Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt
Rapports de travail de l'Institut Suisse de Météorologie
Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia
Working Reports of the Swiss Meteorological Institute

Zürich

52705

No. 95

TEMPERATURPROGNOSEN IM LOCARNESE

von

Charlotte Urfer, Locarno-Monti

März 1981

Temperaturprognosen 551.509.323

Zusammenfassung

Mit witterungsklimatologischer Betrachtungsweise werden Regeln ausgearbeitet, die als Hilfe für die Temperaturprognosen (Maximum, Minimum und in beschränktem Masse Nullgrad- oder Schneefallgrenze) im Locarnese und generell in den Niederungen der Alpensüdseite gedacht sind.

Riassunto

Vengono elaborate delle regole con considerazioni climatologiche dei tipi di tempo. Servono quale aiuto per la previsione della temperatura (massima, minima e in misura ristretta anche per il limite di zero gradi e quello delle nevicate) nel Locarnese e in generale a basse quote al sud delle Alpi.

Résumé

D'après des considérations basées sur la climatologie des types de temps, des règles ont été élaborées pour servir d'aide à la prévision de température (maxi, mini, et, dans une moindre mesure, altitude de l'isotherme zéro ou de la limite des chutes de neige) dans la région de Locarno, et en général, dans des zones basses du sud des Alpes.

Summary

Based on considerations on weathertype climatology rules are given for the temperature forecast in the Locarno region and in general at low elevations south of the Alps. Parameters presented are maximum and minimum temperature and, within certain limits, altitude of the melting of snowfall and of the freezing level.

Inhaltsverzeichnis Seite

1. EINLEITUNG 1

2. TEMPERATUR-MAXIMA (T MAX) 3

2.1 T MAX an bedeckten Tagen 3
2.1.1 Bedeckt ohne Niederschlag 3
2.1.1.1 Auswahl der Tage 3
2.1.1.2 Ergebnisse 4
2.1.2 Bedeckt mit Niederschlag 4
2.1.2.1 Auswahl der Tage 4
2.1.2.2 Ergebnisse 6

2.2 T MAX an wechselnd bewölkten Tagen 6
2.2.1 Auswahl der Tage 7
2.2.2 Ergebnisse 7

2.3 T MAX an heiteren Tagen 9
2.3.1 Heitere Tage mit Nordföhn 10
2.3.1.1 Auswahl der Tage 10
2.3.1.2 Ergebnisse 10
2.3.2 Heitere Tage mit Subsidenz 12
2.3.2.1 Auswahl der Tage 12
2.3.2.2 Ergebnisse 13
2.3.3 Unspezifische Schönwettertage 13
2.3.3.1 Auswahl der Tage 13
2.3.3.2 Prognosenhilfen 14
2.3.3.2.1 Extrapolation 14
2.3.3.2.2 Differenz zur Morgenbeobachtung 15
2.3.3.2.3 Jahresgang der Maximaltemperaturen 16
2.3.4 Heitere Tage mit Bisentendenz 17
2.3.4.1 Auswahl der Tage 17
2.3.4.2 Ergebnisse 17

3. TEMPERATUR-MINIMA (T MIN) 18

3.1 T MIN nach unspezifischen heiteren Nächten 18
3.1.1 Ergebnisse 18
3.1.1.1 Differenzen zwischen Maximum und Minimum 18
3.1.1.2 Persistenz der Minima 19
3.1.1.3 Vergleich mit Taupunkttemperatur 15z Vortag 20

3.2 T MIN bei Subsidenz oder Bise 21

3.3 T MIN bei Föhn 21

3.4 T MIN bei wechselnd bewölktem Himmel 22

3.5 T MIN bei bedecktem Himmel 22

4. ANHANG 23

4.1 Temperaturverteilung mit der Höhe, Nullgradgrenzen 23
4.1.1 Temperaturgradienten bei Advektion feuchter Luft 23
4.1.2 Temperaturgradienten bei Föhn 24

5. AUSBLICK 25

Literaturverzeichnis 26

1. EINLEITUNG

Aus dem Zahlenmaterial, das zum Zweck meso- und witterungsklimatischer Studien am oberen Lago Maggiore seit 1975 zusammengetragen worden ist, sollen hier Zusammenhänge herausgegriffen werden, die den Temperaturprognosen im täglichen Wetterdienst von Nutzen sein können.

Am Osservatorio Ticinese von Locarno-Monti (OTL), am Südhang auf 368 m ü.M., werden synoptische Beobachtungen zwischen 06z und 18z ausgeführt, wobei auch Registrierungen von Temperatur, Feuchte, Wind, Sonnenscheindauer, Strahlung u.a. vorliegen. In der Nähe befindet sich der Flugplatz von Magadino, in der Ebene, 199 m ü.M., praktisch auf Seehöhe, mit ganztägigen synoptischen Beobachtungen; die Registrierungen von Temperatur, Feuchte, Wind etc. wurden hier nicht verwendet. Wie Locarno-Monti ist jetzt auch Magadino mit einer automatischen Messstation ausgerüstet. Die Messstation auf Cimetta, einem Voralpengipfel im NE des oberen Lago Maggiore, liegt auf 1632 m ü.M., wobei deren Werte (Temperatur, Feuchte, Druck und Wind) ins Osservatorio Locarno-Monti übertragen und als Synop zwischen 06z und 18z verarbeitet werden.

Als Unterlagen für die Untersuchungen dienten fast ausschliesslich die Synop-Arbeitsblätter dieser drei Stationen.

Wenn man auch im Wetterdienst meist mit komplexen Wetterlagen konfrontiert wird, so können doch die strengen Gesetzmässigkeiten im Temperaturverlauf, wie sie für genau definierte Witterungslagen Gültigkeit besitzen, als Grundlagen dienen. Man wird abwägen müssen, welchen von diesen das prognostizierte Wetter am nächsten kommt. Wir unterscheiden für Temperaturprognosen folgende Typen: Tage mit bedecktem Himmel, ohne oder mit Niederschlag; Tage mit wechselnd bewölktem Himmel; Tage mit wolkenlosem Himmel, getrennt in Föhn, Bise, Subsidenz oder gradientschwachem Randgebiet einer Antizyklone. Für das Maximum allein ergäben sich aus einheitlichen Vormittagen bis ca. 15h völlig ausreichende Angaben. Da wir aber von Anfang an vorausplanten, auch für die Prognosen der Minima des nachfolgenden Morgens gewisse Angaben machen zu können, arbeiten wir stets mit ganzen Tagen, jeweils betrachtet vom frühen Morgen bis in den Anfang des Folgetages.

Die Vorhersage des Temperaturmaximums (T MAX) in den Niederungen tritt als Hauptproblem in den Vordergrund, weshalb wir uns zuerst diesem Element zuwenden. Ausser an Schönwettertagen unterscheiden sich die Maximaltemperaturen von Magadino und Locarno-Monti nur unbedeutend, d.h. um wenige Zehntelgrad nach beiden Seiten. Da wir für das Osservatorio jedoch bessere Ausgangsbedingungen haben (Berufsleute für die Beobachtungen) und die Korrelation mit den hier gemessenen oder registrierten Parametern durchführen, beschränken wir uns so weit als möglich auf eine wohl definierte Temperaturprognose für Locarno-Monti; diejenige für Magadino ist bei 2.1 nur als Ergänzung gedacht.

2. TEMPERATUR-MAXIMA (T MAX)

2.1 T MAX an bedeckten Tagen

Es wurden Tage ausgewählt, an denen praktisch kein Sonnenschein registriert worden war, und danach weiter unterteilt, ob diese trocken geblieben waren oder ob Niederschlag ausgefallen war. Weil man aus der praktischen Erfahrung weiss, dass die Temperatur an solchen Tagen in allen Jahreszeiten praktisch kaum einen Tagesgang aufweist, darf man sich mit den statistischen Unterlagen über ein einziges Jahr begnügen (Oktober 1974 bis September 1975).

2.1.1 Bedeckt ohne Niederschlag

2.1.1.1 Auswahl der Tage

Ein über den ganzen Tag gleichmässig bedeckter Himmel (ohne Niederschlag) ist im Tessin an sich schon selten. Im Sommer kommt er praktisch überhaupt nicht vor, weil dann die Thermik zu viel vertikale Bewegung und somit entweder grössere Lücken im Gewölk oder aber Schauer verursachen würde. Wir fanden im Testjahr:

Monat	Tage	Monat	Tage
Oktober	0	April	1
November	4	Mai	0
Dezember	3	Juni	0
Januar	2	Juli	0
Februar	1	August	0
März	1	September	2

Gesamte Anzahl Tage 14

Es handelt sich meist um beginnende Staulagen, wenn das Anströmen aus dem südlichen Sektor mit dem Einfliessen gealterter und feuchter Luft aus der Po-Ebene einsetzt. In den bodennahen Schichten nimmt der Dunst zu, darüber verdichtet sich die Wolkendecke. Im Winter wandelt sich ein allfälliger Hochnebel in Stratocumulus, der sich gegen das Gebirge so hoch anstaut, dass sich selbst Cimetta nicht mehr oberhalb der Wolkenschicht befindet (96 % relative Feuchte um 12z). Seltener sind die Fälle, in denen sich nach Vorbeizug einer Kaltfront ein Kaltluft-hoch über der nordöstlichen Adria bildet und der verstärkte Bora-Gradient einen "Hochnebel" (Stratocumulus opacus mit Basis in 1800-2300 m ü.M.) gegen das Süd- und Mitteltessin anschwemmt. Manchmal steuert auch der Kaltlufttropfen auf seiner Südflanke noch nicht ausgeräumte Warmluft aus Südosten gegen die Südabdachung der Alpen.

An allen ausgewählten bedeckten Tagen ist in Locarno-Monti nie eine diffuse Strahlung von mehr als 3.8 $MJm^{-2}Tag^{-1}$ auf die horizontale Ebene gemessen worden; ein einziges Mal wurde 0.1 Std. Sonne registriert; zweimal müssen wir Regentropfen, einmal 0.3 mm, zweimal 1.1 mm und einmal 1.8 mm Niederschlag innert 24 Std. in Kauf nehmen (gemessen am folgenden Morgen um 06h30).

2.1.1.2 Ergebnisse

Bei der Vorhersage der T MAX wird man zuallererst an eine Differenz zum Minimum (T MIN) denken. In vieler Hinsicht scheint jedoch die Temperatur von 06z (T06) verlässlicher: das Minimum der Nacht könnte - gerade im Falle bedeckter Tage - noch aus der Zeit vor dem Eindecken stammen, als sich die Luft noch durch Ausstrahlung stark abgekühlt hatte; im Winter finden wir oft die tiefste Temperatur erst nach der 06z-Beobachtung; auch könnte man sich einen Luftmassenwechsel vorstellen, der im T MIN noch nicht berücksichtigt ist. Als Prognosenstütze ziehen wir ein Δ(T MAX - T06) vor, berechneten aber zum Vergleich auch das Δ(T MAX - T MIN).

Tabelle 1 Berechnung des T MAX an bedeckten Tagen ohne Niederschlag

	Locarno-Monti	Magadino
ΔT(MAX - 06)	2.21K	4.35K
Anzahl Tage	14	13
Standardabweichung	± 1.07K	± 1.60K
ΔT maximal	4.1K (Jan.)	6.8K (Nov.)
ΔT minimal	0.7K (Nov.)	1.8K (Nov.)
ΔT(MAX - MIN)	2.65K	5.13K
Anzahl Tage	14	13
Standardabweichung	± 1.30K	± 2.24K
ΔT maximal	5.0K	9.6K
ΔT minimal	1.0K	2.1K

Bei bedecktem Himmel (im Herbst, Winter und Frühling) erhält man das Maximum von Locarno-Monti, indem zu T06 2K±1K, für Magadino 4.5K±1.5K addiert wird.

Ueber die Verhältnisse im Sommer können wir nur vermuten, dass ΔT nicht wesentlich anders ausfiele, sind doch in den vorliegenden Beispielen keine systematische Unterschiede zwischen den Jahreszeiten zu erkennen.

2.1.2 Bedeckt mit Niederschlag

2.1.2.1 Auswahl der Tage

Die Tatsache, dass "das Wetter im Tessin entweder sehr schön oder ganz schlecht" ist, kommt uns insofern zugute, als sich über das Jahr eine ansehnliche Zahl von bedeckten Tagen mit Niederschlag findet:

Monat	Tage	Monat	Tage
Oktober	3	April	3
November	3	Mai	4
Dezember	0	Juni	2
Januar	5	Juli	1
Februar	1	August	2
März	5	September	3

Gesamte Anzahl Tage 32

Das wintertrockene Klima der Alpensüdseite zeigt sich in dem einzigen Beispiel für Dezember und Februar zusammen - und, dass auch diese Regel ihre Ausnahme hat, in den 5 Tagen vom Januar 1975. Synoptisch handelt es sich meistens um Südstaulagen, nur zweimal bildet eine Genua-Zyklone den auslösenden Faktor. Meistens regnet oder schneit es an solchen Tagen mit unbedeutenden Unterbrechungen; im Sommer folgen sich Schauer (und natürlich auch Gewitter) fast ohne Unterbrüche; die Station selber liegt oftmals oberhalb der Wolkenbasis. Einmal (16. Juni) sind zwischen 18 und 19h 4 Minuten Sonne registriert worden, ein weiteres Mal (16. September) 0.05 Minuten zwischen 12 und 13h. Die Globalstrahlung auf horizontale Fläche erreichte ein einziges Mal (26. Mai) 4 $MJm^{-2}Tag^{-1}$. Oft herrscht in Locarno-Monti Windstille (16 Mal Calmen um 12z), oder die Winde von 1-4 Knoten wehen aus den verschiedensten Richtungen. Nur im einen Fall einer Genua-Zyklone beobachtete man 6 Knoten aus ESE. Die Luft ist eben wirklich "angestaut", und erst in grösserer Höhe treten in der freien Atmosphäre bei Starkniederschlägen auch kräftige Südwinde auf (s. Zenone (1981)). Die über 24 Stunden gemessenen Niederschlagsmengen (06z des Morgens bis 06z des Folgetages) variieren zwischen 4 und 58 mm. Wenn die Südstaulage in nur wenig gealterter Kaltluft beginnt, oder wenn eine erste Kaltfront auf der Trogvorderseite bereits vorbeigezogen ist, oder wenn die Niederschläge besonders intensiv sind, geht die Temperatur im Laufe des Tages mehr oder weniger stetig zurück. Das Temperaturmaximum des Tages findet sich dann in den Morgenstunden (fällt mindestens mit der 06z-Beobachtung zusammen); die sehr stark unterdrückte diffuse Strahlung bewirkt über Mittag ein nur schwach angedeutetes Sekundärmaximum. Dessen Wert schätzten wir aus den Messungen der Temperatur von 12z und 15z ab und setzten in unsere Mittelwertbildung diese negative Differenz ein (s. Fussnote).

Fussnote

Die zwei konkreten Beispiele der vorliegenden Zusammenstellung sind:

4. Juli 1975: $T\,06 \approx T\,MAX = 18.4^{o}C$ (T 09z bereits $17.1^{o}C$)
Temperatur nach Mittag ca. $16.9^{o}C$, ΔT (06 - sekund. MAX) $\approx -1.5K$

23. Aug. 1975: $T\,06 \approx T\,MAX = 15.2^{o}C$ (T 09z bereits $13.5^{o}C$),
Temperatur nach Mittag ca. $12.2^{o}C$, ΔT (06 - sekund. MAX) $\approx -3K$

2.1.2.2 Ergebnisse

Auch hier (gerade wegen der zuletzt erwähnten Tatsache) schenken wir der Differenz ΔT(MAX - 06) mehr Bedeutung als dem ΔT(MAX - MIN).

Tabelle 2 Berechnung des T MAX an bedeckten Tagen mit Niederschlag

	Locarno-Monti	Magadino
ΔT(MAX - 06)	1.00K	1.32K
Anzahl Tage	32	31
Standardabweichung	± 1.33K	± 0.97K
ΔT maximal	4.3K	3.4K
ΔT minimal	ca. -3K	ca. 0.0K
ΔT(MAX - MIN)	1.41K	1.98K
Anzahl Tage	32	31
Standardabweichung	± 1.41K	± 1.68K
ΔT maximal	4.4K	6.4K
ΔT minimal	ca. -3K	ca. -2K

Der Tagesgang der Temperatur ist bei anhaltendem Niederschlag fast völlig unterdrückt. Die Mittagstemperatur differiert von derjenigen am Morgen um 1K bei einer Streuung von 1K. Da die Variabilität so klein ist, wird man auch gar nicht weiter suchen, wie stark die Tagesamplitude eventuell noch von der Niederschlagsmenge, der Niederschlagsart (schauerartig oder gleichmässig, flüssig oder gefroren), der diffusen Einstrahlung oder der Jahreszeit abhängt.

Bei bedecktem Himmel mit Niederschlag ist das Maximum von Locarno-Monti wie auch dasjenige von Magadino gleich der Temperatur 06z ±1K.

2.2 T MAX an wechselnd bewölkten Tagen

Nach Definition ist an wechselnd bewölken Tagen wiederholt ein Uebergang von leichter zu starker Bewölkung und umgekehrt zu erwarten (relative Sonnenscheindauer zw. 80-90 bzw. 10-20%), was im Durchschnitt etwa mässig bewölkt ergibt. Dieser Umschreibung können vor allem Tage (24 Std.) mit gemässigtem Rückseitenwetter entsprechen, die aber im Tessin selten sind. Hier werden auch Tage berücksichtigt, die ganztägig entweder einen kleinen oder einen grossen Bedeckungsgrad aufweisen.

Es ist anzunehmen, dass die Amplitude der Temperatur an solchen Tagen in erster Linie strahlungsabhängig sein wird. Wir erstellten daher eine Korrelation zwischen ΔT(MAX - 06) und der gesamten Strahlungsintensität (Globalstrahlung) auf die horizontale Oberfläche. In der Praxis wird man aber schon zufrieden sein, wenn eine einigermassen sichere Prognose für die relative Sonnenscheindauer gelingt, so dass wir uns schliesslich als Arbeitsunterlage mit einer Korrelation zwischen ΔT(MAX - 06) und der relativen Sonnenscheindauer begnügen.

Es ist zu erwarten, dass wegen des veränderten Sonnenstandes die Ergebnisse nach Jahreszeiten aufgeteilt werden müssen. Von Fall zu Fall ist eine angepasste Datumsgrenze zu ziehen.

2.2.1 Auswahl der Tage

Erfreulicherweise fand sich doch eine gewisse Anzahl von Tagen, die der Definition "wechselnd bewölkt" genügen. Es fallen darunter solche mit cirrösem Himmel, dann solche mit übergreifendem Nordstau in Form von Stratocumuli, As/Ac lenticularis oder mit sich ausschneienden in Auflösung begriffenen Cumuli und Cb calvi, die wie Ci spissatus oder uncinus aussehen,und deren Basis sich oft nur zwischen 1800 und 2500 m ü.M. befindet. Im Vorsommer ist manchmal die Quellbewölkung noch nicht so sehr der Thermik unterworfen und hält sich ziemlich ausgeglichen über den Tag; schliesslich erfüllen auch Tage mit komplexer Wetterlage die verlangte Bedingung. Sie verteilen sich wie folgt:

Monat	Tage	Monat	Tage
September 1974	4	April 1975	6
Oktober	6	1.-15. Mai	3
November	(1)	16.-31. Mai	3
Dezember	(1)	Juni	10
Januar 1975	0	Juli	7
Februar	0	August	1
März	3	September	3

Gesamte Anzahl Tage 48

Weil der September 1975 3 weitere Tage beiträgt, haben wir ihn miteinbezogen; die Zäsur im Mai verbessert die Korrelation mit der Strahlungsintensität und lässt sich durch die länger werdenden Tage rechtfertigen; der Winter trägt mangels wechselnd bewölkter Tage nichts zur Statistik bei.

2.2.2 Ergebnisse

In Arbeitsblättern haben wir sowohl $\Delta T(MAX - MIN)$ als auch $\Delta T(MAX - 06)$ von Locarno-Monti und Magadino in Funktion der Einstrahlung und der Sonnenscheindauer von Monti aufgetragen. Dies hatte uns erlaubt, zu erkennen, dass gewisse Tage, besonders für $\Delta T(MAX - MIN)$, ausserhalb einer tolerierbaren Streuung fallen. Ein Nachprüfen der verschiedenen Bedingungen wie Wind und relative Feuchte (Föhn) oder Temperaturverlauf über den Tag (nächtliche Inversionen) rechtfertigte die Ausscheidung dieser Tage für die eine oder andere Korrelationsrechnung. Weiter konnte man herauslesen, wo die Trennung zwischen Frühling und Sommer in jedem speziellen Fall anzusetzen ist.

Für die Praxis kommt, wie schon erwähnt, nur die Abhängigkeit von der Sonnenscheindauer ($\odot$) in Frage, und dies auch wiederum nur für $\Delta T(MAX - 06)$, um die Einflüsse des vorgängigen Wetters auszuschalten.

Ausser den Ergebnissen für Locarno-Monti fügen wir aber auch diejenigen von Magadino bei; denn im nächstfolgenden Kapitel, bei den Schönwettertagen, dürfen wir nicht mehr, wie zuvor beim schlechten Wetter, die Temperaturen von Locarno-Monti (Hanglage) denen von Magadino (Ebene) gleichstzen.

Aus Abb. 1 kann man die Abhängigkeit des $\Delta T(MAX - 06)$ samt zugehöriger Streubreite für Magadino von der Sonnenscheindauer in Locarno-Monti herauslesen (getrennt für Sommer und Uebergangsmonate; vom Winter fehlen Beispiele). Die Gleichungen der zugehörigen Regressionsgeraden lauten:

Magadino
(Mai bis August) $\Delta T(MAX - 06) = 5.5K + 0.6h\odot \pm 1.2K$
(September/Oktober, März/April) $\Delta T(MAX - 06) = 6.8K + 0.7h\odot \pm 2.0K$

Locarno-Monti
(Mai bis August) $\Delta T(MAX - 06) = 5.4K + 0.4h\odot \pm 1.0K$
(September/Oktober, März/April) $\Delta T(MAX - 06) = 5.1K + 0.6h\odot \pm 1.5K$

Wenn man in Betracht zieht, wie sich die wechselnd bewölkten Tage zusammensetzen, welche Wetterlagen da einander gleichgeschaltet werden, so darf es überraschen, wie klein auch hier die Streubreite der berechneten Temperatur ausfällt. Im Sommer beträgt diese für beide Stationen rund 1K und in den Uebergangsmonaten für Locarno-Monti 1.5K. Nur zu Magadino ist für September/Oktober und März/April mit einer Streuung von ±2K zu rechnen, die sicher auch zum Teil davon herrührt, dass bei tieferem Sonnenstand die Korrelation zwischen Temperaturänderung in der Ebene und der am Südhang (OTL) gemessenen Sonnenscheindauer nicht ideal ist. Diese Tatsache kleiner Streuung bestätigt, dass die Temperatur in erster Linie von der Besonnung und mit weniger Gewicht von Wind, Luftfeuchtigkeit u.a. abhängt.

Dass die Differenzen $\Delta T(MAX - 06)$ im Sommer allgemein kleiner ausfallen als in den Uebergangsjahreszeiten hängt mit der Tatsache zusammen, dass während der Periode langer Tage ein Teil des Temperaturanstieges schon vor 06z erfolgt, und sich die Luft danach nicht mehr im selben Masse bis zum Tagesmaximum erwärmt. Die im Vergleich mit Locarno-Monti allgemein stärker anwachsenden Differenzen in Magadino rühren daher, dass die Tagesamplituden der Temperatur in der Niederung üblicherweise grösser sind als an Hängen, was weniger auf höhere Maxima als vielmehr auf inversionsbedingte tiefere Minima zurückzuführen ist.

Bei linearer Extrapolation der Regressionsgeraden nach $\odot = 0h$ (bedeckter Himmel) erhalten wir für Locarno-Monti einen Wert von 5.1 bis 5.4K und für Magadino 5.5 bis 6.8K. Diese Werte stimmen mit dem Resultat von Kap. 2.1.2 schlecht überein. Es ist anzunehmen, dass eben die Korrelation $\Delta T(MAX - 06)$ als Funktion der Sonnenscheindauer genauer genommen eine Kurve höherer Ordnung ergäbe, welche die y-Achse für Locarno-Monti bei rund 2K und für Magadino bei 4.4K schnitte, von da an zuerst steiler und dann mit zunehmender Sonnenscheindauer flacher anstiege. Schliesslich muss eine ähnlich geartete Beziehung auch zwischen Globalstrahlung und Sonnenscheindauer bestehen: bei bedecktem Himmel wird auch erstere sehr klein, wächst aber rasch an, sobald sich nur wenig direkte Sonneneinstrahlung durch die Wolken drängt.

2.3 T MAX an heiteren Tagen

Allgemeines

Unter heiteren Tagen versteht man im allgemeinen die "schönen" Tage. Um die Definition jedoch genau abzugrenzen, setzen wir eine relative Sonnenscheindauer von >90 % fest. Meteorologisch betrachtet sind längst nicht alle diese Tage auch störungsfreie Tage. Vielmehr sind sie in vier Hauptgruppen zu unterteilen:

a) Gradientschwache Tage nahe dem Zentrum einer Antizyklone mit Subsidenz. Es wird in den Niederungen und erst recht auf Cimetta nicht nur relativ sehr warm, sondern auch sehr trocken. Im Gegensatz zur Gruppe c) darf man auf dem Gütsch (Nähe Gotthard-Oberalppass, 2284 m ü.M.) die Himmelsansicht "hell" oder "leicht bewölkt" voraussetzen.

b) Nicht in jedem Hoch und besonders nicht am Rand des Hochs herrscht ausgesprochene Subsidenz; dennoch ist es schön, wenn auch nicht so extrem warm und trocken wie bei a).

c) Selbstverständlich fallen unter "heiter" sehr viele Nordföhn-Tage. Dabei setzen wir voraus: Ueberdruck auf der Alpennordseite und Winde aus Sektor Nord bis in die Niederungen. Auf dem Gütsch ist es um 06z bedeckt mit Niederschlag (Nieseln, Regen oder Schnee) und meist mit mehr als 8 Knoten Wind aus Sektor Nord; auch um 12 und 18z sollten dort noch mehr oder weniger dieselben Bedingungen herrschen. Die Niederungen der Alpensüdseite sind gekennzeichnet durch klare und trockene Luft. An mindestens einer der Terminbeobachtung tagsüber sollte die relative Feuchtigkeit sowohl in Locarno-Monti als auch in Magadino im Sommer 40 %, im Herbst/Winter/Frühling 30 % unterschritten haben; die Sichtbeobachtung in Locarno-Monti sollte in östlicher Richtung keinen Dunst erkennen lassen. Wie der gut untersuchte Südföhn auf der Alpennordseite hat auch der Nordföhn auf der Südseite meistens einen Tagesgang und bricht nachts zusammen. In dieser Untersuchung müssen wir dies kommentarlos akzeptieren, gleich wie wir auch nichts darüber aussagen könnten, welche Bedingungen, insbesondere welche Druckdifferenzen in mbar zwischen Kloten und Magadino vorhanden sein müssen, damit ein Nordföhn auch wirklich bis in die Niederungen durchbricht. Da wir von der Bedingung heiteren Wetters und Föhn vom Tagesgang bis zum andern Morgen ausgehen, fällt das Tagesmaximum der Temperatur auf den Nachmittag; das Minimum finden wir dann nachts, wenn der Föhn nachlässt.

d) Bei Ueberdruck zwischen Kloten gegenüber Magadino kann - wenn die allgemeine Strömungsrichtung in der Höhe sowie im schweizerischen Mittelland auf Ost weiterdreht - auch auf der Alpensüdseite von Bise gesprochen werden. In den Niederungen ist die Luft nicht mehr unbedingt auffallend klar und die relative Feuchtigkeit extrem niedrig. Der Gütsch befindet sich nicht mehr in ausgesprochenem Nordstau, und auch auf Cimetta kommen die Winde mehr aus E als aus NW. Diese Art von Kaltluftzufuhr wird - im Gegensatz zum Nordföhn - auch als solche empfunden. Die Temperaturmaxima bleiben auffallend niedrig, so dass man diese Schönwettertage von den andern abtrennen kann.

Neben allen objektiven Kriterien wurde zur Unterteilung der Gruppen auch das persönliche Wettertagebuch beigezogen. Um für jeden Monat von jedem Witterungstyp genug Beispiele zur Verfügung zu haben - selbstverständlich spielt die Abhängigkeit vom Sonnenstand für die Temperaturprognosen an heiteren Tagen eine grosse Rolle - wurde von Anfang an die Untersuchung bis auf August 1976 ausgedehnt (2 Jahre).

Für alle diese Witterungstypen musste versucht werden, von $\Delta T(MAX - 06)$ loszukommen, denn in allen heiteren Nächten sind vor allem für Magadino, teils sogar für Locarno-Monti, mehr oder weniger starke und anhaltende Temperaturinversionen zu erwarten, die wohl in den seltensten Fällen schon um 06z wieder aufgehoben sind. Weil zu Anfang des Tages resp. Ende der Nacht im Winterhalbjahr die Temperatur von 06z zu komplex ist, steht sie selber auf zu unsicheren Füssen, um als Ausgangsbasis für Mittagsprognosen verwendet werden zu dürfen. An sonnigen Tagen und in heiteren Nächten entstehen systematische Temperaturunterschiede zwischen Magadino (Tiefland) und Locarno-Monti (Hanglage). Für die Temperaturprognosen in den Niederungen müssen wir nun hier das Hauptgewicht auf Magadino legen und können nur am Rand ev. ergänzende Ergebnisse von Locarno-Monti beifügen.

Für die Prognose der Temperaturmaxima muss für die verschiedenen Gruppen heiterer Tage unterschiedlich vorgegangen werden. Am wenigsten Probleme bietet ein eindeutiger, durchgreifender Nordföhn, weshalb wir diese Beispiele voranstellen.

2.3.1 Heitere Tage mit Nordföhn

2.3.1.1 Auswahl der Tage

Tage, die den für Gruppe c) vorgeschriebenen Bedingungen entsprechen, verteilen sich wie folgt:

Monat	Tage	Monat	Tage
Januar	7	Juli	5
Februar	2	August	1
März	3	September	2
April	4	Oktober	3
Mai	2	November	2
Juni	1	Dezember	5

Gesamte Anzahl Tage 37

2.3.1.2 Ergebnisse

Frühere Untersuchungen weisen schon dahin, dass bei Nordföhn die Differenz der Temperaturen zwischen Magadino und Gütsch wegleitend sind (Zenone (1976)). Da hier von anderen Voraussetzungen ausgegangen wird, nämlich als Grundbedingung von praktisch heiterem Himmel und mehr als 90 % relativer Sonnenscheindauer, darf uns nicht stören, dass diese Temperaturdifferenz in unserer Untersuchung etwas grösser aus-

fallen wird, als wenn man alle Tage in Betracht zieht, ungeachtet ihrer Bewölkung (die bei Nordföhn gelegentlich sehr beträchtlich sein kann). Da wir vom Gütsch 06z nur ganze Grade zur Verfügung haben, rundeten wir die Differenz ΔT(MAX Magadino - 06 Gütsch) jeweils auch auf ganze Grade auf oder ab. Da für die Bezugsperioden die Temperaturen nur in den Hütten gemessen worden waren, dürfen wir nicht a priori voraussetzen, dass eine Uebertragung auf die automatische Station zulässig ist; diese wäre gelegentlich noch zu überprüfen.

Das mittlere ΔT(MAX - Gütsch 06) über 37 Tage lautet für

Magadino	24.4K ± 1.7K	24.5K ± 1.5K
Locarno-Monti	24.6K ± 1.6K	

Das Maximum an heiteren Tagen mit Nordföhn erhält man für Magadino (und Locarno-Monti) indem man zur 06z-Temperatur vom Gütsch 24.5K ± 1.5K addiert.

Zwischen den verschiedenen Jahreszeiten sind keine grundsätzlichen Unterschiede zu erkennen. Sowohl im Juli wie im Januar finden wir Temperaturdifferenzen von 27K; allerdings fallen die kleinsten von 21K für Locarno-Monti auf den Winter. Dies will aber nicht heissen, dass schneebedeckter Boden an der Station selber dafür verantwortlich sein könnte. Insgesamt ist bei Föhn in Locarno-Monti nur einmal eine Schneedecke von 4 cm Mächtigkeit gemessen worden. Auch von der Ausgangstemperatur, der Zufuhr besonders kalter oder aber milderer Luft gegen die Alpennordseite, hängen die Temperaturdifferenzen zwischen Gütsch und den Niederungen der Alpensüdseite nicht ab. Denkbar wäre ein Zusammenhang mit der Windgeschwindigkeit in den Niederungen - kleinere Temperaturzunahme, wenn die Einstrahlungswärme laufend durch starke Luftbewegung gedämpft wird; doch lohnt bei der kleinen mittleren Streuung von ±1.5K und der absoluten von -4.5 resp. -3.5 bis +2.5K der Arbeitsaufwand eine Verbesserung des Resultates nicht.

Zwischen der Magadino-Ebene und Locarno-Monti bestehen in der Maximaltemperatur an gut ausgeprägten Föhntagen keine wesentlichen Unterschiede. Nur wenn der Föhn nicht ganz bis in die Niederungen absinkt und in Magadino der Rest einer Inversion bleibt, dann sind die Unterschiede zu Locarno-Monti bemerkenswert.

Die Temperaturmaxima an Föhntagen überraschen eigentlich nur im Winter, weil sie dann mit ihren bisweilen über +15°C wesentlich über dem Monatsmittelwert liegen. Im Sommer reihen sie sich in die Gruppe der andern Maximalwerte an sonnigen Tagen ein. Im Frühling wird der Nordföhn jedoch oft als eher unangenehm empfunden, weil sein Ursprung in an sich noch sehr kalter Polarluft liegt, die auch der Föhneffekt an den Alpen nicht wesentlich mildern kann.

Wie viel weniger zuverlässig eine Temperaturprognose bei Föhn ausfiele, die von anderen Bezugstemperaturen (z.B. von ΔT(MAX - 06)) als diejenigen einer Bergstation am Alpenkamm (die eng korreliert ist mit der Luftmasseneigenschaft) ausginge, sei an zwei Beispielen für Magadino aufgezeigt:

Am 18. und am 19. Dezember 1974 stieg die Maximaltemperatur auf +12.5 bis +13.0°C an. Lag aber am ersten Morgen die Ausgangstemperatur um 0°C, was zu einer Tagesamplitude von 12.5K führte, betrug die Starttemperatur am zweiten Morgen, nach einer Föhnnacht,+8.0°; dadurch reduzierte sich die ganze Differenz ΔT(MAX - 06) auf 5.0K.

Am 4. Januar 1976 stand um 06z das Thermometer in Magadino bereits auf 12.0°C, so dass bis zum Mittagsmaximum nur noch ein Anstieg von 2.8K erfolgen konnte.

Bricht hingegen der Föhn nachts zusammen und hat am Folgetag erst eine Bodeninversion wegzuräumen, dann ergeben sich leicht Tagesamplituden von 17 bis 18K. Die ΔT(MAX - 06) haben bei Föhn die Eigenschaft, dermassen stark und unsystematisch zu streuen, dass nicht daran zu denken ist, eine Temperaturprognose auf ihnen aufzubauen.

2.3.2 Heitere Tage mit Subsidenz

2.3.2.1 Auswahl der Tage

Laut ihrer Definition als "freiem oder antizyklonalem Föhn" wäre die Subsidenz dem Föhn bei zyklonaler Wetterlage in gewissem Sinne ähnlich. Aber über die Absinkbewegungen in der freien Atmosphäre ist viel zu wenig bekannt. Sicher beginnen sie in einigen Tausend Metern Höhe, gelangen aber nun zum allerkleinsten Teil ohne wesentliche diabatische Einflüsse bis in kleine Meereshöhen. Darum dürfen wir nicht erwarten, dass wir uns für die Temperatur in den Niederungen auf eine Bergstation beziehen können. Es gibt zufällige Beispiele, in denen es mittags auf der Magadino-Ebene 24 ± 2K wärmer ist als morgens auf dem Gütsch. Meistens ist aber der vertikale Temperaturgradient sehr viel kleiner als die Trockenadiabate, und im Winterhalbjahr ist die Differenz zwischen Locarno-Monti und Cimetta fast aufgehoben, wobei man sich zwischen den beiden Stationen eine Wechsellagerung von Inversionen, Isothermien und normalen Gradienten vorstellen muss (Blätterstruktur der Grundschicht). Folgende Anzahl Tage mit Subsidenz konnten wir eruieren:

Monat	Tage	Monat	Tage
Januar	7	Juli	2
Februar	4	August	3
März	3	September	1
April	3	Oktober	4
Mai	3	November	0
Juni	0	Dezember	2

Gesamte Anzahl Tage 32

2.3.2.2 Ergebnisse

Wie schon erwähnt, fallen die Tage mit Subsidenz ausser durch grosse Trockenheit vor allem durch ihre hohen Mittagstemperaturen auf. Wenn wir diese in Funktion der Jahreszeit auftragen (Abb. 2, obere Kurve) und die Streuungen ausgleichen, so erhalten wir eine plausible Jahreskurve bei höheren Werten im Winterhalbjahr in Locarno-Monti als in Magadino. Zweite Hälfte Mai, sowie Juni, September und Anfang Oktober sind interpoliert.

Leider stehen für eine genauere Erläuterung viel zu wenig Beispiele zur Verfügung. Wenn wir aber das grobschematisch erhaltene Resultat mit dem des nächstfolgenden Kapitels vergleichen, so dürfen wir es als annehmbar betrachten.

2.3.3 Unspezifische Schönwettertage

2.3.3.1 Auswahl der Tage

Alle sonnigen Tage, die sich durch nichts Zusätzliches wie Föhn, Subsidenz oder Bise auszeichnen, werden als "normale" Schönwettertage in eine Gruppe zusammengefasst. Meistens finden sie sich am Rande eines Hochs oder in einem Zwischenhoch. Oft lassen sie noch eine Tendenz zu Föhn, Subsidenz oder Bise erkennen. Sie verteilen sich wie folgt auf die zwei Jahre:

Monat	Tage	Monat	Tage
Januar	9*	Juli	8
Februar	8	August	6
März	5	September	6
April	0	Oktober	7
Mai	7	November	10
Juni	7	Dezember	13

Gesamte Anzahl Tage 86*

*) Locarno-Monti 8, weil an 1 Tag Station im Föhn;
Summe hiefür 85

Auch hier stellt sich wieder die Frage, ob man ein grösseres Kollektiv von Tagen zusammenkommen lassen sollte, um weiter nach den vorhandenen Winden, ursprünglichen Luftmassen, Strahlungsintensitäten u.a. unterteilen zu können. Jedoch haben wir nicht den Eindruck, dass alle diese Zusammenhänge befriedigend eindeutig ausfielen, ganz abgesehen davon, dass ja die betreffenden Parameter im konkreten Fall auch erst zutreffend prognostiziert werden müssten.

2.3.3.2 Prognosenhilfen

Für diese Gruppe von Tagen kann man sich, ähnlich wie bei den vorangegangenen Beispielen, verschiedene Methoden für eine Prognose des Maximums vorstellen. Wie für die Tage mit Subsidenz kann man die Maxima der "normalen" Schönwettertage im Jahresgang auftragen; die Differenz $\Delta T(MAX - 06)$ dürfte, unter Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung, ihre engen Gesetze haben; schliesslich könnte man sich in Anbetracht des gleichmässigen Temperaturverlaufes an ungestörten Tagen bei der Prognose nach 09z auf den Anstieg seit 06z stützen und diesen auf $\Delta T(MAX - 09)$ weiter extrapolieren. Wir wollen im Folgenden diese Methoden - in umgekehrter Reihenfolge - gegeneinander abwägen.

2.3.3.2.1 Extrapolation

Entgegen den gehegten Erwartungen ist die Abhängigkeit des $\Delta T(MAX - 09)$ vom vorausgegangenen $\Delta T(09 - 06)$ nicht sehr eng, vor allem nicht für Magadino. So treffen wir z.B. im Frühling ein $\Delta T(MAX - 06)$ von 12 bis 15K an, ganz unabhängig davon, ob die erste Stufe von $\Delta T(09 - 06)$ 6 bis 7K oder 8 bis 9K betragen hatte. Im Herbst finden sich viele Beispiele mit $\Delta T(MAX - 06)$ bei 13 bis 14K, ob nun die erste Stufe von $\Delta T(09 - 06)$ fast 4 oder aber schon 7 1/2 K überschritten hatte.

Rein nach dem Aussehen einer graphischen Darstellung zu schliessen, scheint die Beziehung $\Delta T(MAX - 06) = a_0 + a_1 \cdot \Delta T(09 - 06)$ für Locarno-Monti zuverlässiger, obwohl ein gerechnetes Beispiel (Herbst) auch nur ein Bestimmtheitsmass von $r^2 = 0.44$ ergeben hatte. Es lohnt sich daher nicht, exakte Formeln auszurechnen, wenn ihre Zuverlässigkeit auch nur bei fast ±1K liegt, umsomehr als man nur beim 3. Wetterbericht für die Prognose des laufenden Tages noch einen Nutzen aus dieser Methode ziehen könnte. Für Locarno-Monti dürfte das grobe Schema in Tab. 3 genügen.

Tabelle 3 Bestimmung von T MAX für Locarno-Monti aus 06 und 09z Termin

Sommer:	$\Delta T(MAX - 06) \approx$ 10K		
Herbst und Frühling:			
für	$\Delta T(09 - 06) \approx$ 2K	ist $\Delta T(MAX - 09) \approx$	3K
	4K		5K
	6K		7K
Winter:	0K		5K
	2 1/2K		6K
	5K		7K

2.3.3.2.2 Differenz zur Morgenbeobachtung

Ebensogut wie bei den andern eindeutigen Tagen lässt sich eine Beziehung zwischen der Maximaltemperatur und derjenigen von 06z berechnen. Nur darf man a priori annehmen: je grösser eine Tagesamplitude ausfallen kann, umso grösser wird auch deren Streuung werden.

Da sich beim Herausschreiben der $\Delta T(MAX - 06)$ gezeigt hatte, dass diese über das Jahr für kürzere oder längere Perioden konstant bleiben oder in ähnlichen Bereichen schwanken, versteht es sich von selbst, dass man sie innerhalb dieser Grenzen zusammenfasste. Weiter ist zu bemerken, dass die Werte für Locarno-Monti weniger streuen als die für Magadino, weshalb wir auch jene Resultate beifügen. Wiederum ist es den Inversionen von variabler Erstreckung und Intensität in den Niederungen zuzuschreiben, dass das ΔT dort variabler ist als an der Hangstation. Die Ergebnisse sind in Tab. 4 zusammengetragen.

Tabelle 4 Jahresgang gemessener T MAX bei unspezifischen ("normalen") Schönwetterlagen

Periode	Tage	$\Delta T(MAX - 06)$ mit Standardabweichung Magadino	Locarno-Monti
Oktober	7	13.1K ± 1.6K	10.5K ± 0.8K
1.-20. November	7		9.1K ± 0.8K
21. Nov. - 31. Januar	24	9.5K ± 1.5K	7.0K ± 1.1K
Februar und März	12	13.1K ± 2.1K	10.0K ± 2.4K
April	0		(11.8K ± 1.5K)*
Mai	7	13.7K ± 1.0K	11.4K ± 0.9K
Juni und Juli	15	11.1K ± 1.0K	9.7K ± 0.7K
August und September	12	12.1K ± 1.4K	10.5K ± 1.2K

*) graphisch interpoliert

Unter der Annahme, dass die Maximaltemperaturen von Locarno-Monti wenig von denen in den Niederungen abweichen (die absoluten Unterschiede zwischen Magadino und Locarno-Monti gehen aus der nächstfolgenden Tabelle besser hervor), gäbe die zweite Kolonne der Tab. 4 zuverlässigere Anhaltspunkte. Ausser im Frühling - im Februar und März streuen die ΔT um fast 2 1/2 K - darf man mit einer Verlässlichkeit von ±1K den Zuschlag zur 06z-Temperatur anbringen. Für den April fand sich kein ungestörter Schönwettertag. Würde man eine graphische Interpolation durchführen, so ergäbe diese ein ΔT von ca. 11.8K ± 1.5K. Natürlich darf die Doppelwelle im Jahresgang des ΔT nicht erstaunen; denn im Winter hat die Temperatur sowieso ihre kleinste Amplitude, und im Sommer baut sich bereits vor 06z ein ansehnlicher Beitrag der grossen Tagesschwankung auf.

2.3.3.2.3 Jahresgang der Maximaltemperaturen

Schliesslich kann man die Maximaltemperatur auch an den durchschnittlichen "normalen" Schönwettertagen in erster Linie als eine Funktion der jährlichen Sonnenbahn, also des Kalendermonats, auffassen. Ob es in der Unzulänglichkeit des Materials liegt (zu wenig Beispiele) oder ein reeller Effekt ist, bedingt durch die unstetige Einstrahlung als Folge des stark kupierten Horizontes, dass auch hier wieder über Gruppen von Tagen eine auffällige Ausgeglichenheit beobachtet werden kann, bleibe eine offene Frage. Auf alle Fälle haben wir auch hier wieder das Jahr in Perioden verschiedenster Länge unterteilt und für diese jeweils Mittelwert und Streuung berechnet (Tab. 5, Abb. 2).

Tabelle 5 Jahresgang gemessener T MAX an Schönwettertagen

Periode	Tage	Maximaltemperaturen in °C Magadino	Locarno-Monti
1.-4. Oktober	2	21.8K -	22.8K -
10.-31. Oktober	5	15.2K ± 0.8K	15.3K ± 1.1K
1.-20. November	7	12.9K ± 1.4K	13.9K ± 1.1K
21. Nov. - 20. Januar	23/24	6.7K ± 1.0K	8.6K ± 1.7K
21. Jan. - 5. März	10	12.0K ± 2.3K	13.0K ± 2.8K
6. März - 3. April	4	15.3K ± 2.0K	15.4K ± 2.2K
2.-23. Mai	7	23.5K ± 2.1K	23.5K ± 2.4K
7.-25. Juni	7	27.0K ± 1.8K	26.6K ± 1.7K
1.-26. Juli	8	28.6K ± 1.9K	28.4K ± 1.8K
2.-25. August	6	26.8K ± 1.8K	26.6K ± 1.8K
13.-20. September	6	25.5K ± 0.7K	26.1K ± 1.2K

Verglichen mit Tab. 4 fällt auf, dass hier die Streuungen allgemein etwas grösser sind, jedoch für Magadino fast durchwegs kleiner als für Locarno-Monti. Wenn wir uns aber vor Augen halten, dass diese T MAX Absolutwerte sind, wäre es ja direkt ideal, wenn wir die "Mittagstemperatur in den Niederungen" auf ±1 bis ±2° genau voraussagen könnten! Als Prognosenhilfe sehen wir daher die Abb. 2 vor (Jahresgang der Maximaltemperaturen von Magadino, Mittelwert und Streuung über "normale" Schönwettertage, ergänzt durch die Werte bei subsidenten Lagen), vorläufig allerdings noch als unausgeglichene Kurve, bis wir abgeklärt haben werden, wie reell die Stufen besonders im Temperaturrückgang im Herbst sind. Vergleichen wir mit dem Resultat 2.3.2.2, erkennen wir, dass die schönen Tage mit Subsidenz im Winter die grössten Tagesmaxima haben, dass diese aber im Sommer gleich dem oberen Temperaturbereich der ungestörten Tage sind. Es fällt auch in der Wirklichkeit oft schwer, einen Tag mit Tendenz zu Föhn von einem an sich warmen ungestörten Tag abzutrennen. Dies gilt sowohl für das Prozedere der Erforschung als auch für ihre Prognose.

2.3.4 Heitere Tage mit Bisentendenz

2.3.4.1 Auswahl der Tage

Diese Tage sind bereits nach Definition schon weniger eindeutig als die übrigen Schönwettertage. Wenn zwischen Kloten und Magadino noch ein schwacher N-S-Druckgradient besteht, die Höhenwinde aber bereits auf NE gedreht haben,und sich die Station Gütsch nicht mehr im geschlossenen Staugewölk befindet, stellen sich bald auf der Alpensüdseite Restwolken der abziehenden oder sich eventuell über der Adria nochmals aktivierenden Störung ein, so dass der Himmel nur noch in seltenen Fällen heiter bleibt. Insgesamt genügen in den zwei Jahren nur 11 Tage einigermassen der Definition "heiter mit Bise", nämlich:

Monat	Tage	Monat	Tage
Januar	1	Juli	0
Februar	2	August	0
März	1	September	0
April	3	Oktober	0
Mai	1	November	2
Juni	0	Dezember	1

Gesamte Anzahl Tage 11

Man darf diese wenigen Fälle jedoch nicht unterschlagen; denn das Kollektiv der "normalen" Schönwettertage würden sie mit ihren Ergebnissen mehr belasten als bereichern.

2.3.4.2 Ergebnisse

Ausgehend von der Ueberlegung, dass noch ein N-S-Gradient vorhanden ist, wird man für die Maximum-Prognose von Magadino zunächst auch wieder auf das ΔT (MAX - 06 Gütsch) zurückgreifen. Dies ist denn auch in einigen Beispielen von der Grössenordnung von 20 bis 23K; aber es ist Schwankungen unterworfen, die von 15 bis 30K reichen. Man kann also nicht sehr viel Verbindliches über die Temperaturverhältnisse an solchen "Bisen"-Tagen aussagen. Ursprünglich ins Auge gefallen sind sie deshalb, weil sie trotz Sonnenschein und leichtem Föhngradienten relativ kalt bleiben. Vielleicht wird man ihnen prognostisch am besten gerecht, indem man ihr Maximum zwar noch bei Temperatur Gütsch 06z plus ca. 20K sucht, dabei aber darauf achtet, dass man auf Abb. 2 an den unteren Streubereich kommt; denn, wie die Föhntage, findet auch die Bise in relativ kalten Luftmassen statt, wobei aber die typische föhnige Erwärmung nur gedämpft in Erscheinung tritt.

3. TEMPERATUR-MINIMA (T MIN)

Beim Aussortieren der Tage von einheitlicher Witterung war darauf geachtet worden, dass die Kriterien möglichst bis zum folgenden Morgen ihre Gültigkeit beibehalten hatten. Dies soll uns ermöglichen, auch für die Prognosen der nachfolgenden Minima Richtlinien auszuarbeiten.

Für die Temperatur in den Niederungen scheint uns die Station Magadino zutreffender als Locarno-Monti; gerade bei den nächtlichen Tiefstwerten in klaren Nächten wird spürbar, in welchem Masse Locarno-Monti eben doch die Bedingungen an einer ausgesprochenen Hanglage wiedergibt.

3.1 T MIN nach unspezifischen heiteren Nächten

Auf Grund von Bedeutung und Wichtigkeit des Problems gehen wir in umgekehrter Reihenfolge vor und stellen die Frage nach dem Minimum nach heiteren Nächten voran. Man wird grundsätzlich die Prognose von zwei Seiten angehen und fragen: wie stark ist der Abfall der Temperatur in Abhängigkeit vom vorangegangenen Maximum, und in welchem Mass ist auf die Persistenz Verlass ?

Wenn man sich eine detaillierte Untersuchung von Rodesino (unveröffentlichtes Manuskript) zur Minimums-Prognose vergegenwärtigt, muss man zugeben, dass sehr viele Faktoren wie Eigenschaft der Luftmasse in den unteren 1500 m, Taupunkt in den Niederungen und Windgeschwindigkeit ihre Rolle spielen. Die Bewölkung fällt in unserem Fall weg, weil nur von heiterem Himmel die Rede ist; "Wind" oder aber keiner will hier heissen, dass sich der Föhn hält oder aber zusammenbricht; für die Luftmasse dürfen wir annehmen, dass sie gegenüber dem Vortag wenig Aenderung erfahren hat, weil sich ja die vorliegende Untersuchung nur auf homogene Tage beschränkt. Rodesinos Prognosenhilfe wird in allen jenen Fällen Denkanstösse geben (sie beschränkt sich nur auf Frühlingsmonate), die für die Nacht einen markanten Witterungsumschlag voraussehen.

3.1.1 Ergebnisse

3.1.1.1 Differenzen zwischen Maximum und Minimum

Natürlich sind an den "normalen" Schönwettertagen die Differenzen zwischen Maximum und Minimum $\Delta T(MAX - MIN)$ vom Sonnenstand abhängig, und wir haben sie deshalb mehr oder weniger nach Jahreszeiten zusammengefasst (Tab. 6).

Tabelle 6 Jahresgang der gemessenen Amplituden (MAX - MIN) Magadino

Periode	Tage	(MAX - MIN)	Standard-abweichung	äussere Grenzen
Sept. bis Ende Nov.	15	13.0K	±1.8K	10.4 / 15.6K
28. Nov. bis Jan.	23	10.5K	±1.4K	7.8 / 13.0K
Februar bis Mai	17*	14.4K	±1.5K	11.2 / 16.4K
Juni bis August	14	12.3K	±1.7K	8.4 / 14.6K

*) 2 Beispiele mit Verdacht auf leichten föhnigen Einfluss weggelassen

Nebenbei sei darauf hingewiesen, dass sich die grössten mittleren Unterschiede zwischen Maxima und Minima nicht etwa im Sommer - als Gegenstück zu den kleinsten im Winter - vorfinden, sondern vielmehr mit 14.4K im Frühling, wenn die langen Nächte eine merkliche Abkühlung zulassen, das Tal zwischen kalten, schneebedeckten Hügeln eingebettet ist, und die relativ trockene, dunstarme Luft stärkere Abstrahlung zulässt als zu andern Jahreszeiten. Wenn sich auch die Streuungen der Resultate um 1 1/2 bis 2K halten, so sind doch die gemessenen absoluten Intervalle zwischen den äusseren Grenzen in gewissen Jahreszeiten so gross, dass man nach weiteren Prognosenhilfen Ausschau hält.

3.1.1.2 Persistenz der Minima

Die Werte, die sich aus der Differenz zwischen dem Minimum am Ende der heiteren Nacht und demjenigen des Vortages ergeben, sollten eigentlich bei unveränderter Wetterlage klein bleiben. Auch sie lassen sich für mehr oder weniger lange Perioden zusammenfassen (Tab. 7).

Tabelle 7 Differenz zwischen Minimum (Tag 2 minus Tag 1), ΔT MIN(2 -1) Magadino

Periode	Tage *	ΔT MIN(2 - 1)	Standard-abweichung	äussere Grenzen
September bis März	46	-0.3K	±1.5K	-4.0 / +2.5K
Mai bis August	20	+1.7K	±1.5K	-1.2 / +4.6K
(keine ungestörten Schönwetterlagen im April)				

*) 4 Beispiele müssen übergangen werden, da Verdacht auf leichten Föhn oder Bise besteht.

Vergleicht man Tab. 7 mit den Ergebnissen von Tab. 6, so erkennt man, dass die Methode der Persistenz der Minima nicht stärker streut. Ausserdem muss sie übers Jahr nur auf zwei Perioden unterteilt werden. Sie ergibt ähnlich weite Grenzbereiche und ist daher wegen ihrer Einfachheit der Berechnung einer Amplitude aus Maximum minus mittlerem Temperaturrückgang vorzuziehen.

Es leuchtet ein, dass die Luft gesamthaft gesehen eher die Tendenz hat, sich im Winterhalbjahr im Laufe wolkenloser Tage abzukühlen und im Sommer leicht zu erwärmen. Es ist aber bezeichnend für die Alpensüdseite, dass sich dieser Effekt im Mittel nur schwach bemerkbar macht. Auch hier wird sich nach einem ersten Schönwettertag die Temperatur bis zum nächsten Morgen im Winter empfindlich auskühlen und im Sommer merklich erwärmen. Da sich aber ganze Perioden schöner Tage zu folgen pflegen, so hebt sich die grössere Differenz von $\Delta T\,MIN(2-1)$ in der Mittelbildung wieder weitgehend auf. Man wird ihr aber von Fall zu Fall dennoch Rechnung tragen müssen, indem man sich dann an die äusseren Grenzwerte von $\Delta T\,MIN(2-1)$ hält.

3.1.1.3 Vergleich mit Taupunkttemperatur 15z Vortag

In der Prognose der nächtlichen Tiefstwerte lehnt man sich oft an die Taupunkttemperatur von 15z an. Um zu prüfen, wie zuverlässig diese Methode ist, bildeten wir die Differenz zum Minimum $\Delta T(MIN - T_dT_d)$ und mittelten diese auch wieder halbjährlich (Tab. 8).

Tabelle 8 Gemessene Differenz zwischen Taupunkt 15z und folgendem T MIN Magadino

Periode	Tage *	$\Delta T(MIN - T_dT_d)$	Standard-abweichung	äussere Grenzen
September bis März	46	-2.5K	±2.2K	-6.8 / +1.5K
Mai bis August	19	-0.5K	±2.0K	-3.0 / +2.8K

*) Zweifelhafte Fälle, bedingt durch Bisentendenz, übermässigen Dunst oder Verdacht auf beginnenden Südstau, wurden fallengelassen.

Aus den Ergebnissen ist die Tendenz zu erkennen, dass im Winterhalbjahr das Minimum rund 2 1/2 und im Sommer 1/2 K unter den Taupunkt von 15z absinkt. Da aber die Streuung der Werte grösser ist als diejenige für Persistenz, besteht kein Grund, dieser Methode den Vorzug zu geben. Wie schon erwähnt, müsste dem Taupunkt von 15z nur dann Rechnung getragen werden, wenn man ein verfeinertes Modell für eine Minimums-Prognose als Funktion der verschiedenen Parameter ausarbeiten wollte.

3.2 T MIN bei Subsidenz oder Bise

Die Fälle, bei denen man noch am Folgemorgen von anhaltender Subsidenz oder Bise sprechen kann, sind sehr wenig an der Zahl. Eine Ueberprüfung derselben hat ergeben, dass auch an diesen Tagen die Tendenz zur Persistenz der Minima bei weitem überwiegt. Das rührt u.a. auch davon her, dass sich die Auffälligkeiten von Subsidenz und Bise auf den Tag beschränken und die Nächte meist solchen von "normalem" schönem Wetter ähneln.

3.3 T MIN bei Föhn

Für Minima-Prognosen bei Föhn entstehen regelmässig Schwierigkeiten, weil man vor der Frage steht, ob der Föhn die Nacht hindurch anhalten werde oder nicht. Hält er nicht an, was häufiger der Fall ist, muss entschieden werden, auf welche Temperatur man tippen soll, wenn der Taupunkt am späteren Nachmittag vom Maximum um rund 15 bis 25K differiert! Sollte es gelingen, trotz einer gewissen Komplexität der Temperatur einen mittleren Tagesgang über die 24 Stunden zu berechnen, würde man auch erfahren, wie stark nach Eintreten der Windstille der Temperaturrückgang zu werden verspricht, falls die Luftmassen extrem kalt sind und ausserdem durch ihre Transparenz eine starke Abkühlung des Bodens begünstigen.

Für das vorliegende Material fallen die Vergleiche von ΔT(MAX-MIN) für Föhn- u. "normale" Schönwettertage sehr vielfältig aus. Hält der Föhn die Nacht hindurch unvermindert an - von Februar bis Mai finden sich Beispiele - sinkt die Temperatur vom Maximum zum Minimum rund 10 bis 13K. Im Vergleich dazu beträgt ΔT(MAX - MIN) an normalen Tagen 13 bis 16K. Das ΔT kann aber bei Föhnzusammenbruch in extremen Fällen, vor allem nach hohen Maxima, um 16 bis fast 21K fallen. In den wenigen Beispielen vom Herbst sind die ΔT(MAX - MIN) bei Föhn ähnlich denjenigen an den übrigen Schönwettertagen. Im Sommer und ganz besonders im Winter sind die nächtlichen Temperaturrückgänge nach Föhntagen wesentlich grösser als nach unspezifischen Schönwettertagen, z.B. im Dezember und Januar von der Grössenordnung 14 bis 18K statt nur 9 bis 12K. Wiederum folgen die sehr grossen Abfälle auf aussergewöhnlich hohe Maxima, so dass man auch bei Föhntagen versucht ist, die Güte der Persistenz zu prüfen, um eventuell dieser den Vorzug zu geben. Das Resultat, in zwei Gruppen zusammengefasst, steht in Tab. 9.

Tabelle 9 Gemessene Differenzen zweier aufeinanderfolgenden T MIN Magadino

Periode	Tage	ΔT MIN(2 -1)	Standard-abweichung	äussere Grenzen
Oktober bis März	26	-0.1K	±3.8K	-6.2 / +6.0K
April bis September	16	-0.7K	±2.4K	-3.6 / +4.6K

Nach dem Mittelwert von ΔT MIN(2 - 1) zu schliessen, scheint es tatsächlich auch für die Föhnnächte eine Persistenz der Minima-Temperaturen zu geben. Aber die Streuung ist - besonders im Winterhalbjahr - sehr gross, und die äussersten Grenzen sind weit gestreut.

3.4 T MIN bei wechselnd bewölktem Himmel

Die Wolkenbeobachtungen in der Nacht sind mit grossen Unsicherheiten behaftet. Zudem spielen für den Temperaturrückgang, also für die Stärke der Ausstrahlung, auch die Wolkenbasis und Wolkendicke eine wichtige Rolle, worauf jedoch in unserer Untersuchung nicht Rücksicht genommen worden ist. Die Beispiele "wechselnd bewölkten Himmels" lassen sich auch sehr oft nicht bis zum folgenden Morgen weiterziehen, weil schon in der Nacht ein Wetterwechsel stattgefunden hatte, so dass nur noch wenige Fälle übrig bleiben.

Auch hier erweist sich die Persistenz als zuverlässige Ausgangsbasis. Wir ziehen es allerdings vor, statt auf das Minimum uns auf die Temperatur von 06z des Vortrages abzustützen; denn bei den verschiedenen Möglichkeiten, die einem "wechselnd bewölkten Tag" vorausgegangen sein könnten, ist T MIN mit zu grosser Unsicherheit behaftet und fällt u.U. noch auf den Vorabend. Damit nehmen wir allerdings in Kauf, dass besonders im Sommerhalbjahr, wenn bei normalem Temperaturverlauf das Minimum vor 06z stattfindet, zum Minimum des Folgetages eine niedrigere Temperatur vorgesehen werden muss. Es kommt dies auch in der Mittelbildung der Differenzen zum Ausdruck:

ΔT(MIN 2.Tag - 06z 1.Tag = $-0.3K \pm 1.1K$ (33 Fälle), äusserste Grenzen -3.3 / $+1.9K$

Eine systematische Unterteilung nach Sommer und Winter lohnt sich nicht; denn ein grosser negativer Wert kann ebensogut jahreszeitlich (Sommer) als auch bewölkungsmässig (Cirren) bedingt sein.

3.5 T MIN bei bedecktem Himmel

Beispiele von Tagen mit bedecktem Himmel bis zum andern Morgen gibt es nur wenige. Entweder gehen solche Fälle in "Niederschlagstage" über, oder die Wolken reissen allmählich im Laufe der Nacht auf. Man müsste die Auswahl "bedeckter Nächte" ganz neu ansetzen, wenn das Problem den Aufwand lohnen würde. Aber die Erfahrung lehrt, dass die Temperatur in solchen Nächten nur unwesentlich variiert.

Was für die "Niederschlagstage" beobachtet worden war, gilt erst recht für die "Niederschlagsnächte": die Temperatur geht bei Kaltluftzufuhr stetig, aber nur unbedeutend zurück. Gleich dem Anstieg vom Morgen zum Mittag von rund 1K, ist ein nächtlicher Rückgang von 1 bis 2K vorzusehen. In der Prognose geht man sicherer, wenn man für den 24stündigen Tag die erlaubte Spanne von 5K vorsieht. Zieht man ausserdem in Betracht, dass die Temperaturunterschiede zwischen den verschiedenen Stationen in den Niederungen (Magadino, Locarno, später Stabio) von der Grössenordnung des Tagesganges an jedem dieser Orte sind, deckt man mit einem 5-Grad-Intervall mit grosser Wahrscheinlichkeit alle Möglichkeiten ab.

4. ANHANG

4.1 Temperaturverteilung mit der Höhe, Nullgradgrenzen

Da die Messergebnisse der Tage einheitlicher Witterung über mindestens 24 Stunden für die Stationen Magadino, Locarno-Monti und Cimetta herausgeschrieben worden sind, besteht im weiteren die Möglichkeit, etwas über die Temperaturverteilung mit der Höhe auszusagen. Für Schönwettertage resp. -nächte ist das Messnetz zu wenig dicht, um vertikale Erstreckung, Tagesgang und Ausmass von Inversionen zu erfassen. Aber über Temperaturgradienten bei Advektion feuchter (Südstaulage) oder trockener (Nordföhn) Luft kann Verlässliches ausgesagt werden.

4.1.1 Temperaturgradienten bei Advektion feuchter Luft

Die Differenzen und Gradienten der Temperaturen berechneten wir zunächst für 06z (dem Zeitpunkt, der von allfälliger Ausstrahlung oder diffuser Einstrahlung am wenigsten betroffen ist) zwischen je zwei Stationspaaren (Tab. 10).

Tabelle 10 Vertikale Temperaturgradienten bei Advektion feuchter Luft um 06z

Stationspaar	Magadino / Locarno-Monti	Locarno-Monti / Cimetta
Höhendifferenz	165 m	1250 m
Anzahl Fälle	32	31
Differenz T 06	0.06K	6.75K
Standardabweichung	1.0K	1.3K
Maximale Differenz	1.7K	9.1K
Minimale Differenz	-3.3K	3.7K
Gradient	0.04K/100 m	0.54K/100 m

In den untersten 165 Metern über dem Tal (genau gesagt zwischen dem Talgrund und einer 165 m höher am Hang gelegenen Station) heben sich die Temperaturunterschiede im Mittel auf; es halten sich trockenadiabatische Gradienten und Inversionen die Waage. Meist wird es sich um Zufallswerte der 06z-Temperatur handeln, die aus den Bedingungen des Vortages und -abends übrig geblieben sind.

Zwischen Locarno-Monti und Cimetta finden sich besonders zu Beginn der Schlechtwetterperiode sehr komplexe Bedingungen. Es wirkt fast zufällig, dass schon für 06z im Mittel ein Gradient von 0.5K/100 m herauskommt, wie es die Theorie für feuchte Advektion verlangt! Wir sehen in dieser ersten Stichprobe eines angeschnittenen Problems ein nur zufällig glaubwürdiges Resultat.

4.1.2 Temperaturgradienten bei Föhn

Im Gegensatz zur Subsidenz, bei der zwar ungefähr ähnlich niedrige Feuchtigkeiten registriert werden, ist bei Nordföhn die Temperatur auf Cimetta wesentlich kälter als in Locarno-Monti. Da die Differenzen zwischen einer tiefen Hang- und einer Kammstation mit der Sonneneinstrahlung stark variieren, dürfte es von Vorteil sein, zusätzlich eine Korrelation zur fast konstanten Temperatur vom Gütsch zu berechnen. Für alle Beispiele, bei denen wir in die Nähe des Gefrierpunktes kommen, hätten wir somit für die Prognose der Nullgradgrenze gewisse Anhaltspunkte.

In Tab. 11 sind, analog zu Magadino, die Differenzen zwischen T(MAX Cimetta minus 06z Gütsch) gerechnet und ausserdem, auf der Suche nach einem aussagekräftigeren Resultat, die mittleren ΔT06z (Cimetta minus Gütsch) gebildet. Offensichtlich sind erstere wegen der winterlichen Schneedecke auf Cimetta jahreszeitenabhängig, so dass sie noch für Oktober bis März und April bis September getrennt gemittelt worden sind (3. und 4. Zeile); ihre Streuungen werden wesentlich kleiner.

Um 06z ist die Temperatur auf Cimetta von Einstrahlung sicher weniger beeinflusst. Wenn wir für diesen Zeitpunkt den Gradienten zwischen den Bergstationen von 652 m Höhendifferenz berechnen (6. Zeile), so erhalten wir den Wert 1.09K/100 m, der auch sehr nahe an den theoretischen kommt. Da die Temperaturdifferenzen nur um 1.3 bis 1.8K streuen, dürfen wir auch die Gradienten als relativ gesichert annehmen und für prognostische Zwecke verwenden.

Tabelle 11 Vertikale Temperaturgradienten bei Föhn

$\bar{\Delta T}$(MAX Cimetta - 06z Gütsch)	12.8K	± 2.3K	39 Fälle
$\bar{\Delta T}$(MAX Cimetta - 06z Gütsch)			
Oktober bis März	11.5K	± 1.8K	25 Fälle
April bis September	15.0K	± 1.3K	14 Fälle
$\bar{\Delta T}$ 06z (Cimetta - Gütsch)	7.1K	± 1.4K	39 Fälle
Gradient um 06z	1.09K/100 m		

5. AUSBLICK

Seitdem nun sowohl Locarno-Monti als auch Magadino (sowie Lugano) mit automatischen Messstationen ausgerüstet sind, sollte es keine grossen technischen Schwierigkeiten bedeuten, mittlere Tagesgänge der Temperatur zu berechnen. Die Erfahrungen im Dischma (Urfer (1979)) haben die Vermutung bestätigt, dass die Streuung der Werte (dort Stundenmittel) aus rein physikalischen Gründen über einheitliche Tage kleiner werden als über die Gesamtheit aller Tage. Eine solche mittlere Kurve hätte zudem den Vorteil, auch nur für Tagesausschnitte angewandt werden zu können, etwa für den Anstieg oder Abfall über heitere Tages- oder Nachtstunden, da sie an einem beliebigen Fixpunkt angebracht und von dort weg extrapoliert werden könnte. Das Verfahren wäre ebensogut denkbar an gleichmässig bewölkten wie an vollständig bedeckten Tagen.

Das Hauptproblem wird in der Auswahl von typischen Tagen liegen sowie in der Beschränkung der Bedingungen, die man zulassen will. Nach den bisherigen Erfahrungen wäre eine Klassierung nach Bewölkung und Wetterlage hinreichend, wenigstens so lange als für die Windprognosen in den Niederungen ohnehin noch keine festen Regeln bestehen. Bereits mit 2 bis 3 Jahren automatischer Messungen sollte es möglich sein, zusätzliche Prognosenhilfen für die Temperatur im Locarnese oder allgemein auf der Alpensüdseite zu erhalten.

Literaturverzeichnis

Rodesino A., 1974 Unveröffentlichtes Manuskript über Minima-Prognosen für die Magadinoebene.

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

Zenone E., 1976 Ueber die Temperaturvorhersage südlich der Alpen bei Nordföhn.
Arbeitsbericht der Schweiz. Meteorologischen Anstalt Nr. 60.

Zenone E., 1981 Atmosphärische Bedingungen - wiedergegeben durch die Radiosondierungen von Mailand - bei Starkniederschlägen auf der Alpensüdseite.
Arbeitsbericht der Schweiz. Meteorologischen Anstalt, in Bearbeitung.

Adresse der Autorin: Frau
Dr. Charlotte Urfer
Osservatorio Ticinese della
Centrale Meteorologica Svizzera
Vai ai Monti 146

CH-6605 Locarno 5

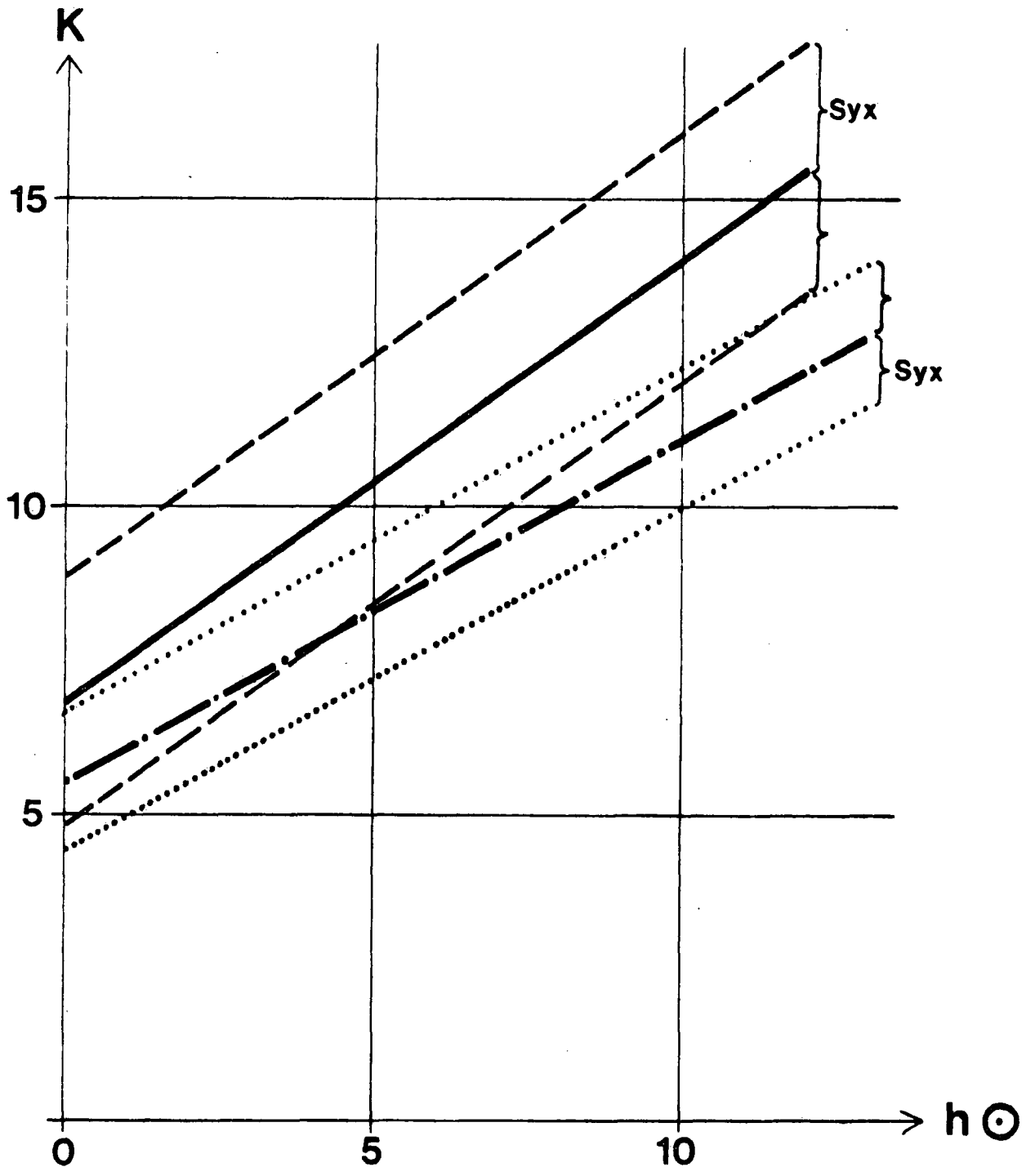

Abb.1 ΔT (MAX-06 Z) von Magadino an "wechselnd bewölkten Tagen" in Abhängigkeit von der Sonnenscheindauer

Uebergangsmonate (September, Oktober, März, April)

Sommer (Mai, Juni, Juli, August)

Streubereiche Syx

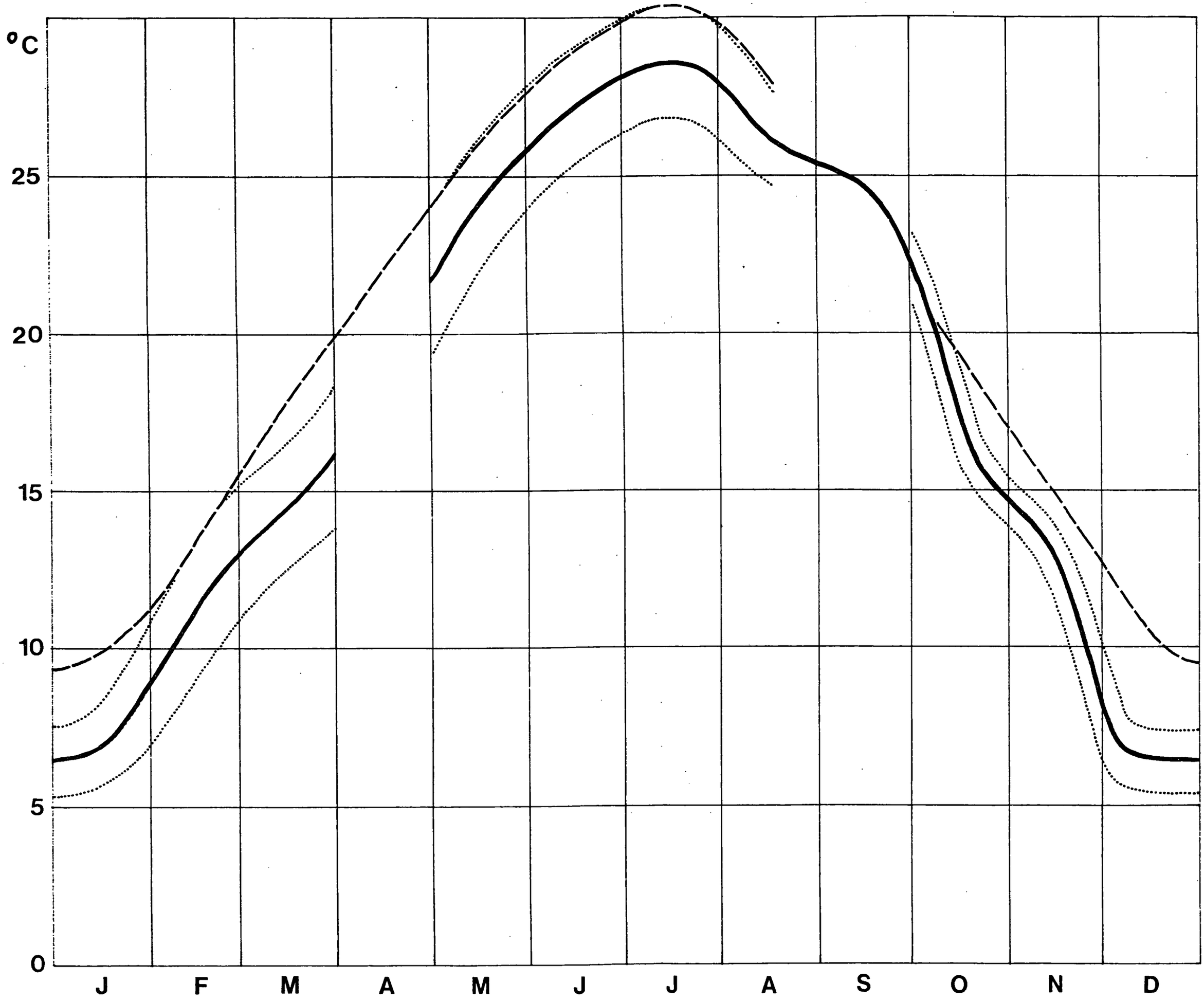

Abb. 2: Jahresgang der Temperaturmaxima von Magadino an "unspezifischen Schönwettertagen" (——————) mit Streubereich Syx (••••••••) und bei "Subsidenz" (— — —)