

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

mit 13 Abbildungen im Text

R. LAZAR

Graz, im April 1984

## I n h a l t

	Seite
1. Einleitung	1
2. Lage des Untersuchungsgebietes	1
3. Allgemeine klimatische Bedingungen	4
4. Meßmethodik	4
5.1. Ergebnisse des Sondernetzes	
5.1. 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 Nachm.	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  $\text{SO}_2$ -Messstationen zu den in der Steiermark am stärksten belasteten Gebieten; es stellt somit lufthygienisch ein Sanierungsgebiet dar, in dem durch geeignete Maßnahmen ( $\text{SO}_2$ -Reduktion durch Kalkadditivverfahren bzw. Rauchgaswäsche, Verminderung der Emissionen aus dem Hausbrand (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  $\text{SO}_2$  mit Aufnahme über die Stomata der Fichtennadeln) unterschiedliche Schäden auf, die erstmals im Zuge einer Befliegung mit Infrarotaufnahmen (S. SCHNOPFHAGEN 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-

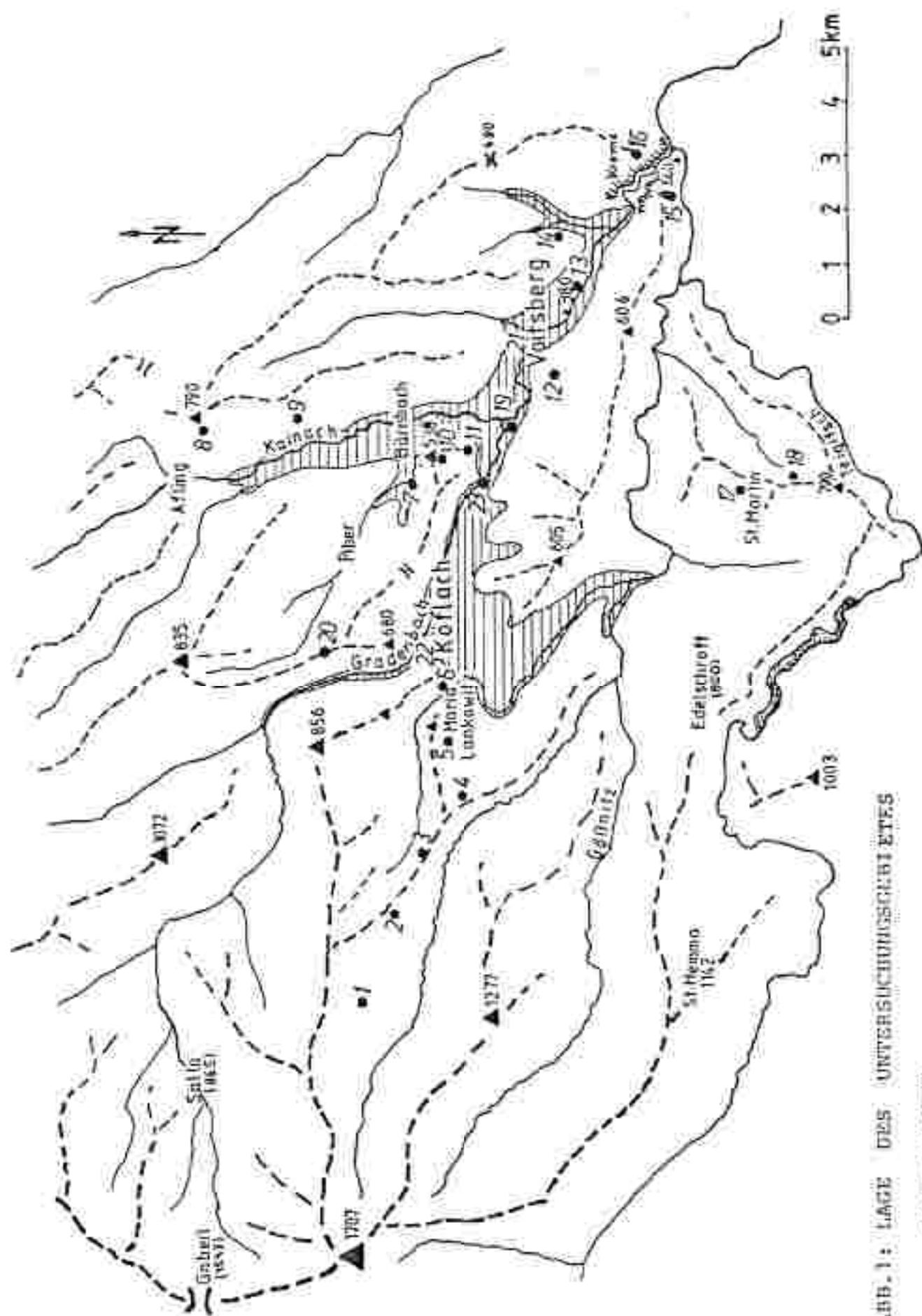


ABB. 1: LAGE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES

STATIONSHETZ

## LEGENDE zur Abb. 1

## Stationsnetz (Überwiegend 1980-1983)

Nr.	Station (Lage)	Seehöhe m	Messung der Elemente
1	Hochbunds Schuh (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	Piebar (Talsohle)	430	T, RF
8	Hochregist (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 (Talsohle)	330	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)	580 500	T, RF, W
20	Schächner/Köflach	680	SO <sub>2</sub>
21	Voitsberg/Bed	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

 Bereich der Beckensohle

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

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 Umräumung etwa 150-250 m betragen. Die durchschnittliche Talsohlenbreite schwankt zwischen 700 und 2000 m (Köflacher Gebiet).

### 3. ALLGEMEINE KLIMATISCHE BEDINGUNGEN

Die Lage südöstlich 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 Gipfel-lagen, 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 über Differenzen zu den Stationsdaten, erbrachten Fesselballonsondaufstiege, die gemeinsam mit dem Bundesinstitut für Gesundheitswesen durchgeführt wurden. Mittels Korrelationspektrometer und Flammenphotometer, montiert in zwei Meßfahrzeugen, erfaßten Mitarbeiter dieses Instituts die aktuelle  $SO_2$ -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. Photographische Aufnahmen betrafen 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 seichte 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 Bergrücken 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-Röflacher-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: Kametberg, 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 Übergangszone 2 (Temperaturzunahme nachlassend), der "warmen Hangzone" im Sinne von G. KOCH 1961, der anschließenden "Isothermiezone" 4 (relativ oft Isothermie bzw. nur geringe Temperaturzu- oder -abnahme), 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

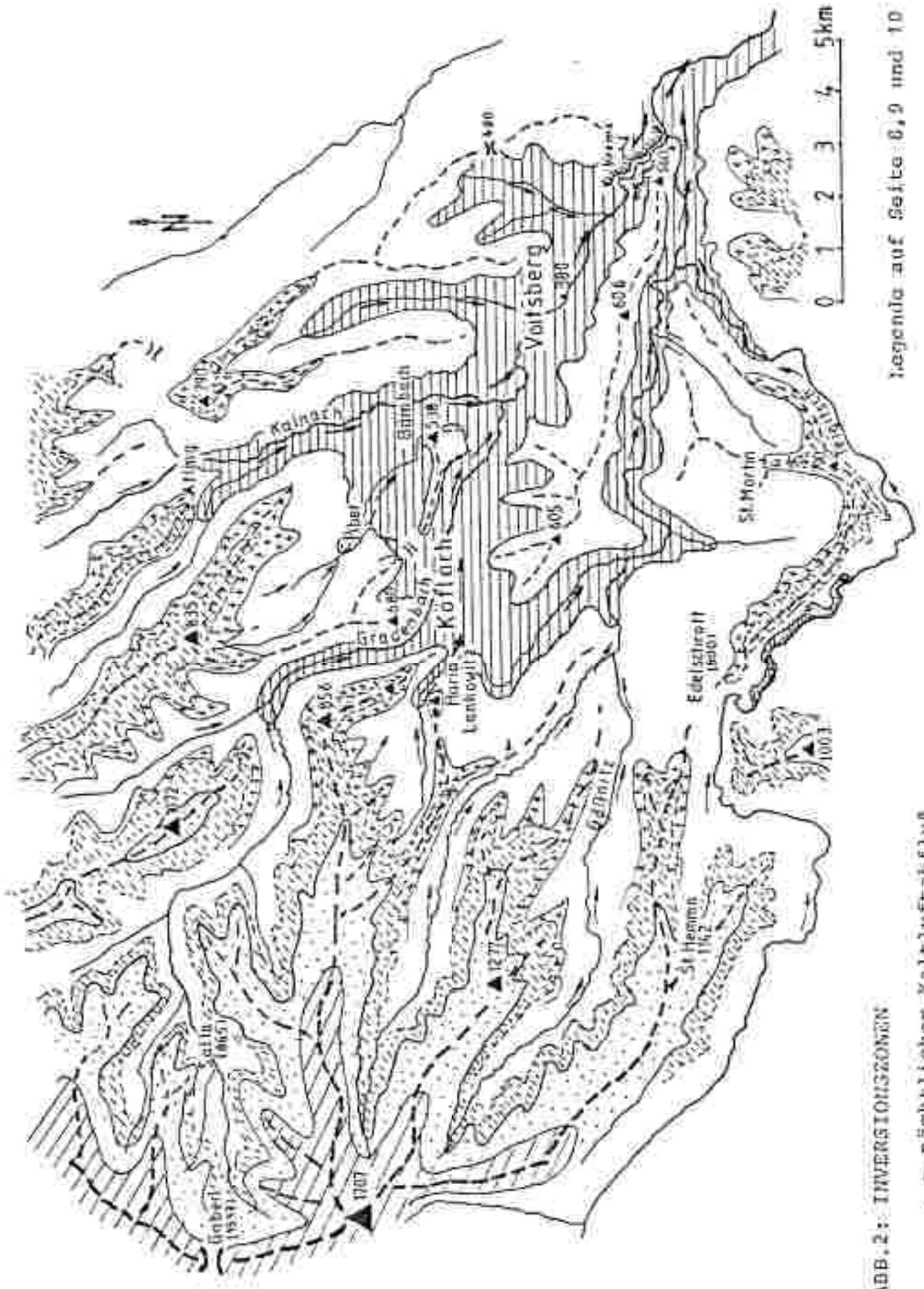


ABB. 2: INVERSIONSZONEN

—> nächtlicher Kaltluftabfluß

Legenda auf Seite 6, 9 und 10

LEGENDE zur Abb. 2 mit Beschreibung der einzelnen Zonen für den Zeitbereich Nacht-Vormittag mit vorherrschend talabwärts gerichteten Winden

Zone Nr.	Vorkommen	Eigenschaften	Inmissionsverhältnisse
1	Tal- bzw. Beckensohle und dazugehörige Unterhanglagen bis ca. 500m Seeshöhe entsprechende Stationen: 5, 7, 11, 12, 13, 14, 16, d, e, b	starke Temperaturzunahme, besonders in Nächten mit Schneedecke; Bereich der Beckenvaltluft, mitunter mit Talnebel verbunden	nachts relativ geringe Belastung, dann sehr starker Anstieg der Konzentrationen mit Maximum meist am Vormittag, stark von niedrigen Schichtungen beeinflusst ("Hausbrand")
2	niedrige berg- und küstentrocken im Südsosten, überwiegend hanglagen im Westen und Norden bis ca. 700m Seeshöhe; entsprechende Stat.: 5, 10, 9, 17, 15	Übergangszone mit weiserem deutlichem Temperaturanstieg; nach klaren Nächten um 5-6° wärmer als die Beckensohle, meist stärker als Zone 1	wesentlich geringere Konzentrationen als in Zone 1 - außerhalb bzw. oberhalb der sogenannten "Hausbrandschicht", einer mit Substraten aus Wärmehalten von Säuren stark verunreinigten Luftschicht
3	freie Sporn- und Hanglagen im Westen und Norden des Beckens bis ca. 900m Seeshöhe Stationen: 4, H	"Warme Hangzone", besonders im Sommerhalbjahr am häufigsten der Bereich mit den höchsten nächtlichen Temperaturen	fehlende oder nur sehr geringe Belastung
4	Kamm- und Hanglagen in 800- 1000m Seeshöhe Stationen: 2, 3, viel in der Süweststeinsmark	Abschnitt mit häufiger Isothermie bzw. nur geringer Abnahme der Temperatur mit der Höhe vor allem im Sommerhalbjahr bereits oft inversionsfrei; bei niedrigen freien Inversionen meist an der Untergrenze (bzw. knapp oberhalb der Nachtschmelz)	wie Zone 3
5	hohe Hang- und Kammstufen in 1000 - 1400m Stationen: 1, Krautwasch, Pilschknopf	bereits überwiegend oberhalb der Bodninversionen, nur im Winterhalbjahr fallweise noch innerhalb mächtigerer Bodninversionen bzw. freier Inversionen im Winter nebelärmste Zone	wie Zone 3
6	Kamm- und Gipfllagen der Stub- und Gletschalpe Seehöhe über 1400m Schöckl (1422m) als Basisstation	praktisch inversionsfrei, sieht man von vereinzelt auftretenden mächtigen freien Inversionen ab	wie Zone 3

LEGENDE zur Abb. 2 mit Beschreibung der einzelnen Zonen für den Zeitbereich  
 später Vormittag - Nachmittag mit vorherrschend tal- und hangaufwärts gerichteten Winden

Zone	Vorkommen	Eigenschaften	Immissionsverhältnisse
A	Tälchen und Unterhänge bis ca 700m Seehöhe entsprechend den Zonen 3 und 4 1 und 2	Im Hochwinter hohe Bereitschaft zu ganztägig anhaltender Inversion meist um 2-5° kälter als die wärmste Zone; in Einzelfällen aber auch wesentlich stärkere Inversionen	vor allem die Hanglagen von Edelschrott im Südwesten des Beckens über Maria - Lankowitz - Köflach bis Bärnbach/Ailing im Nordosten vorherrschend durch Kraft- verkehr einfließ belastet; Immissions - maxima zunächst im Abschnitt Köflach - Piber - Bärnbach, am Nachmittag Verla- gerung nach Westen; insbesondere am Vor- mittag im Abschnitt Köflach - Bärnbach Oberlagerung des Kraftwerkeinflusses mit dem Hangwind
B	mittlere Hang- und Kammlagenstufe 700 - 1000m Seehöhe, entsprechend den Zonen 3 und 4	Häufig wärmste Zone tagsüber bei Inversionswetterlagen im Winter, sieht man von einigen wenigen mächtigeren Bodeninversionen ab; bei freien Inversionen wenigstens teilweise noch innerhalb des Hoch- nebels	infolge schwacher Hangaufwinde, vor allem an südexponierten Längen, Verla- gerung der Immissionen auch in höhere Hangabschnitte, bis ca 900m Seehöhe noch relativ hohe Immissionskonzentra- tionen möglich (z.B. Edelschrott).
C	hohe Hang- und Kammlagenstufe 1000 - 1400m Seehöhe entsprechend der Zone 5	schon häufig oberhalb der sich nicht auflösenden Bodeninversionen (HW) der in freie Inversionen umgewandelten Bodininversionen; ferner generell oberhalb der Hochnebelobergrenzen	auch tagsüber nur geringe Immissionsbe- lastung
D	Kamm- und Gipfllagen der Stub- und Gletschalpe entsprechend der Zone 6	generell auch über den freien Inver- sionsnebel	keine Belastung

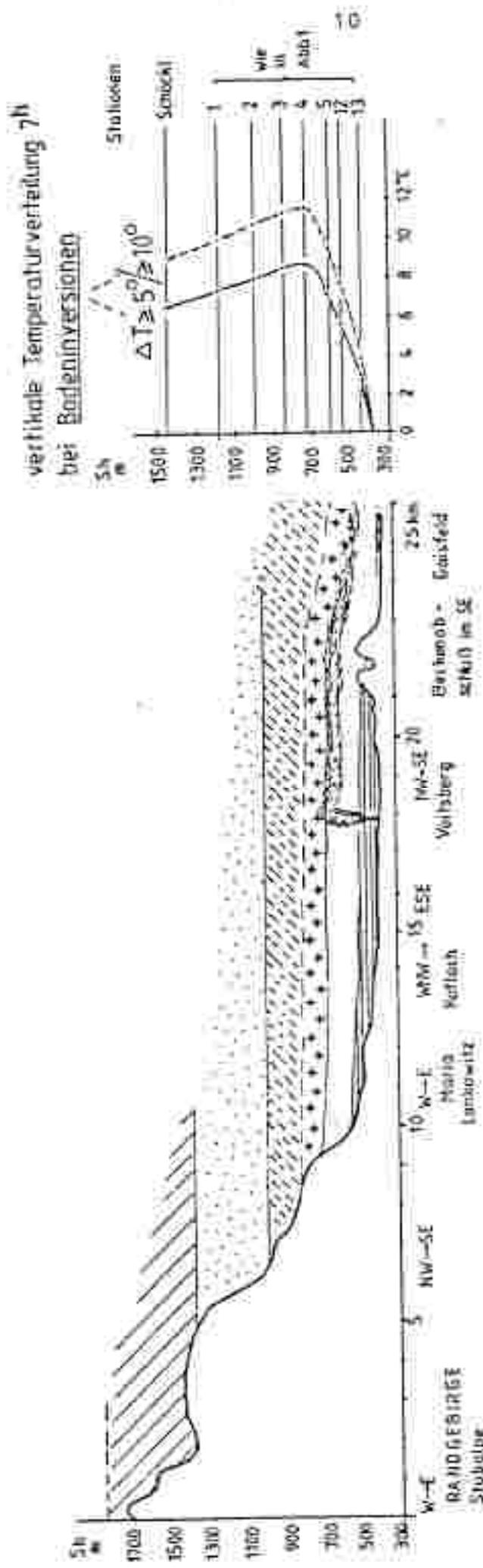


Abb. 3 (als Ergänzung zu Abb. 2) : Schematischer Querschnitt durch die Becken -  
 atmosphäre mit Gliederung in Zonen (Inversionsabschnitte) wie in Abb. 2  
 und entsprechenden Temperaturprofilen von 48 Bodeninversionen mit einer  
 Stärke von mindestens  $5^\circ$  bzw. 22 Bodeninversionen mit mindestens  $10^\circ$  inner-  
 halb des Zeitraumes Dez. 1980 - März 1981 (zum 7<sup>h</sup>- Termin); die dargestellte  
 Abgesenke des Kraftwerkes Volfsberg der ÜBX erreicht häufig diese Emissions-  
 höhe und driftet 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 Sonneneinstrahlung 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 Beckenatmosphäre vorzunehmen. Die Beschreibungen hinsichtlich der Immissionsverhältnisse wurden neben Immissionsmeßfahrtdaten noch durch Beobachtungsfüge 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 Schadstoffverfrachtung 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 Luftschicht 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 Hangabwinde 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 in Voitsberg diese Hochnebeldecke generell

nicht zu durchstoßen vermag; 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 Raureifablagerungen 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 Alpenhauptkammes 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 Beckenschle 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 Kaltluft-

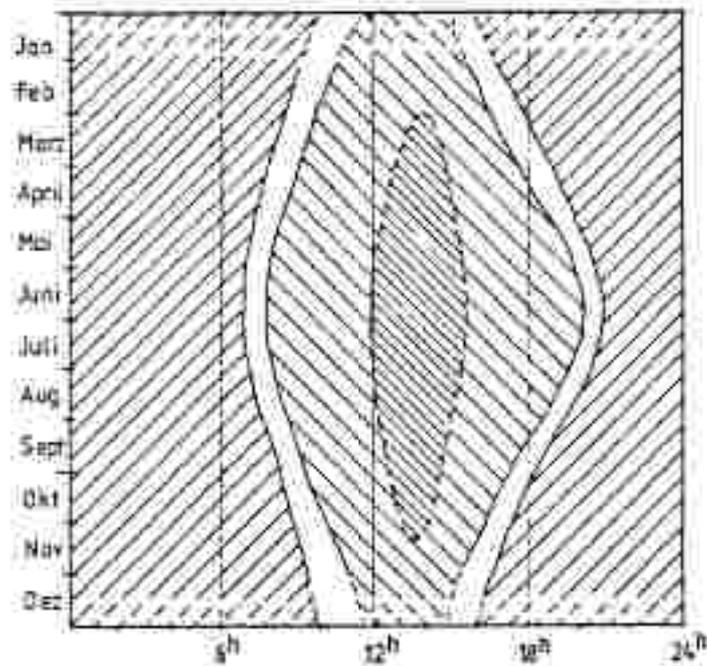


Abb. 4: Autochthones Windsystem im Tages- und Jahresgang im Voitsberg-Köflacher - Becken an Tagen mit Hochdruckwetter; Grundlage: Auswertung von Messergebnissen der Windmeßstationen Verkehrsturm Kraftwerk Voitsberg (19) bzw. Rosental (23).

#### 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 Windwechsels 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 Beckenschleife relativ schwach, nimmt jedoch an Stärke mit der Höhe etwas zu (1-2 m/s, 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. 300 m eine deutliche Zunahme der mittleren Windgeschwindigkeiten ein; in den Kammlagen der Glein- und Stubalpe muß nach den Ergebnissen vom Zirbitzkogel (2396 m), H. WAXONIGG 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-Röflacher-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 GESUNDHEITSWESEN)

### 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 Bergrücken 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



("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.

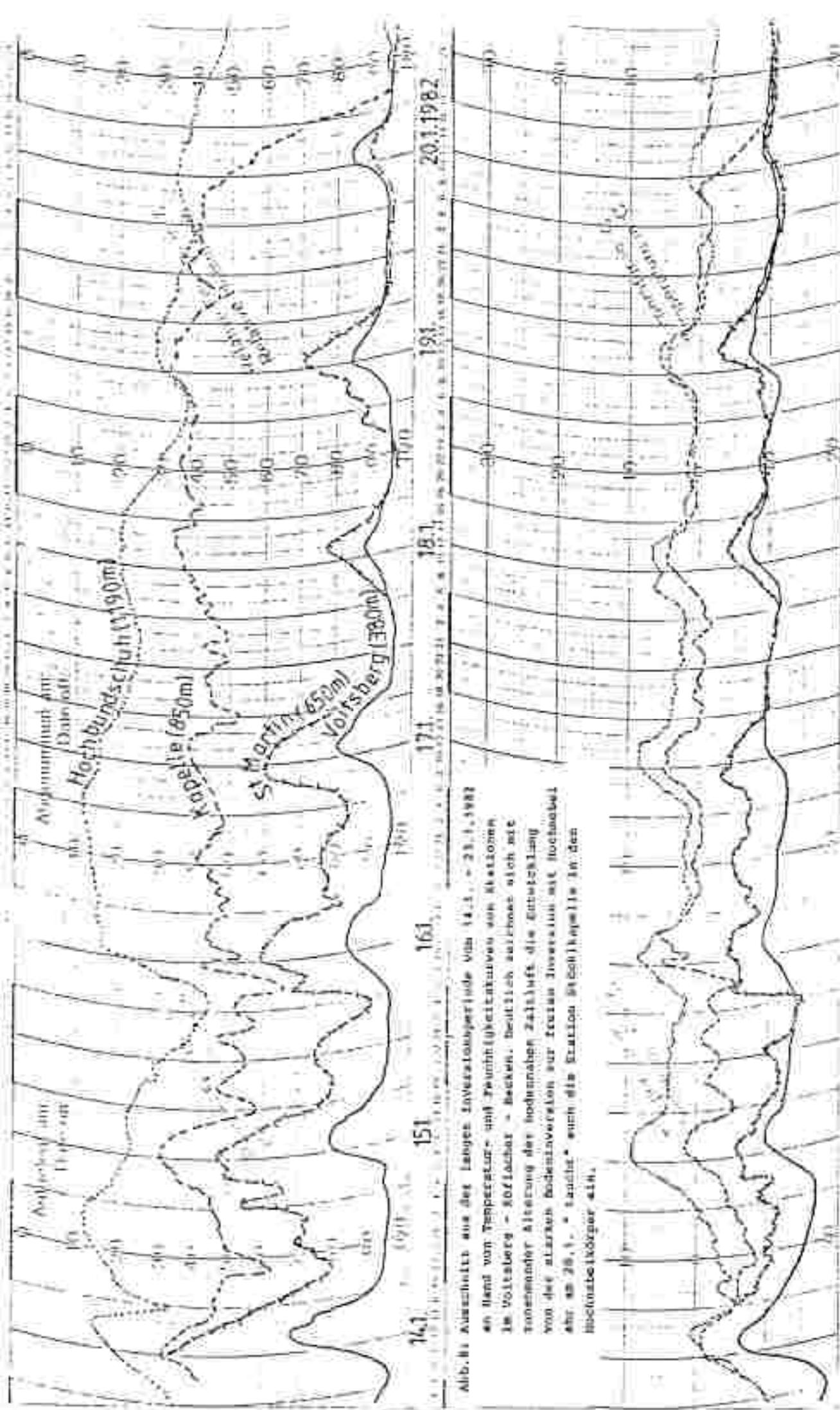
Auf die Immissionsverhältnisse an der Beckensohle hat dies kaum Einfluß, sie decken sich weitgehend mit den in Abb.5 beschriebenen. Hingegen werden nun erstmals die Bergrücken im Osten und Nordosten beaufschlagt. Im Raum Lichtenegg östlich von Bärnbach erreichen die Konzentrationen Werte bis  $1,6 \text{ mg SO}_2 \text{ je m}^3$ . 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  $1,5 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ .







161

151

161

171

181

191

20.1.1982

Abb. 8: Ausschnitt aus der langen Inversionsperiode vom 14.1. - 23.1.1982 an Hand von Temperatur- und Feuchtigkeitskurven aus Stationen in Votzberg - Kofflachor - Becken. Deutlich zu erkennen sind die temperaturenher Abkürzung der bodennahen Zuluft, die Entwicklung von der starken Bodeninversion zur Inversen Inversion mit Hochdruck bei 26.1. - danach\* auch die Station St. Michelkapelle in den Hochstaukörper ein.

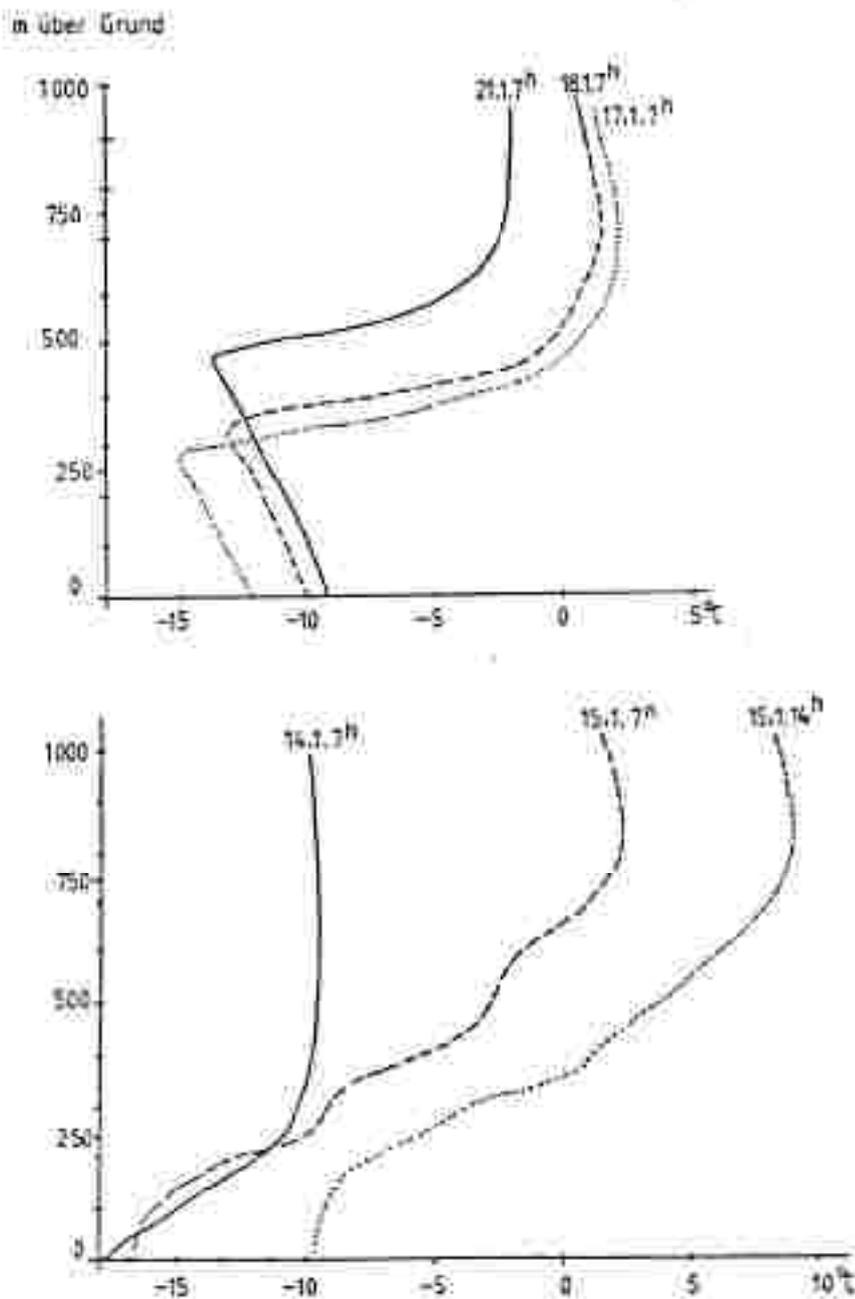


Abb. 9: Ausgewählte Vertikalprofile der Temperatur aus der Inversionsperiode vom 14.1. - 23.1.1982. Zu beachten sind die starken Inversionen am 15.1., hervorgerufen durch Absinkbewegungen im Hoch (geringe relative Feuchte an den Höhenstationen, 10 - 20% in Abb 8) bzw. durch Zufuhr warmer Mittelmeerluft. In weiterer Folge bildet sich in der bodennahen gealterten Kaltluft Hochnebel, die am 21.1.1982 eine Obergrenze um 1000m Seeshöhe 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 Kraftwerkeinfluß überlagern. In Voitsberg selbst hat die von Südosten einfließende, wenig belastete Luft zu einer Absenkung der Konzentrationen geführt.

Wie das Beispiel vom 15. Jänner 1982 (Abb.9) zeigt, kann durch freies Absinken bzw. advective Vorgänge die Inversion auch tagsüber in derselben Stärke erhalten bleiben wie am Morgen. Zum besseren Verständnis seien Profile bzw. Thermographenaufzeichnungen beigelegt, 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. Warmluftzufuhr 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 Luftschicht. So werden Höhenbereiche bis ca. 900 m

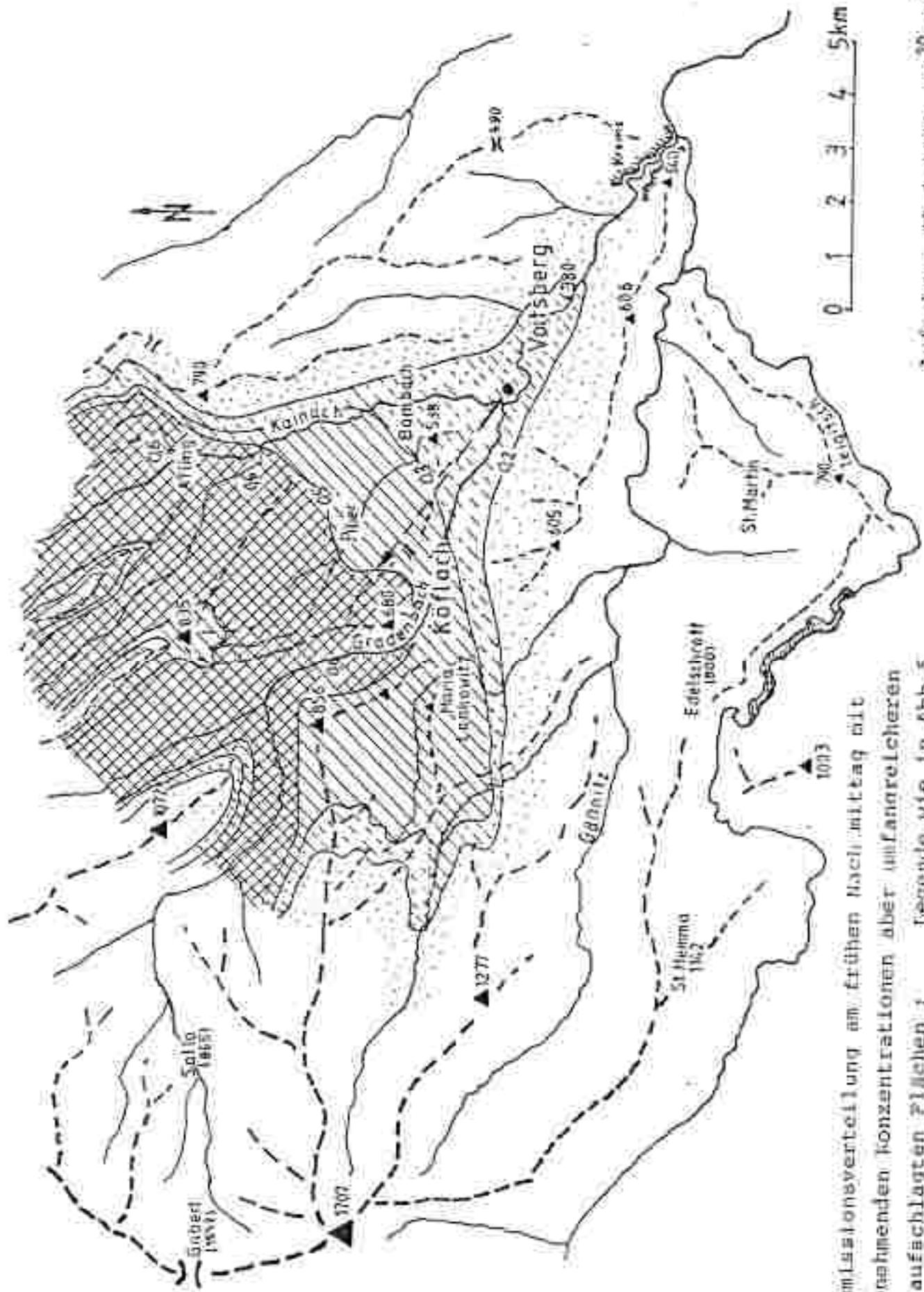


Abb. 10: Immissionsverteilung am frühen Nachmittaq mit abnehmenden Konzentrationen aber umfangreicheren beaufschlagten Flächen? Legende wie in Abb. 5

Seehöhe in diese Schicht einbezogen. Gleichzeitig nehmen aber auch die Konzentrationen ab ( $0,4-0,6 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ ). 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. 7f)

Zu dieser Zeit besteht ein erhöhter Trend zur Drehung der Tal-aufwindströmung auf östliche Richtung. Als Folge stellt sich eine Verlagerung des Immissions Schwerpunktes 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 talnahen Bereichen bzw. eine Konzentrierung auf die mittleren Hanglagen zwischen  $650$  und  $900 \text{ m}$  Seehöhe feststellen. Oberhalb einer Seehöhe von  $900 \text{ m}$  - 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.

#### 6.5 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 Kraftwerksfahne driftet über die Beckenumrahmung im Südosten hinweg (Richtung südliches Grazer Feld).

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

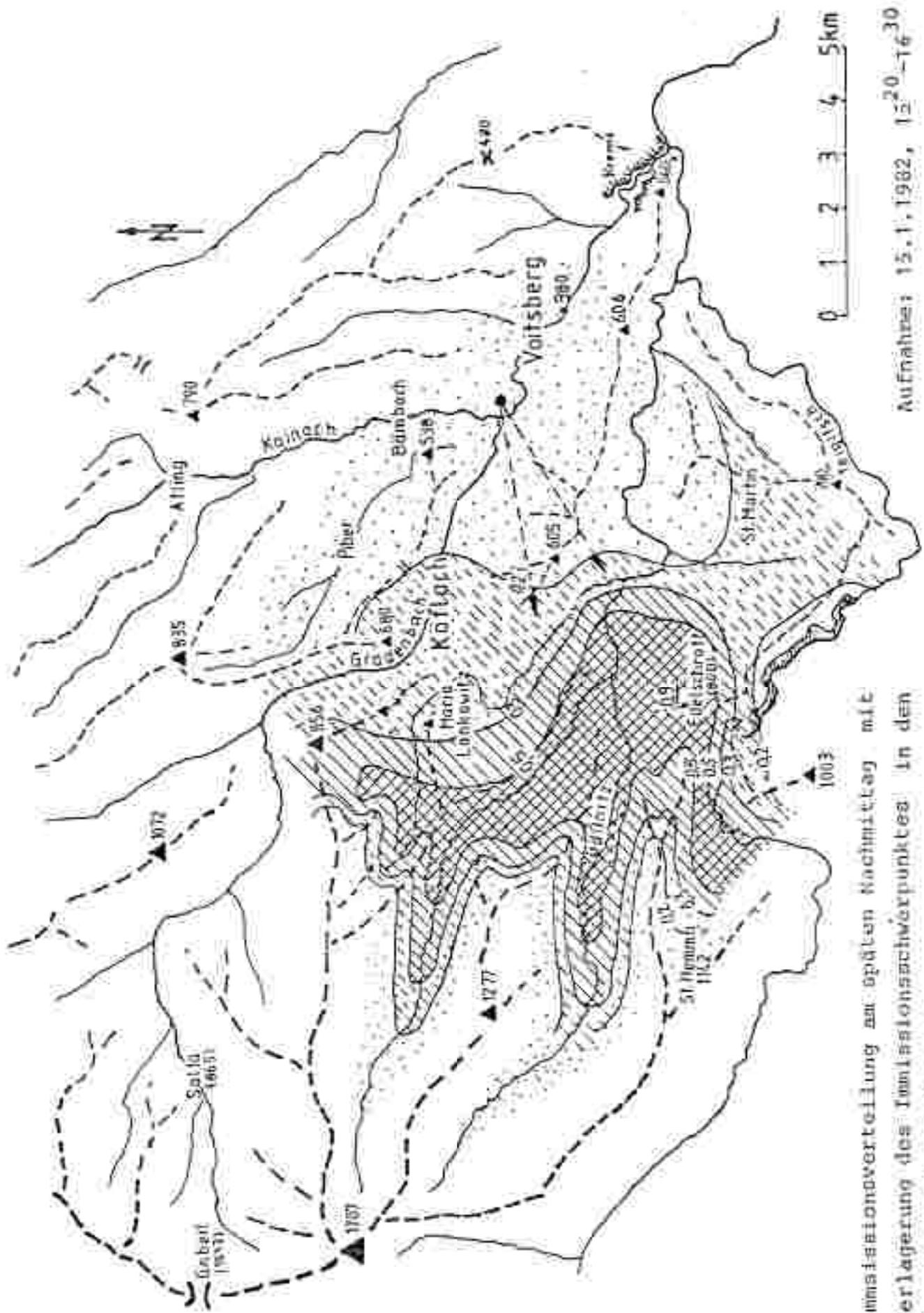


Abb. 11: Immissionsverteilung am späten Nachmittag mit Verlagerung des Immissionsachwerpunktes in den Raum Eidschrott/Göbnitz.

Aufnahme: 15.1.1982, 15<sup>20</sup>-16<sup>30</sup>

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 Tal-aufwindes (als Folge von Tal- bzw. Hochnebel und damit behinderter Sonneneinstrahlung) kam es im Stadtbereich von Voitsberg zu einer längeren Calmenphase mit verstärkter Anreicherung der Luft mit Schadstoffen. Diese Spitzenwerte sind überwiegend auf den Einfluß des Hausbrandes (Verwendung von Degutatkohle) 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 Absenkung 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 Bereich 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.

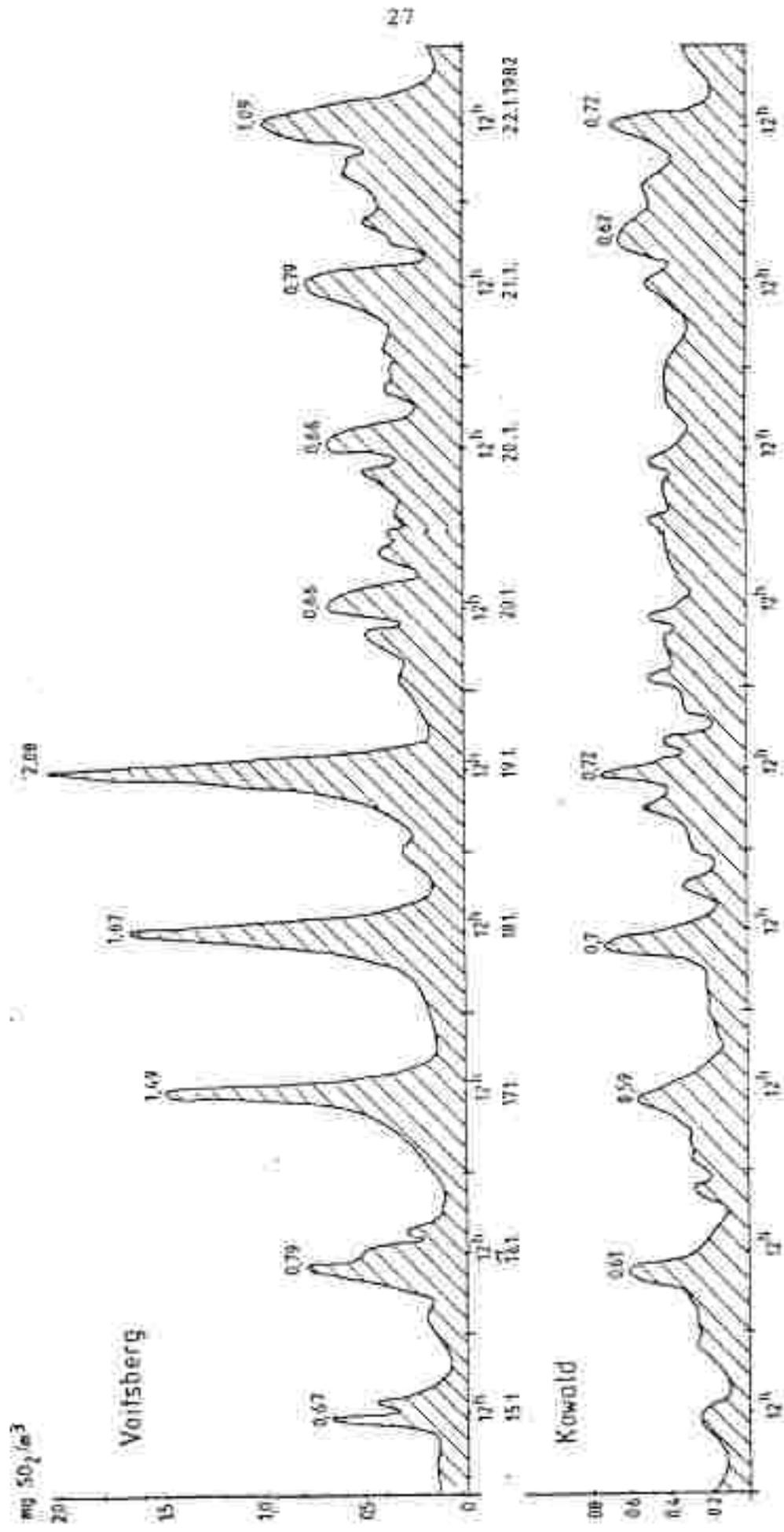


Abb. 12: SO<sub>2</sub>-Tagesgang an den Stationen Voitsberg/Bad im Zentrum der Stadt und Kowald außerhalb derselben; zu beachten sind die ausgeprägten Amplituden mit den von Tag zu Tag höheren Maxima (Halbstunden - mittelwerte) am späten Vormittag während der Inversionsverläufe vom 14.1. bis 23.1.1982; bemerkenswert sind ferner die aussonlicheren Verhältnisse bei höheren nächtlichen Werten während der Hochnebelperiode (Obergrenze bei 850-1000m) 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 Krebserkrankungen (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 Faam 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.

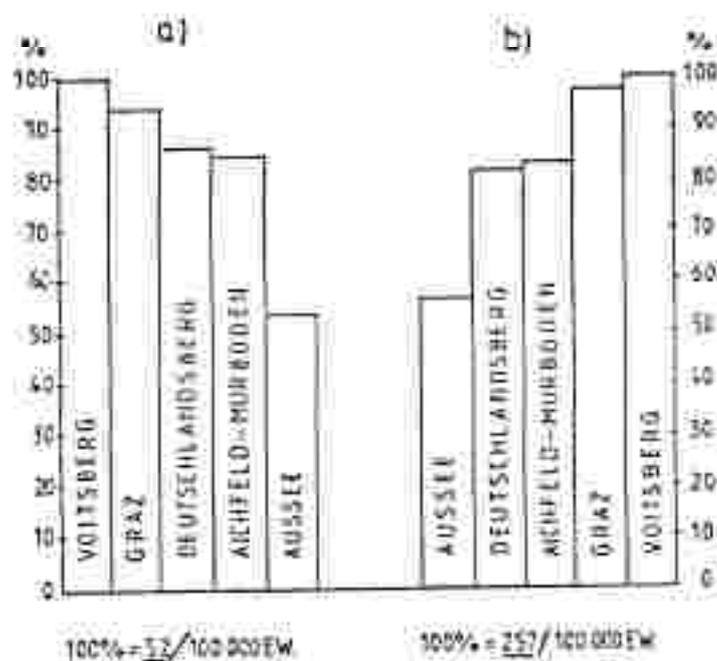


Abb.13: Anzahl der Krebstoten in 3 steirischen Regionen bezogen auf 100 000 Einwohner (a für den Atemtrakt, b für die Krebstoten insgesamt) nach J.R. Möse 1983.

## 8. Literatur

- Defant, F. 1949: Zur Theorie der Hangwinde, nebst Bemerkungen zur Theorie der Berg- und Talwinde. Arch. Met. Geoph. Biokl. (A), 421- 450.
- Koch, G. 1961: Die warme Hangzone. Z. Meteor. 15, 161-171.
- Lazar, R. 1979: Kleinklimatische Beobachtungen der Temperatur und der Talnebel mit besonderer Berücksichtigung des Temperaturminimums und der Spät- und Frühfröste in der Südweststeiermark. - Arb. Inst. f. Geographie, Univ. Graz, H.22, 80 S.
- 1980: Lokalklimatische Studie in der Region Aichfeld-Murboden. Graz, 203 S.
- J.R.Möse, K.Pfeiffer,  
J.Eder, R.Lazar 1983: Untersuchung über die Krebsterblichkeit in kleineren Regionen der Steiermark mit unterschiedlichen Strukturen und lufthygienischen Gegebenheiten. Zentralblatt für Bakt., Mikrobiol. und Hygiene, I.Abt. (Originale B. Krankenhaus- und Arbeitshygiene, Präventivmedizin) , im Druck.
- Schnopfhagen, S. 1980: Großräumige Erhebung von Immissionszonen mit Infrarotfilm in der Steiermark. Mitt. d. forstl. Bundesversuchsanstalt. H. 111, 33-43.
- Struwe, W. u. Sprinzi  
1982 : Messungen der SO<sub>2</sub>-Verteilungen im Raum Köflach-Voltsberg. Wien, 104 S.
- Wakonigg, H. 1978 : Witterung und Klima in der Steiermark. Graz, 473 S.