



Schweizerische Meteorologische Anstalt
Institut suisse de météorologie
Istituto svizzero di meteorologia
Swiss Meteorological Institute

No. 182

VIVIAN

Sturmperiode Februar 1990

Max Schüepp, Wallisellen

März 1995

Arbeitsberichte der SMA
Rapports de travail de l'ISM
Rapporti di lavoro dell'ISM
Working Reports of the SMI

© SMA, Publikationen, CH-8044 Zürich

Schweizerische Meteorologische Anstalt
Kräbühlstrasse 58, Postfach
CH-8044 Zürich

Tel. (01) 256 91 11, Fax (01) 256 92 78, Telex 81 73 73 met ch

Zusammenfassung:

Der äusserst starke Winter-Weststurm vom 27. Februar 1990 (Vivian) brachte die im schweizerischen Netz bisher höchste gemessene Windspitze von 269 km/h auf dem Gr. St. Bernhard und enorme Waldschäden (vgl. Lit. Sturmschäden 1990 im Schweizer Wald, BUWAL 1994).

An einer Kaltfront entwickelte sich im Rahmen einer Zonalzirkulation knapp nördlich der Schweiz ein Sekundärtief, wobei im Warmsektor die Luft zwischen Tief und Alpen eingeklemmt wurde. Von der nachdrängenden Kaltluft wurde sie in ungewöhnlicher Heftigkeit und auf ungewohnten Bahnen aus dem südwestlichen Wallis verdrängt und andernorts über die West-östlichen Alpenpässe (Oberalp, Klausen, Pragel) nach Osten vertrieben.

Im Bericht wird der Ablauf an Hand der Wetterkarten und der Meldungen des schweizerischen automatischen Beobachtungsnetzes in den drei Regionen: Westliches Wallis, Raum Disentis und Glarnerland analysiert und das Schadenmuster besprochen.

Résumé

La tempête hivernale (Vivian) du 27.11.90, caractérisée par des vents d'ouest extrêmement violents dont la vitesse maximale de 269 km/h enregistrée au Grand-St-Bernard n'a jamais été atteinte jusqu'à ce jour, a causé d'énormes dégâts aux forêts (voir lit. "Dégâts causés par les tempêtes dans les forêts suisses en 1990", OFEFP.)

Aux abords d'un front froid engendré dans une circulation zonale, une dépression secondaire s'est développée légèrement au nord de la Suisse, comprimant ainsi l'air du secteur chaud entre l'aire de basse pression et les Alpes. Sous la pression du courant froid poussant à l'arrière, l'air du secteur chaud a été expulsé du sud-ouest du Valais avec une extrême violence en suivant des voies inhabituelles, et chassé d'ouest en est par les cols alpins (Oberalp, Klausen, Pragel).

Dans le rapport, l'évolution sera analysée à l'aide de cartes météorologiques, d'observations du réseau automatique suisse relevées dans trois régions, le Valais, la région de Disentis et le pays de Glaris; le modèle des dégâts sera discuté.

Riassunto

La tempesta invernale del 27 febbraio 1990 (Vivian) è stata caratterizzata da venti estremamente violenti che, con una punta di 269 km/h misurata al Gran San Bernardo, hanno fatto registrare raffiche finora mai rilevate dalla rete svizzera di misurazioni. I venti hanno inoltre causato enormi danni al patrimonio boschivo (cfr. "Sturmschäden 1990 im Schweizer Wald" [Danni provocati dalla tempesta al bosco svizzero nel 1990], BUWAL 1994).

L'evento ha avuto origine quando, lungo un fronte freddo associato a una circolazione zonale, una depressione secondaria si è sviluppata appena a nord della Svizzera. L'aria del settore caldo si è così trovata schiacciata tra la depressione e le Alpi. Sotto la spinta

della corrente fredda seguente il fronte, l'aria del settore caldo è stata evacuata dal basso Vallese verso est in maniera particolarmente violenta e ha seguito delle traiettorie inconsuete, attraversando i passi alpini disposti da ovest a est (Oberalp, Klausen, Pragel).

Il presente rapporto analizza l'andamento dell'evento in base alle carte meteorologiche e alle misurazioni fornite dalla rete svizzera di stazioni automatiche per tre regioni: il Vallese, la regione di Disentis e quella di Glarona. Inoltre viene discussa la distribuzione dei danni.

Summary

The extremely strong westerlies winter gale of February 27, 1990 (Vivian) with a maximum wind speed of 269 km/h on the Grand St. Bernard - the highest value ever recorded by the Swiss measuring network - caused enormous damage to woodlands (cf "Sturmschäden 1990 im Schweizer Wald" [The 1990 windthrow in the Swiss forests], BUWAL1994).

A secondary low developed along a cold front within a zonal circulation hardly north of Switzerland, whereby the air in the warm sector was wedged in between this depression and the Alps. The cold air pressing from behind drove it away from the southwestern Valais with extraordinary violence and on unusual ways and chased it eastwards across the West-East Alpine passes (Oberalp, Klausen, Pragel).

This report analyses, by means of the weather charts and the registrations of the Swiss automatic meteorological observation network, the development of the event in the three regions of the western Valais, Disentis and Glarus. Furthermore, the account discusses the pattern of damage.

Meteorologische Analyse der Westwind-Sturmperiode vom 26. Februar - 1. März 1990 mit den riesigen Waldschäden in der Schweiz am 27. Februar .1990

1. Vorgeschichte und Wetterablauf

Fünf Tage vor dem Hauptsturmtag, am 22. Februar 1990, lag über Mitteleuropa ein sehr kräftiges Hoch mit Luftdruck im Meeresniveau von über 1040 hPa. (Fig. 1). Die Grenze zwischen der subtropischen Warmluft und der polaren Kaltluft, die sogenannte Polarfront, verlief damals, bis zum 24. Februar, im europäischen Sektor weit im Norden, im skandinavischen Raum (Fig. 2, Höhenwetterkarte vom 24.2., 00z im 500 hPa-Niveau). Gleichzeitig war jedoch im nordamerikanisch-atlantischen Raum eine Frontalzone in Bildung begriffen, deren Vorderkante (Divergenzgebiet, Auseinanderlaufen der Isohypsen-Kurven) in Fig. 2, bei 25-40 ° westlicher Länge über dem Atlantik zu erkennen ist. Der die Frontalzone abschliessende Höhentrog befand sich damals in ca. 85 ° westlicher Länge über dem östlichen Gebiet der USA. In Fig. 3, der Lage vom 26. Februar, 00 z finden wir die Frontalzone im Zenit ihrer Entwicklung weiter nach Osten verlagert. Die Spitze erreichte damals Mitteleuropa und der Rückseitentrog hatte sich vor allem im nördlichen Teil auf ca. 70 ° westlicher Länge vorgeschoben. Dazwischen hatte sich eine fast geradlinige "Rennbahn" mit Windgeschwindigkeiten von etwa 125 Knoten (230 km/Std) gebildet. An Stelle des rasch abgebauten mitteleuropäischen Hochs von Fig. 1 hatte sich ein ebenso kräftiges Hoch von 1040 hPa über dem Seegebiet der USA aufgebaut, welches für den Zufluss kanadischer arktischer Luft sorgte (Fig. 4), während das Azorenhoch die für den Aufbau der Frontalzone notwendige Warmluft aus dem westatlantischen subtropischen Raum herbeigeschafft hatte. Am 26. Februar (Fig. 5) lag die Frontalzone mit den stärksten Winden (ca. 125 Knoten) im 500 hPa-Niveau noch verhältnismässig weit nördlich, etwa beim 55. Breitengrad über dem Ostatlantik, fast genau W-E-orientiert. Am 27. Februar (Fig. 6) hatte sie sich nach Mitteleuropa vorgeschoben und sich dort zum 50. Breitengrad nach Süden verschoben, wobei der Wind über dem Alpenraum etwas gegen WNW drehte. Dabei war die Schweiz vorübergehend in den Grenzbereich der nördlichen Polarluft gelangt. Die Temperatur sank im Laufe des Abends des 26. Februars auf den Bergstationen der Alpennordseite zwar nur um wenige Grade, doch erreichten die Windböen aus West abends Geschwindigkeiten von etwa 150 km/Std. Nun setzte aber ein Vorgang ein, welcher für die ungewöhnlich grossen Schäden des Sturmes von grosser Wichtigkeit war: Es bildete sich an der west-östlich verlaufenden Polarfront westlich von Frankreich eine Welle (Fig. 6), das heisst, die südliche Warmluft, welche vorher in der Defensive gewesen war, setzte zu einem kurzen Gegenangriff an und drängte die Kaltluft gegen Norden zurück, wobei sich ein Randtief der grossen skandinavischen Zentralzyklone nördlich der Alpen bildete (Fig. 7). Bald drehte jedoch der Höhenwind wieder auf WNW und wir finden in der Wetterkarte des 28. Februar, 00 z, die Frontalzone bereits weit entfernt über dem Balkan (Fig. 8). Der bedeutende Temperaturfall von ca. 7 °C im Niveau der Bergstationen bis ca. 4 1/2 km Höhe vom 27. Februar, 00 z, bis 28. Februar, 00 z wird aus Fig. 9 ersichtlich, in welcher die Radiosondenaufstiege von Payerne dargestellt sind. Dabei erreichten die Windgeschwindigkeiten in 9-10 km Höhe Werte von 180 Knoten = 330 km/Std in der Nacht zum 28. Februar. In Payerne fiel leider am 27. Februar um 12 z die Sondierung infolge des Sturmes aus, wahrscheinlich wurden damals eher noch etwas höhere Werte erreicht.

Wir erkennen aus dieser Analyse die hauptsächlichsten Ursachen für die ganz aussergewöhnliche, in den vergangenen Jahrzehnten noch nie erreichte Wucht des Sturmes, die

sich in gewaltigen Waldschäden auswirkte, als Jahrhundert-Ereignis (vgl. Fig. 10 und 11). Wir müssen uns allerdings davor hüten, daraus bereits auf eine Klimaänderung infolge menschlicher Einflüsse, z.B. dem laufend erhöhten CO₂-Gehalt durch unseren grossen Verbrauch an fossilen Brennstoffen zu schliessen. Wohl fallen nach dem Bulletin 90/2 des BUWAL (Fig. 12) die grössten Waldschäden in diesem Jahrhundert auf die zweite Hälfte, doch handelt es sich um drei Einzelereignisse. In der Zusammenstellung von F. Marti für das Glarnerland (Tab. 1, Seite 14) ist kein prinzipieller Anstieg der Schadenssummen, wohl aber der Häufigkeit festzustellen und die Tabelle aus dem englischen Raum (Fig. 13) [Lit. 6] zeigt keinen prinzipiellen Anstieg der Windgeschwindigkeiten. Möglich ist natürlich eine verminderte Resistenz des Wurzelwerkes gegen extreme Belastungen, doch müssten dazu wohl noch schlüssige Untersuchungen vorliegen. Es gab schon in früheren Jahrhunderten in einzelnen Regionen gewaltige Stürme, wie zum Beispiel der durch die Studien des Berner Klimatologen Prof. Dr. Christian Pfister bekannt gewordene Fall vom 18. Januar 1739 [Lit. 9]. Die damaligen Beobachtungen können uns bei der Analyse des 27. 2. 90 helfen.

Vom 18.1.1739 wird in den Chroniken berichtet: "Die Wirbelwinde auf dem Zürichsee hatten eine seltene und erstaunliche Wirkung, indem das Wasser nicht nur weit und hoch über die port getrieben und langgehalten wurde, als ob es nicht mehr zurückfliessen wollte, sondern auch zu verschiedenen malen eine nicht geringe last des Wassers in Form einer Säulen gehoben, von dem ungestümen wind fortgetrieben und unter anderem weit in den Zolliker Berg getragen und gar verschiendene Personen hin und wieder von dem Boden hoch in die freye Luft getragen worden. bey uns zu Winterthur name es ganze reihen Ziegel auf ein mahl, die schindlen darvon flogen in der Stadt herum als Vögel, der Kirchthurm gnapperte als wenn es ein tannenbaum gewesen wäre, in unserem Wald legte es die besten tannen hauffenweis darnider.... 100 ja bey tausend stumpen holz lagen die creuz und zwerch übereinander"

Wasserhosen gab es auch später gelegentlich am Zürichsee, so z.B. beim Föhnsturm vom 5.1.1919 (Fig. 14). Wir sehen aus diesen Meldungen, dass auch in früheren Zeiten sehr starke Stürme mit Wirbelbildungen einhergingen, denen auch die damaligen Wälder nicht gewachsen waren, trotzdem ja damals wohl allgemein eine stärkere Nutzung, Verjüngung und damit eine erhöhte Widerstandskraft vorhanden war. Zu den extremen Windgeschwindigkeiten gesellen sich in speziellen Fällen Wirbel, auf die nachfolgend bei der Besprechung der Verhältnisse im Wallis näher eingegangen wird.

Wir kehren nach dem Abstecher in die vergangenen Zeiten zurück zur Analyse des 27.2.1990 und stellen fest, dass als Vorbedingung die folgenden Voraussetzungen für die Entwicklung eines grossen Sturmes vorhanden waren:

- 1) Ungewöhnlich starke winterliche Frontalzone mit ausgeprägter Zonalströmung (Westwind) im atlantischen Sektor.
- 2) Breitenlage der Frontalzone knapp südlich des 50. Breitenkreises.
- 3) Gleichgewicht in der Stosskraft der südlichen Warmluft und der nördlichen Kaltluft, daher kein Durchbruch weder bei der Warm- noch bei der Kaltluft, jedoch Wellenbildung in der Kampfzone, allmähliches Vordringen der Kaltluft mit WNW-Wind in der Höhe am Nachmittag des 27.2. 90.

Die Fig. 15 zeigt dieses Vorrücken im Gebiet der Schweiz. Die Kaltluft überschwemmte bereits um die Mittagszeit von Basel her die Nordostschweiz bis zu den Alpen und versperrte damit der Warmluft in der Westschweiz den Abfluss nach Osten. Der höhere und tief gestaffelte Jura westlich von Olten verzögerte den Einbruch der Kaltluft in der Westschweiz, ja es trat sogar bei der automatischen Station Wynau an der Aare südwestlich von Olten zwischen 15 und 16 h kurzzeitig ein relativ warmer Leewind aus WNW hinter dem Jura mit 3 °C Erwärmung und vorübergehender Abnahme der Feuchtigkeit unter 55% auf, also eine in der Westschweiz unter dem Namen "Joran" bekannte Erscheinung. Nun begann der Leidensweg der Warmluft. Da die Alpen in den westlichen Teilen der Schweiz verhältnismässig hoch sind, wurde die Warmluft an die Alpen gepresst und durch die enge Pforte des Rhônetales zwischen St. Maurice und Martigny ins Wallis gedrängt. In der Zentralschweiz wurde sie via Muotatal und Schächental über den Pralgelpass und den Klausenpass ins Glarnerland hinüberbefördert, weil es ihr ähnlich erging wie weiland dem russischen General Suworow in der napoleonischen Zeit. Wir erkennen den Kampf in den Aufzeichnungen der automatischen Station Altdorf, wo im Laufe des Vormittages des 27. Februar immer wieder Warmluftschübe aus Norden mit kühlerer Bergluft abwechselten, bevor um 1350 h die Kaltfront von Norden her mit Niederschlägen und Druckanstieg dem Kampf ein Ende setzte (Fig. 16).

In der Höhe hatte die Kaltluft bereits um 13 Uhr mit starken Windböen aus WNW die Station Gütsch ob Andermatt erreicht. Ein zweiter verstärkter Schub trat nach 17 Uhr auf, wobei die Temperatur kräftig sank und zugleich die Windböen sich bis gegen 22 Uhr laufend verstärkten (Fig. 17).

Der Gotthard genügte nicht als Ablasskanal gegen Süden, so dass ein grosser Teil der Luftmassen über die östlichen Urneralpenpässe, speziell den Oberalppass, ins obere Vorderrheintal abgelenkt wurde. Dabei wurde zwischen 1420 h und 1430 h ein Zug der Oberalpbahn umgeworfen, ein zweiter durch einen Windstoss gekippt, bis er an die seitliche Schneemauer stiess und nachfolgend durch einen zweiten Stoss wieder aufgestellt wurde, ein Zeichen, dass offenbar auf dem Oberalppass die Windrichtung nicht konstant war und Wirbelbewegungen im Spiel waren (persönliche Mitteilung vom Stationsvorstand Schmid in Andermatt). Die schweren Waldschäden in Disentis werden nachfolgend bei der Detailanalyse beschrieben.

Wir haben bereits bei der Besprechung der Wetterentwicklung vom 27. zum 28. Februar 1990 (Fig. 8), gesehen, dass zwar die Kaltfront am 28. Februar nach Osten abgezogen war, dass aber die allgemeine starke Westströmung über dem Ostatlantik noch erhalten geblieben war. Ein neuer Wirbel verlagerte sich vom 28. Februar zum 1. März 1990 rasch vom Atlantik nach Norddeutschland und nochmals gab es einen Kaltfrontdurchgang in der Schweiz mit einer "Nachlese" von Sturmschäden, diesmal aber mit einem dauerhaften, definitiven Abschluss der Wirbelserie (Fig. 18).

Wir erkennen an den Frontdurchgangszeiten der Fig. 19 im Vergleich mit Fig. 15 wie viel rascher und ungestörter dieser zweite Kaltluftvorstoss verlief, weil in diesem Fall die vorgelagerte Warmluft ungehindert gegen Osten abströmen konnte. Die Aufzeichnungen in Altdorf (Fig. 20) zeigen im Vergleich zu Fig. 16, dass im wesentlichen nur ein einziger kräftiger Stoss morgens um 0500 Uhr auftrat. Die Windböen blieben in den Bergstationen in der Grössenordnung von 220 km/Std und waren damit etwas schwächer als am 27. Februar, ungefähr in der Stärke, wie sie bei Beginn der Sturmperiode am 26. Februar aufgetreten waren.

In den Fig. 21 und 22 verfolgen wir die Windrichtungs- und Geschwindigkeitsänderungen beim Durchgang der beiden Fronten am 27. Februar und 1. März 1990, wie sie sich aus den Registrierungen der automatischen Stationen ergeben. Die Errichtung dieses Netzes in den Jahren 1978-1981 brachte einen grossen Fortschritt in der Analyse von einzelnen Wetterereignissen. Allerdings auch, wie unser Beispiel der Sturmanalyse zeigt, einen bedeutenden Arbeitsaufwand. Die Windrichtungen sind in Fig. 21 und 22 durch Pfeile 3 Std. vor und 3 Std. nach der Front dargestellt. Die Befiederung gibt die zugehörige mittlere Windstärke, wobei ein Befiederungsstrich einer Stärke von 10 m/s (= 36 km/Std) entspricht. Wir erkennen, dass bei den Kaltfronten im allgemeinen eine Rechtsdrehung auftritt, welche besonders auf dem Chasseral ausgeprägt ist. Diese Station dürfte ein guter Stützpunkt sein für Fallanalysen zur zeitlichen Festlegung von Frontdurchgängen im Luftdruckniveau 850 hPa (ca. 1500 m). Auch das eher dem 700 hPa Niveau zugeordnete Weissfluhjoch reagierte bei beiden Fronten kräftig. Fraglich sind Lägern und Pilatus. Es gibt überall schwarze und weisse Schafe! Der sonst meist die Spitze der Windgeschwindigkeiten anführende Säntis war am 27. Februar 1990 defekt und zeigte viel zu kleine Windgeschwindigkeiten. Er hätte eventuell bei den Böenspitzen den bisher grössten Wert des Gr. St. Bernhard (269 km/Std) noch überboten.

Fig. 23 bringt die Temperaturänderungen für die Zeit zwei Stunden vor bis drei Stunden nach dem Durchgang der Kaltfront am 27. Februar 1990 zur Darstellung. Der in Fig. 9 besprochene Temperaturfall in der freien Atmosphäre wird durch die orographischen Einflüsse im Alpengebiet wesentlich verändert. Er wird beim Frontdurchgang wirksam am Juranordfuss, in den nördlichen Alpentälern und auf den Bergstationen (auf dem Säntis zeitlich infolge der im Norden vorbeiziehenden Wellenstörung etwas verspätet). Im Rheintal floss präfrontal am Morgen Kaltluft aus den Bündner Tälern ab, daher die kleineren Abkühlungswerte. Im Mittelland fand ebenfalls eine Verkleinerung durch morgendliche Bodenkaltluft statt und im Tessin brachte der mit dem Durchgang der Front einsetzende Nordföhn in den Tälern (ausgenommen im Mendrisiotto) sogar eine leichte Erwärmung. Wir sehen aus diesen regionalen Unterschieden, wie stark das vielfältige Relief der Alpen die meteorologischen Verhältnisse lokal abwandelt.

Nicht nur die Temperatur-, auch die Luftdruckverhältnisse werden lokal durch die Gebirgsketten und -täler beeinflusst. Hinter den Kaltfronten steigt der Luftdruck, wie wir es aus den Fig. 16, 17 und 20 erkennen, besonders kräftig bei den Talstationen. Wir werden bei der Besprechung der Walliser Verhältnisse jedoch sehen, dass lokal begrenzte, orographisch bedingte Tiefdruckgebiete auftreten können, welche einen anderen Verlauf, z.B. die Bildung von Wirbeln hervorrufen und für das Verständnis des Wetterablaufs wichtig sind.

Wirbelbildung, wie die bei den früheren Stürmen erwähnten Wasserhosen auf den Seen, sind bei uns verhältnismässig selten. Sie treten bei starker Temperaturabnahme mit der Höhe auf, weil sich dann die Luft verhältnismässig leicht von oben nach unten oder, wie beim Wirbel, von unten nach oben bewegen kann. Die Luftschichtung wird instabil, es können sich Gewitter bilden. Diese Instabilität kann eintreten, wenn die bodennahe Luftschicht sehr heiss wird (sommerliche Verhältnisse) oder die höheren Schichten sehr kalt sind im Vergleich zur bodennahen Luft (winterliche Verhältnisse bei Kaltlufteinbrüchen in der Höhe).

Der Fall trat z.B. am 26. August 1971 im Jura auf, wo ein sogenannter Tornado entstand, wie wir ihn sonst nur aus den Berichten aus dem mittleren Westen der USA kennen [Lit. 7]. Der Wald wurde dabei auf grosse Strecken im Wirbelzug vernichtet. Im gleichen Gebiet des westlichen Juras gab es früher schon ähnliche Fälle, unter anderem z.B. am 23. August 1934 und vor allem am 19. August 1890, alle drei im Spätsommer. Auch bei Föhnlagen, wo vielfach zwei verschiedene Föhnäste bei Windreflexionen an Berghängen aufeinander treffen, gibt es Wirbelbildungen, z.B. in der Zentralschweiz durch den Querriegel der Rigi-Hochfluh zwischen Brunnen und Beckenried. Wir kommen bei der Detailbesprechung von Disentis auf Föhneinflüsse zurück. Am 27. Februar 1990 beim alpinen "Jahrhundertsturm" haben wir es naturgemäss mit winterlichen Verhältnissen zu tun, auch wenn die Temperaturen von 16 °C in Altdorf in Fig. 16 keinen Februar-Normalfall darstellen. Die Verhältnisse bei dem erwähnten Sturmfall, dem Orkan vom 18. Januar 1739 mögen ähnlich gewesen sein: Abkühlung in der Höhe nach verhältnismässig warmer Luft in tieferen Lagen als Ursache der starken vertikalen Temperaturabnahme mit der Höhe und demzufolge Bildung von Gewitterzellen, wie sie am 27. Februar 1990 auf der Alpennordseite an verschiedenen Orten, z.B. am Genfersee in Changins und in der Nordostschweiz beobachtet wurden, während bei den Wasserhosen vom 5. Januar 1919 der Föhn seine Hand im Spiele hatte.

Normalerweise schiebt sich beim Vorstoss von Kaltluftmassen die spezifisch schwere Kaltluft unter die vorgelagerte Warmluft, welche mit Gewitterbildungen in die Höhe entweicht. Nach dem Einbruch vermindert sich die Instabilität, die Haufenwolken mit Schauern nehmen ab und machen Aufhellungen Platz. Wenn jedoch wie am 27. Februar 1990 die Frontfläche fast alpenparallel liegt, wird in tieferen Lagen die Kaltluft durch das Gebirge im Vordringen nach Süden abgebremst, während die höherliegenden Kaltluftmassen ungehindert vorwärts drängen. Sie schieben sich dann auf die vorgelagerte Warmluft und bewirken eine starke Temperaturabnahme mit der Höhe, welche, wie bereits erwähnt, Wirbel auslösen kann.

Wir beschränken uns im folgenden nach der Besprechung des Wetterablaufs in der gesamten Sturmperiode vom 26.2. - 1.3. 1990 auf die Detailanalyse des Hauptsturmtages 27. Februar 1990 in drei speziellen Gebieten, welche die regionalen Besonderheiten veranschaulichen sollen. Zunächst begeben wir uns ins westliche Wallis, wo, wie bereits erwähnt, auf dem Gr.St. Bernhard mit 269 km/h die stärksten Böen verzeichnet wurden, mehr noch als auf dem Jungfrauoch, welches mit 222 km/h den zweiten Rang einnimmt. Dabei ist bei beiden Stationen durch die Passlage eine Düsenwirkung anzunehmen. Als zweites Gebiet mit sehr grossen Waldschäden sei die Umgebung von Disentis besprochen, wo auf dem Oberalppass durch den umgeworfenen Bahnzug neben abrasierten Waldflächen die Gewalt des Windes speziell in Erscheinung trat, und zum Schluss seien die grossen Schäden im Kanton Glarus an Hand der eingehenden schönen Darstellung durch Herrn F. Marti kurz beleuchtet [Lit. 3].

2. Detailanalysen: Westliches Wallis, Disentis und Kanton Glarus

a) Westliches Wallis

Die Fig. 9 mit den Sondierungen von Payerne hat uns gezeigt, dass am 27. November 1990 im Bereich zwischen 1500 m und 4000 m ein Anströmen aus West mit etwa 110 km/h mittlerer Geschwindigkeit erfolgte, darüber aus WNW mit Werten bis mindestens 330 km/h in der Nähe der Tropopause (9-10 km Höhe). Dies entspricht einer "Reisezeit"

von ca. 4 Stunden von Irland bis zu den Alpen, womit die TGV-Zugsgeschwindigkeit deutlich übertroffen wurde! Der den Alpen vorgelagerte Jura und der enge Talquerschnitt Martigny-St.Maurice bewirken, dass sich der bedeutende Luftmassenaustausch vor allem oberhalb von 1500 m Höhe abspielt und neue, anders temperierte Massen zuerst in der Höhe eintreffen, was wesentlichen Einfluss auf die vertikale Temperaturschichtung hat. Der bereits erwähnte Druckanstieg hinter der Kaltfront stellt sich ein, weil in diesen Fällen der Tiefdruckwirbel gegen Osten abzieht. Der Anstieg wird nördlich der Alpenkette zwischen Dents du Midi und Wildstrubel durch den Stau der Luft an dem dort etwa 3000 m hohen Gebirge begünstigt. Südlich davon, im mittleren Wallis, wirkt diese Bergkette als Abschirmwand, welche den Anstieg verzögert, so dass bedeutende Druckunterschiede entstehen können. So betrug der Druckunterschied zwischen Aigle und Sion in gleicher Meereshöhe am Nachmittag des 27. 2.1990 bis zu $6 \frac{1}{2}$ hPa (Fig. 24). Die Karte des westlichen Wallis (Fig. 25) zeigt, wie sich das Rhonetal vom Talquerschnitt bei Vernayaz zum Querschnitt zwischen Sion und Sierre sowohl in 1500 m als auch in 2500 m Höhe auf etwa die doppelte Breite erweitert. Es braucht daher zum allmählichen Druckausgleich einen sehr grossen Zufluss von St Maurice her, welcher nur in der Höhe stattfinden kann, weil das Tal bei Martigny so plötzlich nach ENE umbiegt und gegen Süden bis in etwa 1500 m Höhe durch den Bergrücken westlich der Pierre Avoi abgeriegelt ist. Das mittlere Wallis gleicht einer "Badewanne", welche durch die in Fig. 25 mit 1 bezeichnete Strömung von oben her aufgefüllt wird, während gleichzeitig mit 2 über den Gr. St. Bernhard und mit 3 über den Col Ferret der grossräumige Ausgleich zwischen Alpennord- und Alpensüdseite erfolgt. Der Zufluss über den Pas de Cheville dürfte dabei zu vernachlässigen sein, da das Deborencetal zu eng und zu stark verwinkelt ist.

Starke Luftströmungen haben die Eigenschaft, sich wenn immer möglich gradlinig fortzupflanzen, da bei Krümmungen Verwirbelungen auftreten, welche die Strömung schwächen. Wenn dabei die Temperaturabnahme mit der Höhe stark ist, bereitet eine Änderung der Höhenlage keine bedeutenden Schwierigkeiten, weil dort die Knicke im Vergleich zu den Umbiegstellen im Talverlauf klein sind. Wir dürfen uns nicht durch die vielfach stark überhöhten Querschnitte beeinflussen lassen, im wahren Verhältnis sind die meisten Hänge (glücklicherweise!) verhältnismässig flach, nicht alle Gebiete gleichen dem Mattertal. Die Fortbewegung der Luft erfolgt bei starker Strömung nicht annähernd längs einer Höhenkurve wie im Strassenverlauf, sondern ähnlich wie eine Hochspannungsleitung möglichst auf dem kürzesten gestreckten Weg mit grossen Krümmungsradien. Wird die Strömung durch topografische Hindernisse trotzdem umgebogen, können sich regionale Luftdruckminima bilden, wie wir es hinter dem Eckpfeiler der Dent de Morcles am Nachmittag des 27.2.1990 im Gebiet zwischen Martigny und Sion annehmen müssen. Wenn dabei die Strömung an einem Hang entlang streicht wie z.B. oberhalb Saxon, Riddes und zwischen Fey und Nendaz, kann der Wald zum Teil vollständig wegrasiert, zum Teil aber auch nur streifenförmig niedergelegt werden, ein Zeichen, dass neben der allgemeinen Grundströmung auch Wirbel mit vertikaler Achse auftreten. Bei einem solchen Wirbel tritt auf der einen Seite eine Verstärkung, auf der anderen eine Abschwächung des Windes auf, was zum streifenförmigen Schadenmuster führt. Die auch zeitlich stark schwankenden Windstärken werden durch die Aufzeichnungen der automatischen Wetterstation Fey (Fig. 26) belegt. Das erste Einfließen von Kaltluft aus Westen erfolgte dort um 1600 h mit Windzunahme und Drehung von WSW auf SW, nach vorübergehender Flaute um 1700 h kam dann der definitive Druckanstieg als Zeichen des nun voll einsetzenden Zustromes in der Höhe aus WNW, wie er durch die Aufzeichnungen vom Gr. St. Bernhard (Fig. 27) belegt ist. Das Auffüllen der

Talmulde des mittleren Wallis erfolgte nun im Gebiet von Fey aus SW bis SSW, wobei die Windstärke laufend zunahm bis zum maximalen Windstoss von 195 km/Std um 1930 h. Dabei stieg die durchschnittliche Windstärke nicht so stark an, sie blieb bei 35-40 km/Std, so dass der sogenannte Böigkeitsfaktor, das heisst das Verhältnis Windspitze / mittlere Windstärke, statt dem sonst meist zwischen 2 und 2,5 schwankenden Wert auf 5,75 kletterte.

Dass nicht nur horizontale, sondern auch sehr heftige vertikale Strömungen auftraten, bezeugen die zwei kräftigen Regenschauer in Sion zur Zeit der Böe in Fey (Fig. 28). Auf Wirbelbewegungen deuten auch die in einzelnen Fällen nicht mitsamt dem Wurzelstock umgelegten oder abgeknickten, sondern aufgesplitterten Baumstrünke, welche sich zum Teil wie riesige Zahnstocher-Ueberreste zeigen, oder richtige Verdrehungen erfuhren, wie dies im ebenfalls durch Sturmschäden heimgesuchten Gebiet auf dem Zürichberg durch Dr. Burga vom Geographischen Institut der Universität Zürich festgestellt werden konnte. Kehren wir nochmals zurück zur Fig. 25 und verfolgen die Windbahn 1 weiter über das Gebiet Saxon-Riddes hinaus gegen Osten. Dort stellen sich zwei Bergketten quer in den Windweg, welche in ihrem nördlichen Teil Höhen von 2000-2500 m, im südlichen jedoch über 2500 m bis 3300 m erreichen: Nördliche Eckpunkte Dent de Nendaz und Thyon. Die Strömung wird dabei nicht nur wie am Nordrand schräg gegen unten abgelenkt, sondern auch gehoben, und mit erhöhter Geschwindigkeit über die Pässeinschnitte geführt, z.B. über die Einsattelungen beim Piz Rouge oberhalb von Mâche im Val d'Héremence. Dahinter erfolgte nach den Beobachtungen von alt Kreisförster Paul Nendaz zwischen 1700 und 1800 Uhr, als in der Höhe nach den Aufzeichnungen des Gr. St. Bernhard (Fig. 27) der Sturm voll eingesetzt hatte, eine lokale, aber an beiden Talhängen an einzelnen Orten sehr bedeutende Zerstörung der Wälder, am westlichen Hang ohne erkennbare Bevorzugung einer Fallrichtung der Bäume, am Osthang jedoch vorwiegend talabwärts. Am Westhang dürfte sich ein kräftiger Wirbelrüssel kurz bis zum Erdboden abgesenkt haben, während im Osten die ins Tal hinabgreifende Höhenströmung durch den Bergvorsprung nördlich des Sex Pey behindert und nach Norden umgelenkt wurde. Die genaue Erfassung der Vorgänge ist auch in diesem Fall nicht einfach, weil es sich um ein so seltenes Ereignis handelt, das vielleicht erst nach vielen Jahrzehnten wieder einmal auftreten wird, wenn die Erinnerung in unserer schnelllebigen und von so vielen Eindrücken geprägten Zeit längst verblasst ist.

Im Val d'Hérens, wo in 1825 m Höhe oberhalb von Evolène am Osthang ebenfalls eine automatische Wetterstation in Betrieb ist, finden wir in Fig. 29 keinen plötzlichen Wind-einsatz, sondern im Gegenteil die höchsten Windspitzen in der ständig gegen SSE abfliessenden Warmluft vor der um 1600 Uhr einsetzenden Abkühlung. Die in der Höhe ins weite Tal einfliessende Luft des Strömungsastes 1 diente offenbar zum grossen Teil der Auffüllung der bereits erwähnten grossen "Badewanne" des mittleren Wallis, weniger dem grossräumigen Ausgleich über die südlichen Pässe hinweg, da diese allgemein grosse Höhen über 3000 m aufweisen.

Die gleiche Bemerkung gilt auch für den "Nebenast" von 1 in das Val de Bagnes in Fig. 25. Die Enge im oberen Teil zwischen Grand Combin und Ruinette sowie der abgewinkelte und immerhin 2800 m hohe Pass des "Fenêtre de Durand" behindern einen bedeutenden Ausgleich.

Die Hauptausgleichsströmung Nord-Süd liegt offenbar hauptsächlich im Strom 2 durch

das Val d'Entremont, der natürlichsten Fortsetzung des Rhoneabschnittes Genfersee-Martigny mit der "Ueberlaufstelle" am Gr. St. Bernhard, welche beim Hospiz kleinräumig abgewinkelt ist, so dass die dort gemessenen Windrichtungen gedreht sind. Nordwestliche Anströmung wird als Ostwind registriert, südwestliche Anströmung kommt dagegen als Westwind über den Pass. Wir finden diese Kanalisierung auf den meisten Passstationen sehr ausgeprägt, z.B. auch auf dem Jungfrauoch. Die Registrierung von Fig. 27 zeigt auf dem Gr. St. Bernhard beim Luftdruckverlauf von 1700 Uhr an, als die Front die Station erreicht hatte, starke Schwankungen, weil sich die Windstösse bis in das Innere der Gebäude auswirkten. Die Feuchtigkeitsregistrierung war zuerst mangelhaft und setzte dann ganz aus. Nicht nur die Wälder, auch unsere Messinstrumente sind oft den seltenen Spitzenbelastungen nicht gewachsen, eine weitere Erschwerung bei der Analyse!

Der Strang 3 der einflussenden Kaltluft über das Val Ferret in Fig. 25 dürfte für den Luftmassentransport gegenüber dem Val d'Entremont ebenfalls weniger Bedeutung aufweisen, weil die Furche verhältnismässig eng ist und zudem bei La Fouly noch eine Knickung aufweist. Beide Faktoren erhöhen die Windeinflüsse an exponierten Stellen und bringen dort strichweise bedeutende Schäden, wie Flugaufnahmen der Tallehne (Kantonale Waldbehörden in Sion, Herr Bachmann), bei Bô und an der Knickstelle bei La Fouly zeigen. In jenem Gebiet bringt natürlich auch die massive und hohe, quer zur Windrichtung stehende "Schaufel" der Mont Blanc-Gruppe bedeutende Beeinflussungen der allgemeinen Windströmung, doch lassen sich diese mangels hochgelegener, im internationalen Austausch verfügbarer Bergstationen im französischen Gebiet nicht leicht erforschen.

Wenn wir zum Schluss noch einen Blick auf das ebenfalls stark in Mitleidenschaft gezo- gene Gebiet des Mattertales werfen, sehen wir aus Fig. 25, dass nach den aus telefo- nisch von Herrn Förster Leo Jörger in Randa erhaltenen Angaben, dort nochmals andersartige Schadenmuster auftraten: hangabwärts umgelegte Bäume am Osthang des Tales, hangaufwärts liegende Stämme am Westhang; aber Schäden die nach Jörger nicht am 27. Februar, sondern erst verspätet am 28. Februar, vermutlich nach Drehung des Höhenwindes von WNW gegen N erfolgten. Diese Erscheinung ist wohl auf die im Alpengebiet einzigartige Stellung des Mattertales zurückzuführen, welches rundum von einem Kranz von Viertausendern umgeben ist, so dass der Warmluftmasse der einzige Ausweg gegen Norden blieb. Der Wind wehte daher in Zermatt nachmittags am 27. Februar 1990 nicht wie in Evolène aus NW sondern aus SSW, wobei der Maximalwert mit einer Böe von 119 km/Std. gegenüber dem Wert von 129 km/Std in Evolène noch etwas tiefer ausfiel. Das Tal wurde somit von einer Höhenströmung mit ganz anderer Richtung überweht (Fig. 25). Die geschlossene Kette mit Höhen durchgehend über 3500 m südlich des Balfrins bis zum Theodulpass, vor allem im Bereich Nadelhorn-Alphubel muss offenbar nicht wie bisher besprochen nur kleinräumige Wirbel mit vertikaler Achse verursacht haben, sondern auch eine grossräumigere Walze mit horizontaler Achse längs des Tales, indem ein Teil der aus WNW heranbrausenden Luft nicht nach oben über die Kämme, sondern nach unten ins Tal gedrückt wurde. Eine nähere Abklärung im Gebiet des grossen Zermatter Bergkessels und seiner Umrandung müsste aber wohl im grösseren Rahmen und mit Leuten erfolgen, welche die dortige Welt nicht nur bei eitel Sonnenschein, sondern auch aus Erfahrungen auf den windumrausten Graten und Gipfeln kennen. Da auf der "Testa Grigia" seit mehr als 30 Jahren eingehende Wetterbe- obachtungen durch den italienischen Dienst auf 3480 m Höhe vorhanden sind und auch

im Rahmen der Tätigkeit der EOS Elektrizitätsgesellschaft aus dem Gebiet Messungen vorliegen, wäre eine nähere Bearbeitung des "Sonderfalls" Zermatt im Wettergeschehen mit Hilfe des heute anfallenden Materials sicher eine interessante Aufgabe.

b) Die Windschäden im Gebiet von Disentis

Wir machen einen Sprung vom Wallis in die östlichen Landesteile mit den meteorologischen Beobachtungen von 1400 h und 1700h am 27. Februar 1990 in Fig. 30, wo das Messnetz der automatischen Stationen noch durch einige Stationen mit manueller Bedienung beim Beobachtungstermin 1400 h (1330 Uhr) ergänzt wird. Zunächst gehen wir auf die grossen Schäden ein, welche im Raum um Disentis auftraten. Wir haben bereits auf die Wucht des Sturmes hingewiesen, welche durch den umgeworfenen Zug der Oberalpbahn demonstriert wurde. Die grössten Windstärken traten auf der Bergstation Gütsch jedoch erst in der Nacht zum 28. kurz vor 2200 h auf, wobei eine Spitze von 214 km/Std. erreicht wurde, als der Bahnbetrieb schon eingestellt war (Fig. 17). Wie im Wallis, aber zeitlich etwas später, erstreckte sich der Sturm auf eine längere Zeitspanne. Wohl hatte ein erster Kaltluftschub die Nordostschweiz bereits am frühen Nachmittag erreicht (Fig. 15), jedoch noch ohne den starken Höhenwind, der erst von 17 h an die Böen auf dem Gütsch allmählich in die Höhe trieb. Wir betrachten nun in Fig. 31 und 32 die meteorologischen Verhältnisse auf den beiden automatischen meteorologischen Stationen Disentis und Chur.

In Disentis befindet sich die Station beim Kloster auf der linken (nördlichen) Talseite. Sie wies keine ungewöhnlichen Spitzenböen auf, maximal 70 km/Std um 2200 Uhr, also zu gleicher Zeit wie auf dem Gütsch, jedoch nicht wie dort aus Richtung NNW, sondern aus Ost! Eine nur wenig schwächere Spitze war bereits um 1400 Uhr erreicht worden, als es den Zug auf dem Oberalp aus den Schienen hob, damals aber aus Richtung Süd! Der Wald in der Umgebung des Klosters blieb ungeschoren, während er an der südlichen Talflanke zwischen Sedrun und Disentis zum Teil fast völlig wegrasiert wurde (Fig. 31). Wir erinnern uns an Fig. 25 auf welcher wir auch die Waldschäden im Walliser Hauptteil ausschliesslich auf den Nordhängen, das heisst in der südlichen Talhälfte finden, weil der Höhenwind beim Kaltlufteinbruch einen nördliche Komponente aufwies und damit die Südhänge im Windschatten lagen.

Betrachten wir nun den Windverlauf in Chur (Fig. 32), wo sich nochmals ein verändertes Bild zeigt. Dort waren die Spitzen - ebenfalls am späteren Abend- um 21 Uhr mit 102 km/Std etwas grösser, erreichten aber nur eine Stärke wie im Walliser Haupttal (Visp 109 km/Std aus WNW). Chur wies aber keine westliche Richtung auf, sondern genau seit dem Einsatz des starken Windes um 1400 Uhr NE-Wind. Die beiden Alpenlängstäler hatten somit um 2100 Uhr annähernd entgegengesetzte Strömungen! Interessant ist auch der Vergleich des Temperaturverlaufes an den Stationen Disentis, Chur und dem Gütsch, aus dem wir ersehen, dass wir in der Nordostschweiz bei der Lagebeurteilung noch einen weiteren Faktor berücksichtigen müssen, den Föhn, welcher analog zur sommerlichen bodennahen Ueberhitzung der Luft und den winterlichen Kaltlufteinschüben eine Instabilität bewirken kann. Disentis hatte bereits in der Nacht vom 26. zum 27. Februar eine Föhnphase mit SW-Wind und Böen von maximal 60 km/Std, eine zweite Phase zwischen 1100 und 1600 Uhr am 27. Februar. Wenn wir in Fig. 32 die (zur besseren Veranschaulichung um 8 °C gegenüber den Talkurven versetzte) Temperaturkurve des Gütsch betrachten, erkennen wir, dass bei Föhn der Gütsch relativ kalt ist, die verti-

kale Temperaturabnahme zwischen den beiden Stationen 8 °C übersteigt, während sie sonst darunter liegt. Die starke Abnahme fördert die vertikale Umschichtung der Luft, das heisst die Wirbelbildung, wie wir sie bei den Stationen am Walliser Talhang bei den streifenförmigen Schadensmustern fanden. Dort vergrösserte sich die vertikale Temperaturabnahme durch das rasche Vordringen der Kaltluft in der Höhe, während in der Niederung diese sich nur langsam nach Süden vorarbeiten konnte. Hier bewirkte die Bildung einer Wellenströmung an der Kaltfront (siehe Fig. 7) nach einem vormittäglichen Vorstoss von Kaltluft bis zu den nördlichen Alpen einen nochmaligen letzten Versuch der Warmluft, das Feld zu behaupten. Im Wallis war das nicht ganz gelungen, immerhin zeigt die Windrichtung auf dem Gr. St. Bernhard in Fig. 27 zwischen 1100 und 1600 Uhr eine gelegentliche Drehung von Ost auf Südwest bis West, dass auch dort beinahe ein Zufluss von Süden her eingetreten wäre.

Der Föhn in Disentis liess zwischen 1200 und 1400 Uhr den Temperaturunterschied Disentis-Gütsch wieder auf über 8 °C ansteigen und als Folge wurden um 1400 Uhr die Züge auf dem Oberalppass zum Spielball der Winde. Um 1600 Uhr ging die Föhnphase in Disentis zu Ende, mit der seit 1400 Uhr herrschenden Kaltluftzufuhr von Chur her sanken die Temperaturen laufend bis 2000 Uhr, von da an jedoch schwächer als auf dem Gütsch in der Höhe, so dass nach Fig. 32 nochmals eine Phase mit grosser vertikaler Temperaturabnahme einsetzte, wobei südlich von Disentis nun die Nordwestströmung vom Oberalp her mit voller Wucht vorstiess. Wir sahen im Wallis, wie sich Talbiegungen verheerend auswirken können, weil sich der Sturm möglichst geradlinig seinen Weg bahnen will, er dabei den Hügelzug ob Stagias überwehte und bei Curaglia voll auf den gegenüberliegenden Talhang traf. Wie die Bergkante oberhalb des Dorfes nach dem Sturm aussah zeigt eindrücklich das Bild in der Vierteljahresschrift des Klosters Disentis Heft 2/1990, Seite 28 [Lit. 2], Fig. 31 zeigt uns im Schadenmuster, dass beim Aufprall des Windes auf die Medelser Talflanke die Strömung nicht nur nach Nordosten ins Val Plattas abgelenkt wurde sondern auch Richtung Lukmanier am rechten Talhang bis gegen Fuornis noch Schäden auftraten, natürlich auch im Vorderrheintal am rechten Talhang. Beim Blick auf die unversehrte linke Talseite würde man nicht erwarten, dass ein in ca. 1900 m Höhe auf Alp Lumpegna aufgestellter Windmesser (bei Westströmung!) am 27. Februar Windgeschwindigkeiten bis gegen 200 km/Std. anzeigte!

Dass es beim Aufeinanderprall der verschiedenen Luftmassen zu verbreiteten Aufwindfeldern und dementsprechenden Niederschlägen kam, zeigen die Aufzeichnungen von Disentis und Chur, welche in Fig. 32 zwischen 1500 und 2000 Uhr am 27. Februar 1990 Mengen von 1-2 mm pro Stunde ergaben, jedoch keine bedeutenden Spitzenwerte. Somit gesellten sich glücklicherweise nicht noch Wasserschäden zu den Windverwüstungen, wie es bei den sommerlichen Instabilitäten der Fall sein kann. Der Schrecken und die Angst bei den nach Forstingenieur Sialm von Disentis wie Maschinengewehrfeuer krachenden Bäumen im Dunkel der Nacht wird aber der betroffenen Bevölkerung sicher noch lange im Gedächtnis bleiben, trotzdem das Medels an Naturkatastrophen gewöhnt ist (Lawinen 1975 und Uberschwemmungen 1987).

c) Das Glarnerland

Im Glarnerland stehen uns, wie Fig. 30 zeigt, neben der automatischen Station Glarus (Fig. 33) die beiden konventionellen Stationen Tierfeld südlich von Linthal und Elm zur Verfügung. Letztere beobachten allerdings nur 3 mal täglich um 0730, 1330 und 1930

Uhr. Sie vermitteln daher keinen genauen zeitlichen Ablauf. Daneben sind die Meldungen aus dem "Aufmarschraum" wichtig, besonders von Altdorf (Fig. 16 und 20), sowie von den drei konventionellen Stationen Ibach bei Schwyz, Einsiedeln und Oberiberg. Wir haben bereits in der Gegenüberstellung der Fig. 16 mit der Fig. 20 bei Altdorf besprochen, wie sich verschiedene Kaltfrontdurchgänge auswirken können, wie der Fall vom 27. Februar ein besonders kompliziertes Diagramm brachte, weil damals die Kaltfront nicht schräg von Nordwesten an den Alpenraum prallte und dabei die vorgelagerte Warmluft vor sich her abschieben konnte, sondern die Warmluft in den Alpentälern eingekesselt blieb und gewissermassen über die Pässe Pragel und Klausen sich einen Weg nach Osten bahnen musste. Den Kaltfrontdurchgang finden wir in Fig. 16 um 1340 Uhr bei den Elementen Luftdruck, Temperatur und Feuchtigkeit. Der Niederschlag setzt wenig später ein und zugleich sinken die Helligkeit und die Globalstrahlung, ein Zeichen für die Bewölkungsverdichtung. Vorher wurden um die Mittagszeit Temperaturen von 16 °C erreicht und man wäre auf den ersten Blick geneigt zu glauben, dass hier wie bei Disentis der Föhn seine Hand im Spiel hatte, doch sehen wir, dass der warme Wind aus Norden wehte. Die warme Luft kam via Luzern-Brunnen von Westen her, zeigen doch in Fig. 30 alle drei Stationen Ibach, Einsiedeln und Oberiberg kräftigen Westwind.

Wir sehen daraus, welche komplizierte Verhältnisse der Durchzug einer Wellenstörung entsprechend Fig. 7 bringen kann! So erhielt das Schächental meist Zufluss von Seelisberg her mit sehr warmer Luft, zeitweise aber am Vormittag kühlere Luft von Göschenen her, wo noch Luft vom schwachen Kaltluftvorstoss am Abend und in der Nacht des 26./27. Februar lagerte.

Für die Warmluft gibt es einen zweiten Anmarschweg zum Glarnerland, statt über den Klausenpass von Arth Goldau her via Muotatal über den Pragelpass. Auf beiden Routen gab es grosse Windwürfe auf der rechten Talseite des Urnerbodens und am Pragelpass. Die Schäden im Glarnerland selbst finden wir in Fig. 31, welche aus der eingehenden Bearbeitung durch Forstadjunkt F. Marti, stammt [Lit. 3].

Im Glarnergebiet wehten am 27. Februar sowohl in Tierfehd als auch in Elm um 1330 Uhr noch südöstliche Winde, in Tierfehd sogar noch am Abend. Die vom Klausenpass hereinströmende Luft konnte daher nicht wie z.B. die Luft des Sustenpasses gegen Süden Richtung Oberalp - Graubünden abfliessen. Sie staute sich auf der rechten Talseite des Linthales und wurde nach Norden umgelenkt. Glarus, nach Norden gegen die andrängende Kaltluft offen, hatte dagegen schon den ganzen Morgen eine kräftige Nordströmung mit maximalen Böen von 168 km/Std., wobei aber wie in Altdorf noch vorwiegend Warmluft aus Westeuropa herbeigeführt wurde, allerdings mit etwas wechselnden Temperaturen, wie das Diagramm Fig. 33 zeigt. Die flüchtende Warmluft des oberen Linthales fand daher in Schwanden den Weg nach Norden versperrt und musste beim Zusammenprall den Fluchtweg ins Sernftal gegen Osten einschlagen, wobei ähnlich wie in Curaglia im Val Medel der Wald an der Bergkante fast völlig niedergemäht wurde.

Die vom Pragelpass im Klöntal gegen Osten vorrückende Luft prallte an den gegenüberliegenden Hang ob Netstal (in Fig. 34 als Feld 62 bezeichnet) und die vom Wägital ins Oberseetal einströmende Luft brachte in Feld 61 ebenfalls bedeutende Schäden, jedoch mehr streifenförmig, wie es im Wallis in der Gegend Fey-Nendaz der Fall war: Knapp unter der Schadensgrenze liegende generelle Strömung kombiniert mit Instabilitätswirbeln und damit lokaler Verstärkung bzw. Abschwächung bei Summierung der beiden

Komponenten. Dass starke vertikale Umlagerungen auftraten, zeigt sich darin, dass um 1900 Uhr in Zürich-Kloten Gewitter auftraten, eine im Winter seltene Erscheinung, wie bereits früher erwähnt verursacht durch in der Höhe voreilende Kaltluft.

3. Schlussbetrachtungen

Geschundener Wald

Tab 1. Aus dem Bericht von F. Marti, Glarus [Lit 3].

Wie in allen Alpenkantonen wurde auch im Kanton Glarus der Wald in den vergangenen Jahrhunderten stark übernutzt - um nicht zu sagen ausgebeutet. Erst mit dem Inkrafttreten der Eidg. Forstgesetzgebung begann man den Wald zu schonen. Umfangreiche Aufforstungen wurden getätigt und die Hiebsätze bewusst sehr tief gehalten, was zusammen mit der mangelnden Pflege im Laufe des 20. Jahrhunderts zur Folge hatte, dass vielerorts das Bestandesgefüge der Wälder nicht erstarken konnte. Die zahlreichen ungünstigen Standortsfaktoren eines tief eingeschnittenen, engen Gebirgstales trugen noch dazu bei, dass die Gesamtnutzung aus einem konstanten erstaunlich hohen Anteil von Zwangsnutzungen bestand. In der ersten Hälfte des Jahrhunderts bewegte sich dieser um 45 %, in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts liegt er bei etwa 55 %.

Tabelle 1

Die grössten Schadenereignisse des Jahrhunderts waren:

Jahr	Datum	Schadenereignis	Schadenausmass m ³	Schadenausmass % des Hiebsatzes
1919	4./5.1	Föhnsturm	40 000	290
1954	9.12.	Föhnsturm	43000	264
1962	7./8.11.	Föhnsturm	11000	60
1967	21./23./28.2	Westwind	12000	64
1981		Schneedruck	6000	22
1982/83	7./8.12./16./30.1	Föhnsturm	12000	41
1983	(2. Hälfte)	Sturm	12000	80
1984		Käferholz	16000	53
1985		Käferholz	16000	52
1986		Käferholz	10000	32
1987	3./4.4	Föhnsturm	40000	118
1990	27./28.2.	Orkanartiger Westwind	ca..250000	ca. 750

Mit Ausnahme der Käferschäden handelt es sich bei dieser Zusammenstellung nur um Einzelergebnisse. Die gesamte jährliche Zwangsnutzung war jeweils noch um einiges höher. Auffällig ist, dass die Zeiten zwischen den Schadenereignissen je länger je kürzer werden.

Der "Jahrhundertsturm", der nach der Tabelle 1 von F. Marti mindestens im Glarnerland

Der "Jahrhundertsturm", der nach der Tabelle 1 von F. Marti mindestens im Glarnerland die bisher grössten Waldschäden im Alpengebiet verursachte, zeigt eindrücklich, wie eine auf die Alpenkette auftreffende, fast alpenparallele Front durch das komplizierte Gebirgsrelief sehr stark modifiziert wird und beim Ueberqueren des Alpenkammes ein kompliziertes Strömungs- und Schadenmuster entsteht.

Jeder Sturm hat dabei seine eigene Vorgeschichte und seine spezielle Charakteristik. Da es sich glücklicherweise um seltene, aber gelegentlich in Rudeln auftretende Einzelereignisse handelt und wir erst seit etwa einem halben Jahrhundert genauere Windregistrierungen besitzen, lässt sich zur Zeit noch nicht entscheiden, ob tatsächlich, wie im BUWAL-Bericht (Fig. 12, aus Bericht 90/2) [Lit. 4] durch die "Enveloppe" angedeutet, eine laufende Zunahme der Schadensbeträge zu verzeichnen war. Die Glarner Resultate von F. Marti sprechen dagegen für ein einzelnes, ganz aussergewöhnliches Resultat ohne systematischen Trend im Ausmass der einzelnen Schäden, wohl aber bei der Häufigkeit. Eine Zunahme wäre erklärbar, z.B. durch eine anthropogen bedingte Schädigung und damit Verkleinerung des Wurzeltellers oder infolge verstärkter Sturmwinde im Zusammenhang mit dem Treibhauseffekt (Häufung der winterlichen übersteigerten Zonalzirkulation an Stelle der früher häufigeren Meridionalzirkulation). Eine zuverlässige Beurteilung lässt sich erst mit künftigen eingehenden Untersuchungen ohne vorgefasste Meinungsbildung erreichen.

Dank

Die vorliegende Bearbeitung des Sturmes vom 27. Februar 1990 wurde aus persönlichem Interesse ohne Auftrag und Entschädigung unternommen, da zur Zeit in der Meteorologischen Anstalt in Zürich (SMA) bei dem sehr grossen anfallenden Beobachtungsmaterial und der jetzt notwendigen klimatologischen Bearbeitung sich bisher keine Gelegenheit bot zur Freistellung von Arbeitskräften für solche "Katastrophenfälle". Ich war froh über den freien Zugang zum Material und die speziell ausgedruckten graphischen Unterlagen für die einzelnen Stationen durch Herrn Heinz Bantle [Lit. 14], sowie die Auszüge aus dem Meteorological Magazine von Herrn Dr. Othmar Gisler.

Die Herren S. Bader und H. Bantle haben bei der Aufarbeitung des Figurenmateri- als mit Hilfe der heutigen technischen Mittel grosse Arbeit geleistet. Frau R. Spaar gilt mein Dank für die Erstellung des Textteils und der Direktion der SMA sowie der Abteilung M für die Aufnahme der Fallstudie in die Reihe der Arbeitsberichte (trotzdem ich jetzt (1995) schon seit 18 Jahren nicht mehr zum Personaletat gehöre sondern im "Ruhestand" frei arbeiten kann).

Mein Dank gilt auch allen Stellen, von denen ich bereitwillig Auskunft und Material erhielt, angefangen bei den Beobachtern im Kloster und Herrn Forsting. A. Sialm in Disentis, den Forstadjunkten F. Marti in Glarus und E. Bachmann in Sion, den Förstern P. Nendaz in Mâche, F. Voullamoz in Saclentz, L. Jörgen in Randa und P. Meier in Teufen ZH, dem Betreuer der automatischen Beobachtungsstation Fey Herrn G. Devène, sowie Herrn Bahnhofvorstand Schmid in Andermatt und Herrn Dr. Burga vom Geographischen Institut der Universität Zürich, Herrn Meier von der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft in Birmensdorf.

Mein Wunsch ist, dass die zukünftigen - hoffentlich weiterhin seltenen - grossen Schadenfälle durch interessierte Kolleginnen/Kollegen an Hand der heutigen guten meteorologischen Aufzeichnungen vom Erdboden bis ins Satellitenniveau hinauf bearbeitet und analysiert werden können, das heisst, dass es ihnen gelingen wird, sich mit klarem Kopf im grossen Zahlenmeer über Wasser zu halten.

Literatur

- [Lit. 1] Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft in Birmensdorf: Sturmschäden Februar 1990 (Fig. 10 und 11).
- [Lit. 2] Kloster Disentis: Vierteljahrschrift, Heft 2/1990.
- [Lit. 3] Kantonsforstamt Glarus: F. Marti in Neujahrsbote für das Glarner Hinterland 1991; Die Waldschäden und deren Bewältigung.
- [Lit. 4] BUWAL Bulletin 2/90, Th. Grünenfelder: Sturmschäden im Wald (Fig. 12).
- [Lit. 5] Der Zürichsee und seine Nachbarseen, Office du Livre Buchverlag Neue Zürcher Zeitung; M. Schüepp: Meteorologische und hydrologische Aspekte und Verhältnisse. Wasserhosen auf dem Zürichsee Seite 47 (Fig. 14).
- [Lit. 6] The Meteorological Magazine 119 (1990); J.M. Hammond: The strong winds experienced during the late winter of 1989/90 over the United Kingdom: Historical perspectives p. 214 (Fig. 13).
- [Lit. 7] Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologische Zentralanstalt, Nr. 35; A. Piaget: L'évolution orageuse au nord des Alpes et la tornade du Jura vaudoise du 26. Août 1971, 102 p.
- [Lit. 8] Alexi Sialm: "Viviane, Orkanschäden im Forstkreis 11. Schweizerische Schreinerzeitung Nr. 25, Juni 1991
- [Lit. 9] M. Schüepp: Der Zürichsee und seine Nachbarseen. Kap. II, Meteorologische und hydrologische Aspekte und Verhältnisse, S. 35-60. 1979, Office du Livre S.A. Fribourg. Darin Sturmbeschreibung vom 18. Jan. 1739 aufgenommen durch Prof. Dr. Chr. Pfister in Bern aus der Chronik Anonyme Beschreibung eydtgenössischer, meistens zürcherischer Geschichten de anno 1701 ad annum 1761 incl. und Beschreibung der Toggenburger Freiheiten.
- [Lit. 10] B. Holenstein: BUWAL Schriftenreihe Umwelt Nr. 218, Sturmschäden 1990 im Schweizer Wald. 41 S. Bern 1994
- [Lit. 11] M. Schüepp, H.H. Schiesser, H. Huntrieser, H.U. Scherrer and H. Schmidtke: The Windstorm "Vivian" of 27 February 1990: About the Meteorological Development, Wind Forces and Damage Situation in the Forests of Switzerland. Theoretical and Applied, Climatology 49, 183-200 (1994).
- [Lit. 12] H.U. Scherrer: Sturmschäden in den Wäldern des oberen Toggenburg. Auswirkungen des Sturmes "Vivian" von Februar 1990. Aktuelle Teilergebnisse aus einem NFP 31-Projekt. Berichte der St.Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft, 87 Band, S. 79-86, St.Gallen 1994
- [Lit. 13] B. Holenstein: Sturmschäden 1990 im Schweizer Wald. BUWAL Schriftenreihe Umwelt, N 218, Bern 1994.
- [Lit. 14] H. Bantle, A. Piaget, J. Quiby: Die graphische Darstellung der 10-Minuten Datei der automatischen Stationen des ANETZ. Arbeitsbericht der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, Nr. 140, 61 S. 1987

Adresse des Autors:

Herr
Prof. Dr. Max Schüepp
Bürglistrasse 16
CH-8304 Wallisellen

oder

Schweizerische Meteorologische Anstalt
Sektion Stab und Dienste
Publikationen
Krähbühlstrasse 58
CH-8044 Zürich

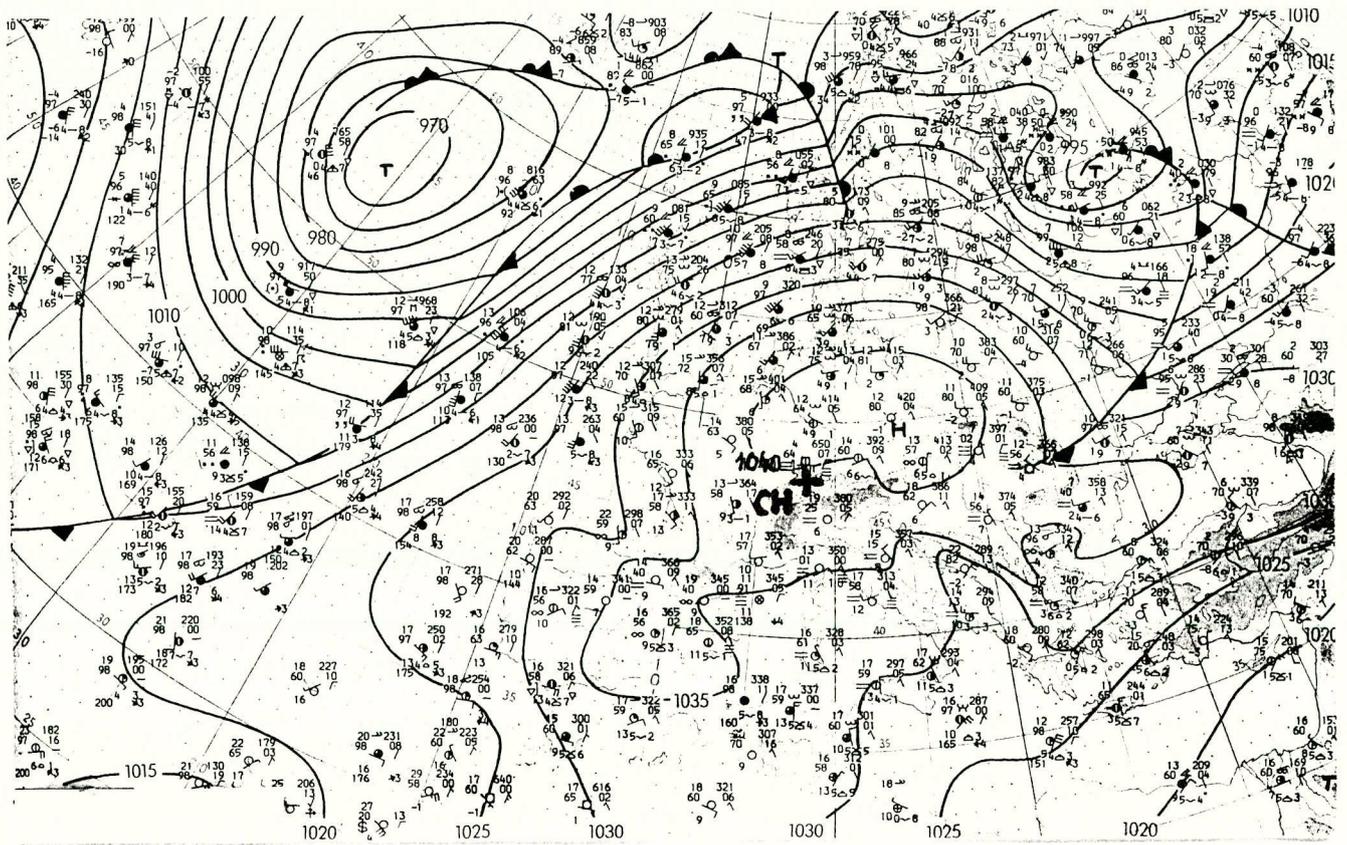


Fig. 1: 22. II. 1990 12z; Bodenwetterkarte

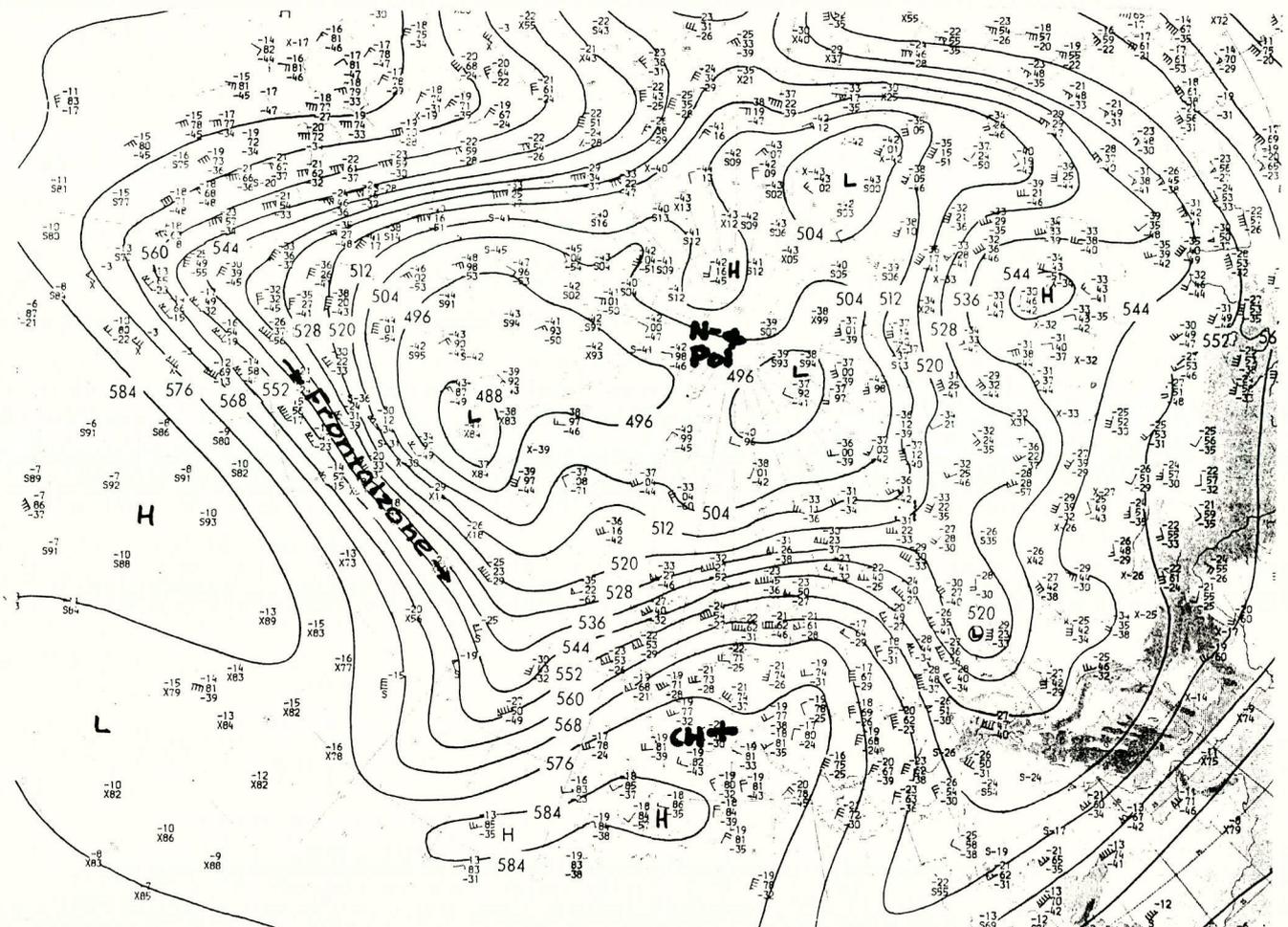


Fig. 2: 24. II. 1990 00z; 500 hPa - Fläche

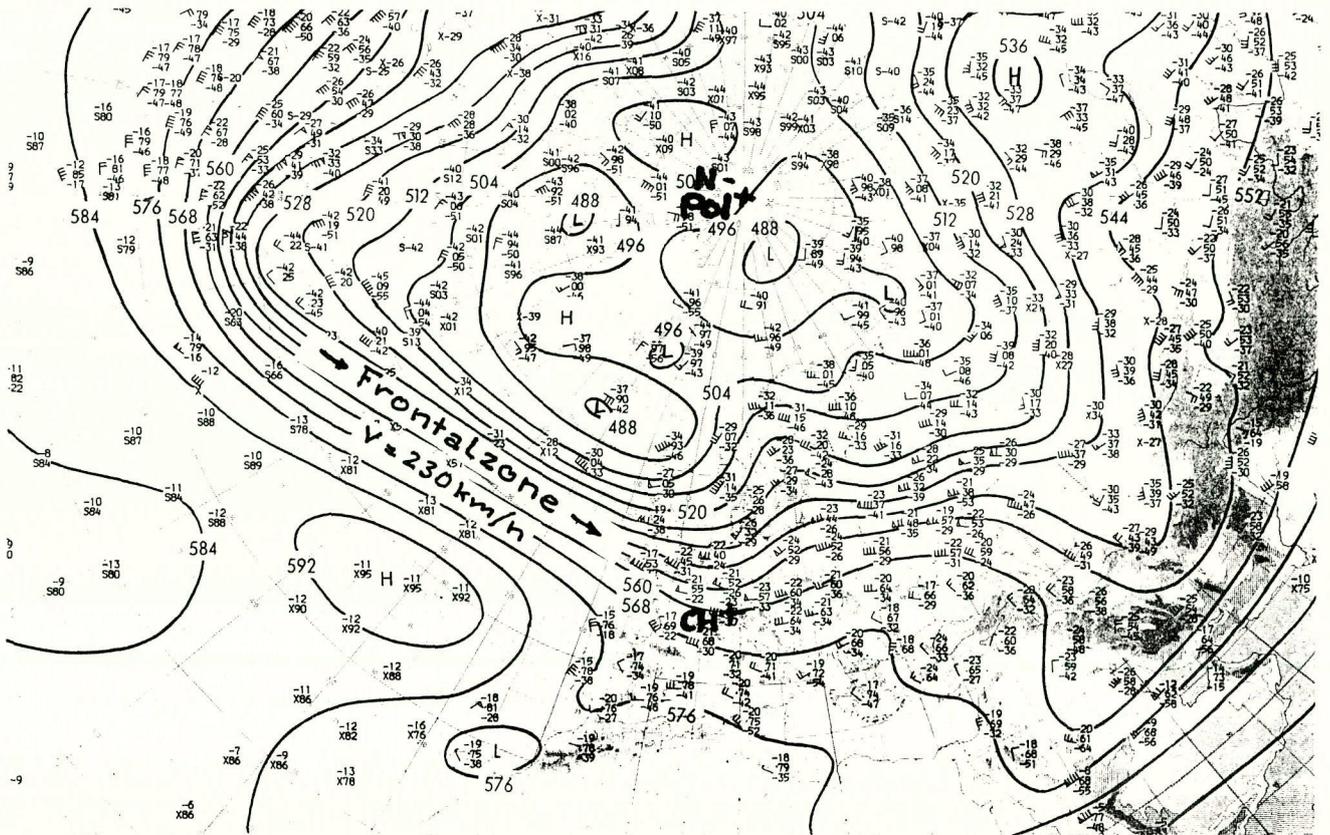


Fig. 3: 26. II. 1990 00z; 500 hPa - Fläche

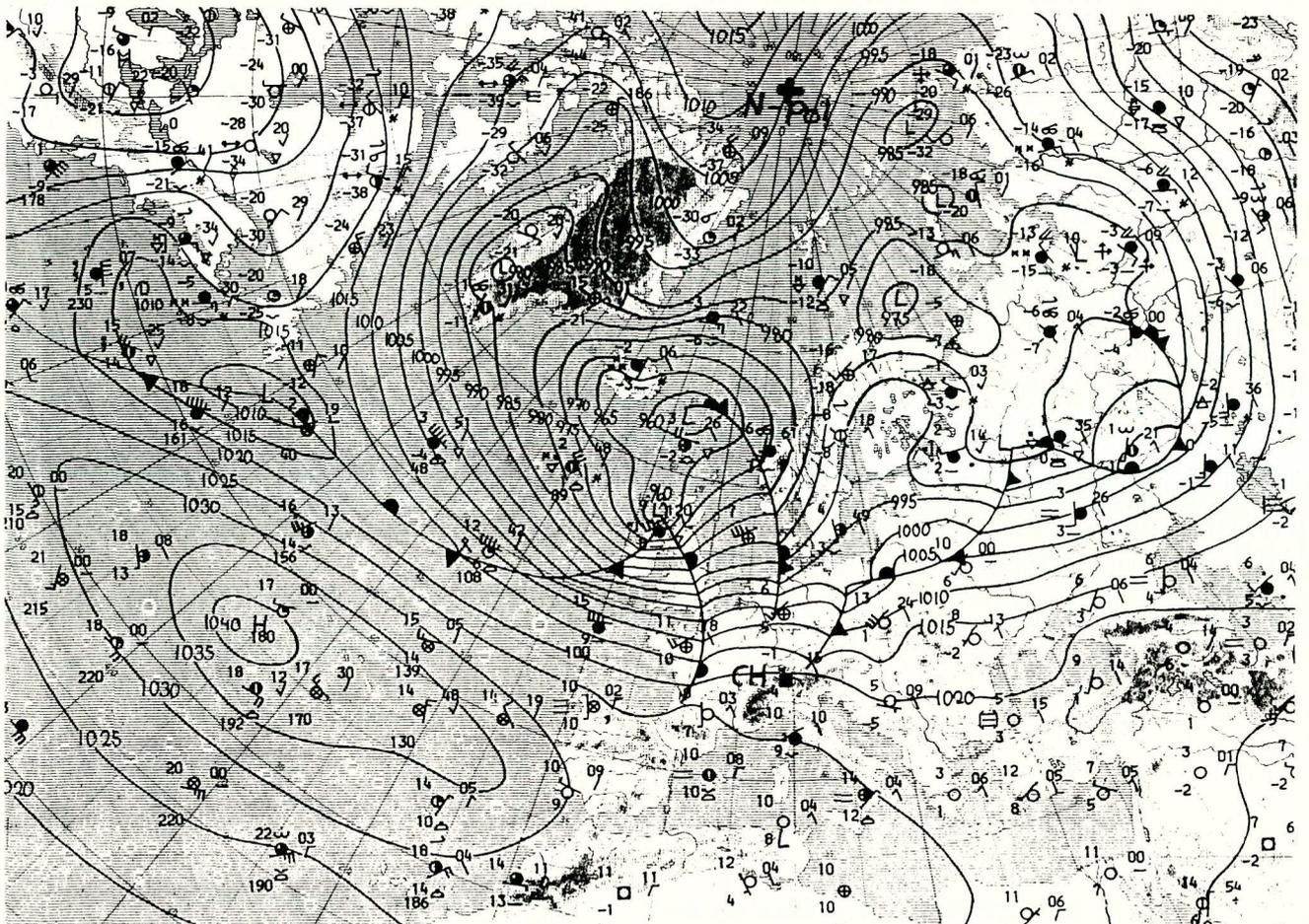


Fig. 4: 26. II. 1990 00z; Bodenwetterkarte Analyse DWD

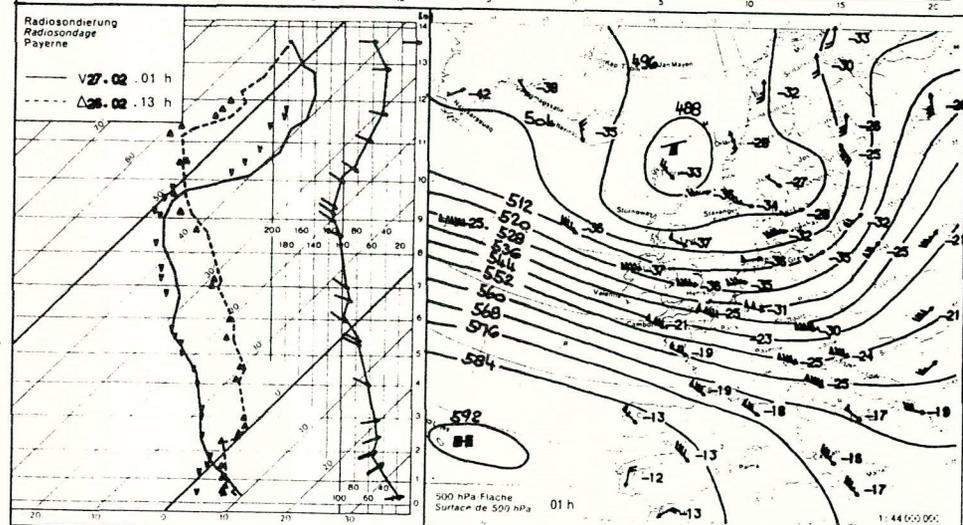
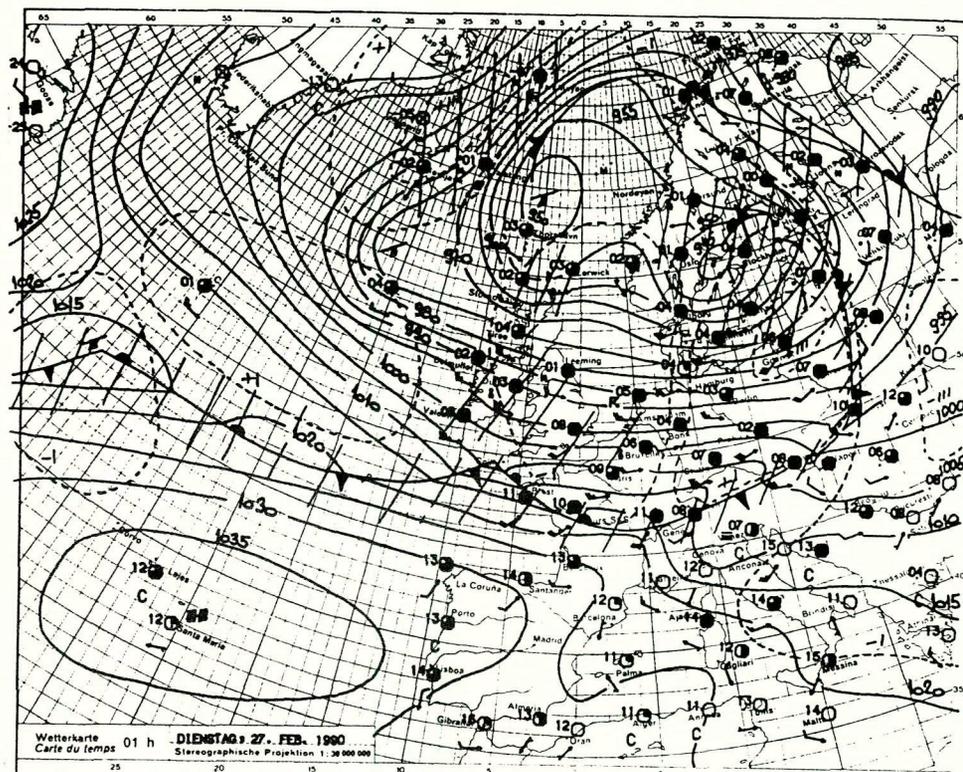
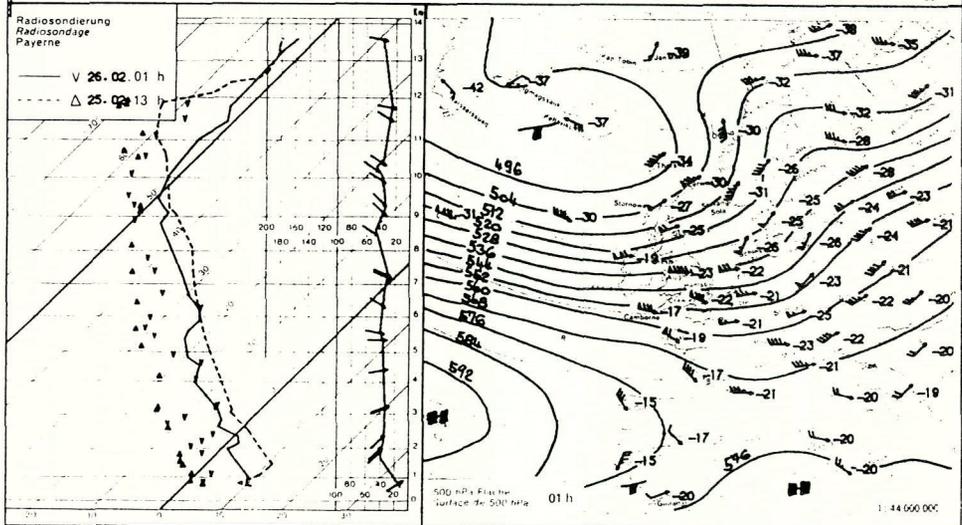
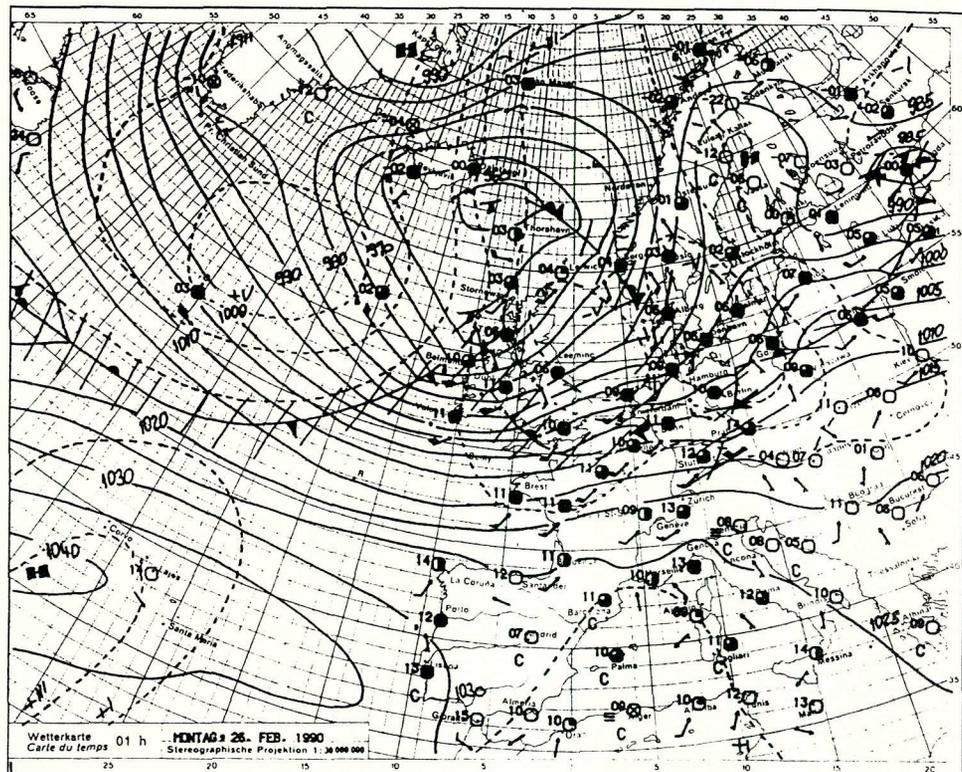


Fig. 5 26. II. 1990 00z Analyse (SMA)

Fig. 6 27. II. 1990 00z Analyse (SMA)

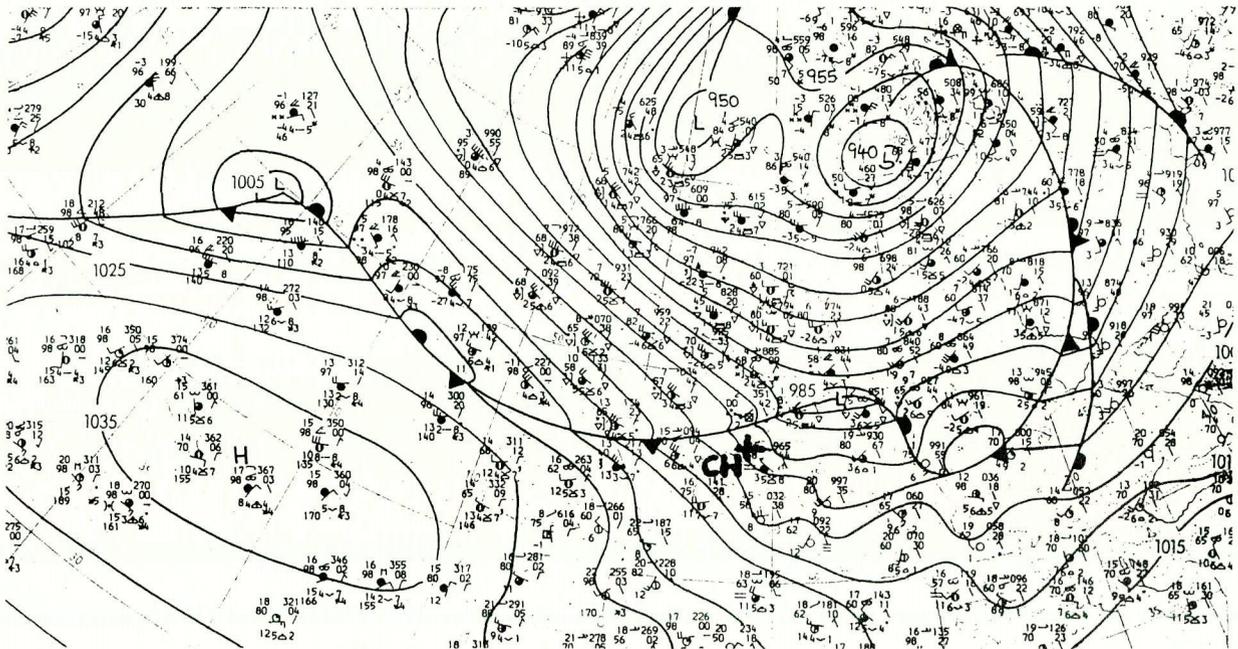
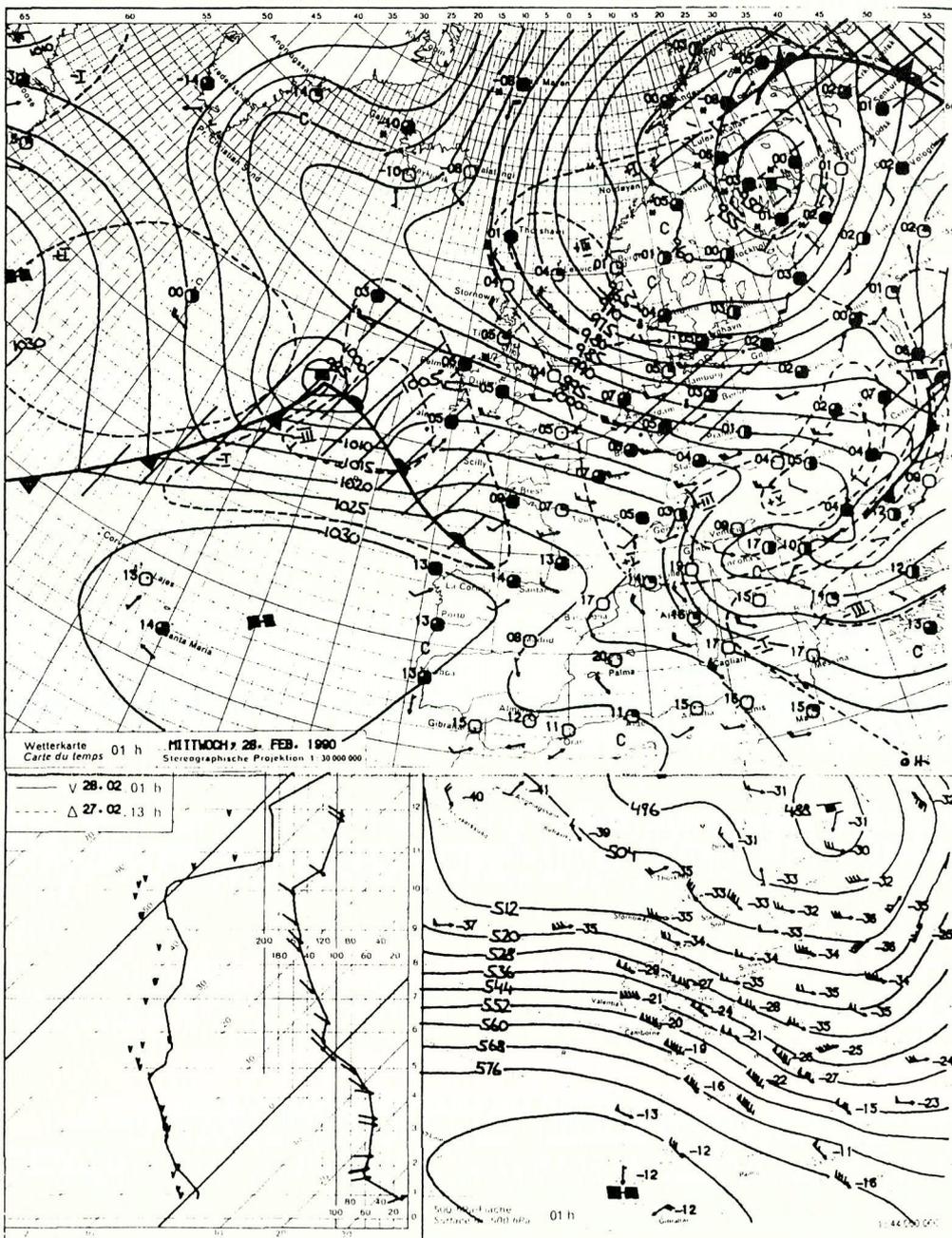


Fig. 7: 27. II. 1990 12z 500 hPa-Fläche



28.II.1990 00z

Fig. 8 Analyse SMA

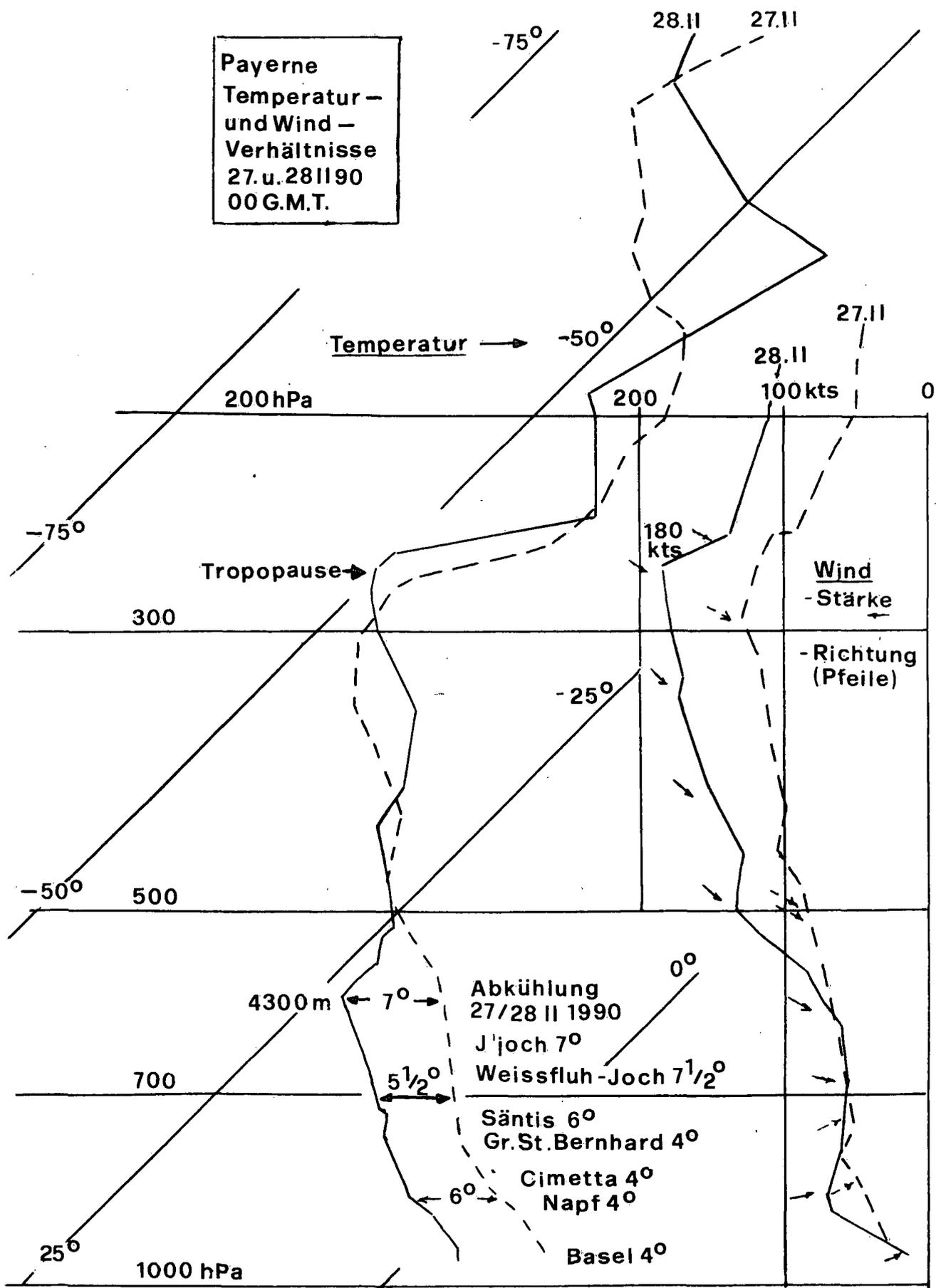


Fig. 9 Radiosondenaufstiege Payerne 27. und 28. II. 1990 00z

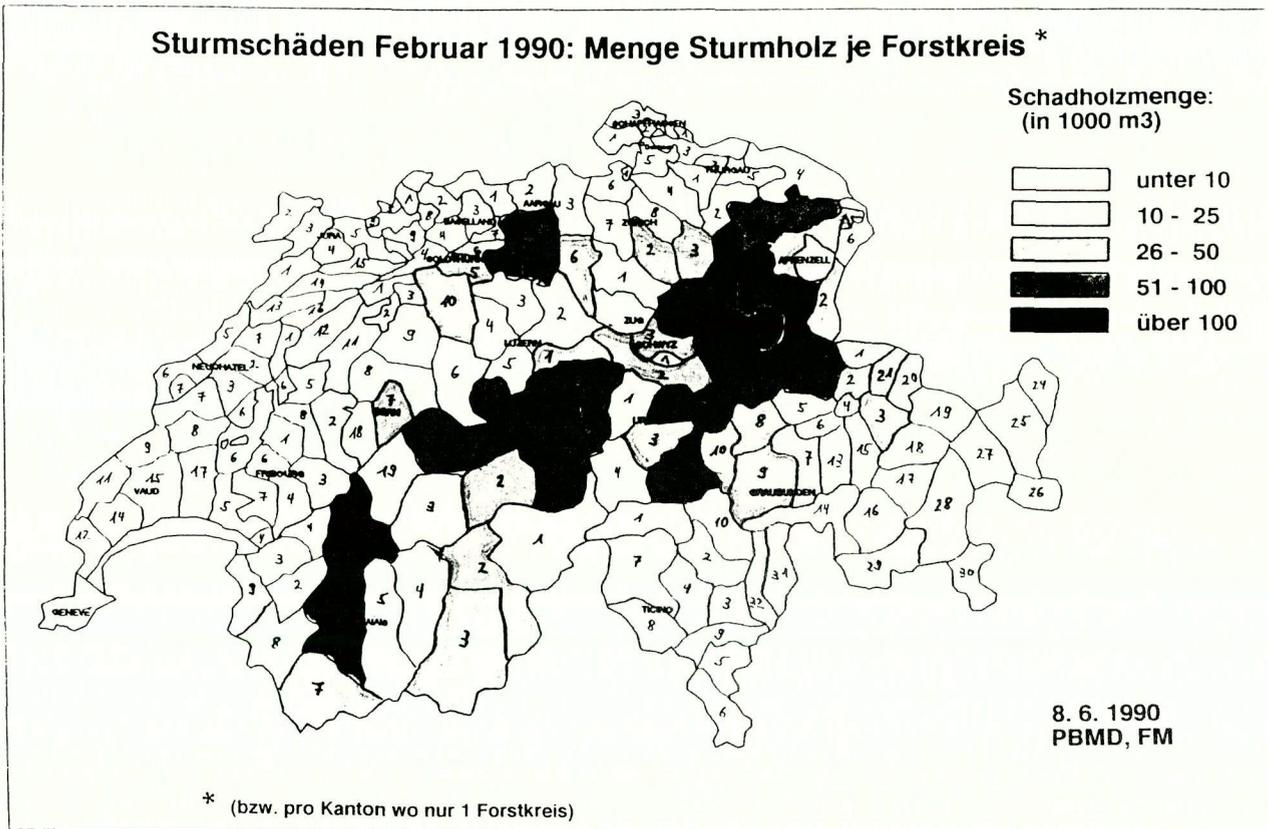


Fig. 10: Sturmholzmengen Feb. 1990 nach Auswertung WSL Birmensdorf

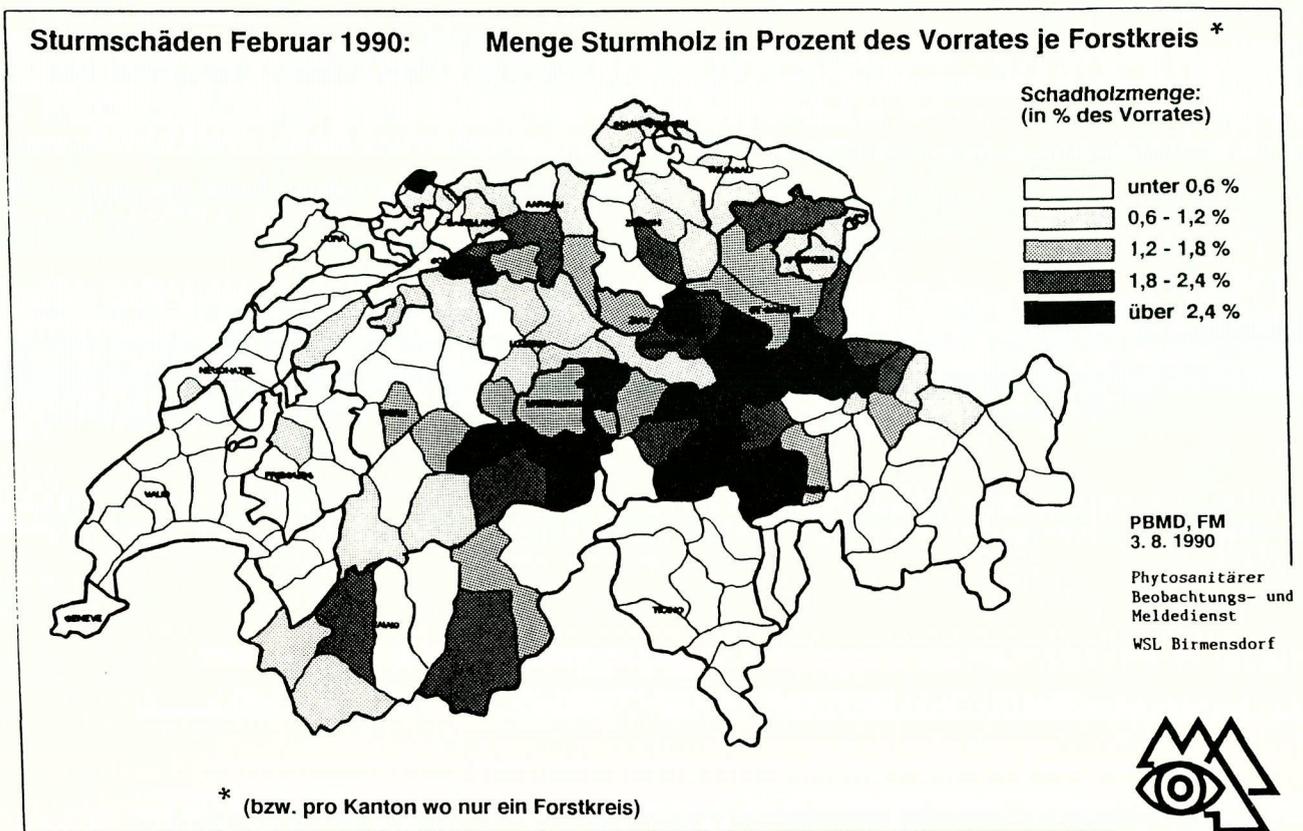


Fig. 11: Prozentuale Sturmholzmengen Feb. 1990 (WSL Birmensdorf)



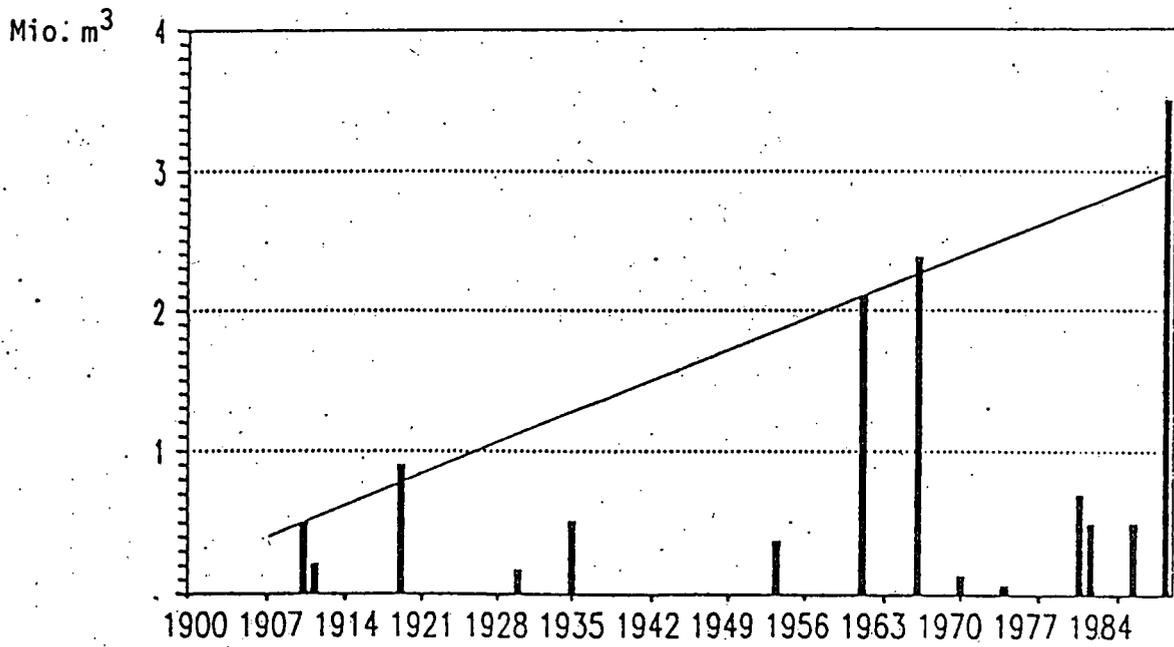


Fig. 12: Grosse Waldschäden in der Schweiz 1900 - 1990.
(aus: BUWAL Bulletin 2/90, S. 24; Lit.4)

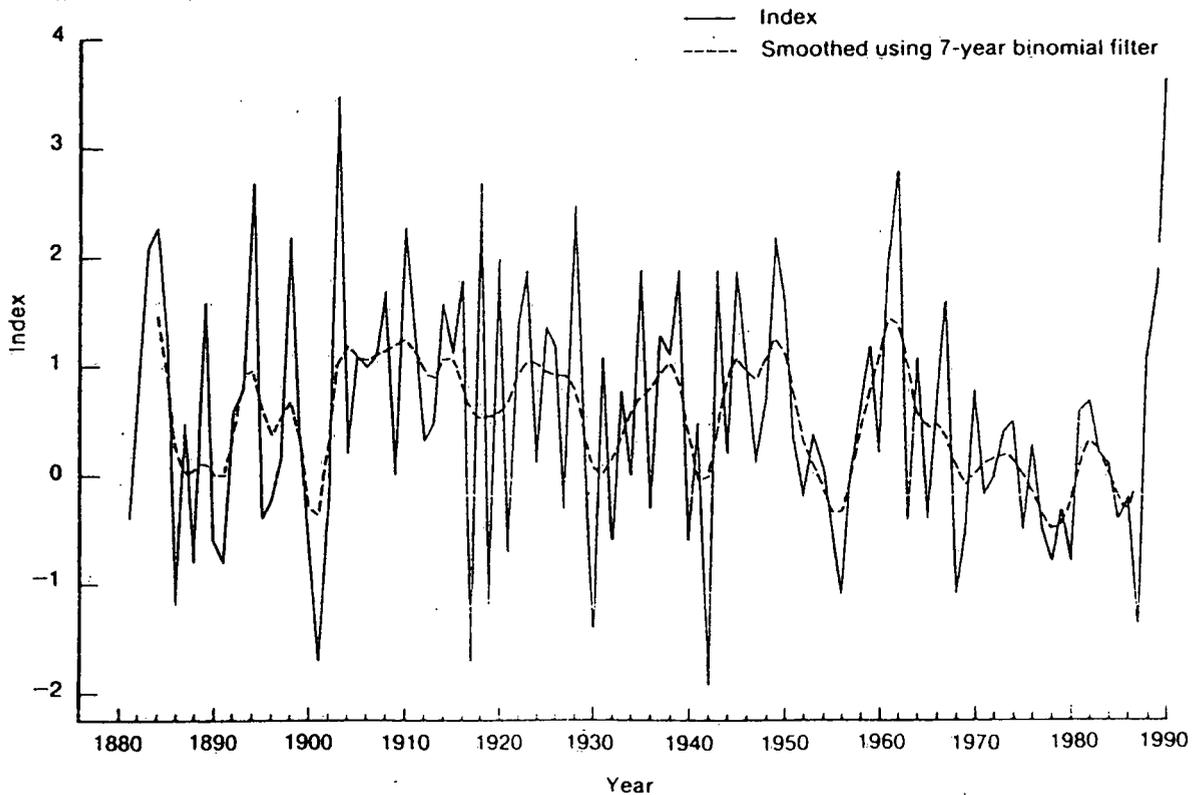
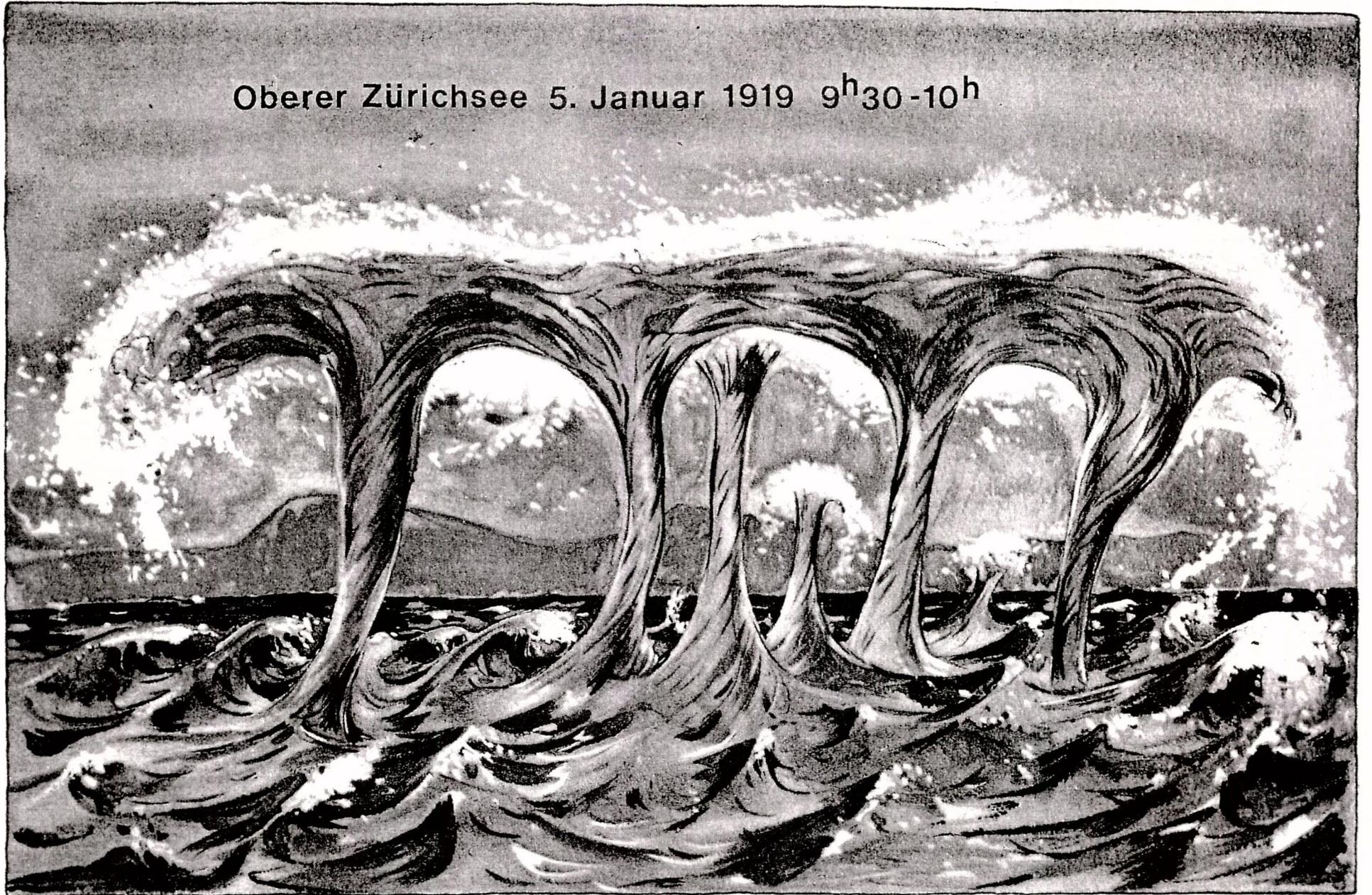


Fig. 13: Windiness index for Februarys for the period 1881-1990
(Met. Magazine 119, 1990, p. 214; Lit.6)

Oberer Zürichsee 5. Januar 1919 9^h30-10^h



Reinhold & Neumann's Bild. Naturf. Ges. in Zürich

Reprod. Holzer & Co. AG. Zürich

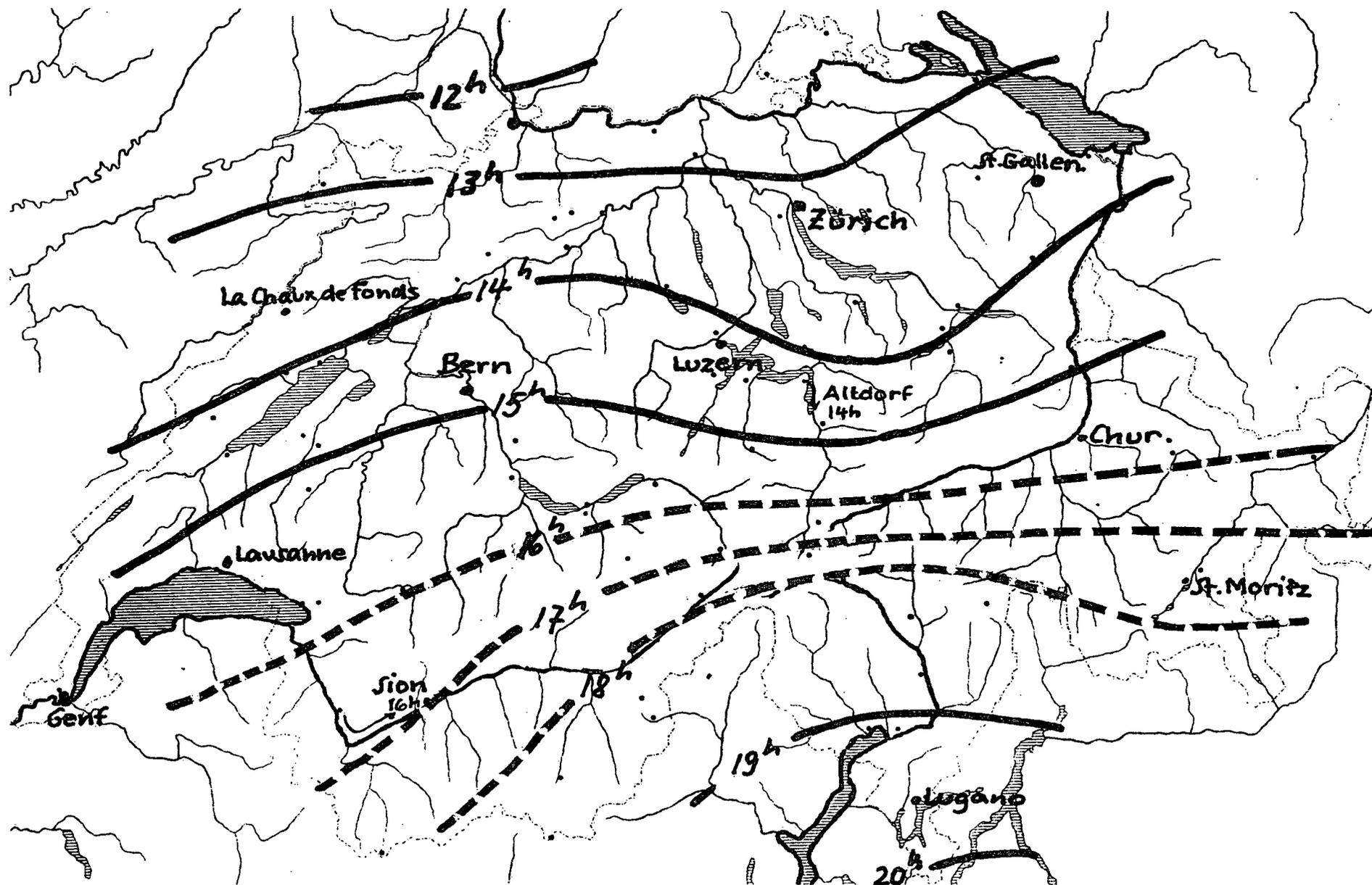


Fig. 15: Zeit des Kaltfrontdurchgangs am 27.II.1990
 (Verzögerung durch Jura und Alpen) (MEZ)
 Im gestrichelten Gebiet starke lokale Unterschiede, Vorstoss in den Quertälern

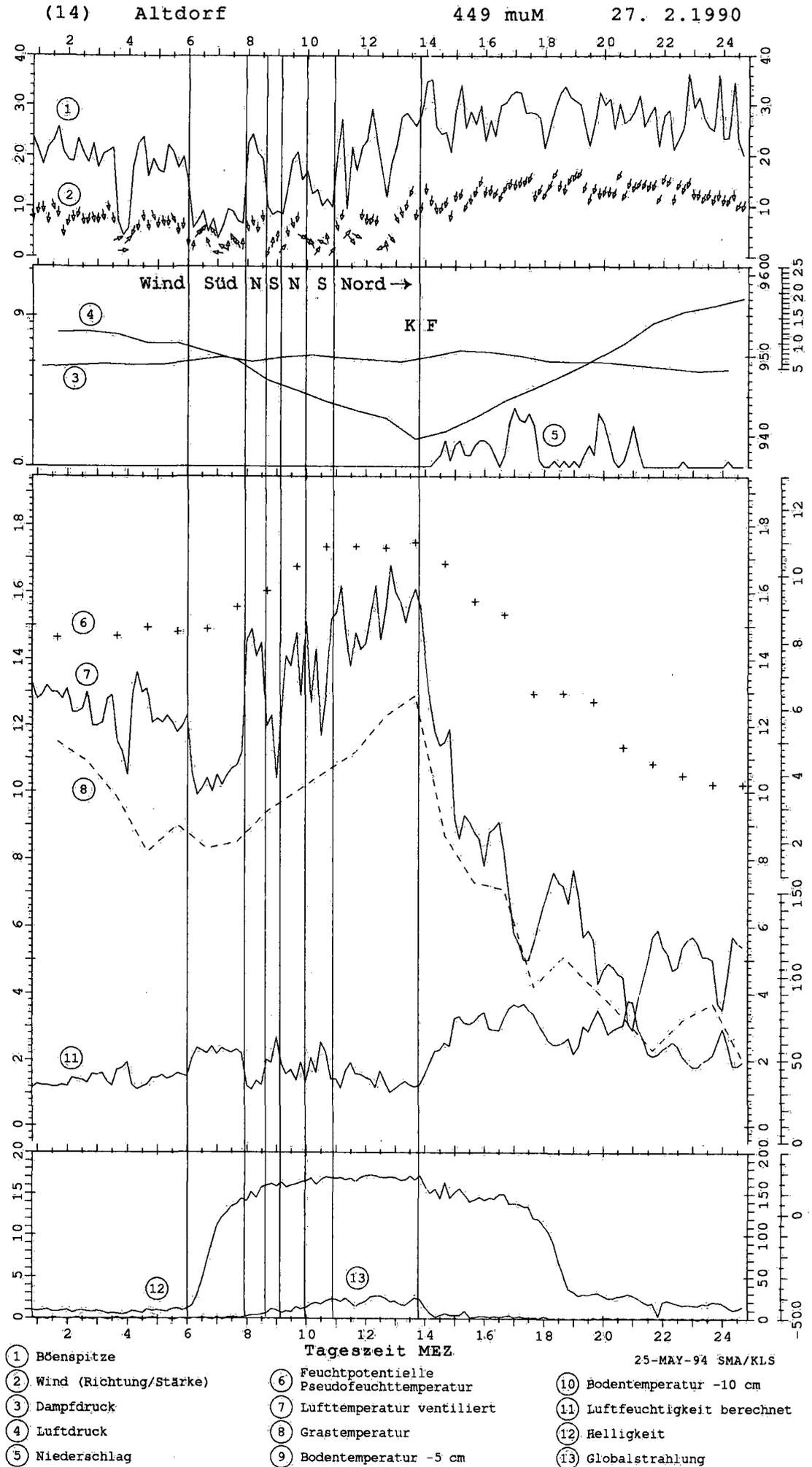


Fig. 16

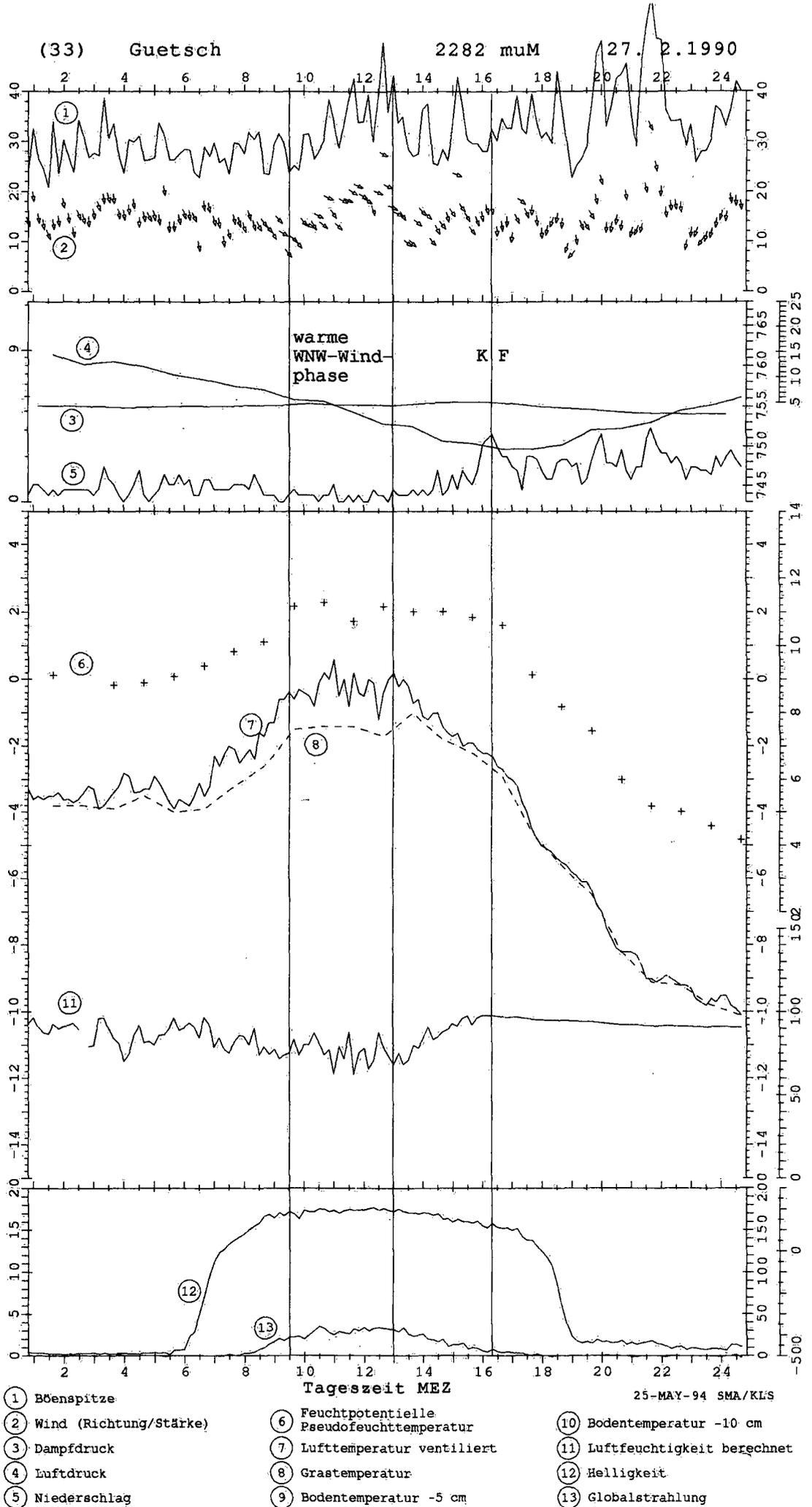


Fig. 17

WETTERBERICHT DER SCHWEIZERISCHEN METEOROLOGISCHEN ANSTALT ZÜRICH
Bulletin de l'Institut Suisse de Météorologie Zurich

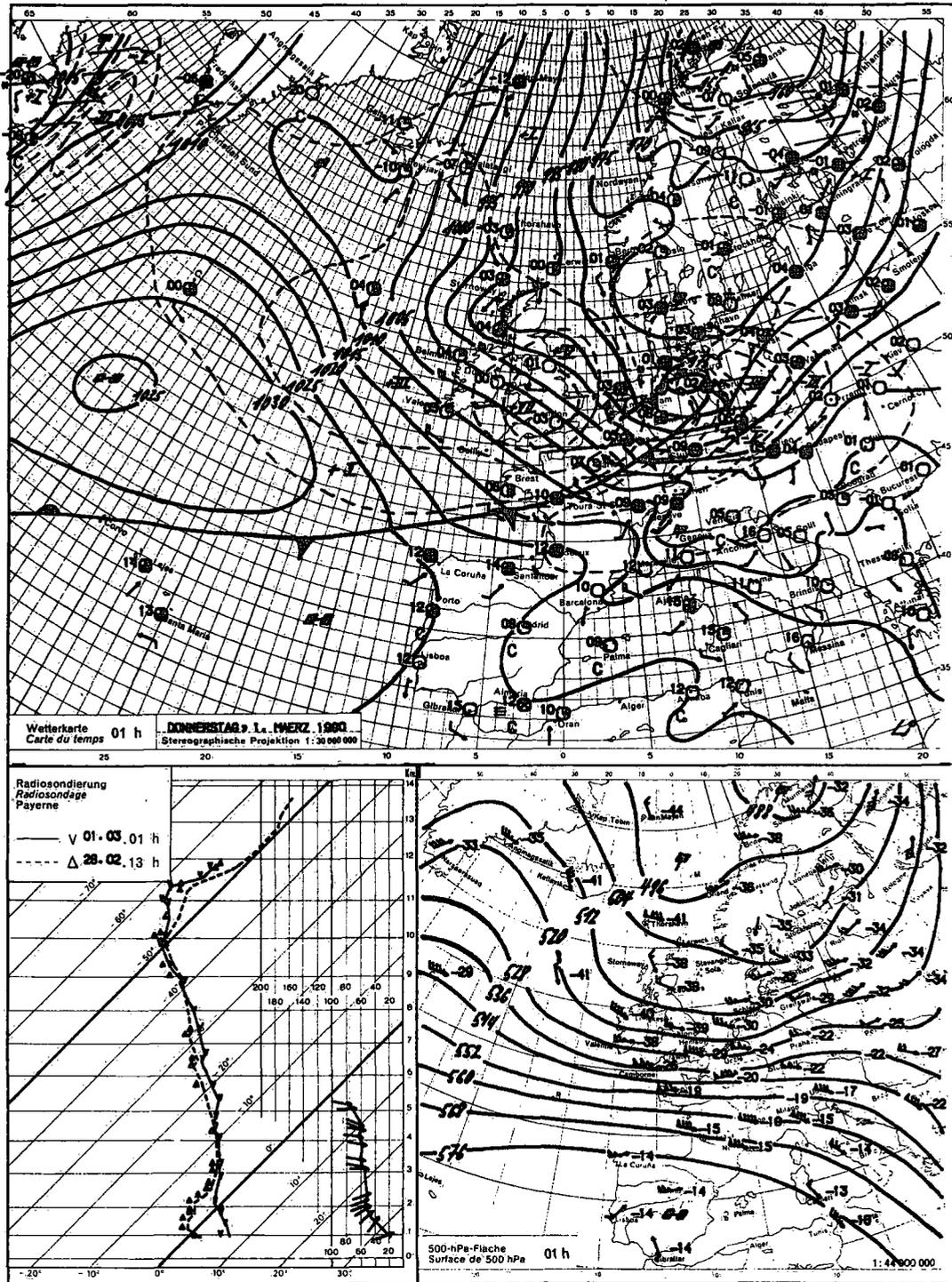


Fig. 18 1. III. 1990 00z-Analyse (SMA)

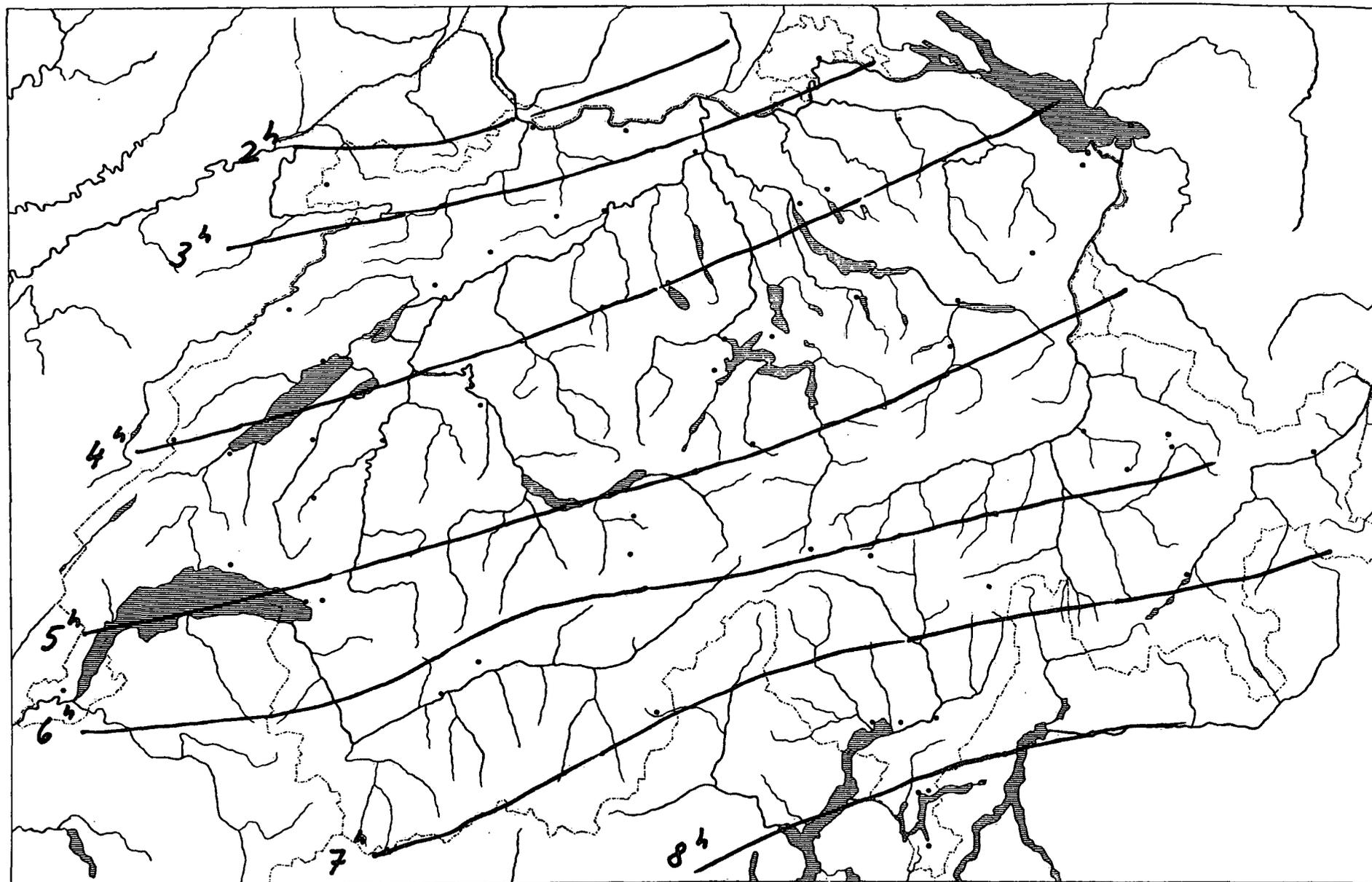
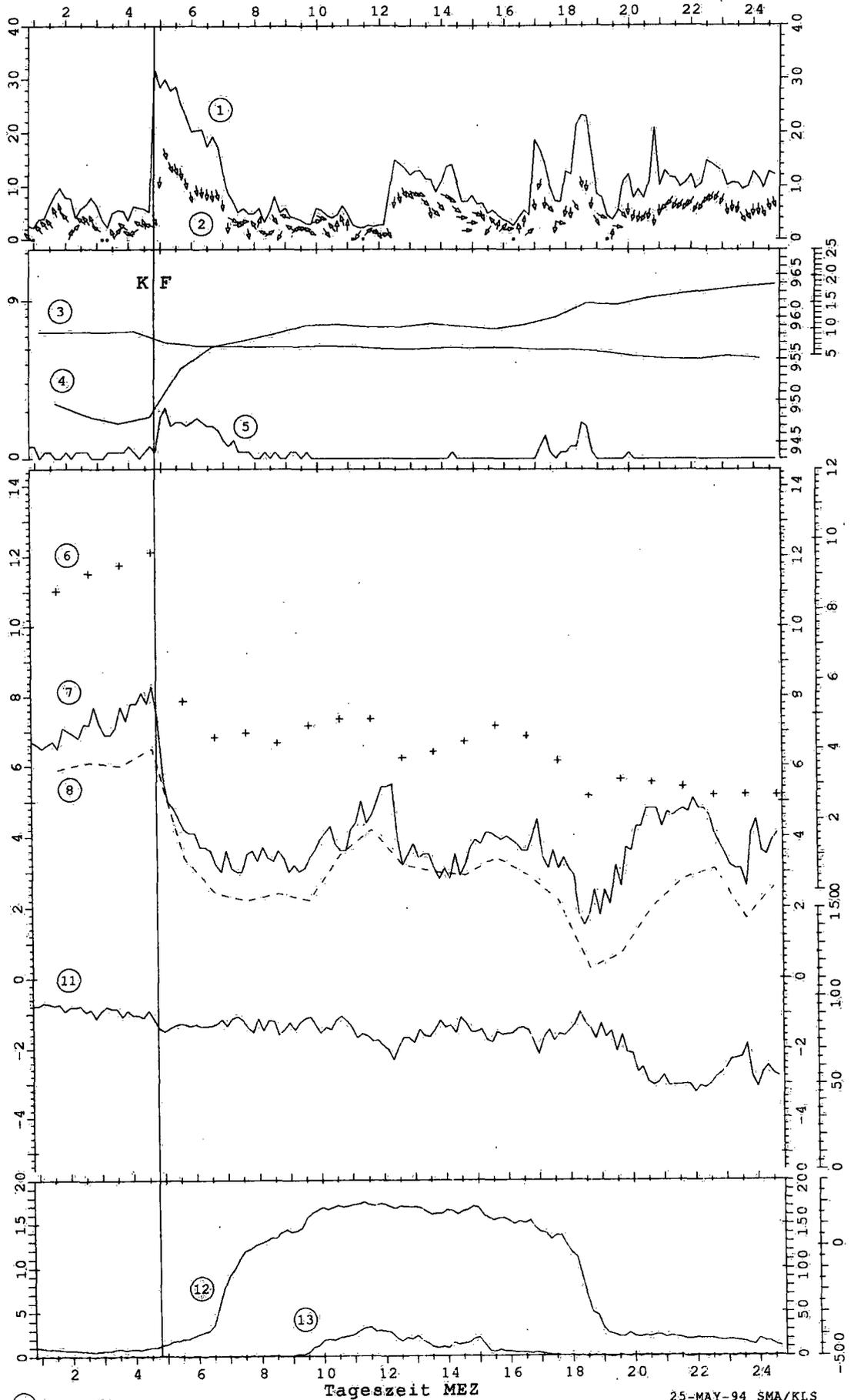


Fig. 19: Zeit des Kaltfrontdurchgangs am 1. III. 1990
(rascher Durchzug)

(14) Altdorf 449 muM 1. 3.1990



- | | | |
|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| (1) Böenspitze | (6) Feuchtpotentielle | (10) Bodentemperatur -10 cm |
| (2) Wind (Richtung/Stärke) | (7) Lufttemperatur ventiliert | (11) Luftfeuchtigkeit berechnet |
| (3) Dampfdruck | (8) Grastemperatur | (12) Helligkeit |
| (4) Luftdruck | (9) Bodentemperatur -5 cm | (13) Globalstrahlung |
| (5) Niederschlag | | |

Fig. 20

25-MAY-94 SMA/KLS

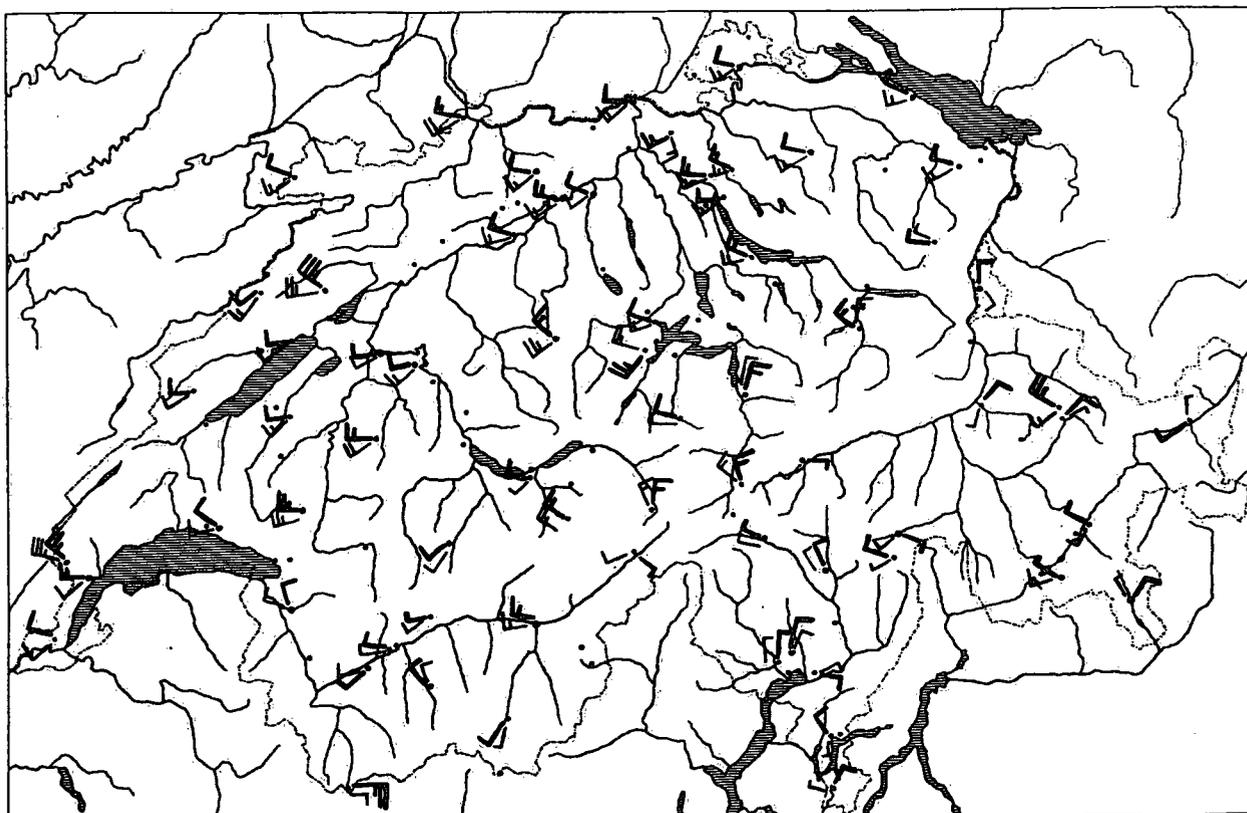


Fig. 21: Windrichtung und Windgeschwindigkeit 27. II. 1990
3 Stunden vor (schlanker Windpfeil) und nach (fetter
Windpfeil) dem Durchgang der Kaltfront.
1 Befiederungsstrich = 10 m/s (36 km/h).

Säntis: Geschwindigkeit zu klein.

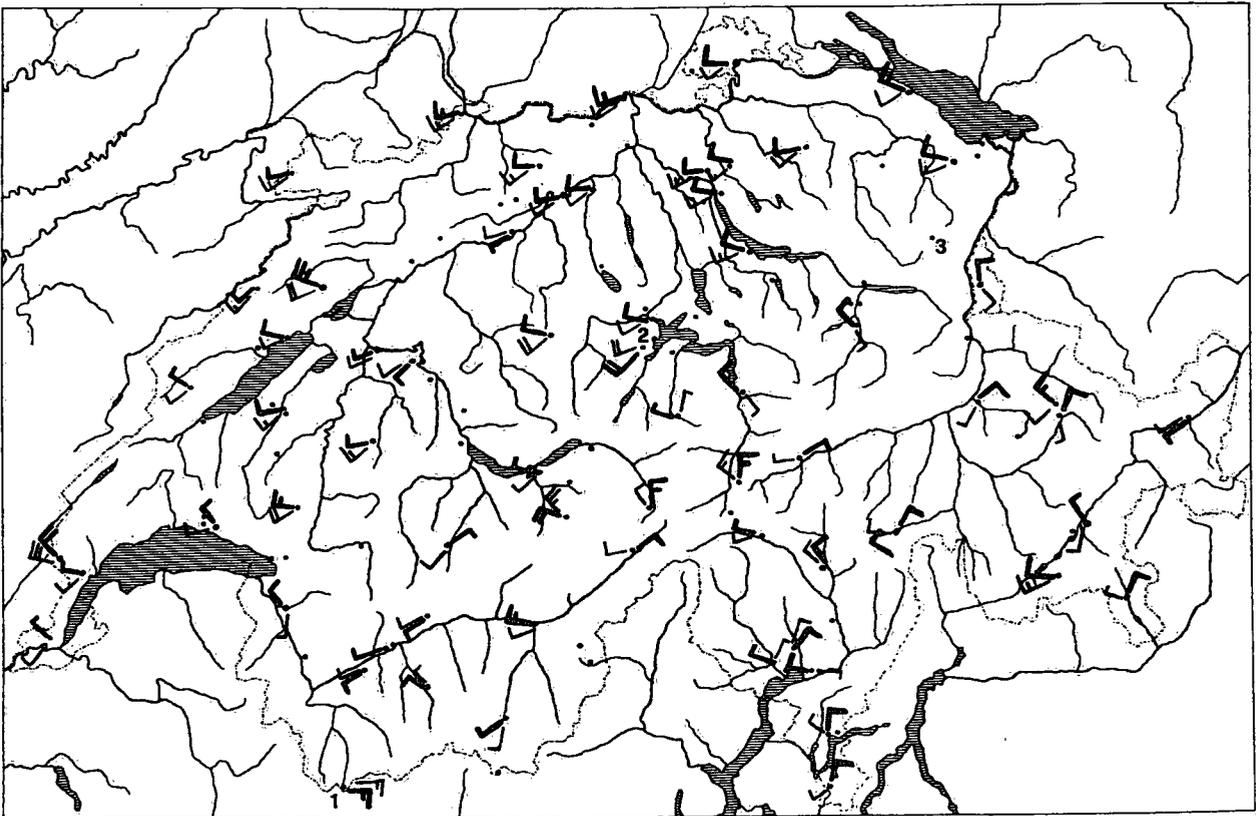


Fig. 22: Windrichtung und Windgeschwindigkeit 1. III. 1990
3 Stunden vor (schlanker Windpfeil) und nach (fetter
Windpfeil) dem Durchgang der Kaltfront.
1 Befiederungsstrich = 10 m/s (36 km/h).

1: Gr. St. Bernhard: Windrichtung durch Passeinschnitt
von N - auf E - Richtung umgelenkt. Beim Frontdurchgang
extrem hohe Windspitzen (vgl. Fig. 27).

2: Pilatus: Windrichtung lokal abgelenkt, vor der Front
von WSW auf WNW, dahinter statt Linksdrehung Rechtsdreh-
ung auf SSW.

3: Säntis: Windgeschwindigkeit stark gebremst und später
ganz blockiert. Ausfall am 1. III. 1990.

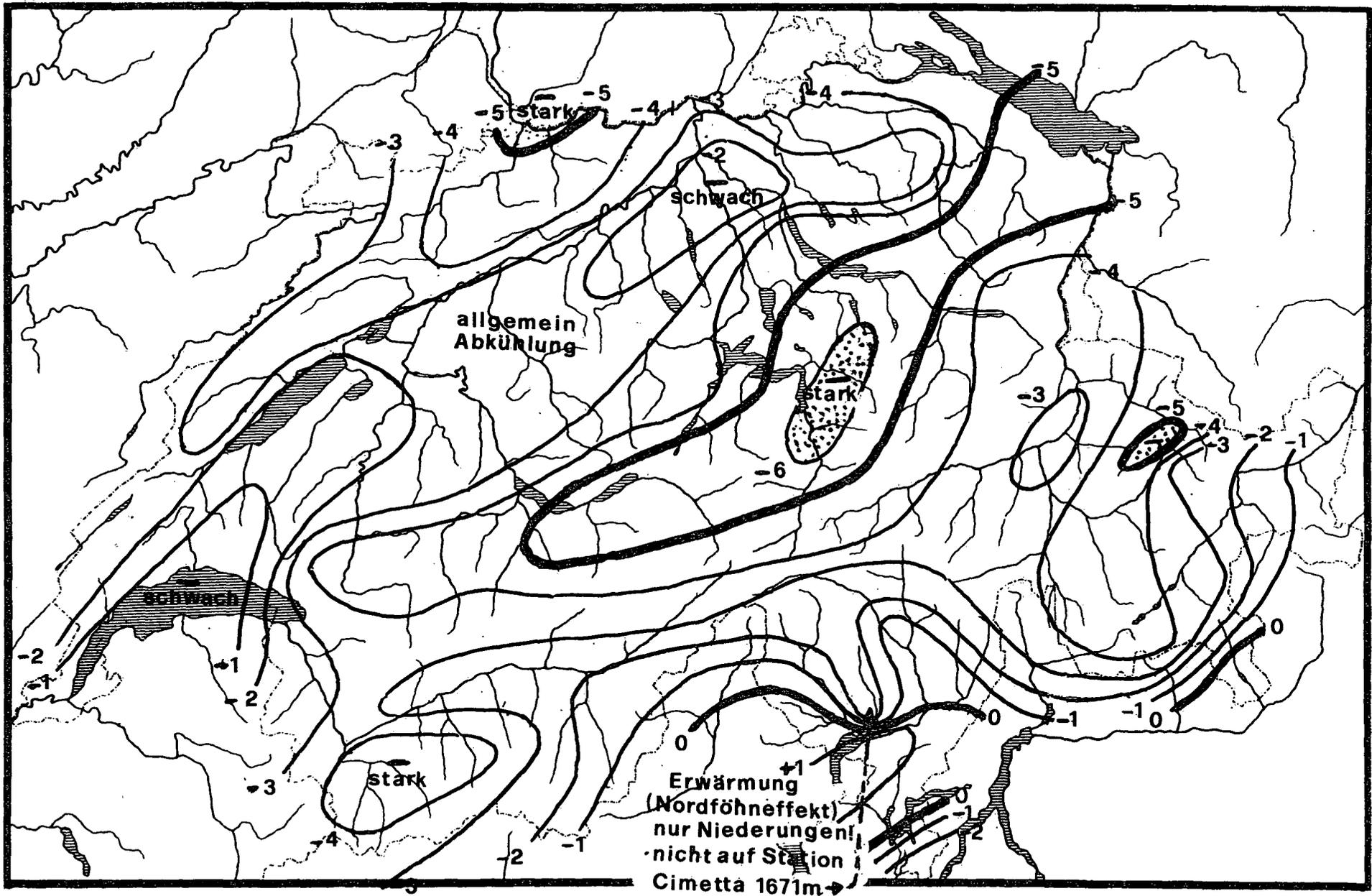


Fig. 23: Grobanalyse der Temperaturänderung beim Kaltfrontdurchgang am 27. II. 1990. (Änderung in der Zeit zwischen 2 Std. vor und 3 Std. nach dem Frontdurchgang).

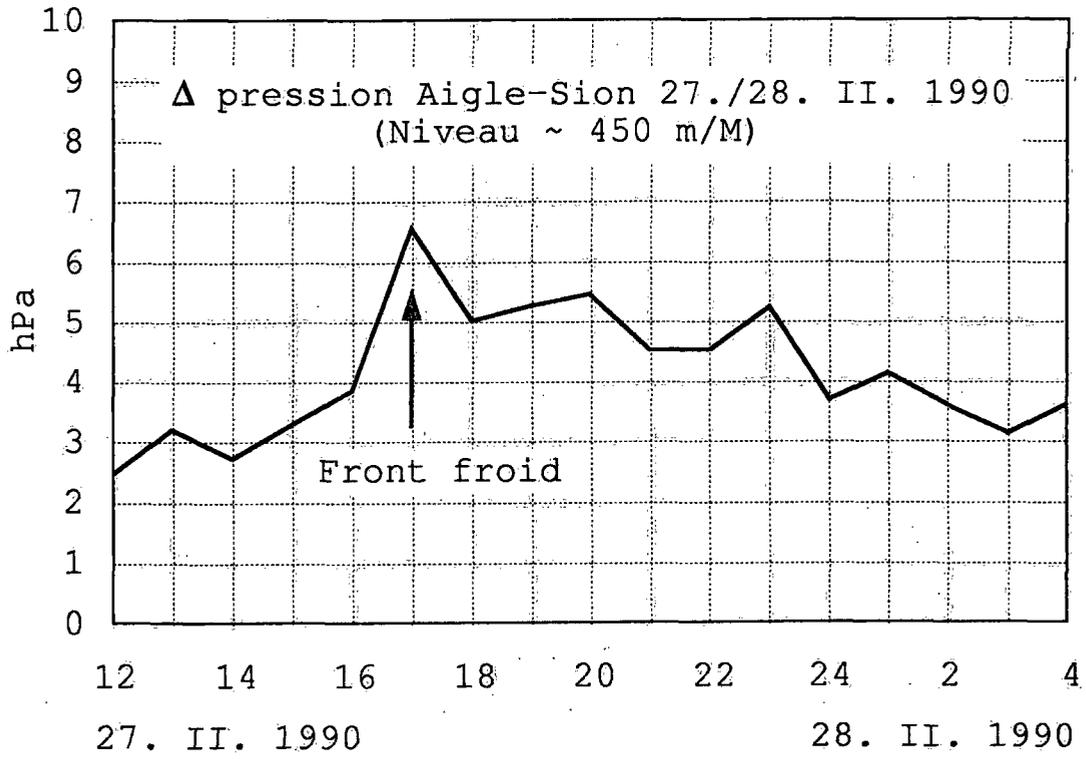


Fig. 24 Luftdruckunterschied Aigle-Sion am 27./28. II. 1990

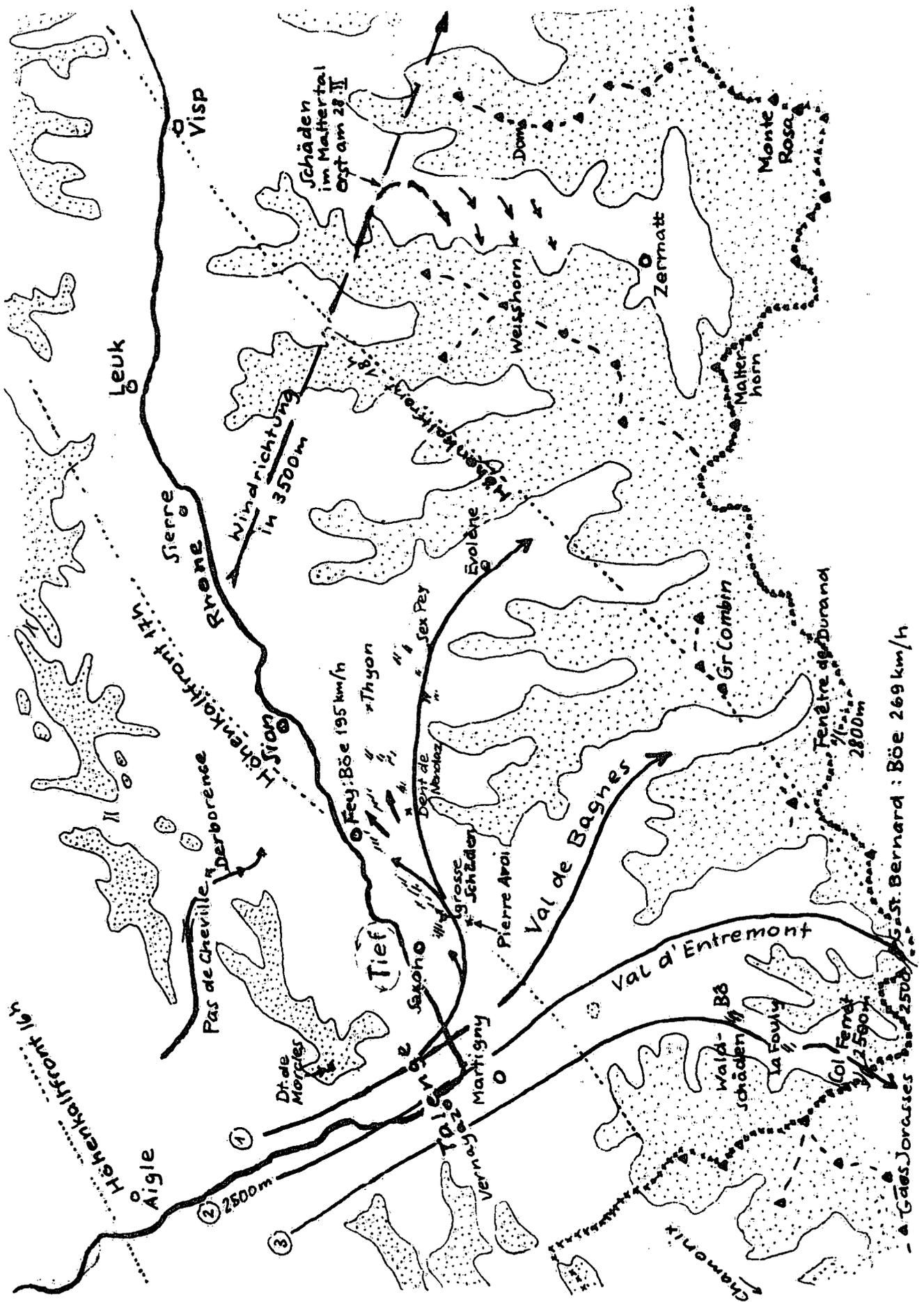


Fig. 25: Wallis: Schematische Strömung am Nachmittag des 27.II.1990 in der Höhenlage 1500 - 2500 m (gestrichelt 3500 m). Höhenlagen des Geländes über 2500 m punktiert.

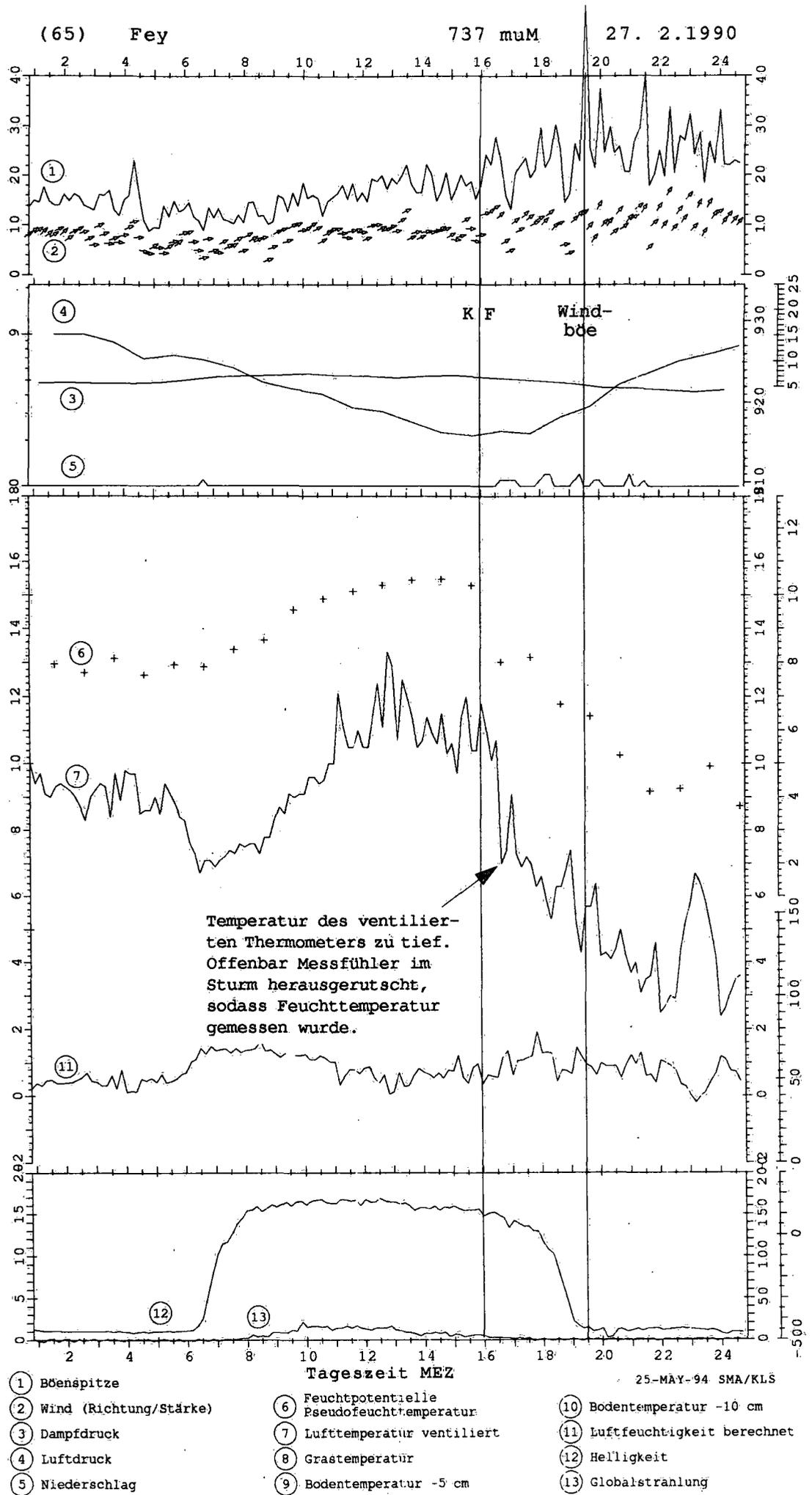
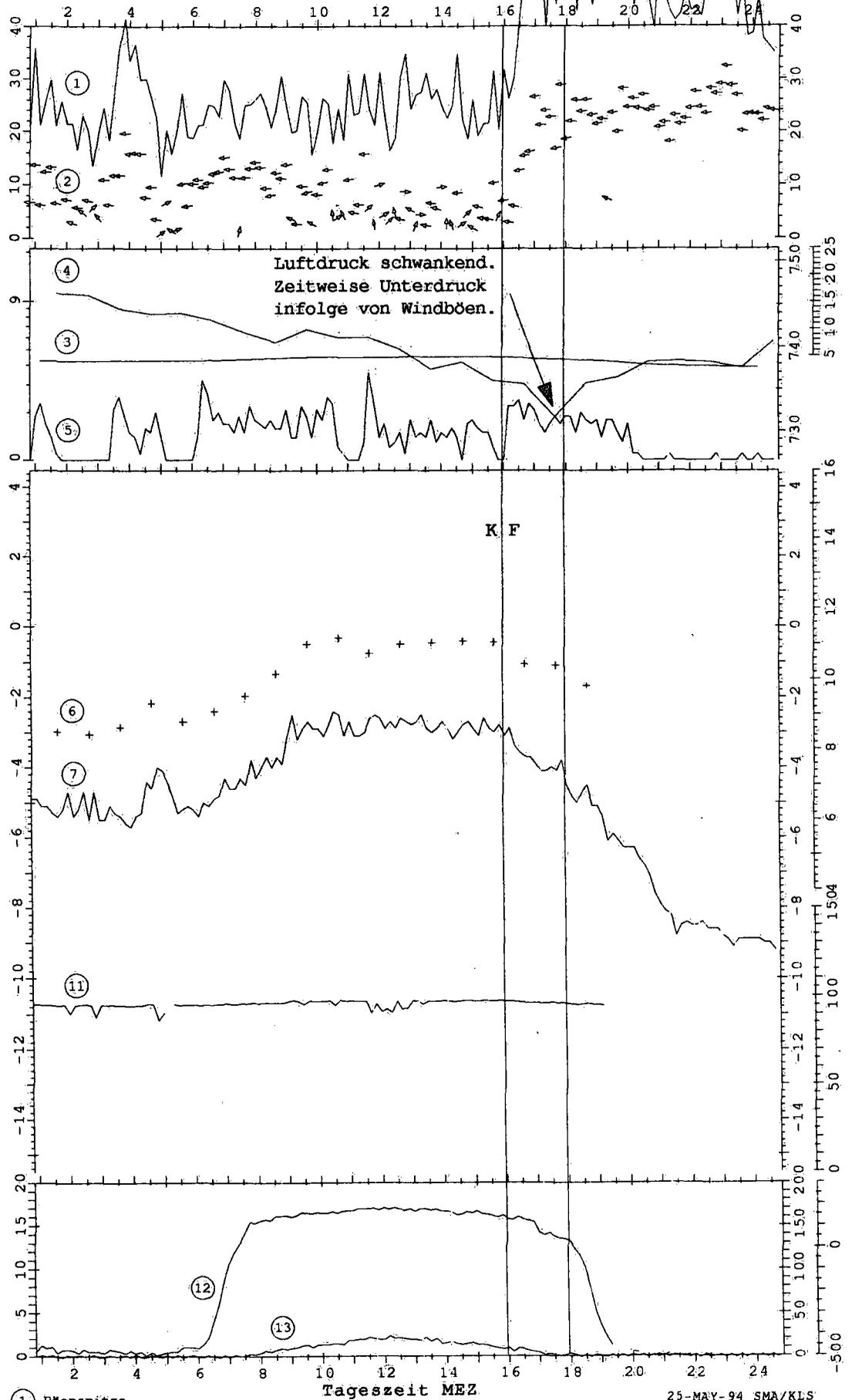


Fig. 26

Böenspitze
269 km/h

(35) Grand St. Bernard 2472 mm M 27. 2. 1990



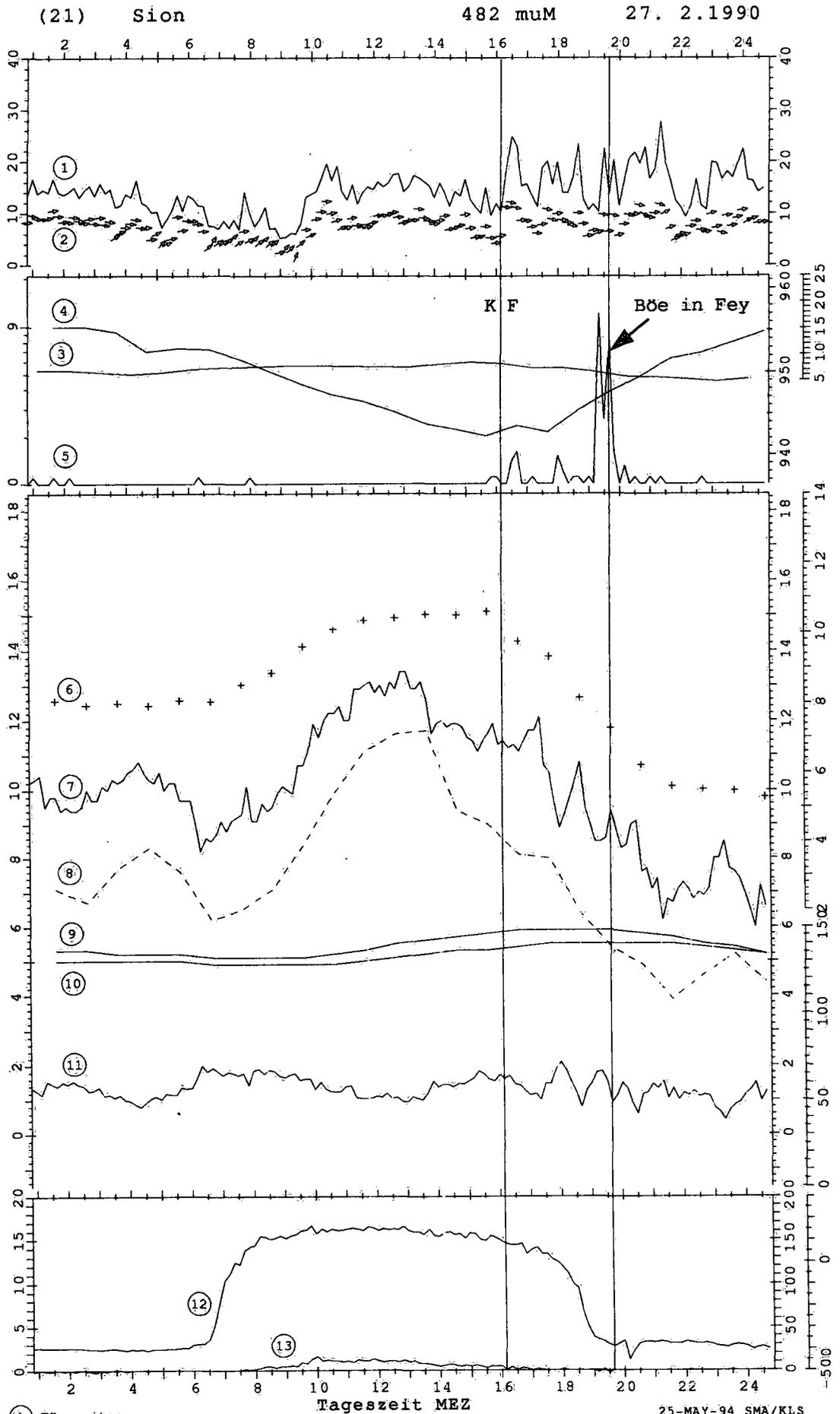
Luftdruck schwankend.
Zeitweise Unterdruck
infolge von Windböen.

K F

- | | | |
|--------------------------|--|------------------------------|
| ① Böenspitze | ⑥ Feuchtpotentielle Pseudofeuchttemperatur | ⑩ Bodentemperatur -10 cm |
| ② Wind (Richtung/Stärke) | ⑦ Lufttemperatur ventiliert | ⑪ Luftfeuchtigkeit berechnet |
| ③ Dampfdruck | ⑧ Grastemperatur | ⑫ Helligkeit |
| ④ Luftdruck | ⑨ Bodentemperatur -5 cm | ⑬ Globalstrahlung |
| ⑤ Niederschlag | | |

25-MAY-94 SMA/KLS

Fig. 27



- | | | |
|--------------------------|--|------------------------------|
| ① Böenspitze | ⑥ Feuchtpotentielle Pseudofeuchttemperatur | ⑩ Bodentemperatur -10 cm |
| ② Wind (Richtung/Stärke) | ⑦ Lufttemperatur ventiliert | ⑪ Luftfeuchtigkeit berechnet |
| ③ Dampfdruck | ⑧ Grastemperatur | ⑫ Helligkeit |
| ④ Luftdruck | ⑨ Bodentemperatur -5 cm | ⑬ Globalstrahlung |
| ⑤ Niederschlag | | |

Fig. 28

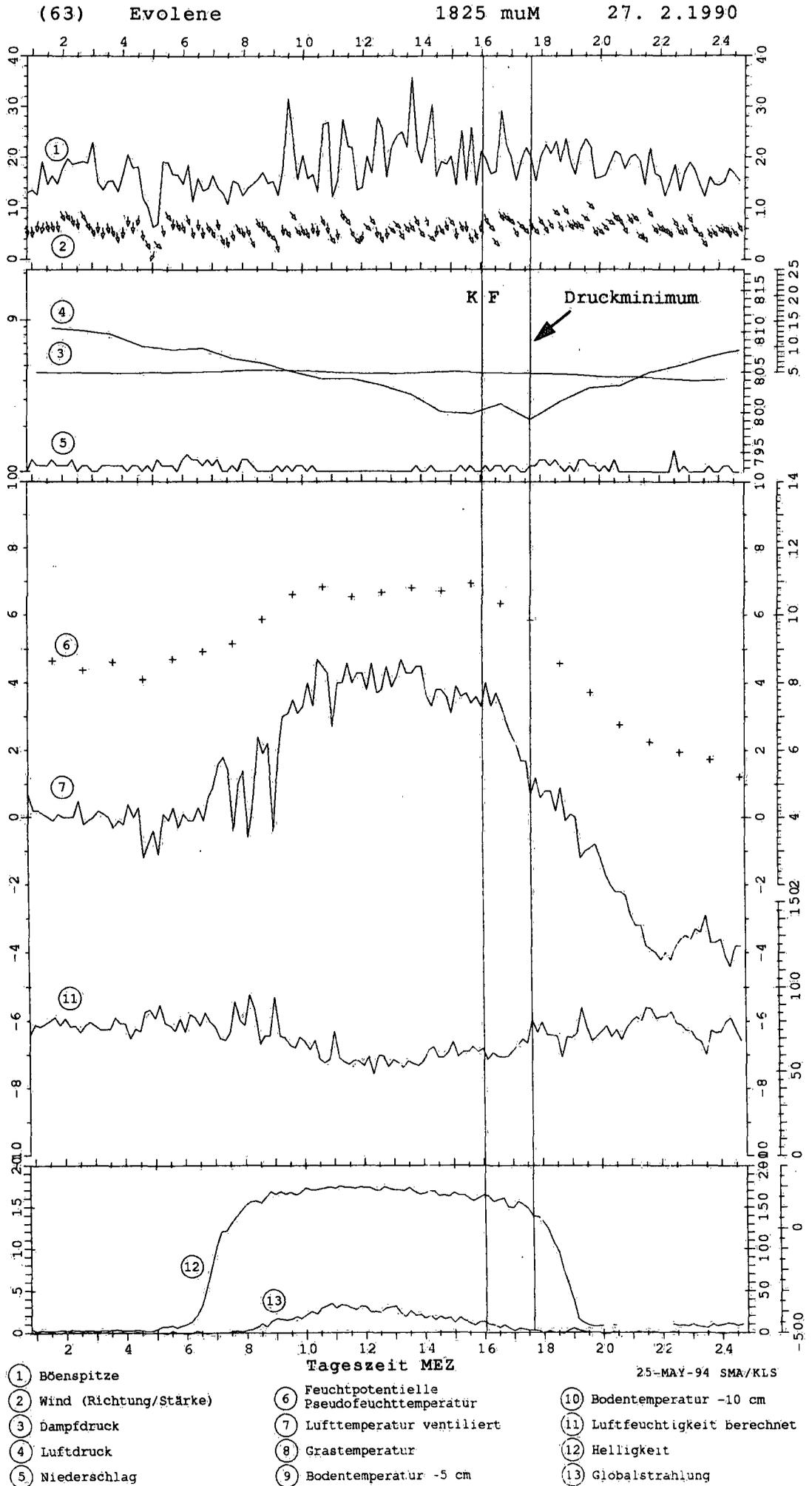


Fig. 29

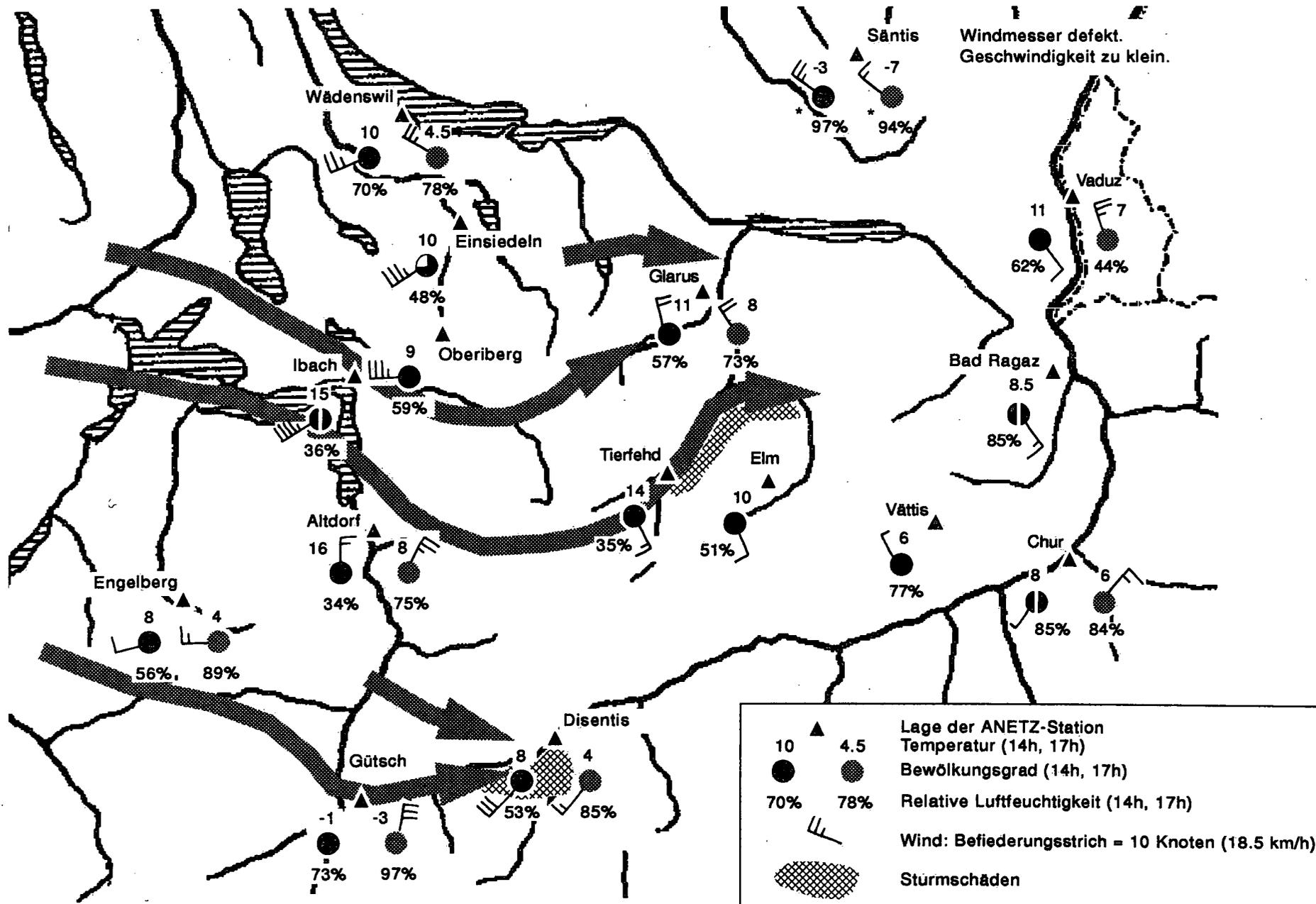


Fig. 30: Strömungsverlauf am 27. II. 1990 im ostschweizerischen Stationsnetz.

Alp Lumpegna

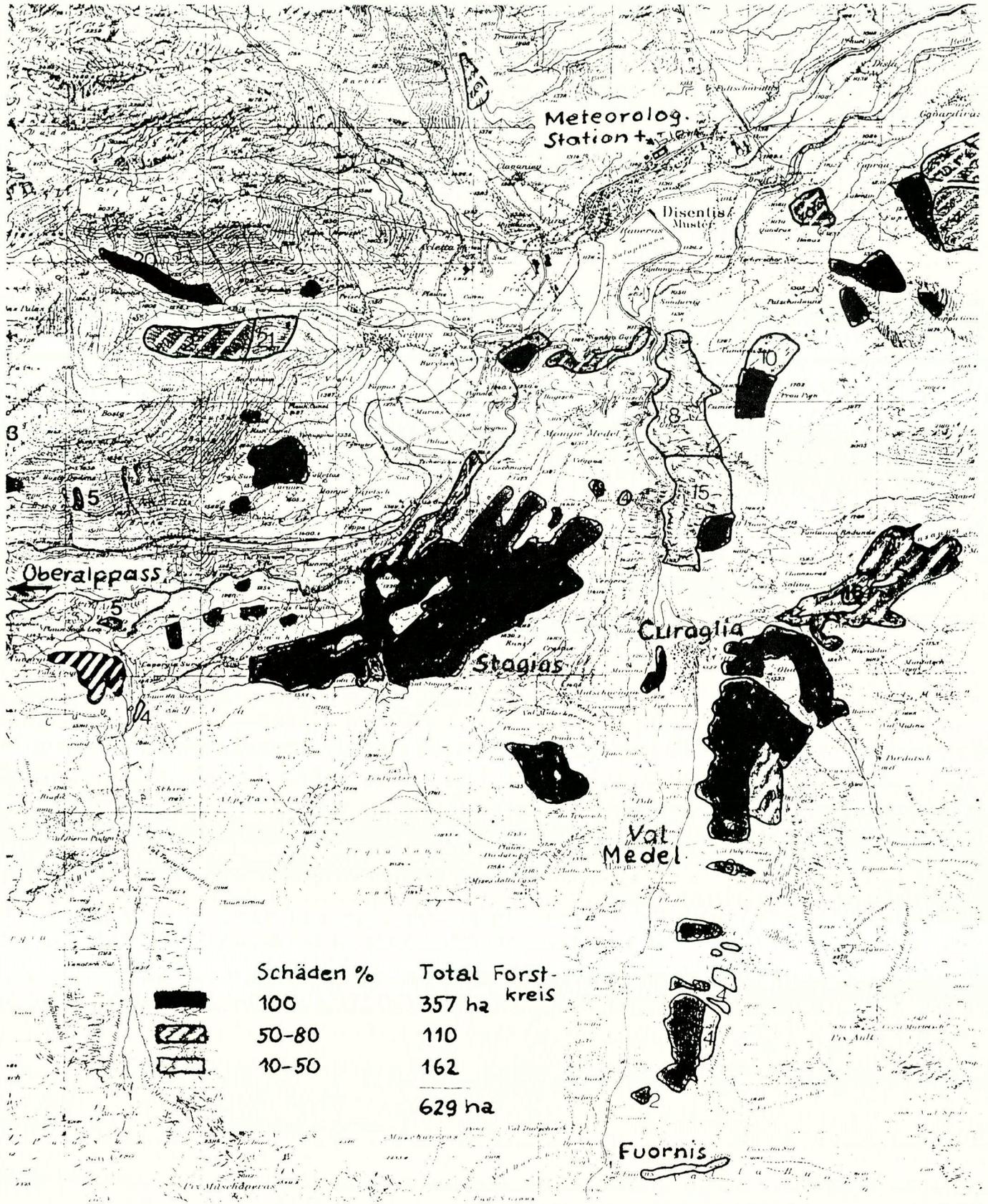


Fig. 31 Wald - Sturmschäden vom 27. II. 1990

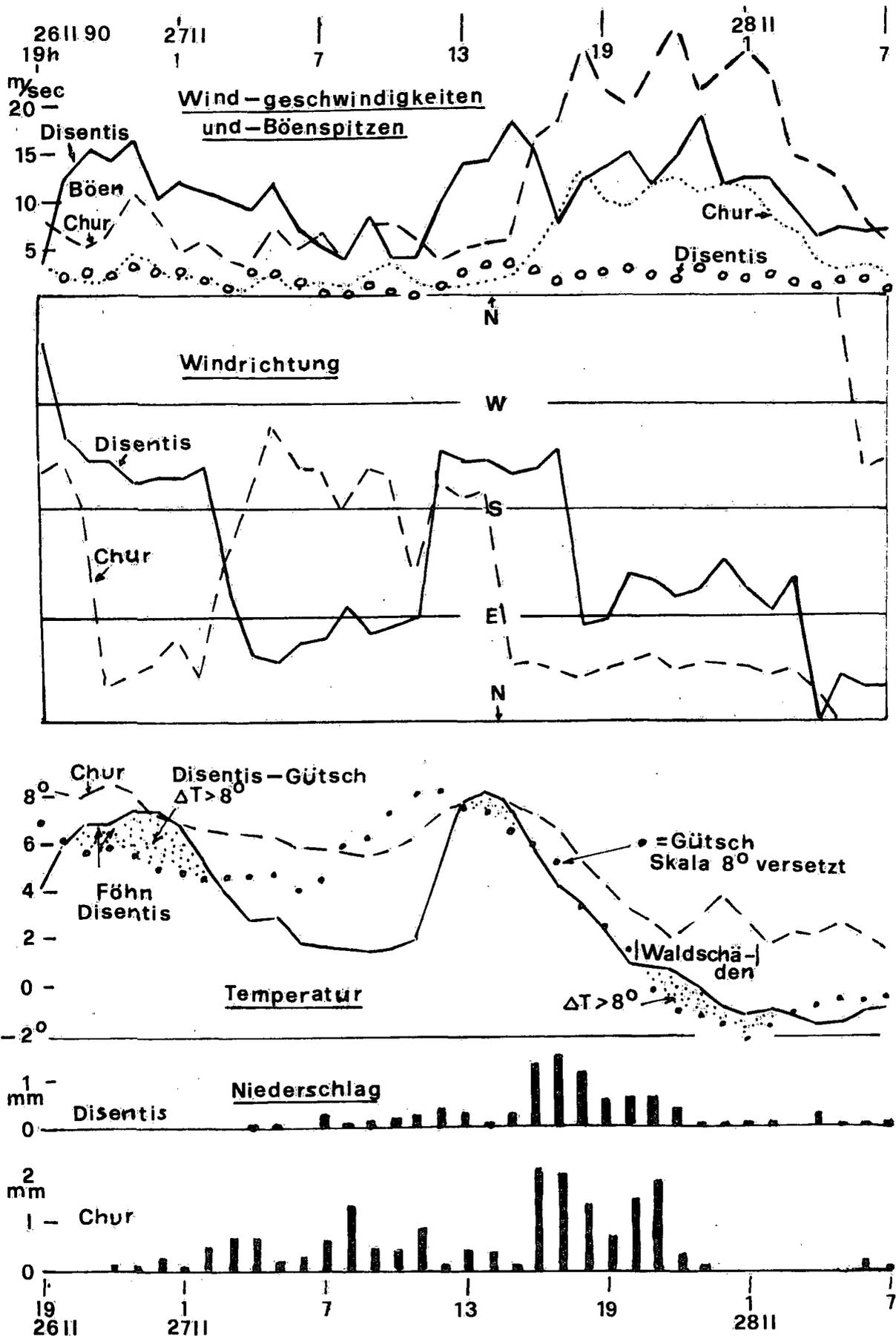


Fig. 32 Wind- Temperatur- und Niederschlag am 26.-28. II. 1990 in Disentis und Chur

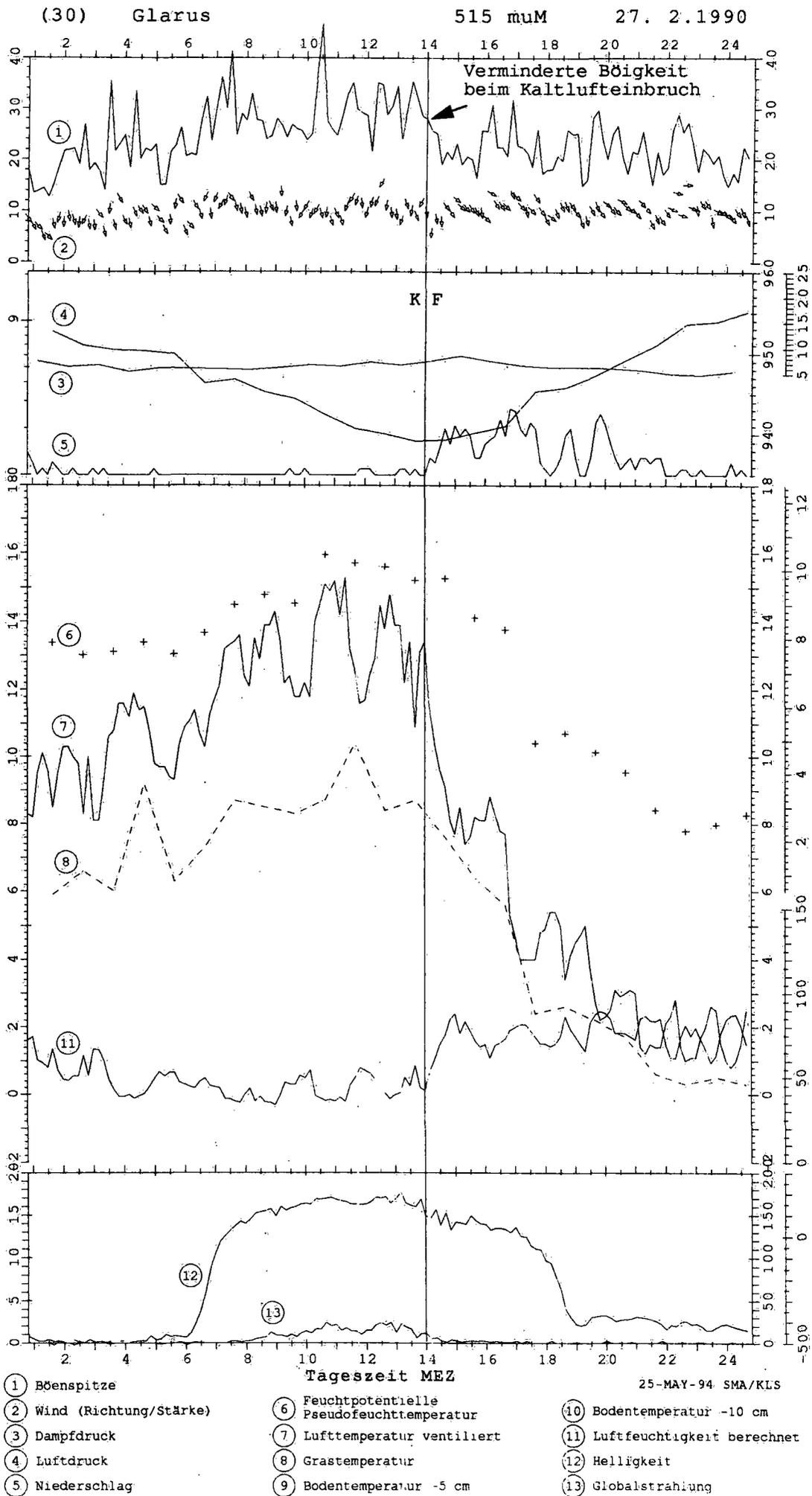


Fig. 33



Fig. 34: Die Sturmschäden am Wald konzentrieren sich auf die rechte Talseite mit Schwerpunkt Schwanden (Ennenda bis Haslen). Aber auch am Kerenzerberg, im Oberseetal, Sool/Engi, Hätzingen/Diesbach und Rüti/Linthal waren grössere Flächen-schäden anzutreffen; Streuschäden (Einzel- oder Gruppenschäden im ganzen Wald verstreut) praktisch in allen Gemeinden. Insgesamt fielen dem Sturm 200'000-250'000 m³ Holz - etwa eine siebenfache Jahresnutzung - zum Opfer. (Aus dem Bericht von F. Marti, Glarus, Lit.3)

