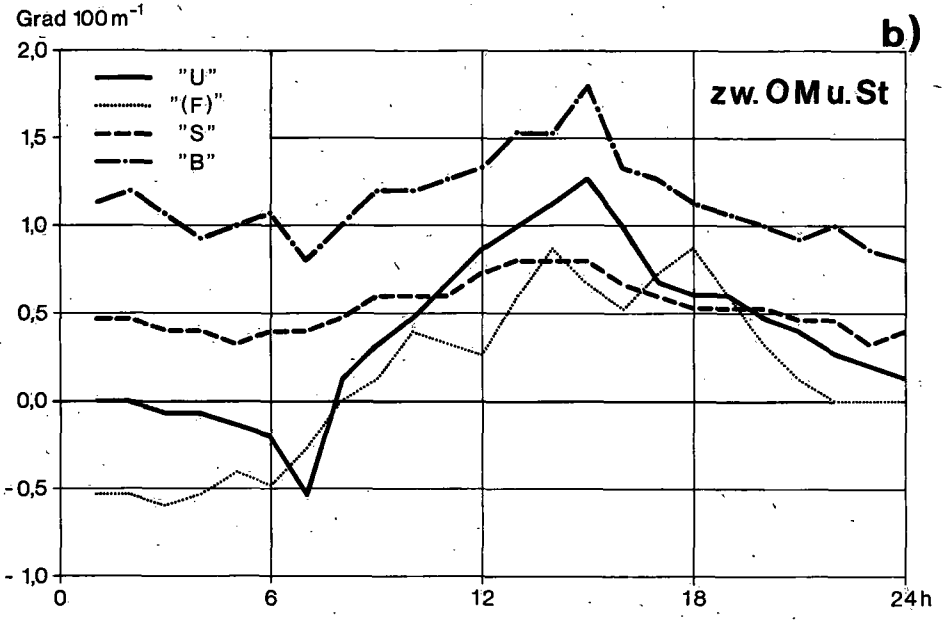


Abb. 5a Mittlerer Tagesgang der Temperaturgradienten bei typischen Wetterlagen zwischen Kämmen und Hangmitte



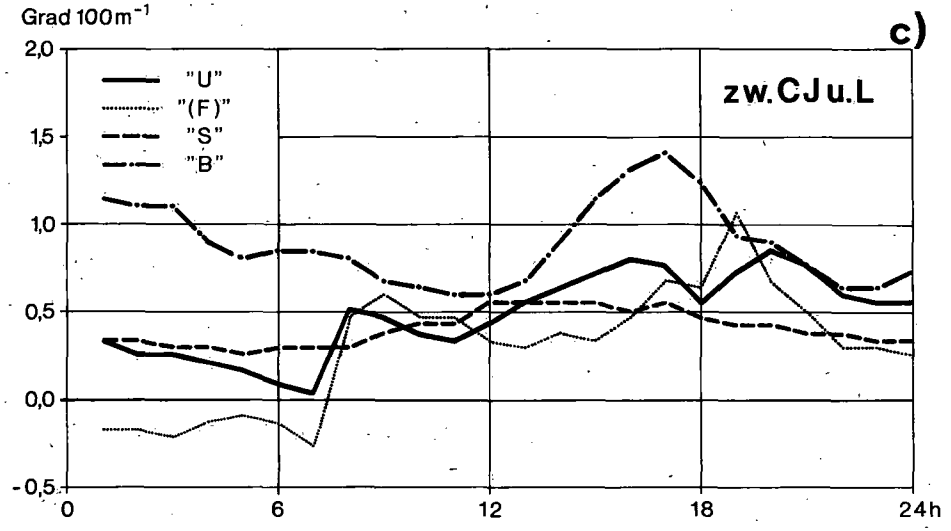
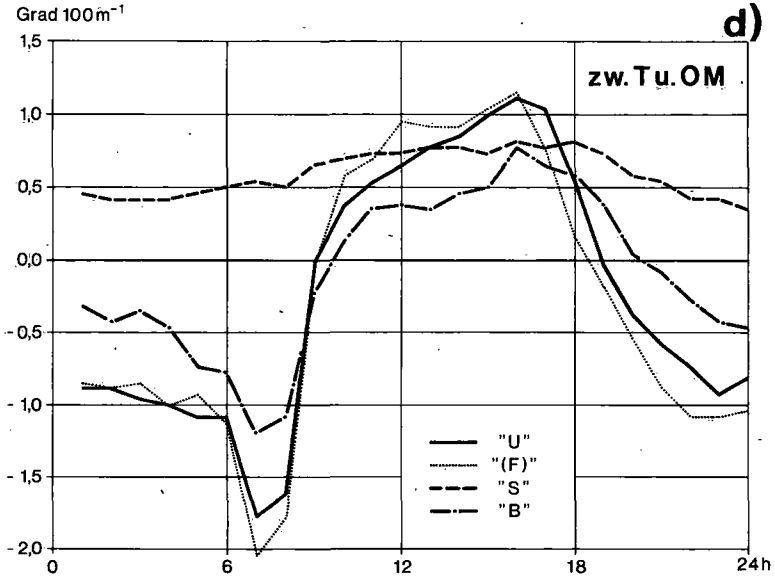


Abb. 5b und c Mittlerer Tagesgang der Temperaturgradienten bei typischen Wetterlagen zwischen Hangmitte und unterem Hangviertel



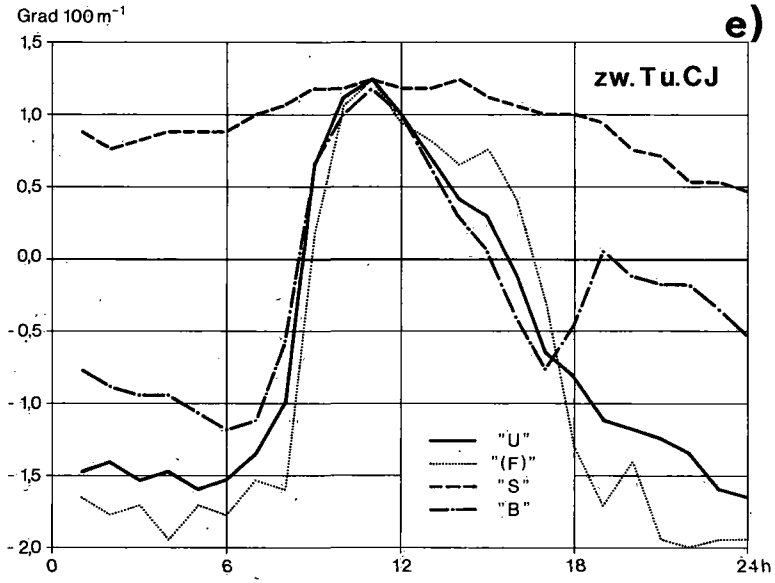
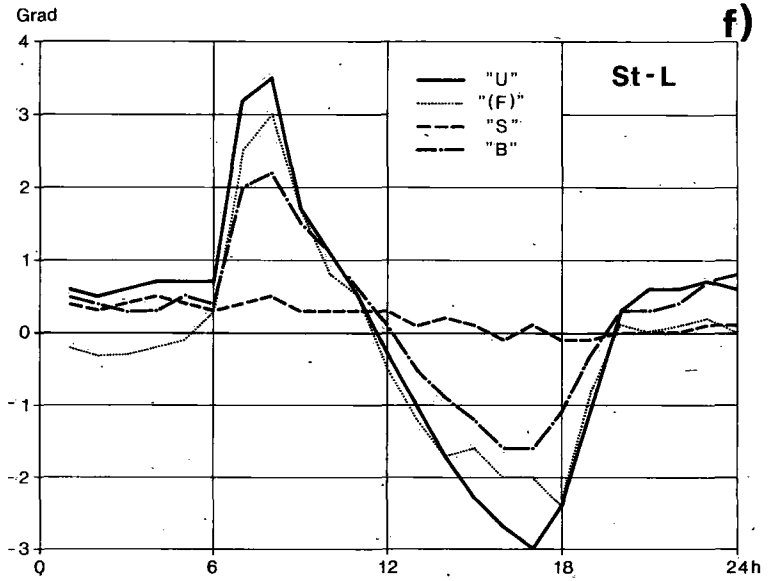


Abb. 5d und e Mittlerer Tagesgang der Temperaturgradienten bei typischen Wetterlagen zwischen unterem Hangviertel und Talgrund



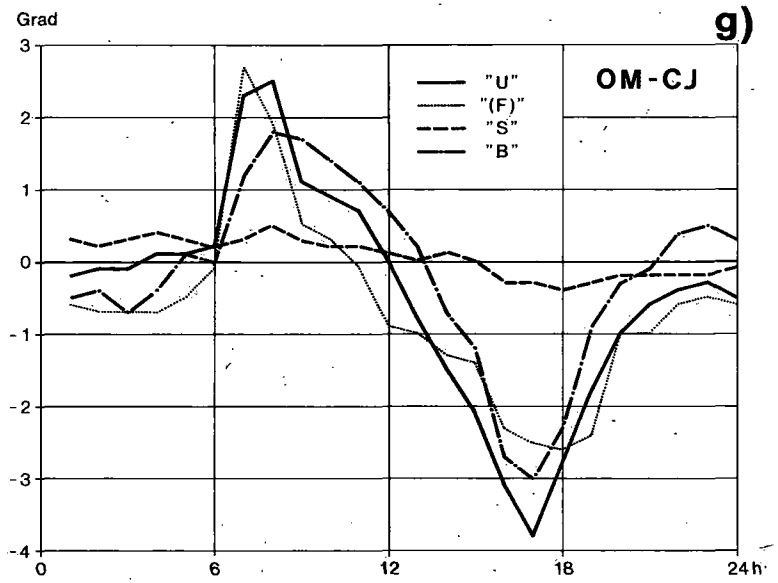


Abb. 5f und g Mittlerer Tagesgang der Temperaturdifferenzen bei typischen Wetterlagen zwischen Stationen gleicher Meereshöhe

metern gemessen, an die sich darüber weitere sekundäre Inversionen anschliessen. Man hätte sich diese von blättriger, eventuell in breiteren Tälern von sich stets ändernder Struktur vorzustellen, wie dies auch in vielen Photos von Taldunst (Abb. 9) immer wieder deutlich zum Ausdruck kommt. Nächtliche Isothermie oder Inversion bei "(F)" würde bestätigen, dass die Subsidenz, nach der von uns gewählten Definition, bis etwa zur Hangmitte wirksam ist, aber nicht bis ins tiefere Tal hinunter greift.

An beiden Hängen des Tales bestehen unterschiedliche klimatische Verhältnisse als Folge der Exposition, des Untergrundes, etc.. Da diese unter anderem von der Bewölkung resp. Einstrahlung abhängig sind, welche am Tage stärker schwanken als in der Nacht, ist auch der Tagesgang der Gradienten je nach Wetterlage verschieden stark ausgeprägt. Jedoch fehlen detailliertere Untersuchungen, die über diese Wechselwirkungen Auskunft geben könnten; sie hätten das Forschungsprogramm der Forstlichen Versuchsanstalt bei weitem überschritten.

3.2.3 Gradienten zwischen unterem Hangviertel und Talgrund

Im Tagesgang besonders stark veränderlich sind die Gradienten zwischen der Talstation und dem unteren Hangviertel (Abb. 5 d und e), weil hier, je nach Wetterlage, neben den bei Tag bis auf über 1 ^{o}C/100 m ansteigenden Werten auch die in der Nacht eintretenden Inversionen zum Ausdruck kommen. Nur bei Staulagen bleibt der Gradient ganztägig positiv, pendelt allerdings zwischen T und OM um 0,6 ^{o}C/100 m, ungefähr der Feuchtadiabaten, und zwischen T und CJ um 1 ^{o}C/100 m. Dies hiesse, dass sich zumindest am Anfang der Schlechtwetterperiode die Wolkenbasis noch höher als 170 m aber weniger als 260 m über Talgrund befinden müsste. Die dabei selbst in diesem tieferen Talteil noch vorhandene Amplitude des Tagesgangs der Gradienten spricht für einen tagsüber alle dichten Wolken durchstossenden gedämpften Einstrahlungseffekt, der im Talgrund um weniges wirksamer wird als an den untern Hängen.

In allen klaren Nächten, also auch in den nicht rein antizyklonalen, kommt die ausgeprägte Talinversion zustande. Eine Umrechnung auf die potentiellen Aequivalenttemperaturen in ungestörten Nächten (URFER, 1964) hatte zwischen den unter sich ähnlichen Werten an den Hangstationen zu denjenigen in der Talsohle so grosse Differenzen ergeben, wie wenn es sich um zwei voneinander völlig verschiedene Luftmassen handeln würde, zwischen denen es zu gar keinem Austausch kommen kann. Die Wechselwirkungen mit der Umgebung schaffen unterschiedliche Wärmebilanzen: Neben Strahlungs- vor allem Kondensationsvorgänge im Tal (Taubildung) und vielleicht Evaporation der Bäume am Hang, die zu einer vorübergehenden Aenderung der Luftmasse führen, welche sich tagsüber wieder zurückbildet.

Die "B"-Tage stellen eine Uebergangsphase zwischen "S" und "U" dar und dauern selten mehr als 24 Stunden. Bei nachlassendem Schlechtwetter und unter dem Einfluss sich entwickelnder nächtlicher Ausstrahlung beginnen sie mit nur mässigen Inversionen und gehen erst allmählich in der nachfolgenden Nacht in Temperaturwerte von "U"-Lagen über. Die Inhomogenität in der "B"-Kurve von T-CJ zwischen 16 und 20 Uhr erklärt sich durch den Vergleich mit Abbildung 4: T kann sich bei "B" tagsüber nicht so stark erwärmen wie bei "U" und steht im Mittel über alle Tage schon Mitte Nachmittag ein erstes Mal in Isothermie und danach in Inversion zu CJ. Mit dem Herauszögern des Bergwindes aber (die aus entgegengesetzer Richtung wehende Bise verzögert abends dessen Einsatz um einige Stunden) wird im Talgrund auch der definitive Temperaturrückgang zeitlich verschoben, so dass es nach Sonnenuntergang nochmals kurzfristig zu einem positiven und anschliessend nur noch schwach negativen Gradienten am untern E-Hang kommt.

Die herausstechenden Inversionen T-OM zwischen 6 und 9 Uhr an "U" - und "(F)"- Tagen sind die Folge der Besonnung am Hang, während gleichzeitig das Tal noch beschattet ist. Sie dürfen deshalb nicht überbewertet werden.

3.2.4 Differenzen zwischen Stationen gleicher Höhe

Dass in einem nahezu S-N orientierten Tal ein ausgesprochener Tagesgang der Differenzen zwischen beiden Talseiten vorkommt, ist an sich trivial. Aber seine approximative Grössenordnung und Veränderlichkeit mit der Witterung sind kaum bekannt, weil normalerweise dazu das Datenmaterial fehlt. In unserem Lande sind klimatologische Beobachtungsstationen an NE exponierten Hängen sehr selten, weil sich nur wenige und meist kleinere Siedlungen an solcher Lage befinden.

In den Abbildungen 5 f und g werden die beiden Talseiten verglichen: Je intensiver die Einstrahlungsunterschiede und je unbewegter die Luft, umso grösser werden die Temperaturunterschiede zwischen St-L und OM-CJ, was bei Sonnenauf- und -untergang zutrifft. An "U"-Tagen kommt der Wind zur Zeit des Richtungswechsels häufig zur Ruhe, so dass sich die Luft über dem jeweils besonnten Hang (6 bis 9 Uhr in E-, 15 bis 19 Uhr in W-Exposition) ungestört erwärmen kann. Bei "B" ist die überlagerte Advektion spürbarer als bei leichtem "(F)". Diese Differenz ist daher sowohl morgens als auch abends kleiner. Obwohl die Besonnung in mittlerer Hanghöhe länger dauert als unten, sind die Ausschläge der Kurven für "(F)" gleich gross, bei "B" sogar eher noch etwas grösser und einzig bei "U" im unteren Hangviertel um weniges kleiner als in Hangmitte. Wie nicht anders zu erwarten, bestehen nur kleine Temperaturdifferenzen zwischen beiden Hängen bei Kaltluftadvektion. Immerhin erkennt man, dass sich auch noch bei stark unterbundener Einstrahlung am Vormittag der E- und am Nachmittag der W-Hang etwas mehr erwärmen als der Gegenhang.

4. Häufigkeitsverteilungen der Temperaturdifferenzen

Diese Auszählungen beziehen sich auf alle Tage (alle Witterungstypen, inkl. der komplexen Lagen) und zur Hauptsache auf den Monat Juli. Mit Absicht wählten wir nicht etwa den September, um nicht dem Vorwurf Vorschub zu leisten, wir würden um extremer Resultate willen aus der Messperiode den Monat mit den längsten Nächten, den möglicherweise extremsten Temperaturinversionen und mit den grössten Differenzen zwischen beiden Talseiten vorlegen. Wir begnügen uns für diesen Fall mit den Temperaturdifferenzen; meistens möchte man ja diese kennen und arbeitet erst in zweiter Linie mit den Gradienten. Auf der Abszisse ist jede zweite Klassenmitte von -10,75 bis +6,25 °C angeschrieben. Die Klassenbreite beträgt 0,5 Grad. Die Klassenhäufigkeiten sind in den Abbildungen 6 a bis h eingezeichnet. Dabei sind jeweils aus den 24 Stunden sechs bis acht Tageszeiten herausgegriffen, die sowohl die Extrem- als auch die Uebergangsverhältnisse wiedergeben, so dass man sich für die dazwischen liegenden zwei bis sechs Stunden eine ungefähre Vorstellung über die Verteilung der Differenzen machen kann. Zur besseren konkreten Vorstellung sind die Isothermie und der Gradient von 1 °C/100 m durch senkrechte Linien hervorgehoben.

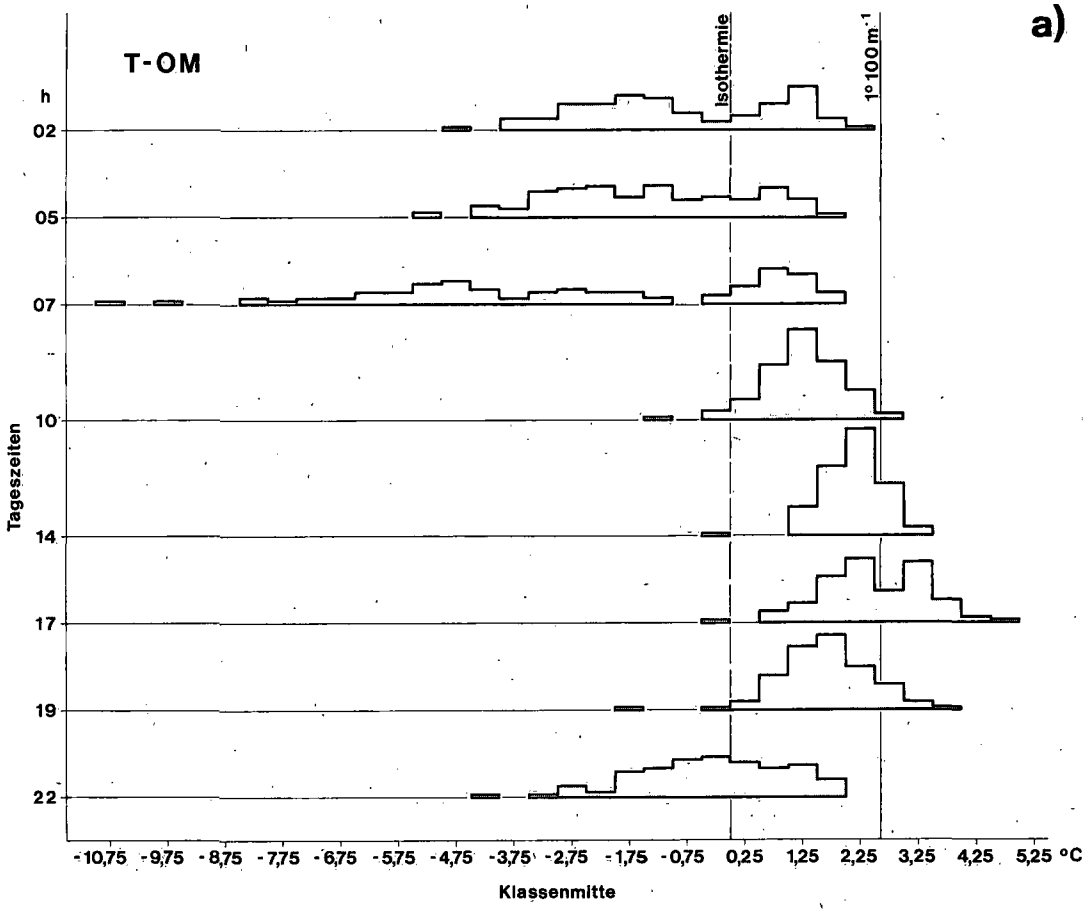
4.1 Temperaturdifferenzen zwischen Tal und unterem Hangviertel

Am meisten streuen erwartungsgemäss die Temperaturdifferenzen zwischen Tal und unterem Hangviertel (Abb. 6 a und b). Die stärksten Inversionen finden sich bei Sonnenaufgang am unteren linken Hang, also in der Zeit um 7 Uhr, wenn OM schon einige Zeit besonnt ist und T noch im Schatten liegt. Für den Monat Juli und die vorliegende Periode beträgt die grösste Differenz -10,25 Grad. Weniger extrem ist das abgeflachte Maximum zwischen -8,25 und -1,25 Grad mit der grössten Häufigkeit bei -4,75 °C. Diese Werte treten nach mehr oder weniger starker Aufhellung in der Nacht in Erscheinung, also vor allem bei "U"-, "B"- und "(F)"-Lagen. In die Klassen von -0,25 bis +1,75 Grad um 7 Uhr fallen die Wetterlagen mit bedecktem Himmel bei Kaltluftadvektion ("S"). Diese beiden Gruppen haben sich im Laufe der Nacht mehr und mehr voneinander abgespalten. Zwischen T und CJ, die praktisch gleichzeitig von den ersten Sonnenstrahlen erreicht werden, zeigt die Verteilung um 4 und 7 Uhr das eine Maximum zwischen -3,25 und -1,75 Grad und das zweite bei +0,75 °C.

Tagsüber konzentrieren sich die Differenzen fast ausnahmslos auf positive Werte; am E-Hang nähern sie sich erst allmählich dem Wert, welcher der Trockenadiabaten entspricht, während dieser Wert am W-Hang rasch (10 Uhr) erreicht und dann allmählich wieder verlassen wird (vgl. Kapitel 3.2.3). Um 17 Uhr zeigt die Verteilung der Differenzen zwischen T und OM wieder ein Doppelmaximum, dessen einer Teil sich nun aber im überadiabatischen Bereich befindet. Es ist dies der Zeitpunkt des ersten Hangabwindes (URFER, 1970). Sobald dieser zwischen OM und T nicht mehr weht, im Talgrund dafür Bergwind vorherrscht, bleiben die Differenzen nur noch bei Wetterlagen mit bedecktem Himmel positiv. Bei den andern Lagen verschieben sie sich wieder über die Isothermie zur Inversion. Dies ist auch schon ab 18 Uhr am E-Hang der Fall, wo sich deutlich die Zweiteilung der Häufigkeitsverteilung abzuzeichnen beginnt.

4.2 Temperaturdifferenzen zwischen Stationen desselben Hanges

Zwischen dem unteren Hangviertel und der Hangmitte (Abb. 6 c und d) sowie zwischen der Hangmitte und dem



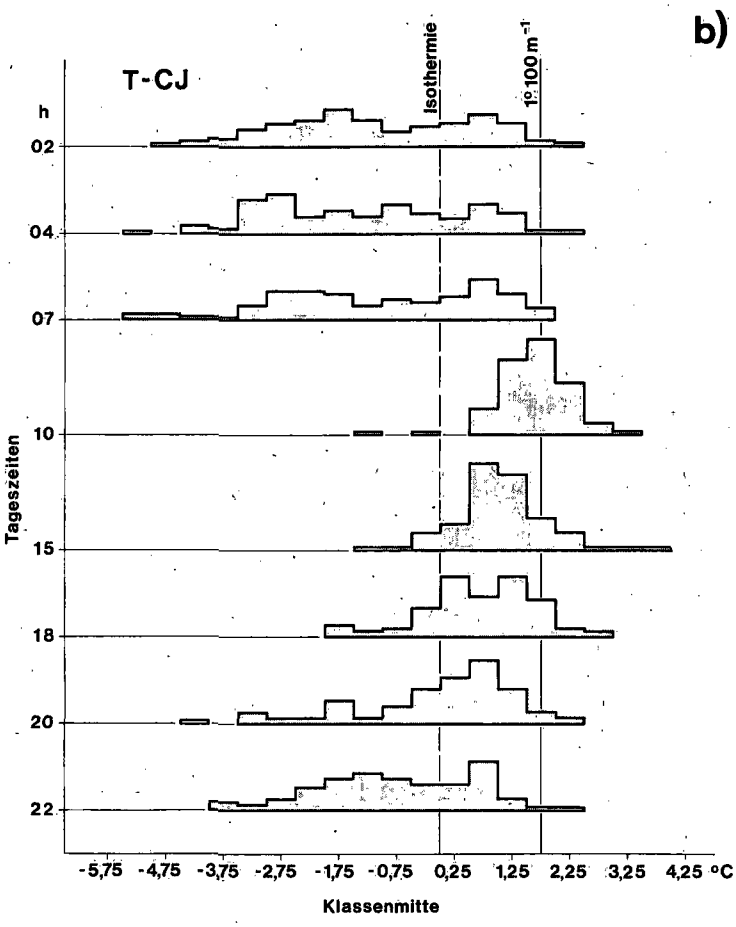


Abb. 6 Häufigkeitsverteilung der Temperaturdifferenzen zwischen a) T und OM und b) T und CJ (Juli 1963-65, 93 Tage)

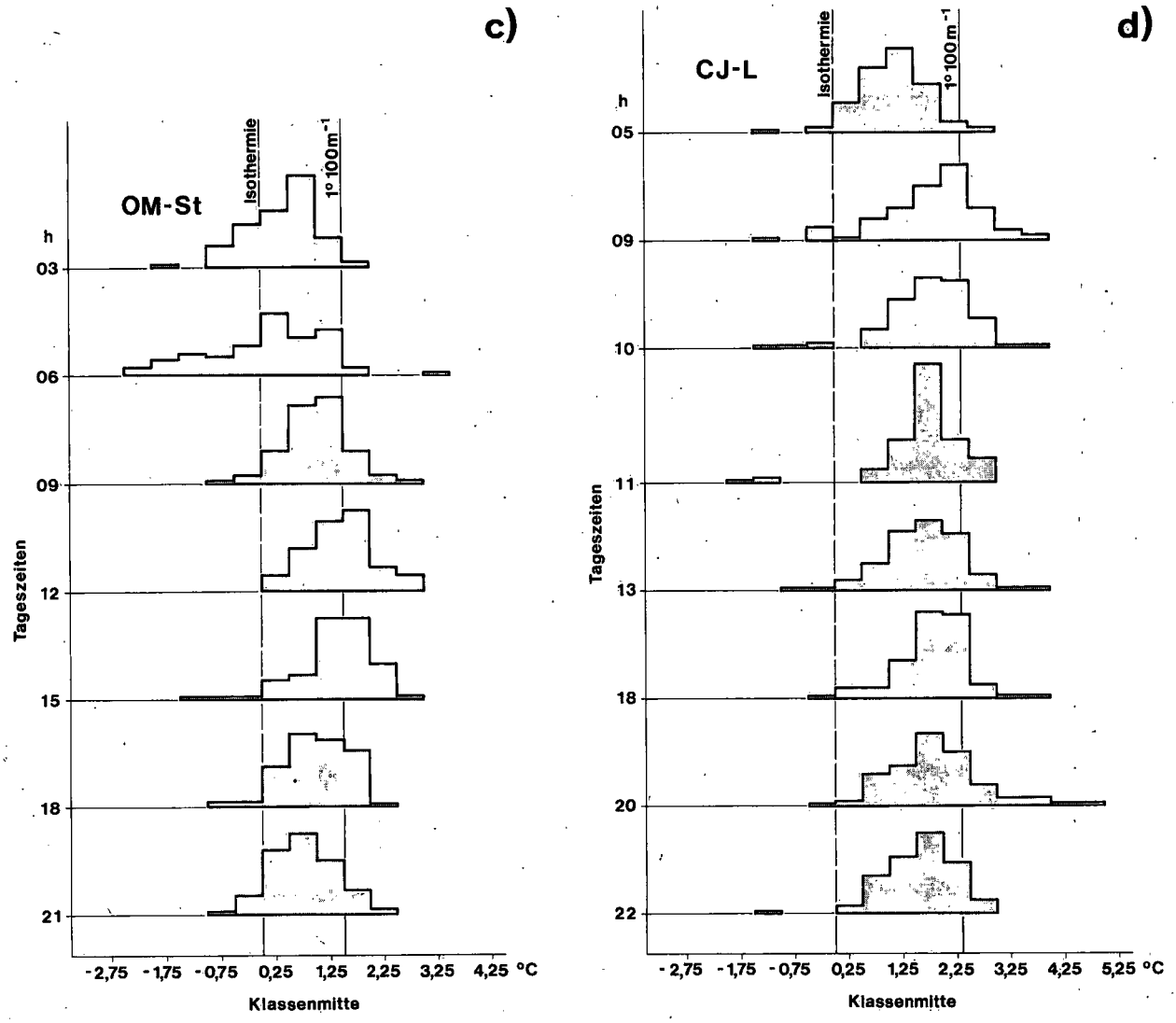


Abb. 6 Häufigkeitsverteilung der Temperaturdifferenzen zwischen c) OM und St und d) CJ und L (Juli 1963-65, 93 Tage)

Kamm (6 e und f) kommt es auch gelegentlich und fast zufällig zu extremen Inversionen. Witterungsmässig begründet sind aber nur die Inversionen zwischen OM und St sowie zwischen St und BB um 6 Uhr, wenn bei St resp. BB die Sonne schon aufgegangen ist. Von den überadiabatischen Temperaturdifferenzen besitzen diese zwischen OM und St am späteren Nachmittag ihre besondere Bedeutung, weil sie für den relativ frühen und markanten Hangwind verantwortlich sind. Alle anderen Differenzen, die man auf den Abbildungen 6 c bis f vorfindet, welche zwischen kleinen Inversionen und überadiabatischen Gradienten pendeln, spiegeln die möglichen Temperaturunterschiede zwischen je zwei benachbarten Stationen wider, wie sie bei den typischen (vgl. Kapitel 3.2.1 und 3.2.2) oder komplexen Wetterlagen über einem Hang entstehen können. Nur zeigt die Häufigkeitsverteilung neben den äussersten Grenzen auch deutlich die Asymmetrie der Maxima, die bei der Mittelbildung (Abb. 5 a bis c) unerkannt bleiben.

4.3 Temperaturdifferenzen zwischen beiden Hängen

Die Differenzen zwischen den beiden fast gleich hoch gelegenen Hangstationen (Abb. 6 g und h) zeigen in der Häufigkeitsverteilung auch eine überraschend grosse Variationsbreite. Im Extremfall, zur Zeit von Sonnenauf- und -untergang, erreichen die Differenzen ungefähr +5 Grad. Aber selbst zu denjenigen Tages- resp. Nachtzeiten, zu denen man Isothermie erwarten würde, muss man mit einer Streubreite von rund ± 1 °C bei OM-CJ, und von + 1,5 °C bei St-L rechnen. Besonders zwischen den beiden Hangmitten ist die Verteilung wenig konzentriert, und im besten Fall sind es etwa 30-50 Prozent aller Fälle, die sich um die Isothermie scharen.

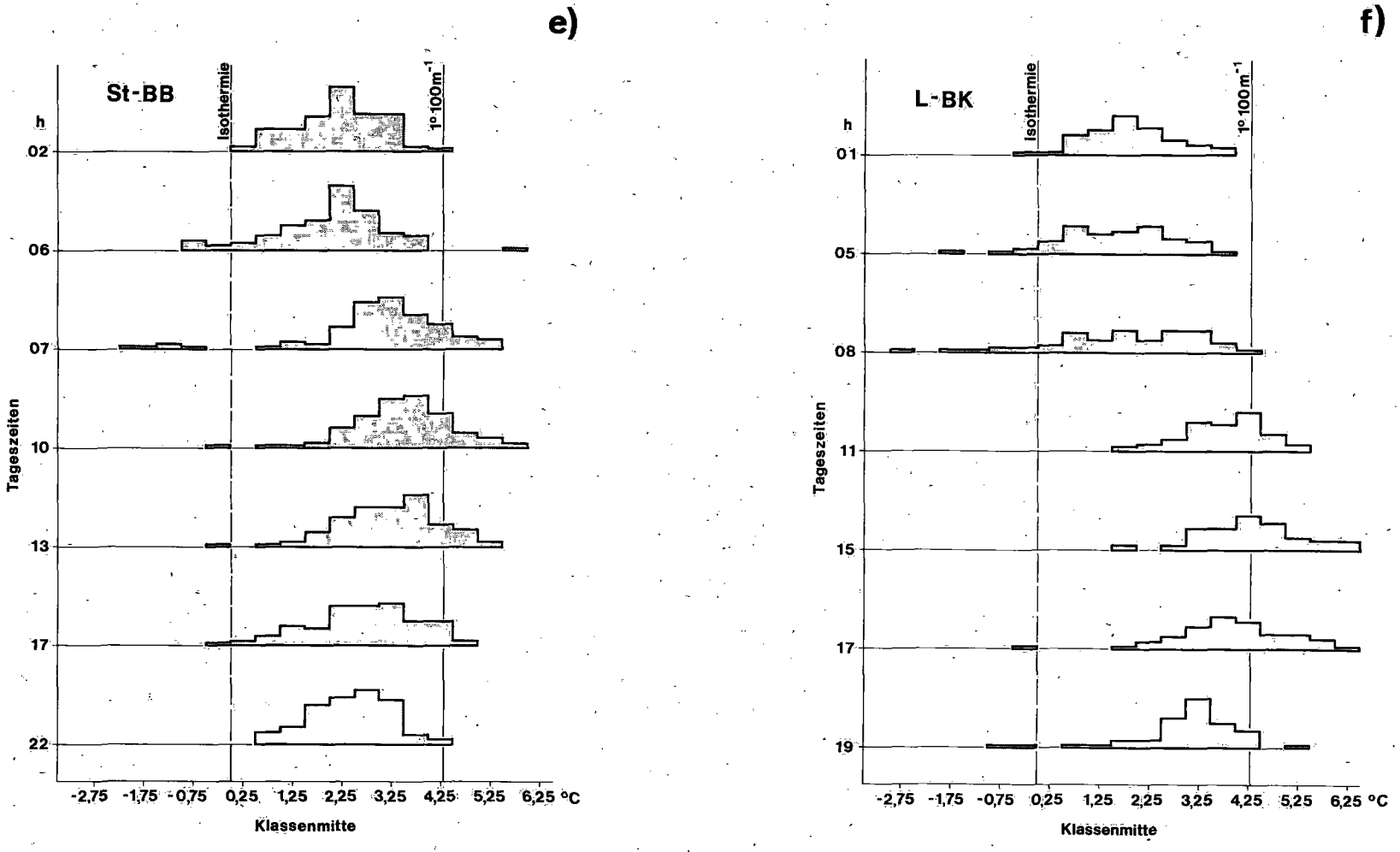


Abb.6 Häufigkeitsverteilung der Temperaturdifferenzen zwischen e) St und BB (August 1959-61, 93 Tage) und f) L und BK (August 1959, 60 Tage)

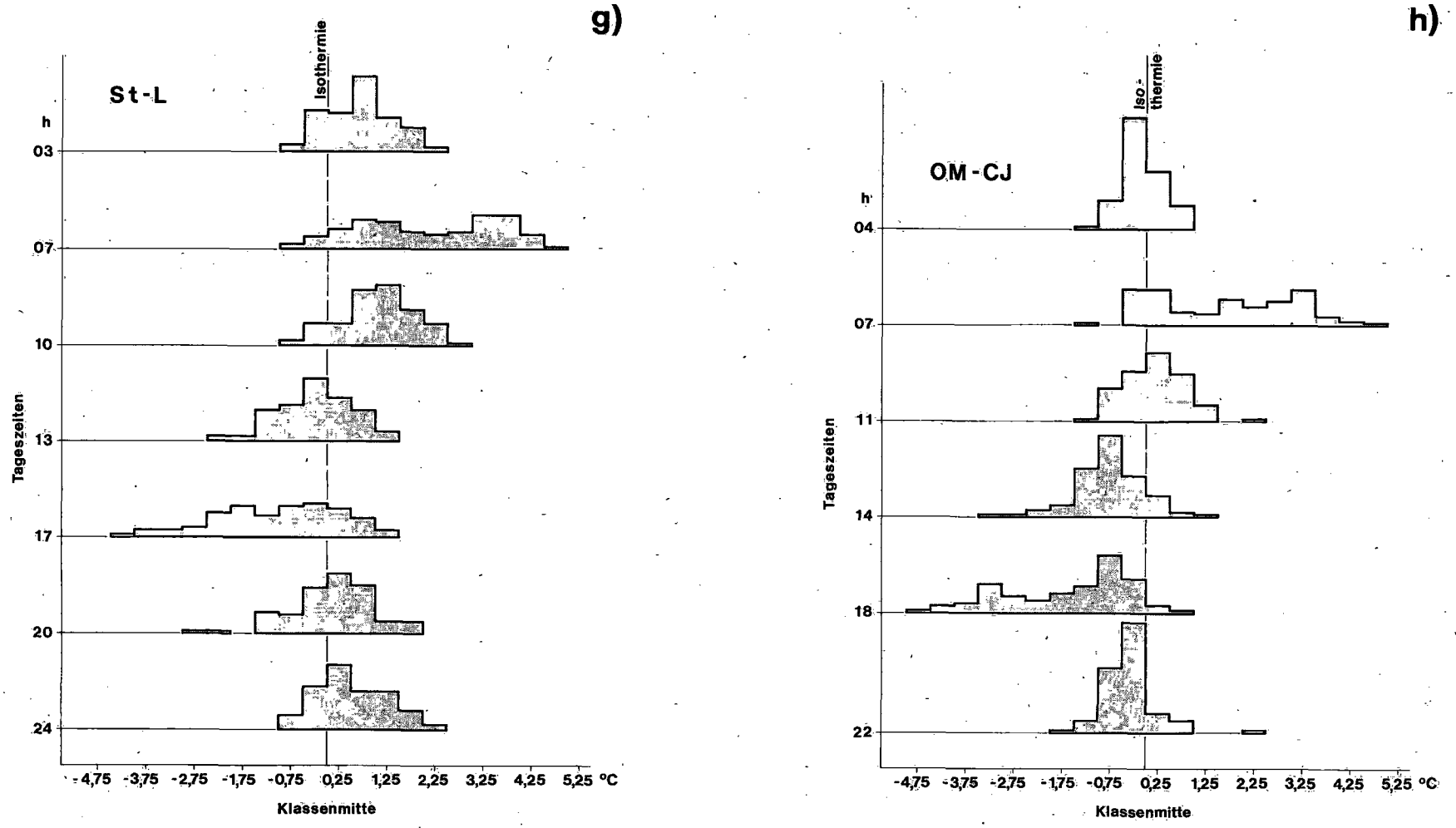


Abb. 6 Häufigkeitsverteilung der Temperaturdifferenzen zwischen g) St und L und h) OM und CJ (Juli 1963-65, 93 Tage)

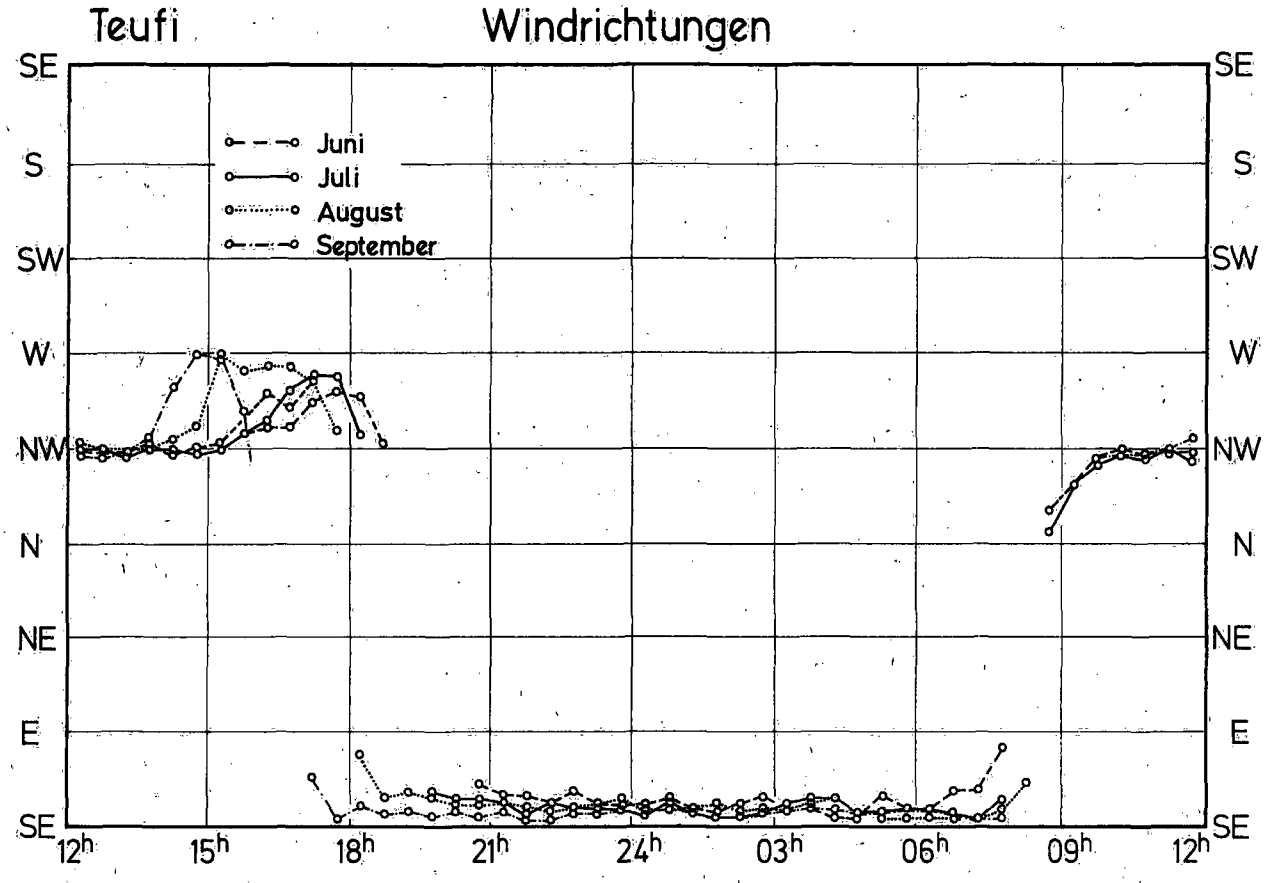


Abb. 7a Tagesgang der Windrichtung an ungestörten Schönwettertagen in der Teufi (Station T)

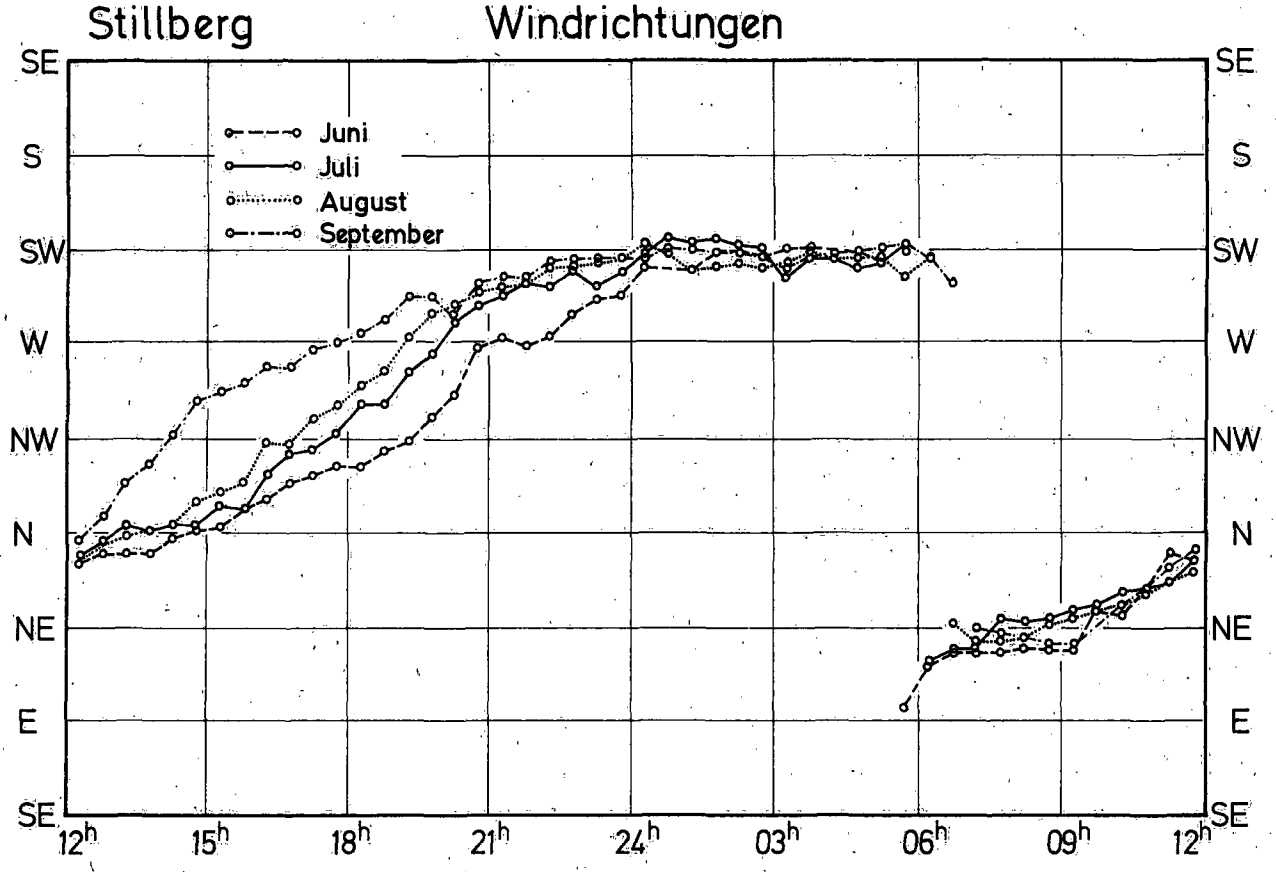


Abb. 7b Tagesgang der Windrichtung an ungestörten Schönwettertagen auf Stillberg (Station St)

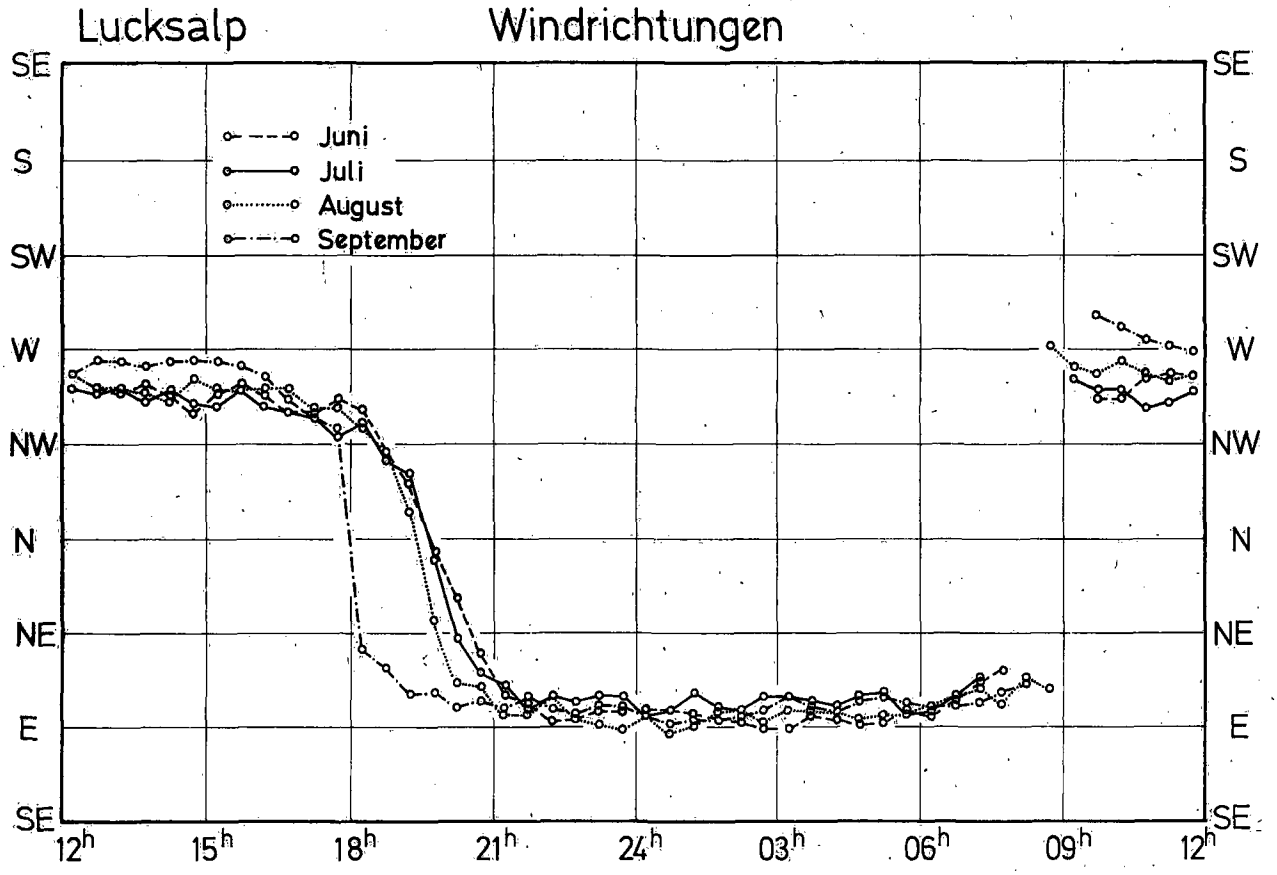


Abb. 7c Tagesgang der Windrichtung an ungestörten Schönwettertagen auf der Lucksalp (Station L)

5. Mittlere Windrosen bei ausgesuchten Wetterlagen

Da für die ganze Periode mit Windregistrierungen für alle Stationen die halbstündlichen Auswertungen nach Richtung und Geschwindigkeit vorliegen, konnten wir auch mittlere Windrosen für die ausgesuchten Tage typischer und einheitlicher Witterung für den August berechnen lassen. Nach Tages- und Nachtstunden getrennt sind diese Resultate graphisch in den Abbildungen 8 a bis h aufgezeichnet.

5.1 Windrosen an ungestörten Tagen (Abb. 8 a und b)

Am eindeutigsten sind die Windverhältnisse im Talgrund mit ihrer Konzentration auf die Talachse. Am Tag überwiegt der Talwind. Da er aber erst nach dem dortigen Sonnenaufgang einsetzt (URFER, 1967), entfallen die ersten Tageswerte zwischen 6 bis ca. 8 Uhr noch auf den Bergwind (Abb. 8 a). Die Westkomponente am Nachmittag ist schon verschiedentlich besprochen worden (URFER, 1970 und 1979). Aber auch der kleine, nicht zu unterschlagende Anteil an NNE-Winden am Morgen bei Sonnenaufgang kommt vermutlich als Querwind zustande. Ihn im Einzelfall zu beobachten oder durch Vernebelung sichtbar zu machen, ist uns allerdings nie gelungen. Das Phänomen scheint so selten, dass es nur in der Auszählung über eine grössere Anzahl von Tagen überhaupt in Erscheinung zu treten vermag. Dass der Bergwind nachts etwas von der allgemeinen Richtung der Talachse (SE-SSE) abweicht und auf SE und ESE verteilt ist, dürfte der leichten Krümmung der Taltiefenlinie im Bereich der Messstation zuzuschreiben sein.

An den Aufstellungen St, OM, CJ und L haben wir die Verhältnisse vor uns, die sich an jedem dieser Orte aus dem Zusammenwirken von Hang- und Talwind ergeben, und die unter Umständen noch vom Klimarelief beeinflusst werden. Am E-Hang kommt der Hangaufwind senkrecht zur Talachse deutlicher zum Ausdruck, weil er sich sofort nach Sonnenaufgang (URFER, 1967) und lange vor dem Aufkommen des Talwindes einstellt. Am W-Hang weht dagegen noch mindestens bis 8 Uhr der Hangabwind (Abb. 8 a). Der merklich grössere Anteil an SW-Winden auf OM verglichen mit St muss der Tatsache zugeschrieben werden, dass die Sonne weiter unten am E-Hang erst um ca. 7 Uhr aufgeht, und bei der Zäsur in der Datenerfassung um 6 Uhr noch eine kleine Spanne für den nächtlichen

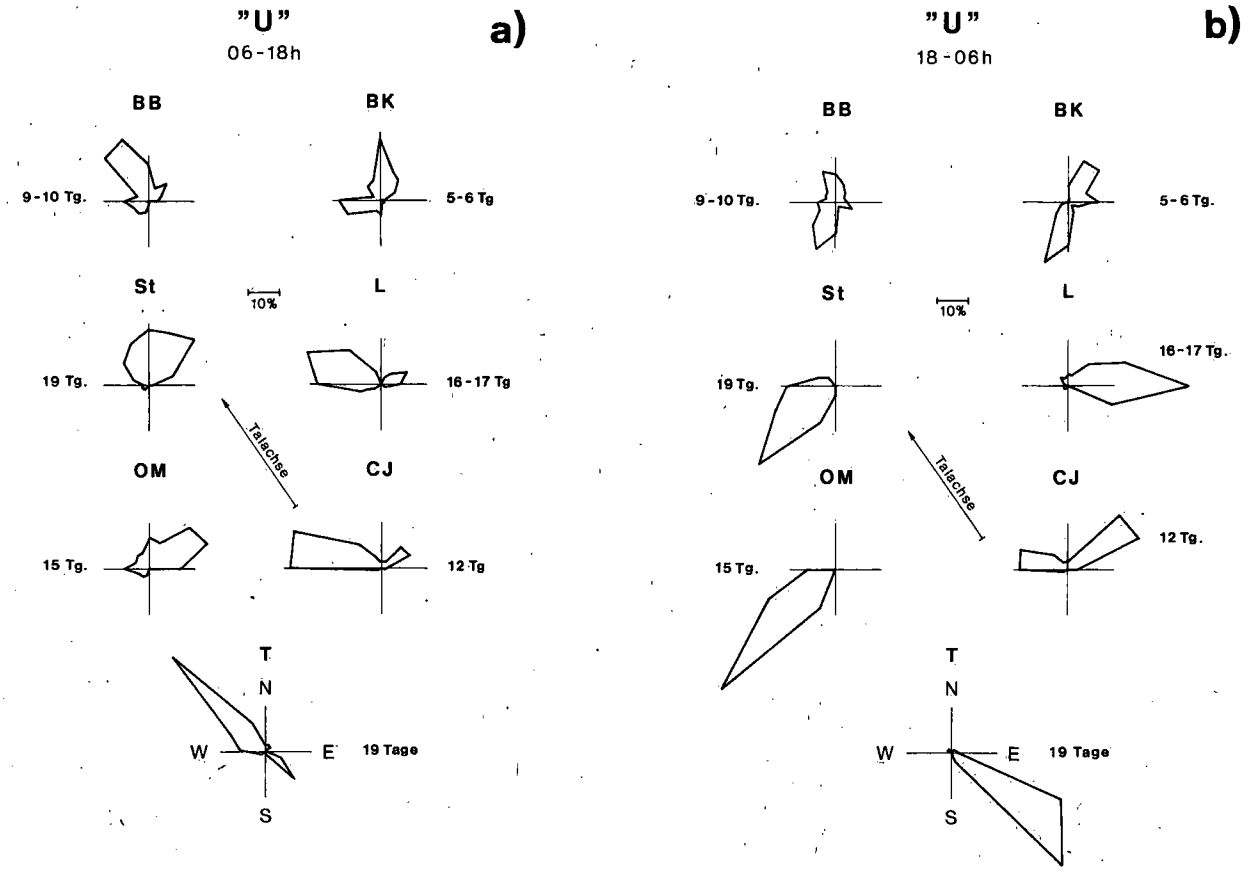


Abb. 8 Mittlere prozentuale Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen im August bei ungestörtem Wetter "U" a) für Tag (06-18 h) und b) Nacht (18-06 h)

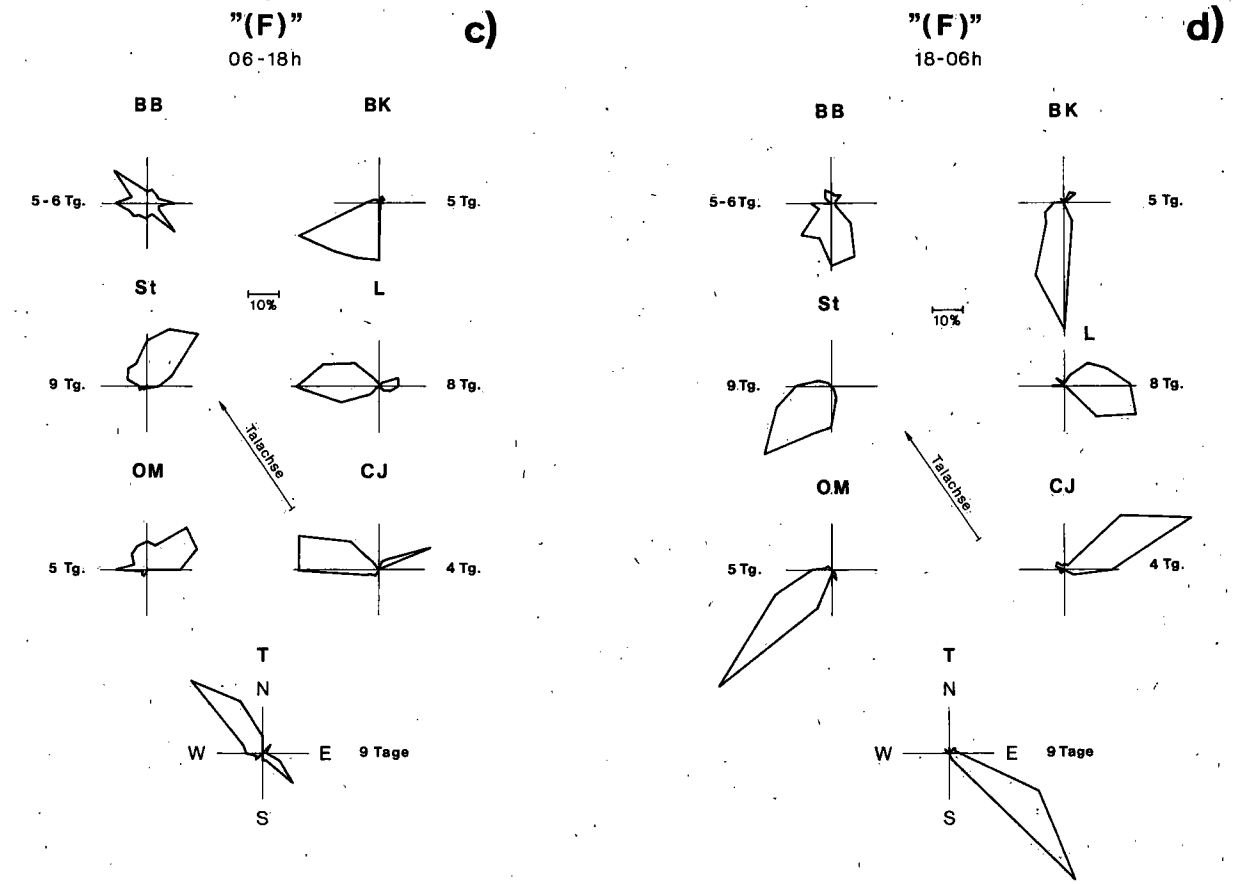


Abb. 8 Mittlere prozentuale Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen im August bei Föhn in der Höhe "(F)" c) für Tag (06-18 h) und d) Nacht (18-06 h)

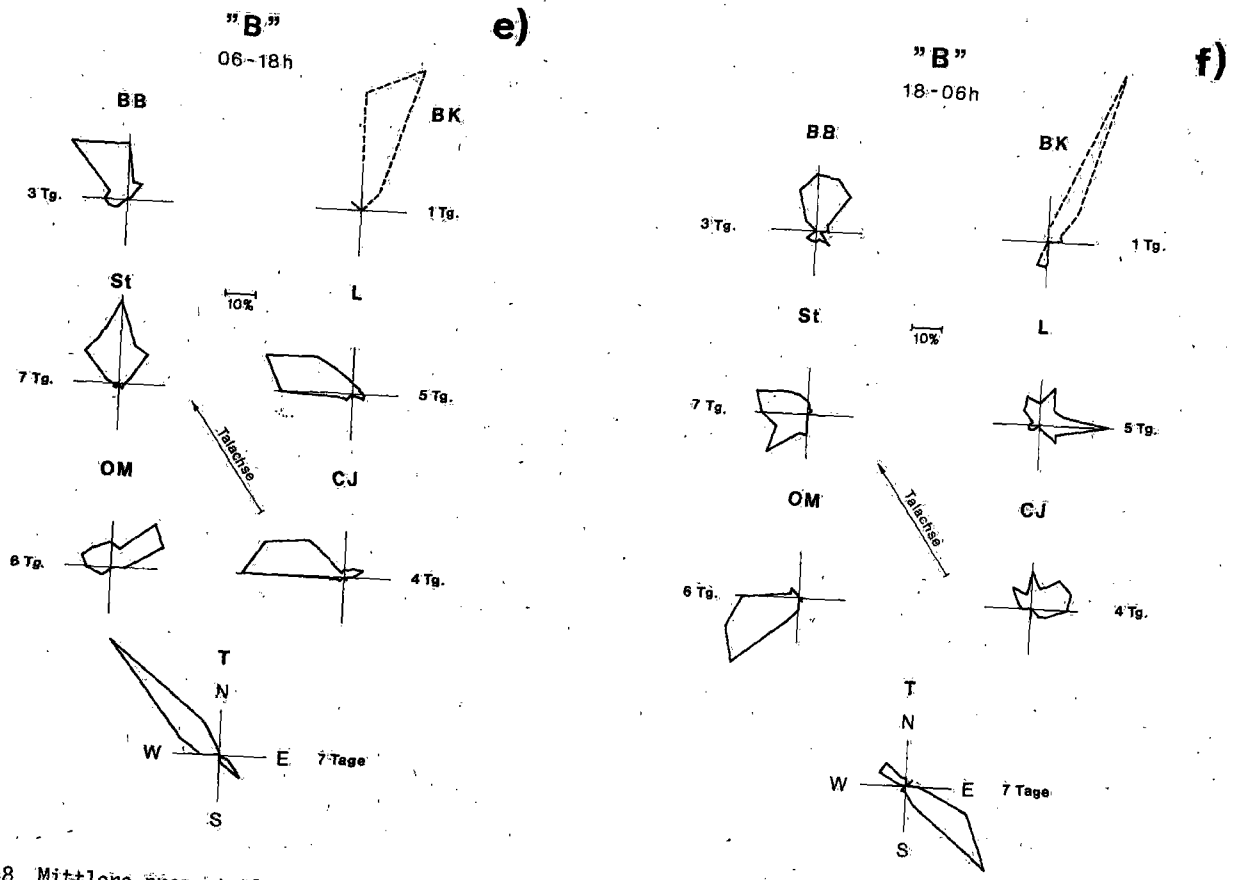


Abb. 8 Mittlere prozentuale Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen im August bei Bise "B"
e) für Tag (06-18 h) und f) Nacht (18-06 h)

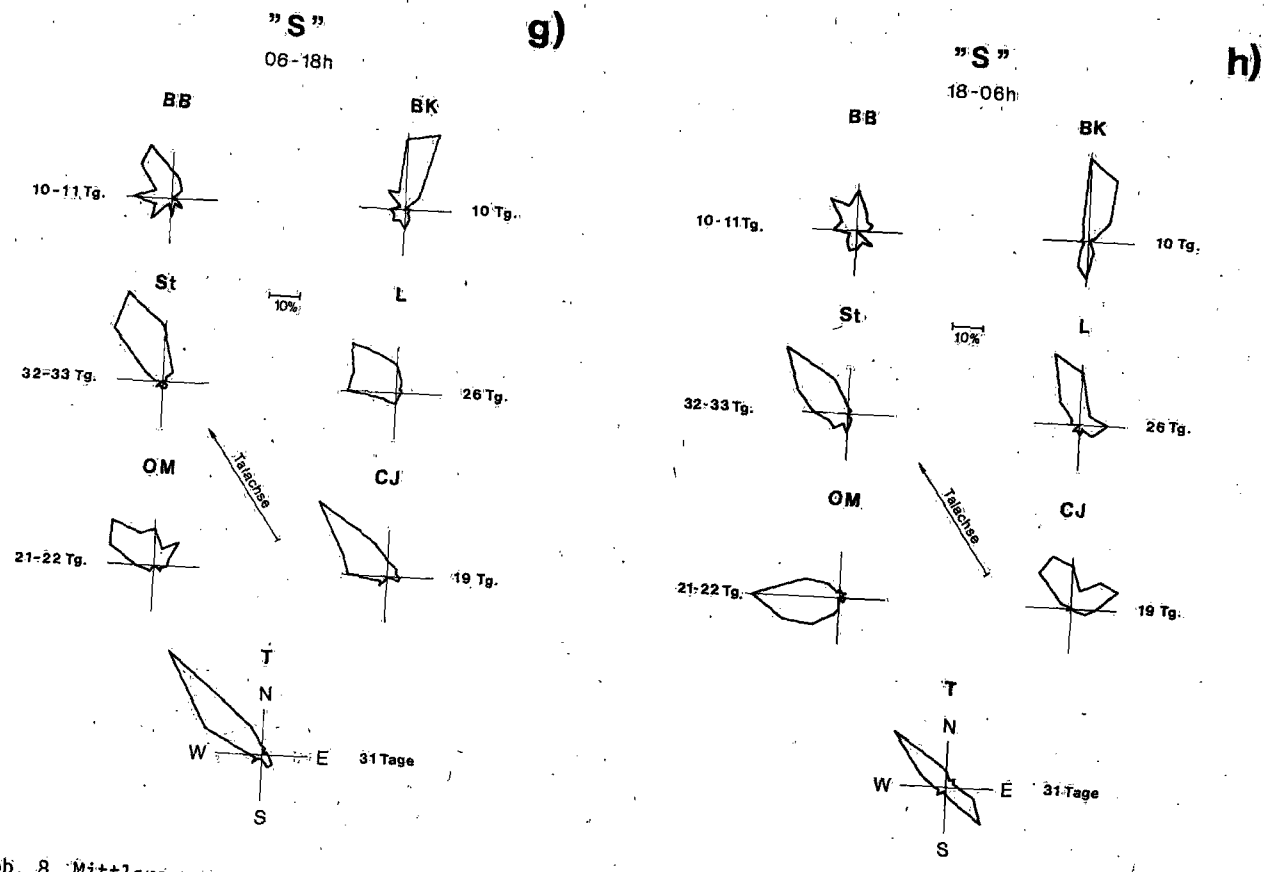


Abb. 8 Mittlere prozentuale Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen im August bei Staulage "S"
g) für Tag (06-18 h) und h) Nacht (18-06 h)

Abwind übrig bleibt. Im Laufe des Tages lässt die Intensität der direkten Einstrahlung am linken Hang rascher nach als am rechten, so dass hier die Ablenkung durch den Talwind eine stetig vor sich gehende Drehung auf N bis NNW zur Folge hat (Abb. 8 a). Rechts ist während des ganzen Tages die fächerförmige Ausbreitung des Windes mit W-WNW-Resultante auf CJ und mehrheitlich WNW auf L zu beobachten. Der, wenn auch kleine, Anteil von SW- und WSW-Strömungen auf L kann dahin gedeutet werden, dass 400 Meter über der Talsohle anfangs noch eine vom Talwind ungestörte Aufwindkomponente voll zur Wirkung gelangen kann. In dieser Auszählung mittlerer Häufigkeiten kommt auch deutlich zum Ausdruck, dass vor 18 Uhr die nachmittägliche Westwindphase am unteren E-Hang sowie im Tal von grösserer Bedeutung ist als weiter oben am Hang, wo die Drehung bis zu dieser Zeit erst bis WNW reicht. Nachts sind die Verhältnisse an den Hängen relativ eindeutig. Vor dem Einsetzen des Hangabwindes ist am linken Hang die Westphase nochmals häufig, besonders auf St (Abb. 8 b). Damit in Zusammenhang, wenn auch vielleicht nicht gerade in unmittelbaren, bringen wir die noch nach 18 Uhr häufigen Hangaufwinde auf CJ. Gerade an dieser relativ niedrig gelegenen Hangstation könnte der Anstoss für eine verlängerte Hangaufwindphase von einem Querwind herrühren. Da dieser einige Dekameter über dem Talgrund wehen würde, können wir ihn mit unseren Messungen nicht nachweisen.

Erstaunlich eng halten sich die nächtlichen Hangabwinde an die Fallinie (Abb. 8 b). Die Abweichung von dieser Regel auf L können wir uns nur durch mögliche orographische Inhomogenitäten erklären. Da sich die eigentlichen Aufforstungsprobleme auf den linken Hang konzentrieren, ist man nicht auch noch am W-Hang allen Detailfragen auf den Grund gegangen.

Die Windrosen von BB und BK liefern ausser dem erwarteten Resultat = Wind gegen das Gebirge am Tag und von diesem weg in der Nacht - noch einen Beitrag zur Problematik der Windmessungen auf Gipfeln und Kämmen. Mit Absicht ist keine freie Aufstellung auf den Kammlinien gewählt worden, sondern die Stationen wurden an den Hängen zum Dischmatal knapp unterhalb der Kammlinie errichtet; dennoch hätte man in manchen Phasen eine deutlichere Wiedergabe des Windes für die freie Atmosphäre oberhalb des Reliefs erwartet. Die Richtung des Gebirgswindes mit NW bis N am Tag und SSW in der Nacht wird nur annähernd erreicht. Ablenkungen durch Hangwinde und Verwirbelungen sind nicht unbedeutend. Die Windrosen von 18 bis 6 Uhr lassen dennoch erkennen, dass der Wind gegen das Gebirge noch lange über den Sonnenuntergang hinaus weht und meist bis etwa Mitternacht beobachtet werden kann.

Den zeitlichen Ablauf der Windrichtungen an ungestörten Schönwettertagen zeigt Abbildung 7 a bis c für die Stationen T, St und L. Diese Darstellung bereichert die bereits gemachten Aussagen und ermöglicht ausserdem einen Vergleich mit den Verhältnissen in anderen Monaten. So erkennt man daraus eindeutig, dass bei der Zäsur um 6 Uhr in T zu den Windrichtungen vom Tag (Abb. 7 a) noch die abklingenden nächtlichen Bergwinde hinzugezählt werden. Dadurch, dass sich die Monate Juni, Juli, August und September gegenüberstehen, kann man verfolgen, wie sich die Phase der nachmittäglichen Westwinde von Monat zu Monat entwickelt. Im Juni, dem Monat mit der intensivsten Einstrahlung auf den E-Hang, reicht die Ablenkung des Talwindes nur gerade bis WNW und ist von relativ kurzer Dauer. Mit der Veränderung des Sonnenstandes werden bis im September tatsächlich westliche Winde erreicht, rund drei Stunden früher als im Juni und über längere Zeit.

Am linken Hang (St) kommt die stetige Drehung der Windrichtung gegen den Uhrzeigersinn deutlich zum Ausdruck. In ihrer zeitlichen Verschiebung von Monat zu Monat liefert sie den Beweis ihrer unmittelbaren Abhängigkeit von der abnehmenden Einstrahlung (Abb. 7 b).

Am rechten Hang (L) fällt besonders auf, wie sich die Zeitpunkte der Windwechsel vom Hangab- in den Hangaufwind und umgekehrt mit fortschreitender Jahreszeit verschieben. Aus den Abbildungen 7 b und 7 c geht hervor, dass die Hangabwinde - wenn sie erst einmal wehen, was auf L kurz nach 21 Uhr und auf St spätestens um 24 Uhr zu erwarten ist - in ihrer Richtung eine erstaunliche Konstanz beibehalten.

5.2 Windrosen bei Föhn in der Höhe (Abb. 8 c und d)

Es liegt nahe, die Windrichtungshäufigkeiten bei anderen Wetterlagen mit denen an ungestörten Tagen zu vergleichen.

Zu "(F)" möchten wir, in Zusammenhang mit seiner mittleren Windrichtung, nochmals daran erinnern, wie wir

ihn definiert haben: der Südwind dringt noch nicht bis in die Täler hinunter vor und der Südstau greift mit seinem Schlechtwettergewölk noch nicht auf die Alpennordseite über. Wohl erscheinen die ersten "Fisch- und Linsenwolken" (lenticularis) am Himmel, und die Sicht wird auffallend klar (im Alpenvorland jedoch nur oberhalb der Dunst- oder Nebelschicht der Niederungen). In Gegenden wie dem Dischma bringt diese Witterung die mildesten Temperaturen, weil der beginnende Föhneffekt noch mit relativ heiterem Himmel einhergeht. Der eigentliche Föhn, der seinerseits in dieser Gegend von komplexer Erscheinung sein kann, ist erst nach der "(F)"-Lage zu erwarten.

Als erstes stellt man bei "(F)"-Lagen fest, dass sich für den Talgrund von der Abbildung 8 a zu 8 c nichts Wesentliches ändert (kleine Aenderungen in der Windrose lassen sich allein schon dadurch erklären, dass der Mittelbildung von 8 c und d weniger, meist die Hälfte oder gar nur ein Drittel, Tage zugrunde liegen). Diese Tatsache deckt sich mit der Definition, dass nur in der Höhe der Wind auf Sektor S bis SW dreht und dass daher in den tieferen Lagen wegen der kaum unterbundenen Strahlung die thermischen Winde zur normalen Entfaltung gelangen können. Anders an den Kammstationen: dort wehen nachts die Winde eindeutig aus Sektor S, und auch am Tag ist vom Gebirgswind nichts mehr zu beobachten; die isolierte Spitze aus NW auf BB ist eher als Zufall zu betrachten und könnte auch durch Verwirbelungen entstanden sein.

5.3 Windrosen bei Bise (Abb. 8 e und f)

Auch bei Bise nehmen die Windrosen im Tal keine völlig veränderte Struktur an; denn auch bei dieser Lage ist der Himmel wolkenlos und die Strahlung unbehindert. Nur die Thermik ist von der Kaltluftadvektion aus Sektor N bis ENE überlagert. Immerhin sind einige Modifikationen sicher signifikant und nicht nur dem Zufall der Mittelbildung über weniger Beispiele zuzuschreiben (mit Ausnahme von BK, wo der eine herausgegriffene Tag ein "perfektes Musterbeispiel" darstellt!).

Bei Bise ist der Einsatz des Talwindes zeitlich vorverschoben, so dass nach 6 Uhr morgens ein sehr kleiner Anteil von Bergwinden in T und von Hangabwinden auf CJ und L verbleiben. Der Aufwind am untern rechten Hang wird stärker in Richtung der Talachse abgelenkt, da der durch Bise verstärkte Talwind den thermischen Wind am Hang früher beeinflusst. Auch auf OM verschieben die weniger häufig auftretenden Hangwinde ihren Schwerpunkt nach NE, während der Anteil an talparallelen Winden grösser wird als an ungestörten Tagen. Auf St sticht die aus Hangauf- und Talparallelwind resultierende klare N-Richtung deutlich hervor. Dennoch bleibt die Phase der ersten Hangabwinde auf OM und des W-Windes in T nicht aus. Im allgemeinen ist die

Abb. 9 Blättrige Struktur der Talinversion, sichtbar an den sich durchdringenden Dunstschichten

Bise ja ein Uebergangsstadium von zyklonaler zu antizyklonaler Witterung und in Höhen bis auf 2500 m/M nur von kurzer Dauer. Wenn sie daher schon im Laufe des ersten wolkenlosen Tages (zuvor ging sie noch mit restlichem Schlechtwettergewölk oder Hochnebel einher) allmählich abflaut, so kann sie eben, und wenn es auch nur kurzfristig ist, vom nachmittäglichen Querwind unterbrochen werden.

Besonders für die Nachtstunden (18 bis 6 Uhr) muss man betonen, dass sich diese aus den ersten (0 bis 6 Uhr) und den letzten sechs Stunden (18 bis 24 Uhr) desselben Tages zusammensetzen, also einer Phase mit aktiver Bise vor Tag und jener im Uebergang zum stabilen Wetter in der darauffolgenden Nacht. Dennoch vermag man auch noch im Mittel über diese beiden zeitlich getrennten Abschnitte festzustellen, dass die Bise den Talwind über 18 Uhr hinaus verlängert. Es braucht am linken Hang seine Zeit, bis sich die Drehung von NW über W zum Hangabwind vollzogen hat. Vielleicht müsste man hier eher sagen, dass eben der Wind in der Vornacht mehr den talparallelen und erst in der darauffolgenden den hangabwärts gerichteten Anteil beiträgt. Im selben Sinn wären auch die NW- bis NNE-Winde am E-Hang zu deuten, da auch dort nur noch eine beschränkte Häufigkeit für den Hangabwind übrig bleibt. Es überrascht, dass auch noch auf BB die Windrose nachts zum allergrössten Teil auf Sektor N bis NNE ausgerichtet bleibt. An dieser Stelle muss man vielleicht einmal mehr darauf aufmerksam machen, dass es hier um Auszählungen der Richtung und nicht der Geschwindigkeit geht. Ihre eigentliche, anhaltende und auffallende Stärke entwickelt die Bise ja in den Niederungen des Mittellandes.

5.4 Windrosen bei Nordstaulagen (Abb. 8 g und h)

Auf der Alpennordseite kommt das anhaltend schlechte Wetter meistens bei NW-Lagen vor und wird im Alpenraum als Nord-"Staulage" bezeichnet, weil dann die einzelnen Fronten kaum mehr als solche unterschieden werden können und der Anstau der feuchten Luftmassen an den Alpen die Situation dominiert. In die Mittelbildung über 24 Stunden schlechten Wetters fallen sicher auch die Uebergangsphasen vor und nach der eigentlichen Staulage, was die unausgeglichenen und nicht nur ausschliesslich nach N bis NW ausgerichteten Windrosen von BB und BK erklären mag. In welchem Masse sich, bei Wegfall der direkten Sonneneinstrahlung und der daraus sich entwickelnden thermischen Winde, eine Advektion gezwungenermassen in die Talrichtung einspielt, beweisen die Windrosen der Hangstationen: Sie sind zur Hauptsache nach der Talachse ausgerichtet, und zwar tagsüber an allen Stationen, während nachts an den unteren Hängen, gleich wie im Talgrund, Hangab- und Bergwindkomponente mitwirken. Das Absinken der bodennahen Kaltluft scheint dann zeitweise kräftiger zu sein als die Advektion. Sicher spielt generell das Problem der Temperaturschichtung mit eine Rolle, in welchem Masse eine Advektion in die Niederungen eines Tales durchgreift, dessen thermische Winde zu dieser Tageszeit aus entgegengesetzter Richtung wehen. (Auffällig ist dies auch im erweiterten Tessintal beim Lago Maggiore zu beobachten, über welches tagsüber ein heftiger Süd- oder Westwind hinwegblasen kann, ohne dass deswegen in den tieferen Lagen die Hangwinde in ihrer Richtung wesentlich beeinflusst würden).

Zusammenfassung

Ergebnisse der mesoklimatischen Temperatur- und Windverteilung im Dischmatal bei Davos sind bisher in getrennten Arbeiten veröffentlicht worden und haben sich im wesentlichen auf Schönwetterlagen beschränkt. In der vorliegenden Publikation werden sowohl Temperatur als auch Wind im Mittel über ausgesuchte typische Wetterlagen für die Sommermonate (einschliesslich September) der Messperiode 1959-1965 behandelt.

Zuerst werden, zum besseren Verständnis des nachfolgenden Vergleichs, im Sinne der klassischen Klimatologie die mittleren Tagesgänge der Temperatur von den acht Stationen im Talquerschnitt (1700 bis 2560 m/M) und erst danach der Tagesgang der Temperaturgradienten und -differenzen zwischen diesen dargestellt. Durch die Aufteilung auf verschiedene Wetterlagen kann dann gezeigt werden, dass die Einzelwerte selten mit dem statistischen Mittel zusammenfallen. In diesem alpinen Hochtal schaffen ausgeprägte Inversionen und aktive Advektionen sehr wechselhafte Bedingungen, die vorrangig zu berücksichtigen sind.

Die Aufteilung der Temperaturgradienten nach verschiedenen Witterungstypen lässt erkennen, dass nachts sowohl bei ungestörtem Wetter, bei Föhn in der Höhe oder bei Bise sich im Talgrund Inversionen, an den unteren Hängen Isothermie (meist nur scheinbar, d.h. durch die Stationsaufstellung bedingt) und tags an den oberen Hängen über viele Stunden überadiabatische Gradienten bilden (ob zusammen mit letzteren Hang-auf- oder -abwinde auftreten, hängt letztlich von den sehr lokalen Wärmebilanzunterschieden (URFER, unveröffentlichtes Manuskript) ab). Nur an Tagen mit Nordstau (Kaltluftadvektion bei bedecktem Himmel, meist mit Niederschlag) ist die Inversion nachts aufgehoben, und ganztägig bleiben die Temperaturdifferenzen zwischen den Stationen, also auch zum Talgrund, positiv. Die grössten negativen Temperaturdifferenzen zwischen tieferen und höheren Stationen treten in klaren Nächten nahe dem Talgrund auf, insbesondere kurz vor Sonnenaufgang, wenn der E-Hang bereits besonnt ist. Die grössten positiven Temperaturdifferenzen wurden am oberen Hang und bei direkter Sonneneinstrahlung festgestellt.

Windrosen zeigen bei ausgewählten, wohldefinierten Wetterlagen eine eindeutige Dominanz der thermischen Winde, und dies nicht nur an gradientschwachen ungestörten Tagen, sondern auch bei Advektion trockener, wolkenarmer Luft (Bise und Föhn in der Höhe).

Literaturverzeichnis

BIDER, M.: Bericht über die Ergebnisse meteorologischer Untersuchungen 1964-1965 bei Basel im Hinblick auf die Luftverunreinigung. Vervielfältigtes Typoskript , 14 Seiten, Basel 1966

NAEGELI, W.: Der Wind als Standortsfaktor bei Aufforstungen in der subalpinen Stufe. Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Mitt. 47, Heft 2, Seiten 35-147, Birmensdorf 1971

URFER-HENNEBERGER, Ch.: Nachweis der lokalen Strömungsverhältnisse im Dischmatal mit Hilfe der potentiellen Aequivalenttemperatur. Verh. Schweiz. Naturf. Ges., Seiten 99-100, Zürich 1964

Zeitliche Gesetzmässigkeiten des Berg- und Talwindes. Veröff. Schweiz. Meteor. Zentralanst., Nr. 4, Seiten 242-252, Zürich 1967

Neuere Beobachtungen über die Entwicklung des Schönwetterwindsystems in einem V-förmigen Alpental (Dischmatal bei Davos). Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser.B, 18, Seiten 21-42, Wien 1970

Temperaturverteilung im Dischmatal bei Davos mit Berücksichtigung typischer sommerlicher Witterungslagen. Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Mitt. 55, Heft 4, Seiten 299-412, Birmensdorf 1979

VAN HUSEN, G.: Untersuchungen von Inversionen in einem alpinen Längstal mittels Segelflügen. Veröff. Schweiz. Meteor. Zentralanst., Nr. 4, Seiten 294-302, Zürich 1967

Dank

Die vorliegende Arbeit entstand bis zu ihrer ersten provisorischen Niederschrift in einem freien Arbeitsverhältnis ("wissenschaftliche Heimarbeit") mit der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen (EAFV) in Birmensdorf (Zürich). Ich bin deren Direktor, Herrn Dr. W. Bosshard, zu grossem Dank verpflichtet, dass ich diesen Auftrag ausführen durfte, ebensosehr aber auch dem Abteilungsleiter von "Wald und Umwelt" (Bioklimatologie) Herrn Dr. H. Turner, der mich durch die vielfältigen Problemstellungen be-

gleitete und mich bei der Ausarbeitung stets tatkräftig unterstützte. Von den zahlreichen weiteren Mitarbeitern an der EAFV sei hier vor allem noch Herrn J. Steinemann (+ 1971) ehrend gedacht, der sich der aufwendigen Windauswertung und den anschliessenden mühevollen Berechnungen angenommen hatte.

Nach dem Uebertritt in ein festes Anstellungsverhältnis im Wetterdienst der Zweigstelle Locarno-Monti der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) in Zürich erhielt ich Gelegenheit, das Manuskript weiter zu überarbeiten. Dafür danke ich besonders dem Direktor, Herrn Dr. G. Simmen, aber nicht minder den Herren Dr. Th. Gutermann, Chef der Abteilung "Forschung", und dipl. phys. H.P. Roesli, meinem Sektionschef, die mir bei der Redaktion des Manuskriptes wohlwollend halfen.

Adresse der Verfasserin: Frau Dr. Ch. Urfer
Osservatorio Ticinese della Centrale
Meteorologica Svizzera
Via ai Monti 146
CH-6605 Locarno 5
Schweiz

Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt
Publications de l'Institut Suisse de Météorologie Pubblicazioni della Centrale Meteorologica Svizzera

Nr. 1a Uttinger H., Die Niederschlagsstunden in Zürich.
22 Seiten, 1962

Nr. 1b Ambrosetti Fl., Die Niederschlagsstunden in Locarno-Monti.
12 Seiten, 1965

Nr. 2 Thams J.C., unter Mitarbeit von A. Aufdermaur, P. Schmid und E. Zenone.
Die Ergebnisse des Grossversuches III zur Bekämpfung des Hagels im Tessin in den Jahren 1957–1963.
32 Seiten, 1966 (vergriffen)

Nr. 3 Grütter M., Die bemerkenswertesten Niederschläge der Jahre 1948–1964 in der Schweiz.
20 Seiten, 1966

Nr. 4 Schram K. und Thams J.C., [Redaktion], 9. Internationale Tagung für Alpine Meteorologie in Brig und Zermatt, 14.–17. September 1966.
366 Seiten, 1967

Nr. 5 Ambrosetti Fl. und Thams J.C., Die direkte Sonnenstrahlung auf die Flächen eines nach Süden orientierten Würfels ohne Grundfläche in Locarno-Monti.
16 Seiten, 1967

Nr. 6 Schram K. und Thams J.C., Der Tagesgang der Abkühlungs- und Aufwärmungsgrösse in Locarno-Monti.
20 Seiten, 1968 (vergriffen)

Nr. 7 Ambrosetti Fl., Schram K. und Thams J.C., Die Intensität der direkten Sonnenstrahlung in verschiedenen Spektralbereichen in Locarno-Monti.
13 Seiten, 1968 (vergriffen)

Nr. 8 Uttinger H., Die Zahl der Tage mit Windspitzen von mindestens 20 Metern pro Sekunde in Zürich (1934–1967).
22 Seiten, 1968

Nr. 9 Mäder F., Untersuchung über die Windverhältnisse in Bodennähe bei verschiedenen Wetterlagen.
42 Seiten, 1968

Nr. 10 Schram K., Die Windverhältnisse in der bodennahen Luftschicht an einem Hang von etwa 25 Grad Neigung.
13 Seiten, 1968 (vergriffen)

Nr. 11 Schüepp M., Kalender der Wetter- und Witterungslagen von 1955 bis 1967.
44 Seiten, 1968 (vergriffen)

Nr. 12 Ackermann P., Die neue Radiosondenstation Payerne der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt.
36 Seiten, 1968 (vergriffen)

Nr. 13 Junod A., Contribution à la méthodologie granulométrique des aérosols amicroscopiques.
70 Seiten, 1969

Nr. 14 Joss J., Schram K., Thams J.C., Waldvogel A., Untersuchungen zur quantitativen Bestimmung von Niederschlagsmengen mittels Radar.
37 Seiten, 1969 (vergriffen)

Nr. 15 Courvoisier H.W., Die quantitative Niederschlagsprognose winterlicher zyklonaler Witterungslagen auf der Alpennordseite der Schweiz.
15 Seiten, 1970 (vergriffen)

Nr. 16 Schram Karin und Thams J.C., Die kurzwellige Globalstrahlung und die diffuse Himmelsstrahlung auf dem Flugplatz Zürich-Kloten.
18 Seiten, 1970

Nr. 17 Kasser P., Schram Karin und Thams J.C., Die Strahlungsverhältnisse im Gebiet der Baye de Montreux.
46 Seiten, 1970

Nr. 18 Gutermann Th., Vergleichende Untersuchungen zur Föhnhäufigkeit im Rheintal zwischen Chur und Bodensee.
68 Seiten, 1970

Nr. 19 Ginsburg Theo, Die statistische Auswertung von langjährigen Temperaturreihen.
42 Seiten, 1970

Nr. 20 Primault B., Du risque de gel et de sa prévision.
20 Seiten, 1971

Nr. 21 Piaget A., Utilisation de l'ozone atmosphérique comme traceur des échanges entre la troposphère et la stratosphère.
72 Seiten, 1971

Nr. 22 Zenone E., Die Gewitterverhältnisse in den südlichen Zentralalpen und Voralpen.
24 Seiten, 1971

Nr. 23 Kirchhofer W., Abgrenzung von Wetterlagen im zentralen Alpenraum.
72 Seiten, 1971

Nr. 24 Primault B., Le climat, élément du plan d'aménagement.
Das Klima, eine der Grundlagen der Landesplanung.
The climate as an element of the land management.
28 Seiten und eine Karte, 1971

Nr. 25 Fröhlich C. und Wierzejewski, Die verschiedenen Messverfahren zur Bestimmung der Strahlungsintensität mit dem Kompensationspyheliometer und die Entwicklung eines verbesserten Modells.
36 Seiten, 1972

Nr. 26 Bouët M., Le foehn du Valais.
12 Seiten, 1972

Nr. 27 Zenone E., Die Gewitterverhältnisse in den südlichen Zentralalpen und Voralpen
32 Seiten, 1972

Nr. 28 Catzeflis J., Primault B., Strehler H., Analyse de la pluviosité dans le Valais central.
15 Seiten, 1972

Nr. 29 Courvoisier H.W., Die Niederschlagswirksamkeit markanter, hochreichender Kaltlufteinbrüche im Sommer in der Schweiz.
11 Seiten, 1973

Nr. 30 Sevruk B., Erfahrungen mit Totalisatoren mit schiefen, geneigten und bodenebenen Auffangflächen im Einzugsgebiet der Baye de Montreux.
Einfluss der Temperatur auf die Messung des Niederschlages mit Totalisator.
44 Seiten, 1973

Nr. 31 Strehler H., Beziehung zwischen Witterung und Zuckerrübenmerkmalen im Spätsommer.
20 Seiten, 1975

Nr. 32 Courvoisier H.W., Katalog objektiv-statistischer Wetterprognosen für die Alpensüdseite und das Oberengadin.
24 Seiten, 1975

Nr. 33 Primault B., Essais d'évaluation climatologique du risque de gel.
28 Seiten, 1975

Nr. 34	Kirchhofer W.,	Stationsbezogene Wetterlagenklassifikation. 50 Seiten, 1976
Nr. 35	Piaget A.,	L'évolution orageuse au nord des Alpes et la tornade du Jura vaudois du 26 août 1971 114 Seiten, 1976
Nr. 36	Bouët M.,	Contribution à l'étude de la variation diurne de pression en Suisse Romande. 23 Seiten, 1976
Nr. 37	Zenone E.,	Die Gewitterverhältnisse in den südlichen Zentralalpen und Voralpen. 60 Seiten, 1976
Nr. 38	Primault B., Quiby J.,	Diagrammes psychrométriques différenciés en altitude 36 Seiten, 1977
Nr. 39	Courvoisier H.W.	Katalog objektiv-statistischer Wetterprognosen für die Alpennordseite, das Wallis sowie Nord- und Mittelbünden. 58 Seiten, 1978
Nr. 40	Gutermann Th., Mäder F. (Redaktion)	15. Internationale Tagung für alpine Meteorologie, Grindelwald 19.-23. September 1978, 332 Seiten, 1978 Tagungsbericht 1. Teil
Nr. 41	Gutermann Th., Mäder F. (Redaktion)	15. Internationale Tagung für alpine Meteorologie, Grindelwald 19.-23. September 1978, 1979 Tagungsbericht 2. Teil
Nr. 42	Courvoisier H.W.	Starkniederschläge in der Schweiz in Abhängigkeit vom Druck-, Temperatur- und Feuchtefeld. 59 Seiten, 1981
Nr. 43	Urfer Charlotte	Mittlere Temperatur- und Windverteilung im Dischmatal bei Davos bei typischen sommerlichen Witterungslagen 32 Seiten, 1981