

# ZUR SCHADSTOFFAUSBREITUNG IM VOITSBERG-KÖFLACHER-BECKEN AUS GELÄNDEKLIMATISCHER SICHT

mit 13 Abbildungen im Text:

R. LAZAR

Graz, im April 1984

## Inhalt

	Seite
1. Einleitung	1
2. Lage des Untersuchungsgebietes	1
3. Allgemeine klimatische Bedingungen	4
4. Meßmethodik	4
5.1. Ergebnisse des Sondernetzes	
5.1.1. Inversionen	6
5.2. Windsysteme	12
6. Schadstoffausbreitung bei Hochdruckwetterlagen mit Beispielen (Meßfahrten des Bundesinstitutes für Gesundheitswesen)	
6.1. Die Ausbreitungsverhältnisse am Morgen	15
6.2. Die Verhältnisse bei Windwechsel am Vormittag	17
6.3. Die Ausbreitungsverhältnisse am späten Vormittag bzw. zu Mittag	17
6.4. Die Ausbreitungsverhältnisse am Nachmittag	22
6.5. Die Ausbreitungsverhältnisse am späten Nachtm.	24
6.6. Die Ausbreitungsverhältnisse am Abend /Nacht	24
7. Medizinische Aspekte	28
8. Literatur	29

## ZUR SCHADSTOFFAUSBREITUNG IM VOITSBERG-KÖFLACHER-BECKEN AUS GELÄNDEKLIMATISCHER SICHT

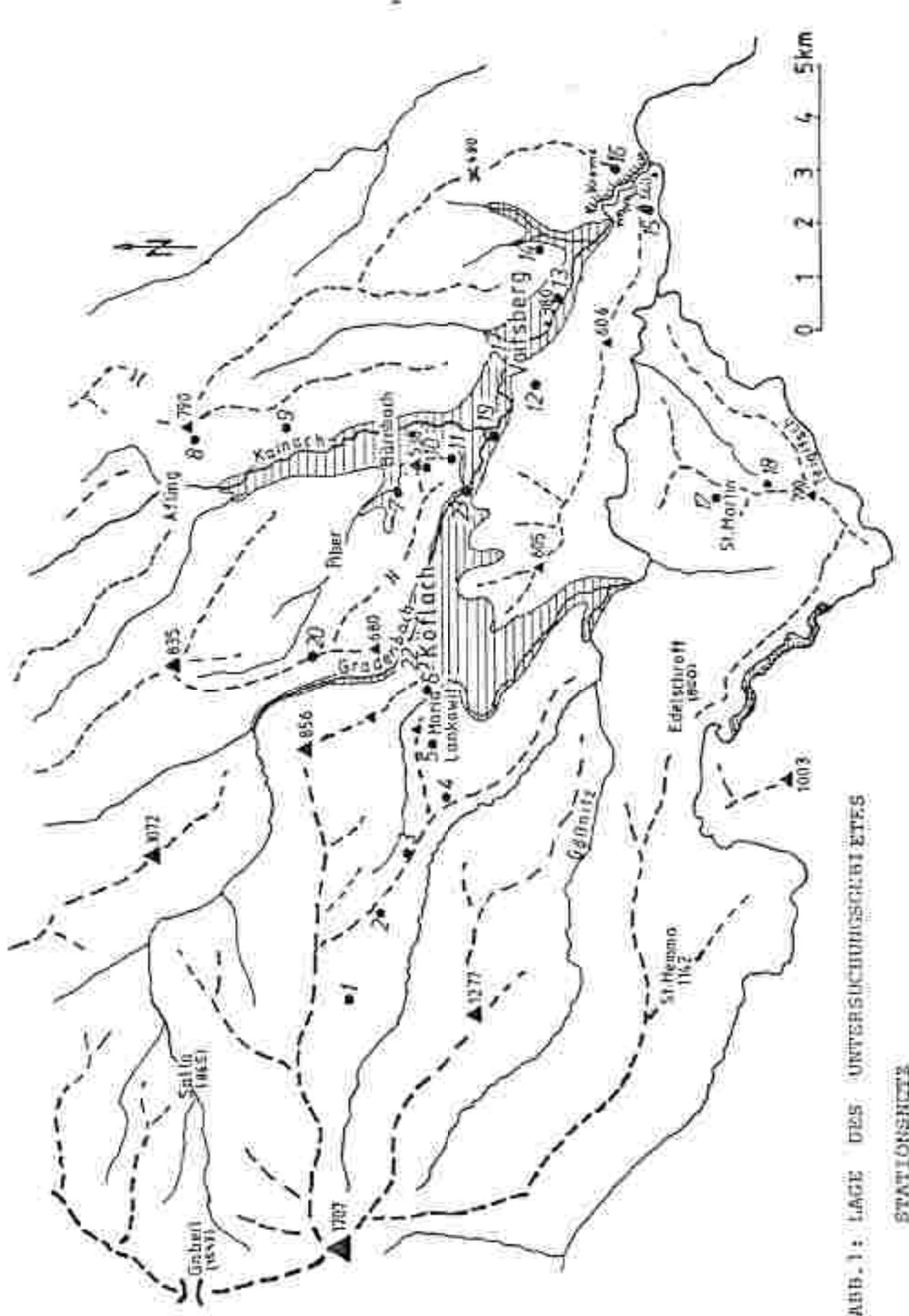
### 1. EINLEITUNG

Das Untersuchungsgebiet zählt nach Ergebnissen von SO<sub>2</sub>-Messstationen zu den in der Steiermark am stärksten belasteten Gebieten; es stellt somit lufthygienisch ein Sanierungsgebiet dar, in dem durch geeignete Maßnahmen (SO<sub>2</sub>-Reduktion durch Kalkadditivverfahren bzw. Rauchgaswäsche, Verminderung der Emissionen aus dem Haushalt (genauer für die Warmhaltung von Räumen) über Fernwärme bzw. andere Energieträger, wie beispielsweise Gas) eine Verbesserung der Luftgüte angestrebt werden müßte.

Im Untersuchungsgebiet weisen ferner die Wälder durch die Schadstoffeinwirkung (direkte Anwehung von SO<sub>2</sub> mit Aufnahme über die Stomata der Fichtennadeln) unterschiedliche Schäden auf, die erstmals im Zuge einer Befliegung mit Infrarotaufnahmen (S.SCHNOOPFHAGEN 1980) erfaßt wurden; sie zeigen deutlich eine Abnahme der Schäden mit zunehmender Höhe. Aus forstlicher Sicht sind nun die Ausbreitungsbedingungen in diesem Becken von besonderem Interesse; deshalb wurde noch im Jahre 1980 mit dem Aufbau eines Sondernetzes begonnen, um die Struktur der Inversionen bzw. Windsysteme zu erfassen.

### 2. LAGE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES (zu Abb. 1)

Das Köflach-Voitsberger-Becken liegt am Fuße der Glein- bzw. Stubalpe, einem Teil des steirischen Randgebirges, und somit am Nordwestrand des südöstlichen Alpenvorlandes. Geologisch bedingt weist das Becken eine asymmetrische Umrahmung auf; im Westen erreichen die Gipfel- und Kammlagen Seehöhen zwischen 1500 und 2000 m, im Osten dominieren Riedel und niedrige Berg-



## LEGENDE zur Abb. 1

## Stationsnetz (Überwiegend 1980-1983)

Nr.	Station (Lage)	Seehöhe m	Messung der Elemente
1	Hochbundschuh (Oberhang)	1190	T
2	Engelbauerkreuz (Kamm)	990	T, RF
3	Stöcklkapelle (Kamm)	850	T, RF
4	Kemetberg (Kamm)	740	T; RF
5	Niederberg (Hang)	610	T, RF
6	<u>Maria-Lankowitz</u> (Hang)	525	T, N
7	Pieber (Talschle)	430	T, RF
8	Hochtröst (Gipfelbereich)	780	T, RF
9	Schrapfberg (Sporn)	610	T, RF,
10	Heiliger Berg (Gipfel)	540	T, RF, W
11	<u>Bärnbach</u> (Hang)	440	T, N
12	Kowald (Sporn)	450	T, SO <sub>2</sub>
13	Voitsberg (Talschle)	380	T, RF, SO <sub>2</sub>
14	<u>Lobming</u> (Talrand, Unterhang)	400	T, RF, N, W
15	Arnsteinberg (Gipfel)	560	T, RF
16	Gasselsberg (Rücken)	450	T, RF
17	St. Martin 1 (Rücken)	630	T, RF, W
18	<u>St. Martin 2</u> (Oberhang)	727	T, RF, N, W
19	Voitsberg/Kraftwerk (Kamin + Verkehrsturm)	500 500	T, RF, W
20	Schachner/Köflach	680	SO <sub>2</sub>
21	Voitsberg/Sed	390	SO <sub>2</sub>
22	Köflach	450	SO <sub>2</sub> , W
23	Rosental	420	SO <sub>2</sub> , W

Elemente: T - Temperatur

RF - Relative Feuchte

W - Wind

N - Niederschlag

— — — amtliche Station

SO<sub>2</sub> - Immissionsmeßstelle der ÖDK/Voitsberg bzw. der Stmk. Landesregierung

===== Bereich der Beckensohle

rücken zwischen 500 und 800 m (Abb.1). Die Beckensohle (in Karte 1 schraffiert) zerfällt in einen westlichen Teil (Köflach) und einen östlichen, von der Kainach durchflossenen, längsgestreckten Teil (Raum Bärnbach-Voitsberg). Letzterer wird durch die Enge bei Krems markant abgeschlossen, wobei die relativen Höhenunterschiede zur Umrahmung etwa 150-250 m betragen. Die durchschnittliche Talschienbreite schwankt zwischen 700 und 2000 m (Köflacher Gebiet).

### 3. ALLGEMEINE KLIMATISCHE BEDINGUNGEN

Die Lage südlich der Alpen bewirkt eine Abschirmung gegenüber Strömungen aus dem Sektor West bis Nord, sieht man von Fallwinden ab, die mitunter an der Rückseite von Tiefdruckgebieten bis zum Boden durchgreifen und Inversionen rasch beseitigen. Im allgemeinen jedoch zeichnet sich das Voitsberg-Köflacher-Becken durch eine gegenüber der Alpennordseite erhöhte Inversionsbereitschaft und geringe mittlere Windgeschwindigkeiten aus (besonders im Winterhalbjahr 1,0-1,5 m/sec). Die Abschirmung durch die Alpen begünstigt neben der raschen Bildung nächtlicher Inversionen auch die Entwicklung eines autochthonen Talwindsystems, das entscheidend die Windrichtungsverteilung bzw. den Tagesgang der Windgeschwindigkeit prägt und somit große Bedeutung für die Schadstoffverfrachtung innerhalb des Beckens aufweist.

### 4. ZUR MEßMETHODIK

Mit dem Aufbau eines Sonderstationsnetzes, wie es sich bereits bei Untersuchungen in einem anderen Becken (Aichfeld-Murboden, R.LAZAR 1980) bewährt hatte, wurde im Voitsberg-Köflacher-Becken im Winter 1980/81 begonnen. Es erfuhr im Winter 1981/82 eine Erweiterung auf insgesamt 17 Stationen (die Lage der Stationen ist in Abb.1 enthalten). In etwas kleineren, aber für den Einsatz im Gelände praktikableren Wetterhütten befanden sich jeweils ein Thermohygrograph und Extremthermometer. Die Betreuung erfolgte wöchentlich einmal mit der Ablesung der Werte, um eine Korrektur

der Streifen durchzuführen. Für das Netz wurden möglichst repräsentative Standorte gewählt (Rücken-, Kamm- und Gipfellagen, nur in Ausnahmefällen Oberhanglagen). Der Schwerpunkt bei der Auswertung wurde auf die Erfassung der Inversionen zum Zeitpunkt ihrer größten Mächtigkeit und Stärke (Zeitbereich des Temperaturminimums an den Talstationen) generell bei Sonnenaufgang bzw. auf die Temperaturverhältnisse zum Zeitpunkt des Temperaturmaximums am frühen Nachmittag gelegt. Eine stündliche Auswertung der Temperaturen aus den Schreibstreifen ist wegen zeitlicher Ungenauigkeiten, Kalibrierung der Schreiber, aber vor allem die Temperaturbestimmung aus den Streifen bei steilerem Kurvenverlauf ("schleifender Schnitt" mit den Zeitordinaten) recht problematisch und überaus zeitaufwendig; derartige Vertikalergebnisse (vertikale Temperaturgradienten) würden zweifellos für die Bestimmung der Ausbreitungsklassen eine wichtige Grundlage bilden.

Ferner erfolgten Messfahrten mit einem Thermistorfühler, einem rasch reagierenden Widerstandsthermometer, um die Datendichte zu erhöhen und somit flächendeckend arbeiten zu können. Wesentliche Aufschlüsse über die Inversionsstrukturen, aber auch Überdifferenzen zu den Stationsdaten, erbrachten Fesselballonsondenaufstiege, die gemeinsam mit dem Bundesinstitut für Gesundheitswesen durchgeführt wurden. Mittels Korrelationspektrometer und Flammenphotometer, montiert in zwei Messfahrzeugen, erfassten Mitarbeiter dieses Instituts die aktuelle SO<sub>2</sub>-Konzentration am Boden. Dabei wurden einige Routen mehrmals befahren und schließlich bei der kartographischen Darstellung die Ergebnisse über ein bestimmtes Zeitintervall gemittelt.

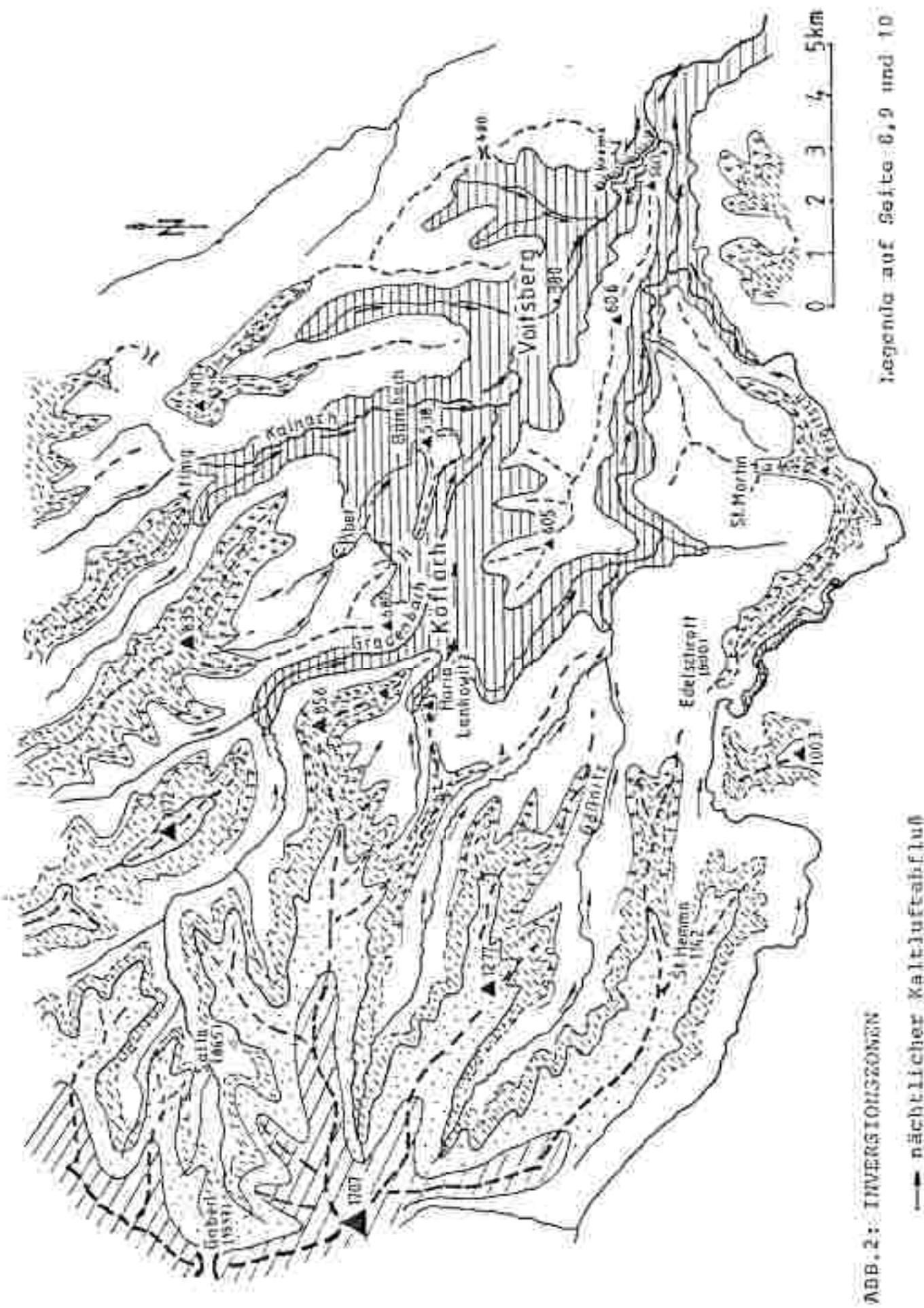
An ausgewählten Tagen ergänzten Messflüge die Stationsdaten. Fotographische Aufnahmen beträfen hauptsächlich die Obergrenzen von luftverunreinigten Schichten und Rauchgas- bzw. Dampffahnen von Kraftwerken und Industriebetrieben.

## 5. ERGEBNISSE DES SONDERNETZES

### 5.1 Inversionen

Die windgeschützte Beckenlage begünstigt in hohem Maße die rasche Ausbildung von Inversionen (überwiegend Bodeninversionen). Selbst wenn tagsüber durch mitunter bis zum Boden durchgreifende Fallwinde von der Glein- und Stubalpe die Inversionen beseitigt werden, sind leichte Inversionen noch relativ häufig. Die von den am stärksten windgeschützten Seitentälern in das Becken einfließende Kaltluft (infolge Wärmeabstrahlung; "Kaltluftproduktion") führt dann generell zur Strömungsablösung, d.h. die Strömung hält auf den Berggrücken oft unvermindert an, greift aber nicht mehr bis zur Talsohle durch. Ausnahmen bestehen vor allem bei starker Bewölkung, die die Strahlungsbilanz nicht ausreichend genug negativ werden lässt und somit die "Kaltluftproduktion" an den Hängen und in den Tälern zu gering bleibt. Bei Hochdruckwetterlagen ("Strahlungswetter" mit fehlender oder geringer Bewölkung bzw. allgemein nur geringen Windgeschwindigkeiten) entwickeln sich im Voitsberg-Köflacher-Becken vorherrschend Bodeninversionen mit einer Mächtigkeit von 400-500 m (im Sommerhalbjahr März-September meist 300-400 m). Die höchsten Temperaturen werden dabei am häufigsten in 700-800 m Seehöhe (Station 4: Kemetberg, 740 m, Station 3: Stöcklkapelle, 850 m) gemessen; nicht selten schließt darüber eine isotherme Schicht an, die meist bis in ca. 1000 m Seehöhe, mitunter sogar (vor allem im Winter) bis ca. 1200 m reicht. Im Inversionsaufbau lassen sich Abschnitte in Anlehnung an den vertikalen Temperaturverlauf bzw. an die Geländegestaltung ausscheiden. Abb.2 zeigt diese Gliederung der Beckenatmosphäre bei Inversion mit der bodennahen Kaltluft (starke Temperaturzunahme, vor allem in Nächten mit Schneedecke), der darüberliegenden Übergangzone 2 (Temperaturzunahme nachlassend), der "warmen Hangzone" im Sinne von G. KOCH 1961, der anschließenden "Isothermizone" 4 (relativ oft Isothermie bzw. nur geringe Temperaturzu- oder -zunahme), der hohen Hang- und Kammlagenstufe mit rasch abnehmender Inversionsbereitschaft bzw. zunehmender Durchlüftung und schließlich die Kamm- und Gipfelregion der Glein- und Stubalpe mit hohen Windgeschwindigkeiten und freien Inversionen, die an Staueffekte

1) Schematischer Querschnitt dazu in Abb.3, Seite 10.



LAGEZONE zur Abt. z. mit Beschreibung der einzelnen Zonen für den Zeitbereich Nächt-Vormittag mit vorhergehend talabwärts gerichteten Winden		Infiltrationsverhältnisse	
Zone	Nr.	Vorkommen	Eigenschaften
1		Tal- bzw. Beckensohle und durchgehende Unterhanglagen bis ca. 500m Seehöhe entsprechende Stationen: 5, 7, 11, 12, 13, 14, 16, d, e, b	starke Temperaturzunahme, besonders in Höhen mit Schneedecke; Bezeichnung der Beckenkaltluft, unter Talrauel verbunden
2		niedriges Berg- und Hügelrelief im Südosten, überwiegend Hang- lagen im Westen und Norden bis ca. 700m Seehöhe; entsprechende Stat.: 5, 10, 9, 17, 15	Übergangszone mit weiterem deutlichem Temperaturanstieg; nach klaren Nächten um 5-6° wärmer als die Beckenkaltluft, nur leichter als Zone 1
3	***	freie Sporn- und Hanglagen im Westen und Norden des Beckens bis ca. 800m Seehöhe Stationen: 4, h	"Warme Hangzone", besonders im Sommerhalbjahr am häufigsten der Bereich mit den höchsten nächtlichen Temperaturen
4		Kamm- und Hanglagen in 800- 1000m Seehöhe Stationen: 2, 3, h, i in der Südweststeiermark	Abschnitt mit häufiger Isotermene zwe., nur geringer Anzahl der Temperatur mit der Höhe vor allem im Sommerhalbjahr bereits oft inversionsfrei; bei niedrigen freien Inversionen meist an der Untergrenze bzw. knapp oberhalb der Isotermene
5		hohe Hang- und Kammlagen - stufe In: 1000 - 1400m Stationen: 1, Krautwasch, Plauschkopf,	bereits überwiegend oberhalb der Bodeninversionen, nur im Winterhalbjahr fallweise noch innerhalb nächrigerer Bodeninversionen bzw. freier Inversionen im Winter beliebte zone
6		Kamm- und Gipellagen der Staub- und Gletschergänge Seehöhe über 1400m Geböckl (1432a) als Basisstation	praktisch inversionsfrei, sieht man von vereinzelt auftretenden möglichen feinen Inversionen ab

LEGENDE zur Abb.2 mit Hochreibung der einzelnen Zonen für den zeitlichen später Vormittag - Nachmittag mit vorherrschend tal- und hängenwärts gerichteten Winden.

Zone	Vorkommen	Wirkungsrichten	Inversionverhältnisse
A	Tallagen und im Löchlein bis ca 700m Sonnseite entsprechend den Zonen 3 Vormittag I und 2	Im Rückwärt Tal bzw. Berghänge zu ganzjährig anhaltender Inversion nicht um 2-5° kälter als die wärmezone. In Einzelfällen aber auch sehr stark Inversionen	vor allem die Hanglagen von Edelschrott im Südwesten des Buckens, aber Matla - Lankowitz - Kotlach bis Bärnbach/Affing im Nordosten vorherrschend durch Kraftwerkseinfluss belastet. Im Abschnitt Kotlach - Piber - Bärnbach, am Nachmittag Verlagerung nach Westen. Insbesondere am Vormittag im Abschnitt Kotlach - Bärnbach Oberlagerung des Kraftwerkseinflusses mit dem Haupteindruck
B	mittlerer Hang - und Kammlagenstufe 700 - 1000m Sonnseite, entsprechend den Zonen 3 und 4	häufig wärmete Zone tagsüber teil inversionssicher lagern im Winter, sieht man von einigen wenigen wärmelosen Bodeninversionen ab; bei freien Inversionen seitigsten so kleine hoch am rechteck des Hochteiles	Infolge schwacher Hangaufwinds, vor allem an südexponierten Högen, Verlagerung der Inversionen auch in Höhe Hangabschlusses; bis ca 900m zehn noch relativ hohe Inversionskonzentration möglich (z.B. Edelschrott).
C	hoher Hang- und Kammlagenstufe 1000 - 1400m Sonnseite entsprechend der Zone 5	auch häufig oberhalb der sich nicht auf lösenden Bodeninversionen (Bsp. durch lokale Inversionen umgewandelten Isoden) Inversionen ist weiter obenhalb der Hochmoorbildungsgrenzen	auch tagsüber nur geringe Inversionsteilung
D	Kamm- und Gipfellagen der Stuhl- und Gleinalpe entsprechend der Zone 6	gehört auch hier den ersten Inversionselementen	

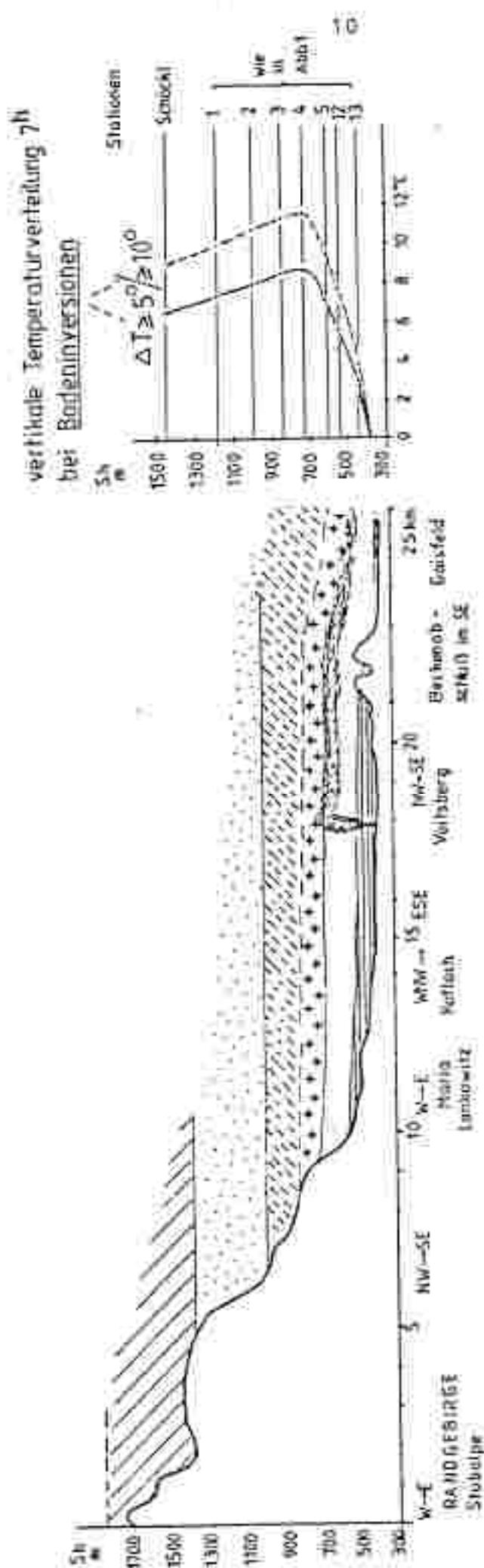


Abb. 3: Erklärung zu Abb. 2: Schematischer Querschnitt durch die Decken-  
atmosphäre mit Gliederung in Zonen (Inversionssabschnitte) wie in Abb. 2  
und entsprechenden Temperaturprofilen von 48 Bodeninversionen mit einer  
Stärke von mindestens  $5^{\circ}$  bzw. 22 Bodeninversionen mit mindestens  $10^{\circ}$  inner-  
halb des Zeitraumes Dez. 1980 – März 1981 (zum 7h-Terminal); die dargestellte  
Abgasfalte des Kraftwerkes Voitsburg der UNK erreicht häufig diese Emissions-  
höhe und drifft dann weiter Richtung Südosten (südl. Grader Feld).

bei Strömungen aus dem Sektor Ost bis Süd gebunden sind (Hochdruckrandlagen bzw. bereits Tiefdruckeinfluß vom Mittelmeerraum).

Dieser Aufbau der auftretenden Bodeninversionen bezieht sich nun zunächst auf den Zeitbereich der späten Nachtstunden und den Morgen. Im Laufe des Tages erfolgt je nach Ausmaß der Sonnen-einstrahlung eine Abschwächung der Inversion (fallweise infolge Aufheizung von unten her Umwandlung in eine freie Inversion) bzw. im Sommerhalbjahr eine Auflösung derselben. Auf Grund der Ergebnisse aus dem Winterhalbjahr 1980/81 für den Zeitbereich 14-15<sup>h</sup> mit der geringsten Stärke der Inversion wurde versucht, analog zu den Bedingungen am Morgen eine Gliederung der Becken-atmosphäre vorzunehmen. Die Beschreibungen hinsichtlich der Immissionsverhältnisse wurden neben Immissionsmeßfahrtdata noch durch Beobachtungsflüge unterstützt (Feststellung von Dunstobergrenzen). Entscheidend ist nun bei der Beurteilung der Immissionsverhältnisse, daß im Gegensatz zum Morgen Strömungen aus dem Sektor Süd bis Ost vorherrschen, die eine Schadstoff-verfrachtung zu den Hängen der Kammausläufer der Glein- und Stubalpe bis in eine Höhe von ca. 800 m Seehöhe (seltener bis ca. 1000 m) zur Folge haben. Nach den Ergebnissen von Immissionsmeßfahrten erweisen sich besonders die Hänge des Knobelberges bei Fiber bzw. Hanglagen in Maria Lankowitz als "Prallhänge". Am Nachmittag erreicht die belastete Luftsicht im Voitsberg-Köflacher-Becken, bedingt durch die südöstlichen bis östlichen Winde, ihre maximale Mächtigkeit (400-500 m); so "taucht" häufig der Bereich Edelschrott noch in diese Schicht ein, wobei allerdings nicht mehr so hohe Konzentrationen erzielt werden wie um die Mittagszeit. Gleichzeitig setzt in den schattigen Hanglagen die Kaltluftproduktion wieder ein; als Folge machen sich Hang-abwinde bemerkbar, die zu einer deutlichen Verringerung der Schadstoffkonzentrationen führen (vor allem in den Tallagen). Die Lagen oberhalb 900-1000 m Seehöhe sind stark begünstigt; diese Gunst drückt sich auch in den Expositionen über den Hochnebeldecken (Obergrenze häufig bei 800-900 m) aus. Beobachtungen an solchen Tagen mit Hochnebel zeigten, daß die Rauchgasfahne eines Kraftwerkes im Voitsberg diese Hochnebeldecke genarell

nicht zu durchstoßen vermug; meist bildet sich ein "Pilz" über der Nebeldecke aus, wobei das abgekühlte Rauchgas zunächst noch bedingt durch den Auftriebsimpuls etwas über die Nebelobergrenze quellend aufsteigt, dann aber wieder in den Nebel eintaucht. Die mehr oder weniger starke Temperaturzunahme unterbindet ein weiteres Aufsteigen. Bei längerer Andauer einer derartigen Hochnebelperiode reichert sich der gesamte Hochnebelkörper stark mit Schadstoffen an. An Rauhreifablagerungen mit oft gräulicher Farbe lässt sich die Bedeutung dieser Hochnebel für die Schadstoffausbreitung ermessen.

## 5.2 Windsysteme

Ein autochthones Tal-Bergwindsystem im Sinne von F.DEFANT 1949 lässt sich nach den Ergebnissen von Windmessstationen (so z.B. am Kamin eines Kraftwerkes in Voitsberg, am Heiligen Berg Nr.10) auch für das Voitsberg-Köflacher-Becken nachweisen. In Abb.4 wurde versucht, mittels eines Schemas Jahres- und Tagesgang des Windes an Tagen mit Hochdruckwetter darzustellen. Der Anteil der Tage mit mehr oder weniger starker Einstrahlung tagsüber und Ausstrahlung nachts schwankt je nach Witterungsverlauf erheblich; im Durchschnitt liegt er nach Ergebnissen in der Südweststeiermark (R.LAZAR 1979) bzw. im Knittelfelder Becken (R.LAZAR 1980) bei 50-60 %. Der Rest entfällt auf "Vorderseiten-" bzw. "Rückseitenwetterlagen" mit starker Bewölkung und mitunter auch kräftigen Winden, beides Faktoren, die lokale Windsysteme nahezu völlig unterbinden. Die geschützte Lage des Voitsberg-Köflacher-beckens südlich des Alpenhauptkamms begünstigt infolge Abschirmung insbesondere gegen westliche Winde die Ausbildung lokaler Winde. Bei nördlichen Komponenten bzw. Winden aus dem Sektor Süd bis West kann es zum Durchgreifen der Strömung bis zur Beckenseite kommen ("Nordföhn" bzw. Fallwinde von der Stubalpe).

Im einzelnen werden nun die Windverhältnisse im Voitsberg-Köflacher-Becken nachts durch talabwärts gerichtete Komponenten (aus dem Sektor W-N), tagsüber durch talaufwärts bzw. zum Randgebirge hin wehende Winde geprägt. Die nächtliche Talabwindströmung (auch als "Bergwind" bezeichnet) als Summe der Maltluft-

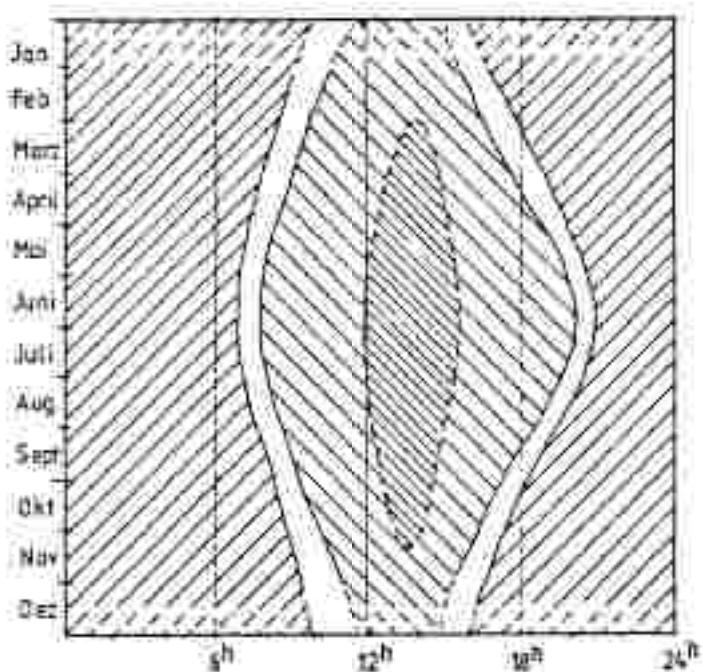


Abb. 4: Autochthones Windsystem im Tages- und Jahresgang im Voitsberg-Köflacher - Becken an Tagen mit Hochdruckwetter; Grundlage: Auswertung von Meßergebnissen der Windmeßstationen Verkehrsturm Kraftwerk Voitsberg (M9) bzw. Rosental (23).

#### Erläuterungen

 vorherrschend Talabwind ("Bergwind") aus dem Sektor West bis Nord (Stärke 0.5 - 2.0m/sec.)

 vorherrschend Talaufwind aus dem Sektor Süd bis Ost (am Vormittag häufig aus Süd bis Südost, am Nachmittag generell aus Südost bis Ost); Stärke 2.0 - 4.0m/sec., im dicht schraffierten Bereich 3.0 - 6.0m/sec. (Zeitbereich mit der stärksten Durchlüftung); im Sommerhalbjahr am Nachmittag infolge Gewitter und Schauer weniger ausgeprägt als am Vormittag.

 häufigster Zeitbereich des Windwochsels bzw. des Minimums im Tagesgang der Windgeschwindigkeit (größte Calmenbereitschaft).

 Ausprägung des Windsystems im Hochwinter infolge geringer Einstrahlung aber auch Hochnebelbildungen schwächer als in den anderen Monaten; Talaufwinde mit stabiler Schichtung verbunden (Inversion bleibt auch tagsüber erhalten).

abflüsse aus den Seitentälern ist an der Beckenschle relativ schwach, nimmt jedoch an Stärke mit der Höhe etwas zu (1-2 m/sec., zeitweise auch darüber). Der tagsüber wehende Talaufwind erfährt noch am Vormittag einen raschen Anstieg der Geschwindigkeit (Maximum meist am frühen Nachmittag). Während des Zeitbereiches des Windwechsels am frühen Vormittag treten mitunter Calmen auf, doch erfolgt der Wechsel relativ rasch (generell binnen einer Stunde). Ebenso rasch vollzieht sich der Wechsel zum Talabwind am Abend, wobei Windscherungen zwischen der bodennahen talabwärts strömenden Kaltluft und der darüber noch anhaltenden Strömung zum Randgebirge keine Seltenheit darstellen. Die Mächtigkeit des Talabwindes wächst jedoch sehr bald auf über 150 m an; in weiterer Folge kommt es zu einem Überströmen der Kaltluft bei Krems (Talenge der Kainach). Darüber dominieren schwache Winde vorwiegend aus West bis Südwest, offensichtlich als Folge des Temperaturanstieges vom Randgebirge zur wärmeren freien Atmosphäre über dem südöstlichen Alpenvorland.

Im Jahresgang ist zu beachten, daß der Talaufwind im Winter schwächer ausgeprägt ist und merklich geringere Windgeschwindigkeiten aufweist als im Sommer. Dies findet auch im Jahresgang der Windgeschwindigkeit seinen Niederschlag (Minimum im Winter mit 0,8-1,3 m/sec., Maximum im Frühjahr und Frühsommer mit 1,5-2,0 m/sec.). Im Winter setzt dafür ab einer Seehöhe von ca. 900 m eine deutliche Zunahme der mittleren Windgeschwindigkeiten ein; in den Kammlagen der Gleinalpe und Stubaier Alpe muß nach den Ergebnissen vom Zirbitzkogel (2396 m), H.WAKONIGG 1978, mit Werten zwischen 5-7 m/sec gerechnet werden.

Im Winterhalbjahr erfährt das autochthone Windsystem eine Modifizierung durch zeitweise bei länger anhaltenden Hochdruckwetterlagen auftretende Becken- und Hochnebelfelder (Verschiebung des Windwechsels bzw. Abschwächung der Windgeschwindigkeit). Im Sommerhalbjahr sind es Schauer bzw. Gewitter, die insbesondere den Talaufwind bevorzugt am Nachmittag abrupt beenden. Weitere Beeinflussungen bei Hochdruckrandlagen (bzw. Tief bzw. Vorder- und Rückseite) ergeben sich durch Fallwinde vom Randgebirge herab.

Insgesamt überwiegen im Voitsberg-Köflacher-Becken bei relativ geringer Calmenhäufigkeit (bezogen auf Meßergebnisse 100 m über Grund) die talabwärts bis zum Vorland gerichteten Windkomponenten aus dem Sektor West bis Nord.

Hinsichtlich der Schichtungsverhältnisse sei bemerkt, daß der Talabwind generell mit stabiler (meist infolge Inversion stark stabiler), der Talaufwind – wenigstens zeitweise, besonders am frühen Nachmittag – mit neutraler bis labiler Schichtung verbunden ist. Eine Ausnahme stellt der Winter dar, da bei Hochdruckwetterlagen die Inversionen auch tagsüber erhalten bleiben und somit die schwachen Talaufwinde mit stabiler Schichtung gekoppelt sind.

## 6. DIE SCHADSTOFFAUSBREITUNG BEI HOCHDRUCKWETTERLAGEN IM WINTER, ERLÄUTERT AN HAND VON BEISPIELEN (MESSFAHRTERGEBNISSE DES BUNDESINSTITUTES FÜR GESENDSCHAFTSWESEN)

### 6.1 Die Ausbreitungsverhältnisse am Morgen (zu Abb.5)

An Hand ausgewählter Beispiele von Messfahrten sollen die typischen Ausbreitungsbedingungen in Abhängigkeit von der jeweiligen Tageszeit beschrieben werden. Das erste Beispiel (Abb. 5) zeigt die Immissionsverteilung am frühen Vormittag. Die Schichtung ist auf Grund der nächtlich gebildeten Inversion noch stark stabil, schwächt sich aber im Laufe des Vormittags etwas ab. Die Strömungsverhältnisse in mehr als 200 m über Grund werden weitgehend noch vom Talabwind (aus West bis Nordwest) bestimmt, in Bodennähe treten nur schwache Winde bis Calmen auf. Das Kraftwerk in Voitsberg beeinflußt mit seiner Abgasfahne das Becken, ja selbst die östliche Beckenumrahmung, zunächst noch nicht. Dank des stabilen vertikalen Auftriebes erreicht die Abgasfahne eine Höhe von 300–400 m über Grund (Emissionshöhe, Quellhöhe) und wird erst dann Richtung Südosten abgetrieben. Wegen der stabilen Schichtung bleibt die Struktur der Fahne relativ kompakt; die Ausbreitung erfolgt über die niedrigen Berggrücken hinweg, wobei die Fahne vom Flugzeug noch weit in das Vorland (Richtung SE bis E) zu verfolgen ist. Die Immissionen, deren Konzentrationen noch während des Meßintervalls rasch ansteigen, gehen nahezu ausschließlich auf niedrige Emittenten

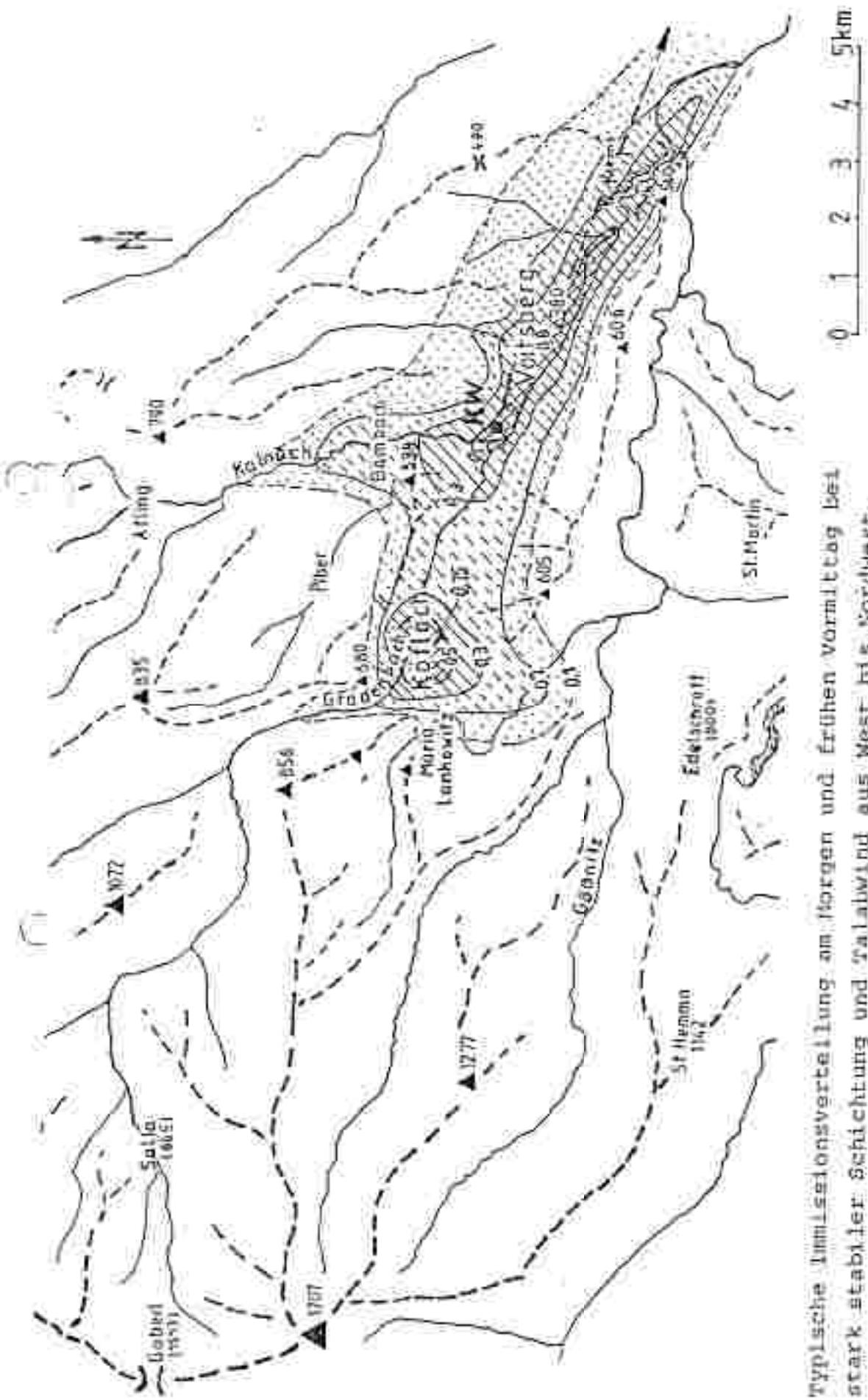


Abb. 5: Typische Immisionsverteilung am Morgen und frühen Vormittag bei stark stabiler Schichtung und Talwind aus West bis Nordwest.  
Die Werte stellen Linien gleicher So-<sup>35</sup>-Konzentrationen am Boden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und sind als Mittelwerte über das Zeitintervall aufzu-  
fassen, wobei bestimmte Strecken und Profile mehrmals befahren  
wurden. Immisionsmessung durch das Bundesinstitut für Gesundheits-  
wesen am 14.1.850 - 10.40 1. W. Strub & G. Sprinzl 1982).

ptilii Ausbreitungsrichtung der Kraftwerkseähne in Voitsberg

("Hausbrand") zurück. In Abb. 5 ist dabei sehr gut die deutliche Abhängigkeit von der Verbauungsdichte erkennbar. Vertikal gesehen betrifft die Immissionsbelastung im wesentlichen die ersten 50 Höhenmeter ("Hausbrandschicht"). Die erfaßten Konzentrationen (Mittelwerte über das Intervall) sind als durchaus typisch für Inversionswetterlagen anzusehen. Aus den relativ hohen Werten in der Talenge von Krems ist zu entnehmen, daß der Kaltluftabfluß mit der belasteten Beckenluft nach Südosten noch anhält.

#### 6.2 Die Verhältnisse zum Zeitpunkt des Windwechsels am Vormittag (zu Abb. 6)

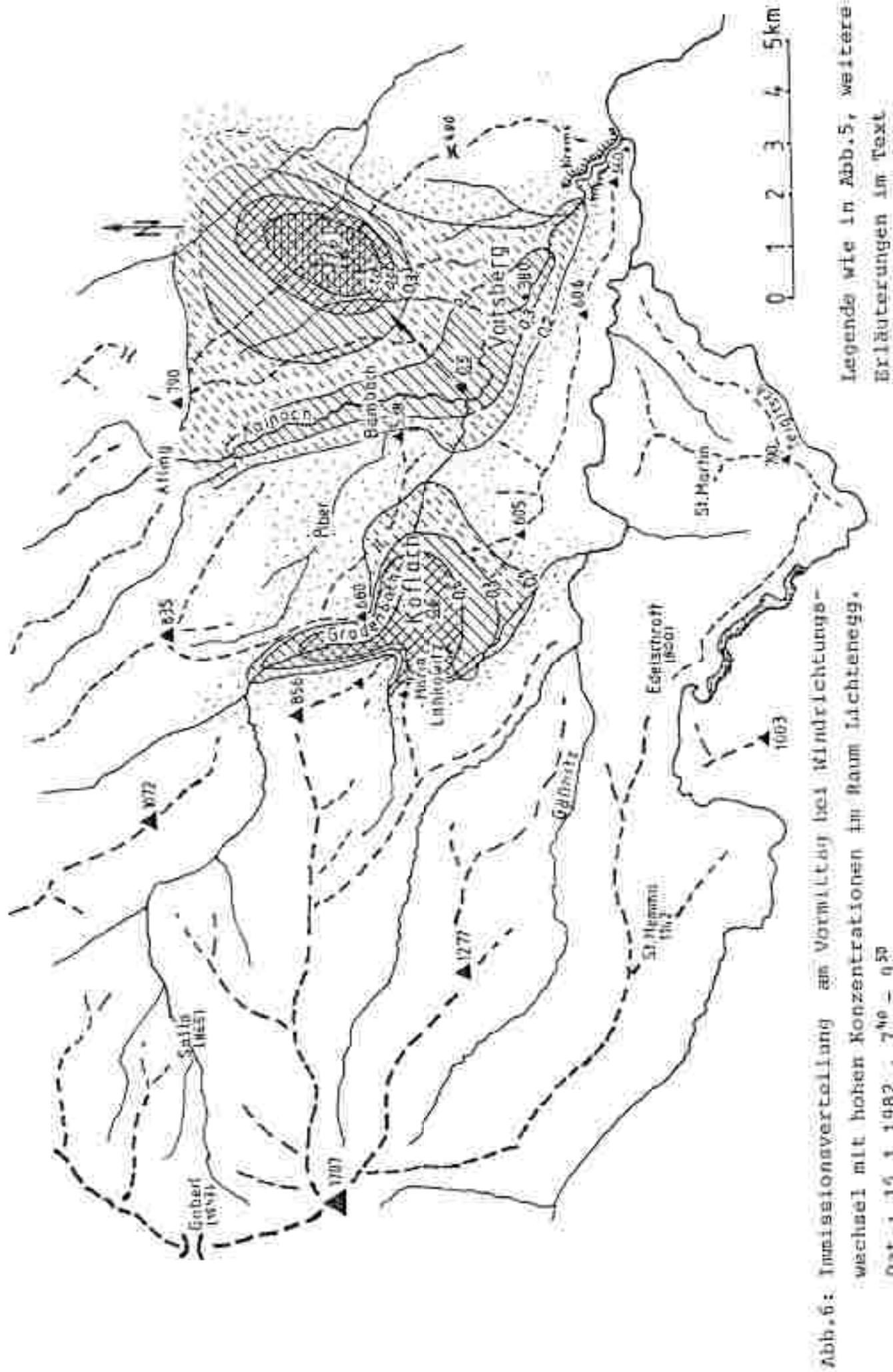
An einem anderen Meßtag wurde im selben Zeitintervall wie in Abb. 5 bereits der Windwechsel erfaßt; dies zeigt zunächst, daß hinsichtlich des Zeitpunktes des Windwechsels mit einer zeitlichen Spannweite (Streuung) von 1-2 Stunden gerechnet werden muß.

Auf die Immissionsverhältnisse an der Beckensohle hat dies kaum Einfluß, sie decken sich weitgehend mit den in Abb. 5 beschriebenen. Hingegen werden nun erstmals die Berggrücken im Osten und Nordosten beaufschlagt. Im Raum Lichtenegg östlich von Bärnbach erreichen die Konzentrationen Werte bis 1,6 mg SO<sub>2</sub> je m<sup>3</sup>. Die Quellhöhe der Kraftwerksfahne genügt diesmal nicht, die Hindernisse zu überströmen; vielmehr berührt der Ausbreitungskegel die Kammlagen.

#### 6.3 Ausbreitungsverhältnisse am späten Vormittag bzw. zu Mittag (zu Abb. 7)

Mit zunehmender Sonneneinstrahlung erfolgt nun im weiteren Verlauf eine Abschwächung der Inversion, besonders in den untersten 200-300 Höhenmetern. Allgemein herrschen schwache südöstliche Winde, die jetzt eine Ausbreitung der Kraftwerksfahne in den Raum Piber-Afling bewirken. Die Hänge um den Knobelberg bei Piber werden dabei am stärksten von der Beaufschlagung erfaßt. Die Konzentrationen schwanken im Mittel zwischen 1,2 und 1,5 mg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

1:8



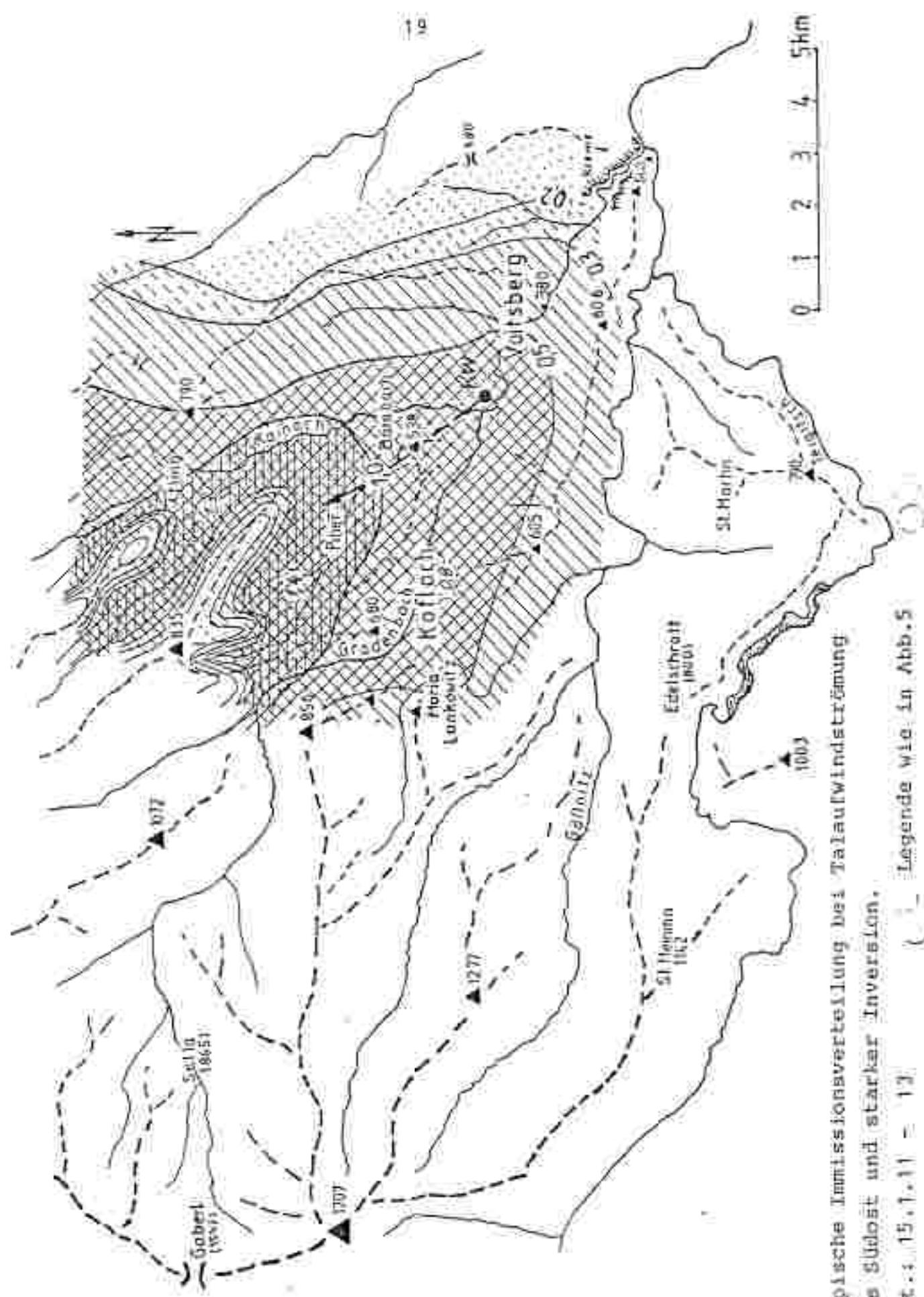
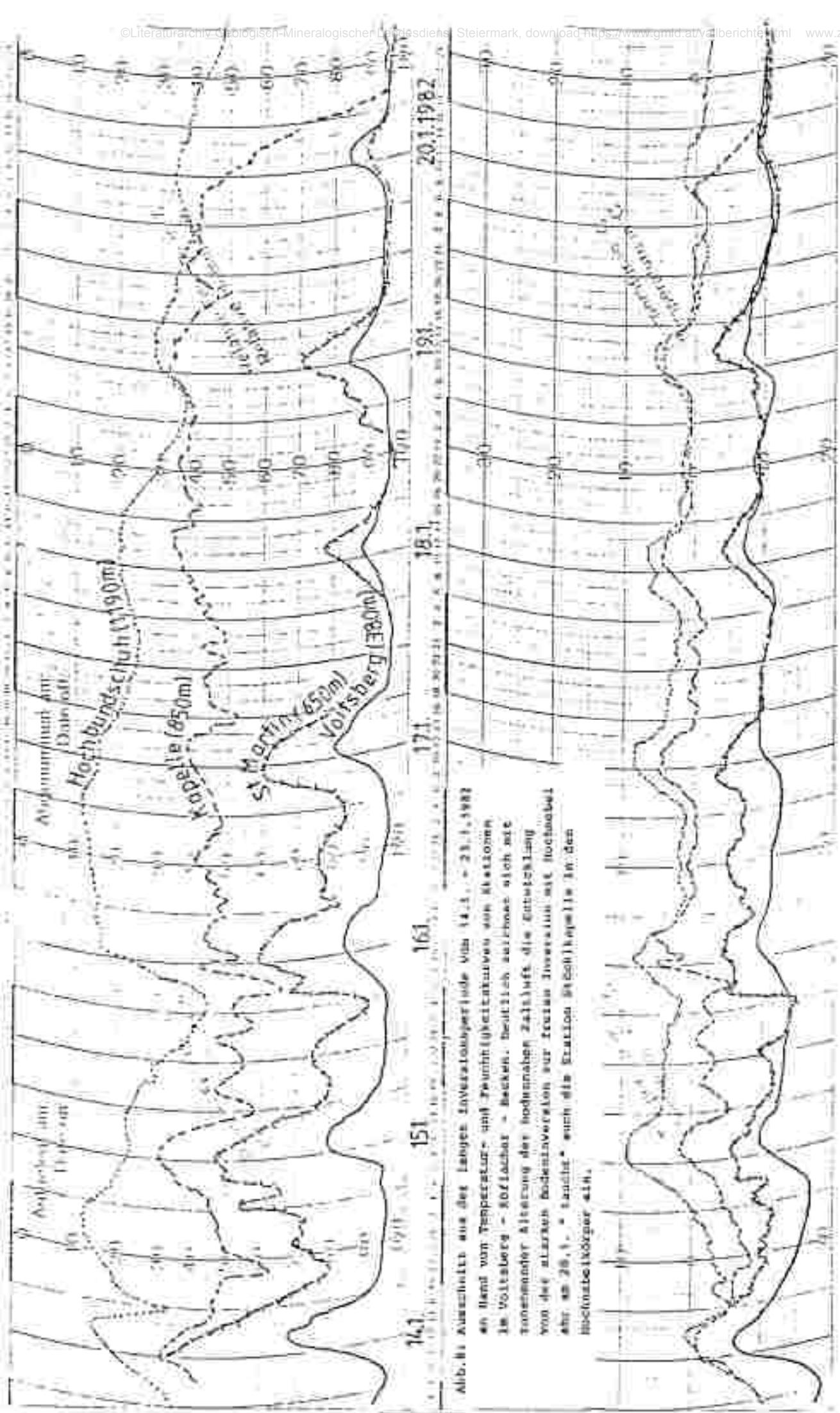


Abb. 7: Typische Immissionsverteilung bei Talauftwindströmung aus Südost und starker Inversion,

Dat.: 15.1.11 = 13

Legende wie in Abb. 5



in Über Grund

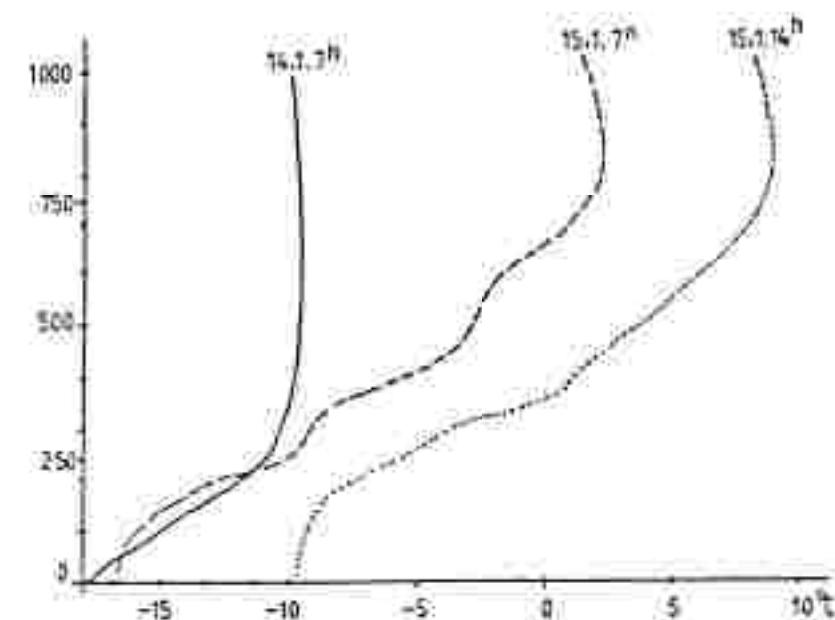
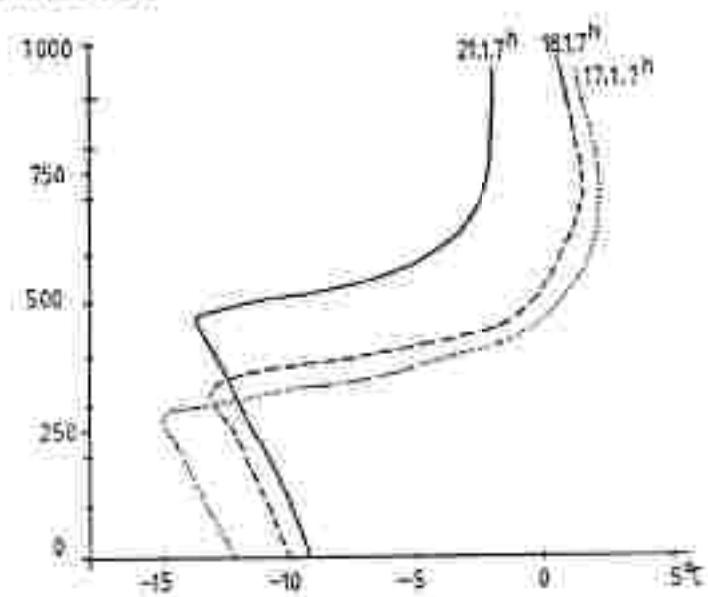


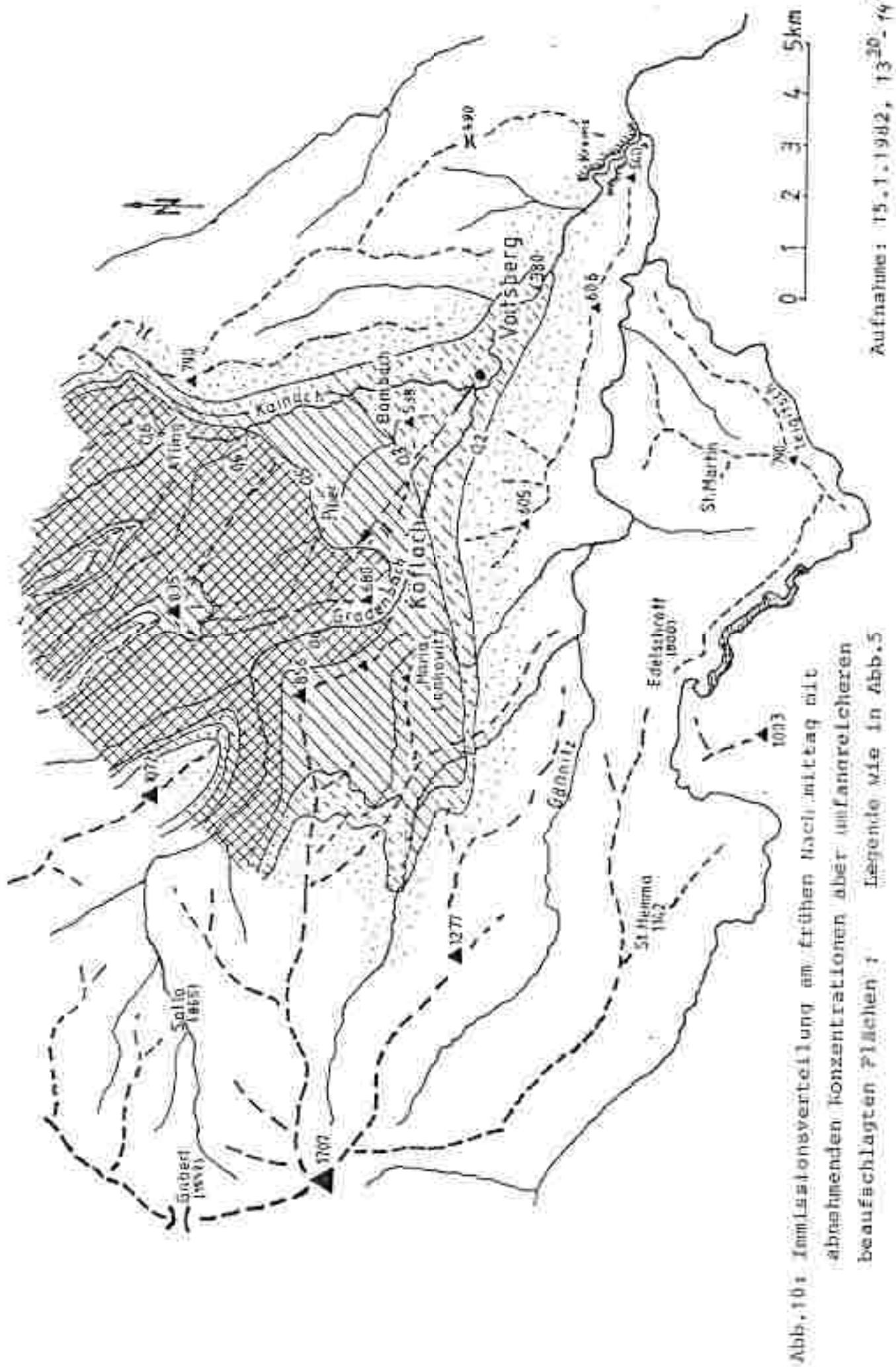
Abbildung 9: Ausgewählte Vertikalprofile der Temperatur aus der Inversionsperiode vom 14.1. - 23.1.1982. Zu beachten sind die starken Inversionen am 15.1., hervorgerufen durch Absinkbewegungen im Hoch (geringe relative Feuchte an den Höhenstationen, 10 - 20% in Abb 8) bzw. durch Zufuhr warmer Mittelmeerluft. In weiterer Folge bildet sich in der bodennahen gealterten Kaltluft Hochnebel, die am 21.1.1982 eine Obergrenze um 1000m Seehöhe erreichen.

Oberhalb einer Seehöhe von ca. 800 m gehen die Werte rasch zurück; die stark stabile Schichtung unterbindet eine weitere Ausbreitung nach oben. Von den Tallagen schneidet Köflach ungünstiger ab als Voitsberg, da sich Hausbrand- und Kraftwerks-einfluss überlagern. In Voitsberg selbst hat die von Südosten einfließende, wenig belastete Luft zu einer Absehung der Konzentrationen geführt.

Wie das Beispiel vom 15.Jänner 1982 (Abb.9) zeigt, kann durch freies Absinken bzw. advektive Vorgänge die Inversion auch tagsüber in derselben Stärke erhalten bleiben wie am Morgen. Zum besseren Verständnis seien Profile bzw. Thermographenaufzeichnungen beigefügt, um den Verlauf innerhalb einer typischen Inversionswetterlage zu beschreiben (Abb.8). Nach einer klaren Nacht vom 13. zum 14.Jänner erfährt die Bodeninversion in der Nacht zum 15. infolge freien Absinkens bzw. Warmluftzufluhr aus südlichen Richtungen eine wesentliche Verstärkung. Das Ausmaß der Inversion beträgt am 15.1. gegen 7<sup>h</sup> etwa 18 °, mittags 20 ° und zählt damit zu den kräftigsten während der bisherigen Messungen seit dem Winter 1980/81 beobachteten Inversionen. Abschnittsweise, vor allem jedoch am Ende der Inversionswetterlage, wird das Erscheinungsbild durch freie Inversionen verbunden mit Hochnebeldecken geprägt. So "taucht" die Station "Kapelle" (850 m) am 20.1. in den immer mächtiger werdenden Hochnebel ein. Die Obergrenze dieses Hochnebels ist am 21.1. um 7<sup>h</sup> (Abb.9) bei ca. 900 m Seehöhe anzusetzen; an den Tagen zuvor liegt sie deutlich tiefer und verhindert den vertikalen Luftaustausch im Becken bereits in ca. 700-750 m Seehöhe.

#### 6.4 Ausbreitungsverhältnisse am frühen Nachmittag (zu Abb.10)

Die Inversion hat sich etwas abgeschwächt, bleibt jedoch nach wie vor erhalten. Für die Verdünnung der Schadstoffe steht gegenüber der vorangegangenen Situation ein etwas größeres Volumen zur Verfügung. Bedingt durch die Abschwächung der Inversion erreicht die Abgasfahne eine größere Quellhöhe; ferner führen auch die anhaltend schwachen südöstlichen Winde zu einer Ausdehnung der belasteten Luftsicht. So werden Höhenbereiche bis ca. 900 m



Seehöhe in diese Schicht einbezogen. Gleichzeitig nehmen aber auch die Konzentrationen ab ( $0,4\text{--}0,6 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ ). Im Gegensatz zum Vormittag registrieren die Tallagen bei weitem nicht so hohe Werte (zwischen  $0,2$  und  $0,3 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ ).

#### 6.5 Ausbreitungsverhältnisse am späten Nachmittag (zu Abb. 7)

Zu dieser Zeit besteht ein erhöhter Trend zur Drehung der Tal- aufwindströmung auf östliche Richtung. Als Folge stellt sich eine Verlagerung des Immissionsschwerpunktes in Richtung Edelschrott ein. Die Konzentrationen überschreiten verbreitet noch  $0,5 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$  (Maximum in Edelschrott mit  $0,9 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ ). Hinsichtlich der vertikalen Struktur der beaufschlagten Fläche lässt sich gegenüber der vorangegangenen Verteilung eine Abnahme in den tiefenaren Bereichen bzw. eine Konzentrierung auf die mittleren Hanglagen zwischen 650 und 900 m Seehöhe feststellen. Oberhalb einer Seehöhe von 900 m - etwa sich deckend mit der  $0,3 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ -Isolinie - wird die Belastung rasch geringer. Östlich von Köflach sind inzwischen die Konzentrationen auf Werte unter  $0,2 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$  zurückgegangen.

#### 6.6 Die Ausbreitungsverhältnisse am Abend bzw. in der Nacht

Schon vor Sonnenuntergang setzen an den schattigen Osthängen die Kaltluftabflüsse ein; etwas später stellen sich im Becken mit dem Kainachtalabwind Ausbreitungsbedingungen ein, die jenen der Abb. 5 am Morgen sehr ähnlich sind. Die in das Becken einströmende Kaltluft ist relativ sauber und führt zu einer wesentlichen Verbesserung der Luftgüte auch im Raum Köflach. Die Kraftwerkssonne driftet über die Beckenumrahmung im Südosten hinweg (Richtung südliches Grazer Feld).

Aus den beschriebenen Ausbreitungsverhältnissen ergibt sich auch ein autochthones Tagesgang der  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen, wie er beispielsweise in Voitsberg (Station der Steiermärkischen Landesregierung) für die Inversionswetterlage vom 14. bis 23.1. registriert wurde.

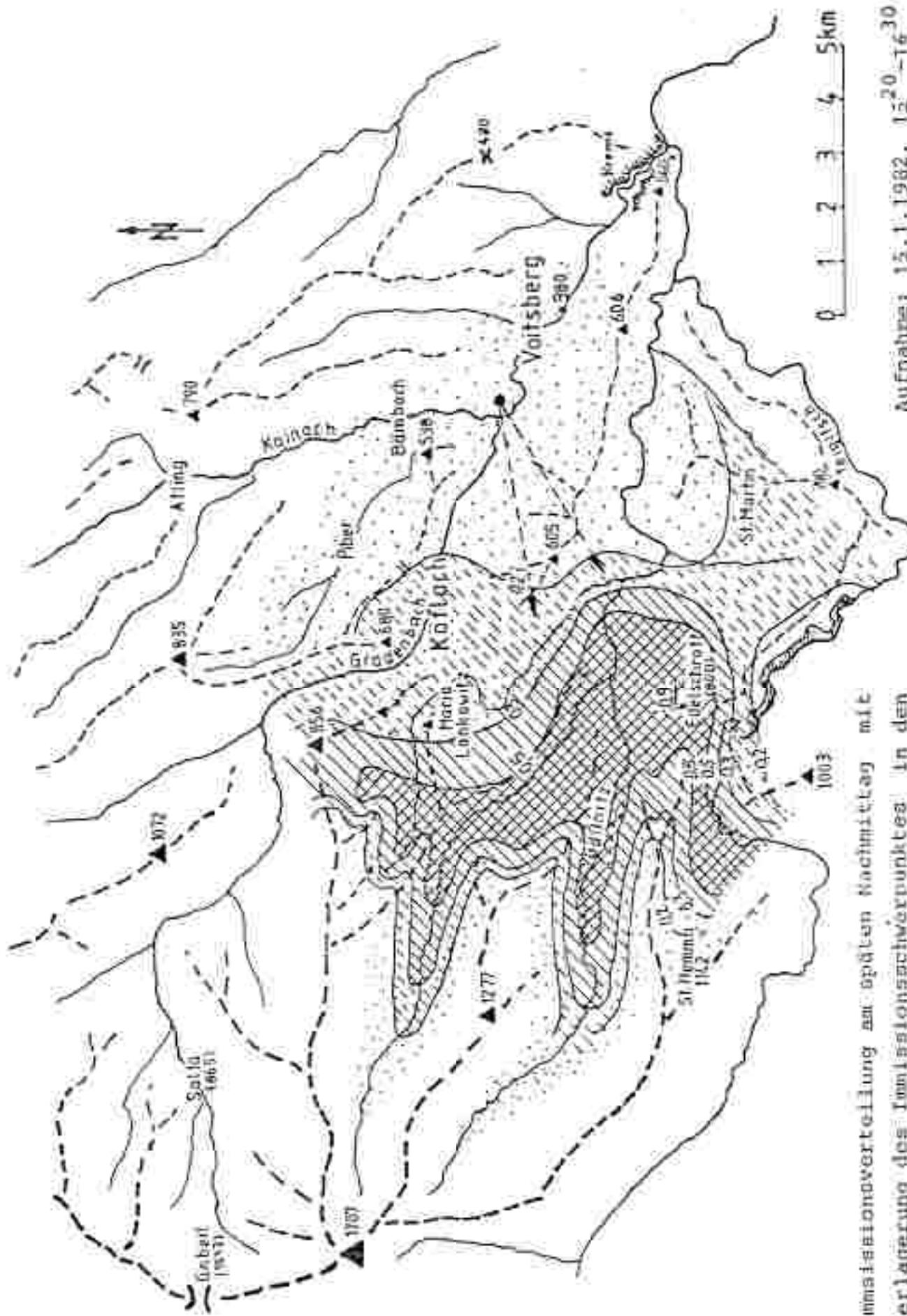


Abbildung 1: Missionseinteilung am späten Nachmittag mit Verlagerung des Missionsschwerpunktes in den Raum Eibischrott/Glymnitz.

In Abb. 12 ist der interessanteste Abschnitt vom 15. bis zum 20.1. dargestellt; bemerkenswert sind dabei die extremen Maxima mit einer stetigen Zunahme bis zum 19.1. ( $2,08 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ ). Zeitlich eng begrenzt fallen diese Maxima auf den späten Vormittag. Vermutlich infolge Verzögerung des Einsetzens des Talauwindes (als Folge von Tal- bzw. Hochnebel und damit behinderter Sonneneinstrahlung) kam es im Stadtbereich von Voitsberg zu einer längeren Calmaphase mit verstärkter Anreicherung der Luft mit Schadstoffen. Diese Spitzenwerte sind überwiegend auf den Einfluß des Hausbrandes (Verwendung von Begutatkohle) zurückzuführen. Schon knapp außerhalb von Voitsberg, an der Station Kowald (ca. 1,2 km südlich der Station Voitsberg), erreichen die Maxima "nur" Werte um  $0,7 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ . Die abrupte Abreakung des Maximums in Voitsberg am 20.1. gegenüber dem Vortag dürfte wohl durch die Bildung eines Hochnebels vom Vorland (aus Südosten in das Becken eindringend) bedingt sein.

Mit den erläuterten Meßfahrtergebnissen sind somit die Ausbreitungsbedingungen nicht an extremen Tagen, jedoch vom Ablauf her betrachtet (Auf- und Abbau der Inversion, Windverhältnisse) an durchaus typischen Tagen erfaßt worden. Zusammenfassend schneidet von den Hanglagen der Bereiche Maria Lankowitz-Köflach-Piber-Bärnbach (bis in eine Seehöhe von ca. 800 m) hinsichtlich der Schadstoffbelastung am ungünstigsten ab; es folgen die Abschnitte von Maria Lankowitz bis in den Raum Edelschrott und mit deutlichem Abstand St. Martin a.W.. Von den Tallagen sind insbesondere Köflach und Voitsberg, etwas weniger Bärnbach, betroffen, wobei hier ein eindeutiger Zusammenhang mit der Verbauung und dem daraus resultierenden Hausbrand gegeben ist. In Köflach und Piber kommt es außerdem - vor allem um die Mittagszeit - zur Überlagerung mit der Kraftwerksabgasfahne.

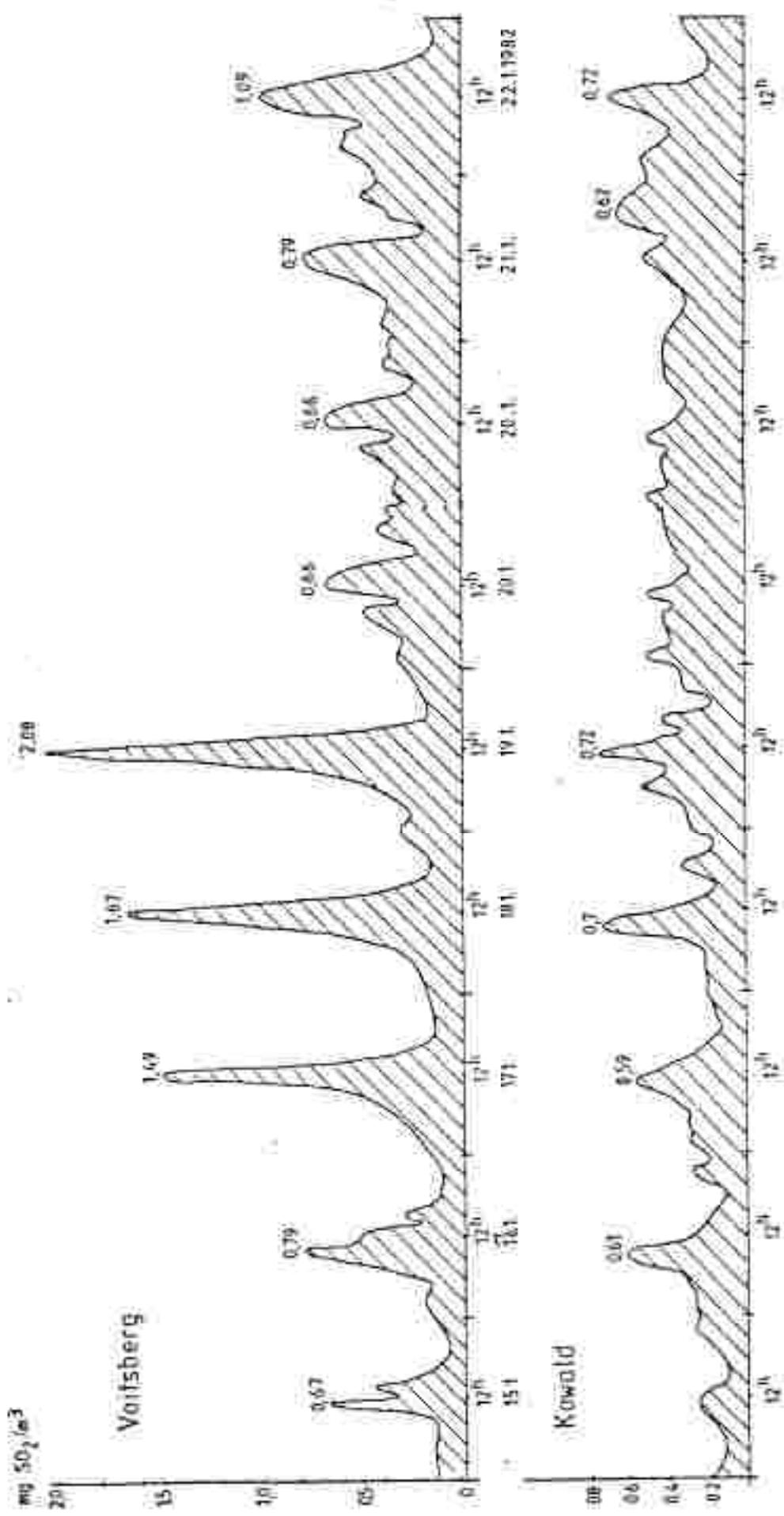


Abb. 12:  $\text{SO}_2$ -Wagerechtung an den Stationen Voitsberg/Bad im Zentrum der Stadt und Kowald außerhalb derselben; zu beachten sind die ausgesetzten Amplituden mit den von Tag zu Tag höheren Maxima (Mittelstundenwerte) am späten Vormittag während der Inversionswetterlage von 14.1. bis 23.1.1982; bemerkenswert sind former die auffälligeren Verhältnisse bei höheren täglichen Werten während der Hochnebelperiode (Obergrenze bei 050–1000 m) vom 20. – 23.1.1982.

## 7. MEDIZINISCHE ASPEKTE DER UNGÜNSTIGEN LUFTHYGIENISCHEN BEDINGUNGEN IM KÖFLACH-VOITSBERGER-BECKEN

Auf Grund einer Studie des Landeshygienikers für Steiermark über den Zusammenhang zwischen Luftgüte und Krebskrankungen (bzw. Krebstoten), insbesondere des Respirationstraktes, kommt die Ungunst des Voitsberg-Köflacher-Beckens auch in einem erhöhten Krebsrisiko klar zum Ausdruck (J.R. MÖSE 1983). In Abb.13 wurde in einem Vergleich Ballungs- und Industriegebiete der Steiermark dem Raum Bad Aussee gegenübergestellt; für dieses Gebiet mit deutlich besseren lufthygienischen Bedingungen als in den anderen Regionen werden weniger Krebstote (bezogen auf 100 000 Einwohner) ausgewiesen. Im Zuge eines lufthygienischen Sanierungskonzeptes müßte vor allem danach getrachtet werden, die Emissionen für die Beheizung von Räumen mit niedriger Emissionshöhe zu reduzieren.

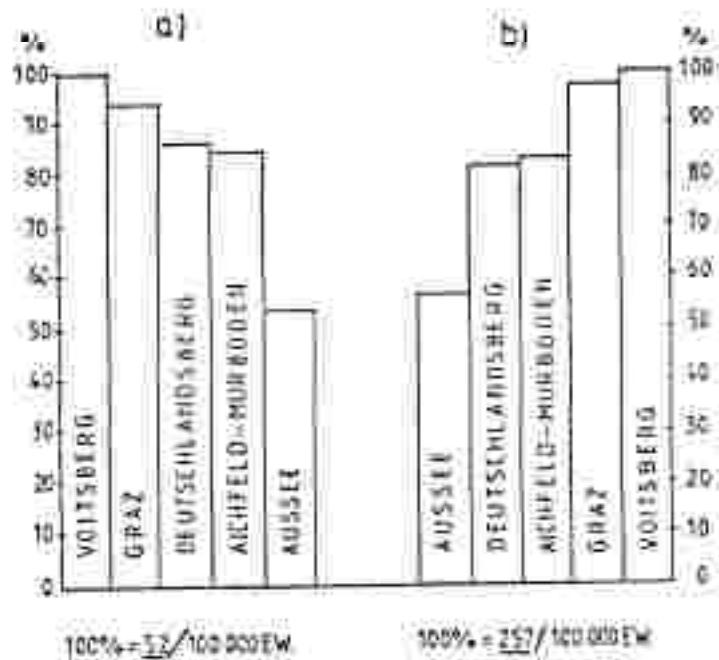


Abb.13: Anzahl der Krebstoten in 3 steirischen Regionen bezogen auf 100 000 Einwohner (a für den Atemtrakt, b für die Krebstoten insgesamt) nach J.R. Möse 1983.

## 8. Literatur

- Defant, F. 1949: Zur Theorie der Hangwinde, nebst Bemerkungen zur Theorie der Berg- und Talwinde. Arch. Met. Geophys. Biokl. (A), 421-450.
- Koch, G. 1961: Die warme Hangzone. Z. Meteor. 15, 151-171.
- Lazar, R. 1979: Kleinklimatische Beobachtungen der Temperatur und der Talsebel mit besonderer Berücksichtigung des Temperaturminimums und der Spät- und Frühfröste in der Südweststeiermark. - Arb. Inst. f. Geographia, Univ. Graz, H.22, 30 S.
- 1980: Lokalklimatische Studie in der Region Aichfeld-Murboden. Graz, 205 S.
- J.R.Höse, K.Pfeiffer,  
J.Eder, R.Lazar 1983: Untersuchung über die Krebssterblichkeit in kleineren Regionen der Steiermark mit unterschiedlichen Strukturen und lufthygienischen Gegebenheiten. Zentralblatt für Bakt., Mikrobiol. und Hygiene, I.Abt. (Originalie B, Krankenhaus- und Arbeitshygiene, Präventivmedizin), im Druck.
- Schnophagen, S. 1980: Großräumige Erhebung von Immissionszonen mit Infrarotfilm in der Steiermark. Mitt. d. forstl. Bundesversuchsanstalt. H. 111, 33-40.
- Struwe, W. u. Sprinzl  
1982 : Messungen der SO<sub>2</sub>-Verteilungen im Raum Käflach-Völtsberg. Wien, 104 S.
- Wakoniigg, H. 1978 : Witterung und Klima in der Steiermark. Graz, 473 S.

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Literaturarchiv Geologisch-Mineralogischer Landesdienst Steiermark](#)

Jahr/Year: 1984

Band/Volume: [64](#)

Autor(en)/Author(s): Lazar Reinhold

Artikel/Article: [Zur Schadstoffausbreitung im Voitsberg-Köflacher-Becken aus geländeklimatischer Sicht 1-28](#)