

Beiträge zum Klima der Region Bern / Beitrag No. 8

Der Aaregraben nördlich von Bern
Eine klimatische Untersuchung als Planungsgrundlage

Hans Mathys, Roland Maurer



GEOGRAPHICA BERNENSIA

Herausgeber:

Dozentinnen und Dozenten des Geographischen Instituts der Universität Bern

Reihen:

- Reihe A African Studies
- Reihe B Berichte über Exkursionen, Studienlager und Seminarveranstaltungen
- Reihe E Berichte zu Entwicklung und Umwelt
- Reihe G Grundlagenforschung**
- Reihe P Geographie für die Praxis
- Reihe S Geographie für die Schule
- Reihe U Skripten für den Unterricht

G104

MATHYS, Hans, MAURER, Roland

Beiträge zum Klima der Region Bern / Beitrag No. 8

Der Aaregraben nördlich von Bern. Eine klimatische Untersuchung als Planungsgrundlage

Geographisches Institut der Universität Bern 1974

Print Version: vergriffen

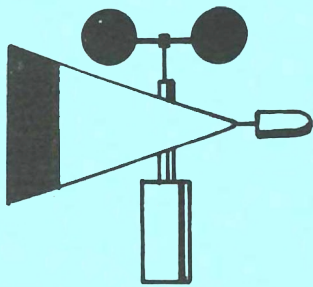
Geographica Bernensia: G104/8

DOI: 10.4480/GB2023.G104.08

© 2023 GEOGRAPHICA BERNENSIA



Creative Commons Licences



**Beiträge zum Klima
der Region Bern**

Beitrag No. 8

Der Aaregraben nördlich von Bern

Eine klimatische Untersuchung als Planungsgrundlage

Hans Mathys und Roland Maurer

Dieser Beitrag gehört zu der Reihe der "Beiträge zum Klima der Region Bern" des Geographischen Institutes der Universität Bern und entstand mit Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung.

Leiter des Forschungsprogrammes	Prof. Dr. B. Messerli
Bearbeiter des Beitrages 8	Hans Mathys Roland Maurer
Mitarbeiter	Jürg Fuhrer Fred Ryter Hansulrich Wyler

Auswertungen der lufthygienischen Messungen im Labor der Städtischen Gesundheitsdirektion unter der Leitung von Herrn Wigger

Das Datenmaterial der Untersuchungen im Aaregraben ist im Geographischen Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern, aufbewahrt.

INHALTSVERZEICHNIS

I. Einleitung

1.1. Problemstellung	5
1.2. Das Untersuchungsgebiet: der Aaregraben nördlich von Bern	6
1.3. Begriffserläuterungen	8
1.4. Messmethodik	10

II. Die Temperaturverhältnisse im Aaregraben

2.1. Temperaturunterschiede durch das Grabenrelief	15
2.2. Inversionsdauer und -häufigkeit	18
2.3. Verteilung der Inversionen über die Tageszeit	20
2.4. Der Inversionszyklus im Aaregraben	21
2.5. Die Entwicklung der Temperaturen und der Inversionslage am Beispiel des 24. März 1973	30
2.6. Die Temperaturdifferenzen bei Inversionslagen	32
2.7. Grossräumige und kleinräumige Inversionen - ein Vergleich	34
2.8. Die Ueberlagerung der Aaregrabeninversionen durch die grossräumigen Inversionen (Mehrlättrigkeit der Inversionen)	36

III. Die Windverhältnisse im Aaregraben

3.1. Vergleich der Windverhältnisse Bern - Aaregraben	40
3.2. Windmessungen der MZA - Payerne im Aaregraben	43
3.3. Messkampagnen des Geographischen Institutes	46
3.4. Die Ventilation des Aaregrabens	58
3.5. Einfluss der Winde auf die Inversionen	59

IV. <u>Sonnenscheindauer und Inversionen</u>	
4.1. Der Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die Inversionen	65
4.2. Sonnenscheindauer im Aaregraben	66
V. <u>Inversionen und Wetterlagen</u>	
(Die Bedeutung der Wetterlagen für die Inversionen)	70
VI. <u>Lufthygienische Messungen</u>	
6.1. Sedimentstaub	77
6.2. Schwebestaub	78
6.3. Schwefeldioxyd	79
6.4. Die lufthygienische Belastung bei Inversionslagen	80
VII. <u>Der Aaregraben ein Konfliktgebiet</u>	82
VIII. <u>Zusammenfassung</u>	88
Résumé	91
Literaturverzeichnis	93
Verzeichnis der Figuren, Tabellen und Abbildungen	96
Verzeichnis der weiteren Beiträge des Geographischen Institutes	98

I. EINLEITUNG

1.1. Problemstellung

Seit 1972 führt das Geographische Institut der Universität Bern klimatisch-lufthygienische Untersuchungen in der Region Bern durch.

Die starke Expansion der Stadt in das Gebiet des Wohlensees und des Aaregrabens (vgl. Kap. 1.2.) führte dazu, dass in dieser Region Konflikte in der Planung auftraten. Wie weit nun die Naturgrundlagen, insbesondere die Topographie und die klimatischen Verhältnisse, an diesem Konflikt teilhaben, soll in diesem Beitrag näher untersucht werden.

In der vorliegenden Arbeit geht es im wesentlichen darum, die meteorologisch-klimatischen Voraussetzungen in einem durch das Kleinrelief geprägten Raum zu erfassen.

In einem ersten Kapitel werden die Temperaturverhältnisse im Aaregraben untersucht. Die Fragen lauten:

1. Entsteht durch das Grabenrelief eine starke Temperaturdifferenzierung im untersuchten Gebiet?
2. Lassen die Temperaturverhältnisse einen dauernden vertikalen Luftaustausch zu, oder können sich gerade in einem Grabengebiet Situationen einstellen, wo diese Lüfterneuerung nicht mehr stattfinden kann? Sind folglich von der Temperatur her einer weiteren Expansion, d. h. Belastung der Luft, Grenzen gesetzt?

Neben dem Temperatugeschehen sind die Winde für das Klima und die lufthygienische Qualität einer Region entscheidend. Zahlreiche Untersuchungen in Industriestaaten mit zum Teil alarmierenden lufthygienischen Verhältnissen haben die ausserordentliche Bedeutung des Windes für die Ausbildung eines siedlungseigenen Klimas bestätigt (KRATZER 1956). In einem zweiten Abschnitt werden deshalb die Ventilationsverhältnisse im Aaregraben aufgearbeitet. Zwei Fragen stehen dabei im Vordergrund:

1. Weist der Aaregraben zwischen Bremgarten und dem Wohlensee eine Durchlüftung auf, die weitere Belastungen der Luft ohne Bedenken zulässt?
2. In welcher Weise beeinflussen die nahegelegene Stadt mit ihrer Emission und der dazwischenliegende Bremgartenwald die lufthygienische Belastung der Grabenregion?

Im weiteren werden, immer mit der Frage nach der abschwächenden oder verstärkenden Wirkung auf die lufthygienische Belastung des Aaregrabens, folgende Wechselbeziehungen untersucht:

- Temperaturverhältnisse und Wind (Kap. 3.5.)
- Sonnenscheindauer und Temperatur (Kap. 4)
- Wetterlagen und Temperaturverhältnisse (Kap. 5)

Da längere lufthygienische Messungen aus dem Aaregraben fehlen, wurden im Rahmen der regionalklimatischen Untersuchungen einzelne Schadstoffe gemessen. Damit sollten erste Anhaltspunkte über die derzeitige Belastung der Luftmassen in dieser Region gewonnen werden. Um auch aus dieser Sicht eventuelle Grenzen des Wachstums aufzeigen zu können, müssten aber noch umfangreichere lufthygienische Untersuchungen durchgeführt werden.

1.2. Das Untersuchungsgebiet: der Aaregraben nördlich von Bern

In der Reliefkarte (vgl. Beitrag 1) wird die Lage der Stadt Bern am Ausgang des Aaretals und am Uebergang zum tieferen Mittelland dargestellt. Das Untersuchungsgebiet liegt nördlich von Bern.

Im östlichen Teil bildet der Aaregraben einen Kessel, worin sich die Ortschaft Bremgarten befindet. Weiter nach Westen (Halenbrücke/Vorderdettigen) verengt er sich zu einem schmalen Tal. Bei Hinterkappelen öffnet sich der Graben wieder nach Westen zum Wohlensee hin (Fig. 1 + 2).

Obwohl dieser Aaregraben durch den Bremgartenwald deutlich von

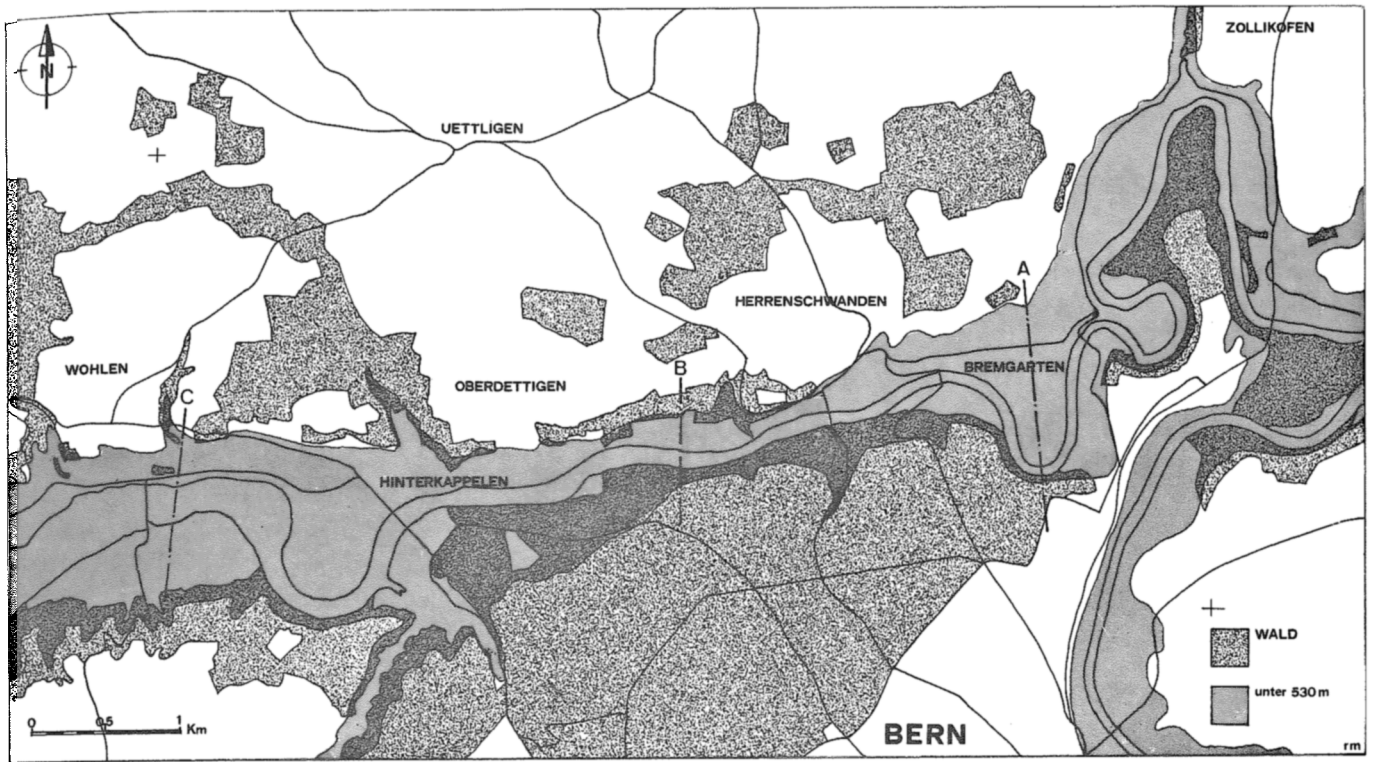
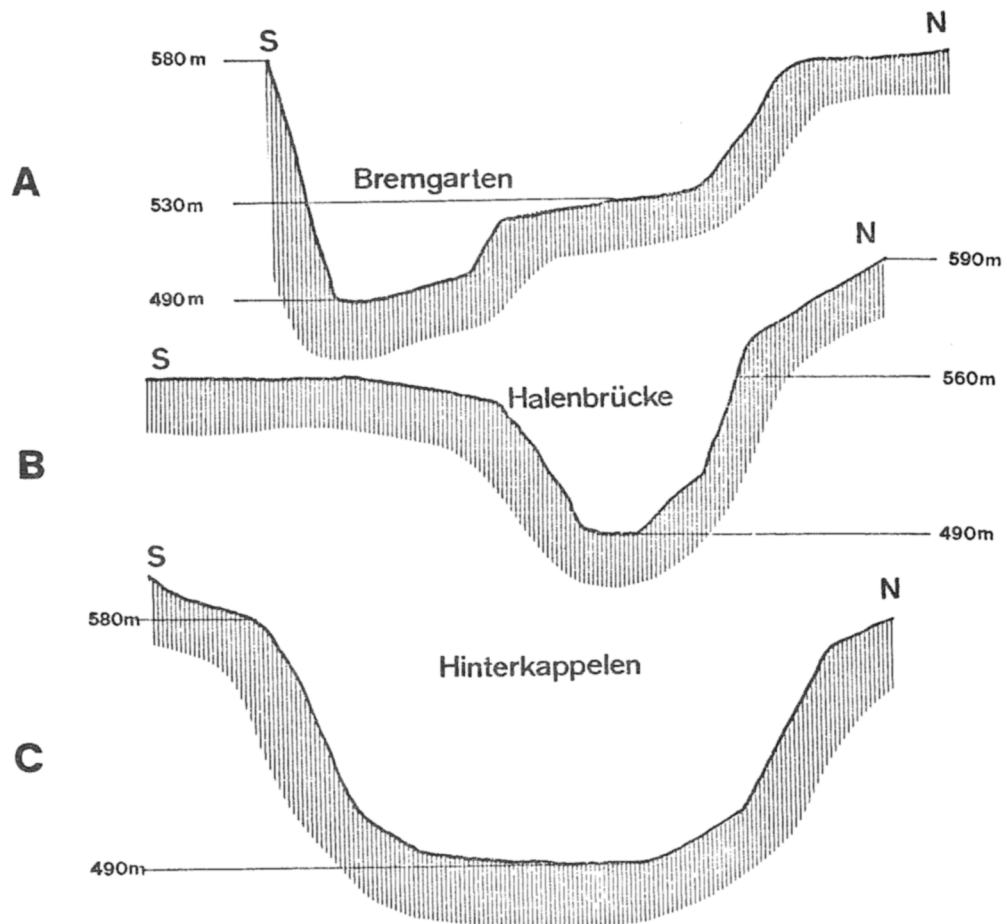


Fig. 1 Der Aaregraben nördlich von Bern



Bern getrennt ist, liegt er heute im Expansionsgebiet der Stadt. Die einstmaligen kleinen Siedlungen Bremgarten und Hinterkappelen sind zu begehrten Wohn- und Schlafgemeinden Berns geworden. Ortsplanungen, Studien für Natur-, Uferschutz und Naherholung sind im Gange oder bereits abgeschlossen. Leider geschah dies bis jetzt kaum im regionalen Rahmen; jede Anstössergemeinde löste ihre Probleme für sich allein, so dass für die geographische Einheit des Aaregrabens ein Gesamtkonzept fehlt. Der Regionalplanungsverein, in welchem die Gemeinden der Agglomeration Bern zusammengeschlossen sind, strebt wohl die Sicherung einer geordneten Gesamtentwicklung an, doch ist die rechtliche Basis dieses Vereins sehr schmal. Ein wirksames Eingreifen ist daher kaum möglich.

1.3. Begriffserläuterungen

Nachfolgend sind die am häufigsten verwendeten Begriffe stichwortartig erläutert. Eine ausführliche Behandlung der meteorologischen und lufthygienischen Parameter ist in den Beiträgen 1, 2, 3 und 7 zu finden.

1.3.1. Begriffe der Temperatur

- normaler vertikaler Temperaturverlauf: Abnahme der Temperatur mit zunehmender Meereshöhe. Pro 100 m beträgt diese Abnahme $0,5 - 0,6^{\circ} \text{C}$; diese Grösse wird als vertikaler Temperaturgradient bezeichnet.
- inverse Temperaturabfolge (Inversionslage, Inversion): Kalte Luft lagert wegen ihres spezifischen Gewichtes in Bodennähe. Somit erfolgt eine Temperaturzunahme mit zunehmender Meereshöhe.

Je nach Höhe, bei welcher eine Inversion in die normale Temperaturabfolge übergeht, sprechen wir von Bodeninversion oder Höheninversion. Bei diesen Inversionslagen ist im Gegensatz zu der normalen Temperaturabfolge ein vertikaler Luftaustausch kaum mehr

möglich, deshalb kommt der Temperaturumkehr eine grosse luft-hygienische Bedeutung zu.

1.3.2. Wind

- Windrichtung: immer Windherkunftsrichtung, angegeben in Grad der Kreiseinteilung oder in Sektoren
 $N = 360^{\circ}$, $E = 90^{\circ}$, $S = 180^{\circ}$, $W = 270^{\circ}$
- Windstärke: auch Windgeschwindigkeit, meist mittlere Geschwindigkeit über eine Zeitspanne, angegeben in m/s oder km/h
 $1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$
- Ventilation: Durchlüftung, Wirkung der Windverhältnisse

1.3.3. Sonnenscheindauer

- astronomisch mögliche Sonnenscheindauer: Annahme: vollständige Ebenheit des Geländes ohne jegliche Einschränkung durch umliegende, erhöhte Horizonte. Sie beträgt für Bern (47° nördliche Breite) 4472 Stunden pro Jahr.
- effektiv mögliche Sonnenscheindauer: Angabe, wie lange die Sonne im Verlaufe eines bestimmten Zeitraumes bei völliger Wolken- und Nebelfreiheit scheinen würde.
- relative Sonnenscheindauer: Angabe der tatsächlichen Sonnenscheindauer in Prozenten der effektiv möglichen Sonnenscheindauer. Die Differenz von dieser Zahl zu 100% liefert in diesem Falle die Auskunft, wie gross der Anteil der Bewölkung und des Nebels ist.

1.3.4. Lufthygienische Begriffe

- Schwefeldioxyd SO_2 : die durch Verbrennung bedingte SO_2 -Konzentration in der Luft erlaubt die Beurteilung der Immissionsbelastung durch Hausfeuerungen.
 Reizstoff für Augen und Atemwege

- Schwebestaub: staubförmige Luftverunreinigung mit Staubpartikeln von weniger als 20 µm Durchmesser. Die mit schädlichen Stoffen beladenen Teilchen dringen bis in die Alveolen der Lunge und werden vom Organismus aufgenommen (GRANDJEAN 1973).
- Sedimentstaub: Niederschlag der sedimentierenden Staubpartikel über 20 µm Durchmesser.
Gefährdung der oberen Atemwege (Reizung, Entzündung)

1.4. Messmethodik / Messdaten

1.4.1. Temperatur

Da sich der Aaregraben bei Bremgarten in drei deutliche Höhenstufen aufgliedert, schien es sinnvoll, an dieser Stelle eine Temperaturmesskette einzurichten (vgl. Fig. 2 Profil A). Auf den drei Niveaus wurden Wetterhütten installiert.

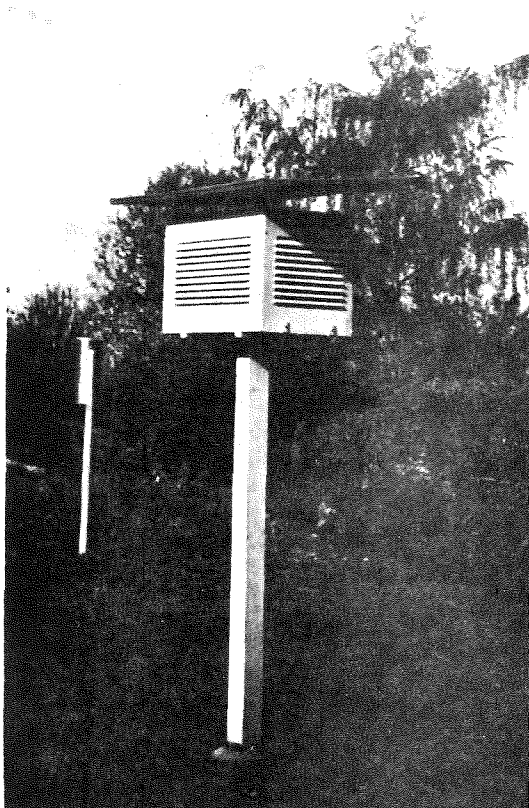


Abb. 1

Wetterhütte für die Temperaturregistrierung:

Plateau von Birchi	580 m
Terrasse Chalchacher	530 m
Talsole Seftau	490 m

Während 4½ Monaten (1. Januar - 20. Mai 1973) wurden in diesen Stationen mit Thermographen die Temperaturen registriert. Die Genauigkeit dieser Geräte beträgt $\pm 0,5^{\circ}$ C. Die Auswertung geschah durch das Herauslesen der Temperaturwerte alle zwei Stunden, was für die drei Stationen 6300 Daten ergab. Auf die übliche Tagesmittelberechnung der Meteorologischen Zentralanstalt wurde verzichtet, da mit dieser Formel die Dauer von Inversionslagen nicht ermittelt werden konnte. Der nachfolgende Vergleich zeigt die beiden Formeln zur Berechnung des Tagesmittels der Temperatur.

Temperaturauswertung MZA

$$T_m = T_{m3} - k (T_{m3} - T_{min})$$

T_m = Tagesmittel

T_{m3} = Mittel der Ablesungen von 07, 13 und 19 Uhr

k = Korrekturfaktor (muss für jede Station berechnet werden)

T_{min} = Tagesminimum

Temperaturauswertung Geographisches Institut

$$T_m = \frac{T_{min} + T_{max} + \sum_{i=1}^{12} T_i}{14}$$

T_m = Tagesmittel

T_{max} = Tagesmaximum

$\sum_{i=1}^{12} T_i$ = Summe der zweistündlichen Ablesungen (00, 02, 04, ...)

T_{min} = Tagesminimum

Anschliessend wurden die gemessenen Daten der drei Stationen untereinander verglichen, um so die Gesetzmässigkeiten herauszufinden. Wenn in der Seftau und in Birchi Temperaturgleichheit herrschte, so wurde dies bereits als Inversion bezeichnet, denn normalerweise sollte bei 90 m Höhendifferenz die Temperatur um $0,5^{\circ}$ C abnehmen.

Obwohl nur an drei Stellen gemessen wurde, ist der vertikale Temperaturverlauf in den nachfolgenden Figuren als Linie eingezeichnet.

1.4.2. Wind

Die im nachfolgenden Bericht behandelten Winddaten wurden mit folgenden Instrumenten gemessen:

- a) Mechanischer Windschreiber Woelfle (vgl. Abb. 2)
Wachspapierregistrierung der Windrichtung und des Windweges,
Nennregistrierzeit 4 Wochen
Messbereich 0,5 bis 60 m/s
Auswertung der Streifen von Hand mit Auswertelineal
- b) Windmesser Rochat Mg 100x1 und 5x1 (vgl. Abb. 3)
Elektrischer Impulsgeber zur Messung der Windstärke mit Impulszähler
Messbereich 0,1 bis 20 m/s
Auswertung der Impulssummen mit Eichtablette

1.4.3. Sonnenscheindauer

Mit einem Tagbogenschreiber nach DE QUERVAIN (1957) wurden in der Gemeinde Bremgarten an verschiedenen Stellen die Sonnenscheindauer gemessen. Der Autor charakterisiert sein Gerät wie folgt: "Es handelt sich um einen schreibenden Theodoliten. Indem das Fernrohr dem Horizont nachgeführt wird, zeichnet der Apparat das gesamte von dem Tagbogen bestrichene Feld in derart transformierter Form als Diagramm auf, dass die Tagbogen als äquidistante Gerade erscheinen. Zur Bestimmung der möglichen Sonnenscheindauer beliebiger Zeitabschnitte ist nur noch eine Planimetrierung nötig". Jeder Messpunkt ist somit für eine bestimmte Fläche repräsentativ. Da nun die Topographie des Aaregrabens stark gegliedert ist, mussten für das Gemeindegebiet von Bremgarten 19 Punkte aufgenommen werden.

1.4.4. Lufthygienische Messungen

- a) Schwefeldioxyd: auf die technischen Einrichtungen soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden (vgl. dazu Beitrag 7). In Zeitintervallen von 3 und 4 Tagen wurden beim Schulhaus Bremgarten (Mittelterrasse, vgl. Fig. 2) die SO_2 -Konzentrationen nach der Thoron-Methode gemessen.
Die Angaben erfolgen in 0,001 ppm (1 ppm = 1 cm³ SO_2 pro m³ Luft)
- b) Schwebestaub: für die vorliegende Untersuchung wurde Schwebestaub nicht gemessen.
- c) Sedimentstaub: gemessen nach der Methode Bergerhoff an zwei Stellen am Nordhang im Bereich der Halenbrücke.
Messdauer jeweils 1 Monat
Die Angaben erfolgen in mg pro m² und Tag

II. DIE TEMPERATURVERHAELTNISSE IM AAREGRABEN

2.1. Temperaturunterschiede durch das Grabenrelief

In einer ersten Untersuchung wurden folgende Temperaturen der drei Stationen verglichen: Mittel der Maxima

Mittel der Minima

Mittel über 4 1/2 Monate

Absolute Maxima und Minima

Dieser Vergleich ergab folgendes Bild:

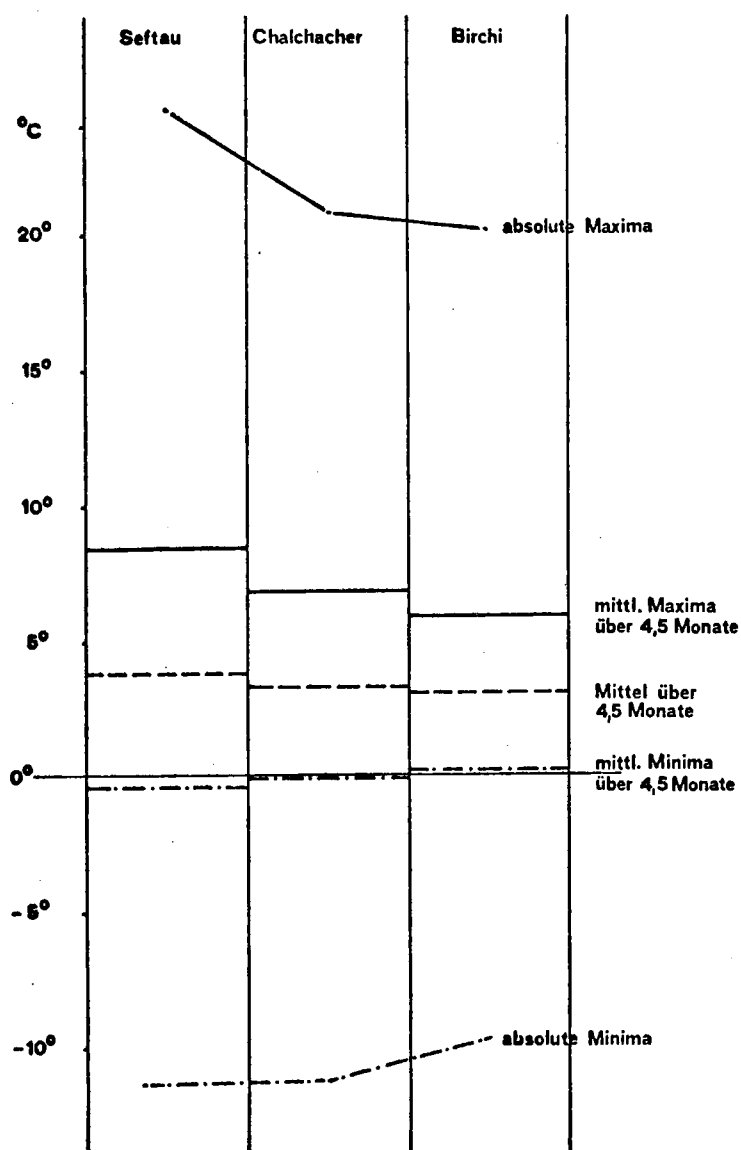


Fig. 3 Temperaturvergleich: Seftau - Chalchacher - Birchi

In der Seftau, auf dem Talgrund, ist die Mitteltemperatur am höchsten. Mit zunehmender Höhe (Chalchacher/Birchi) ist ein Absinken der Temperatur zu beobachten. Dieselbe Abnahme zeigen auch die Maxima. Anders nun die Minimaltemperaturen: Seftau wird zu der kältesten Station, während Chalchacher um $0,32^{\circ}\text{C}$ und Birchi um $0,69^{\circ}\text{C}$ wärmer sind. Der Vergleich der Minima zeigt folglich eine inverse Temperaturabfolge. Wenn wir zum Schluss noch die absoluten Minima und Maxima betrachten, so zeigt sich, dass in den Tieflagen mit grösseren Temperaturschwankungen zu rechnen ist als auf der Terrasse von Chalchacher oder dem Plateau von Birchi.

Die nachfolgende Darstellung stellt die räumliche Ausdehnung dieser Temperaturunterschiede dar.

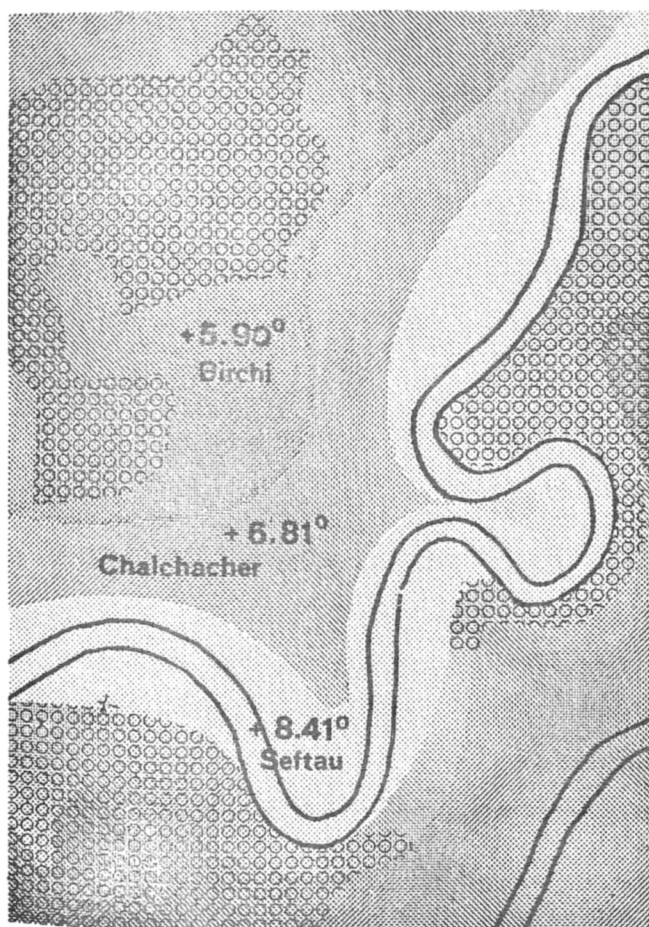


Fig. 4 a

Ausbreitung der mittleren Maxima

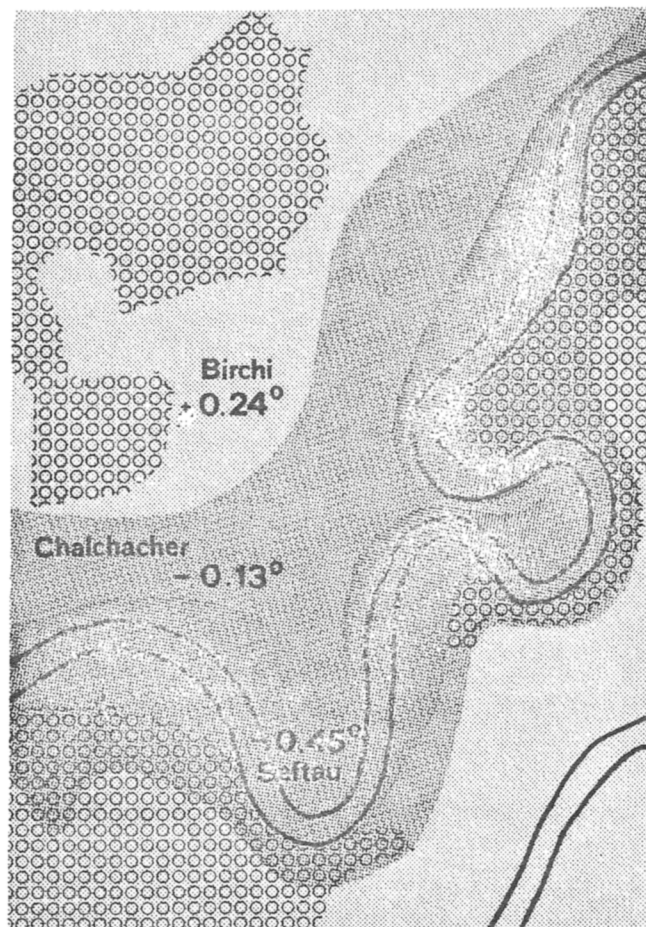


Fig. 4 b

Ausbreitung der mittleren Minima

warm
 kälter
 am kältesten

Entsprechend dem Relief finden wir auch bei den Temperaturmaxima eine Dreigliederung. Die Fig. 4 a zeigt: Die wärmste Luft zieht dem Talgrund entlang. Chalchacher ist um $1,6^{\circ}$ C und Birchi sogar um $2,5^{\circ}$ C kälter. Diese Situation stellt sich in den Mittagsstunden oder am frühen Nachmittag ein, denn zu dieser Zeit wird meistens das tägliche Maximum erreicht.

Anders nun bei den Tagesminima: Da ist die Abfolge gerade umgekehrt: Die höher gelegenen Gebiete erscheinen wärmer. Diese Situation ist nachts oder kurz vor Sonnenaufgang sehr häufig zu beobachten.

Der Vergleich der Maxima- bzw. Minimamittel zeigt eine deutliche räumliche Gliederung. Der Einfluss des Reliefs auf das Temperaturgeschehen ist unbestritten! Zudem lässt die Tatsache, dass die Temperaturumkehr sogar im Mittel der Minima über $4\frac{1}{2}$ Monate erscheint, die Vermutung zu, dass es sich bei den Inversionen im Aaregraben nicht um Einzelereignisse handelt. Dies soll nun in den folgenden Kapitel näher untersucht werden.

2.2. Inversionsdauer und -häufigkeit

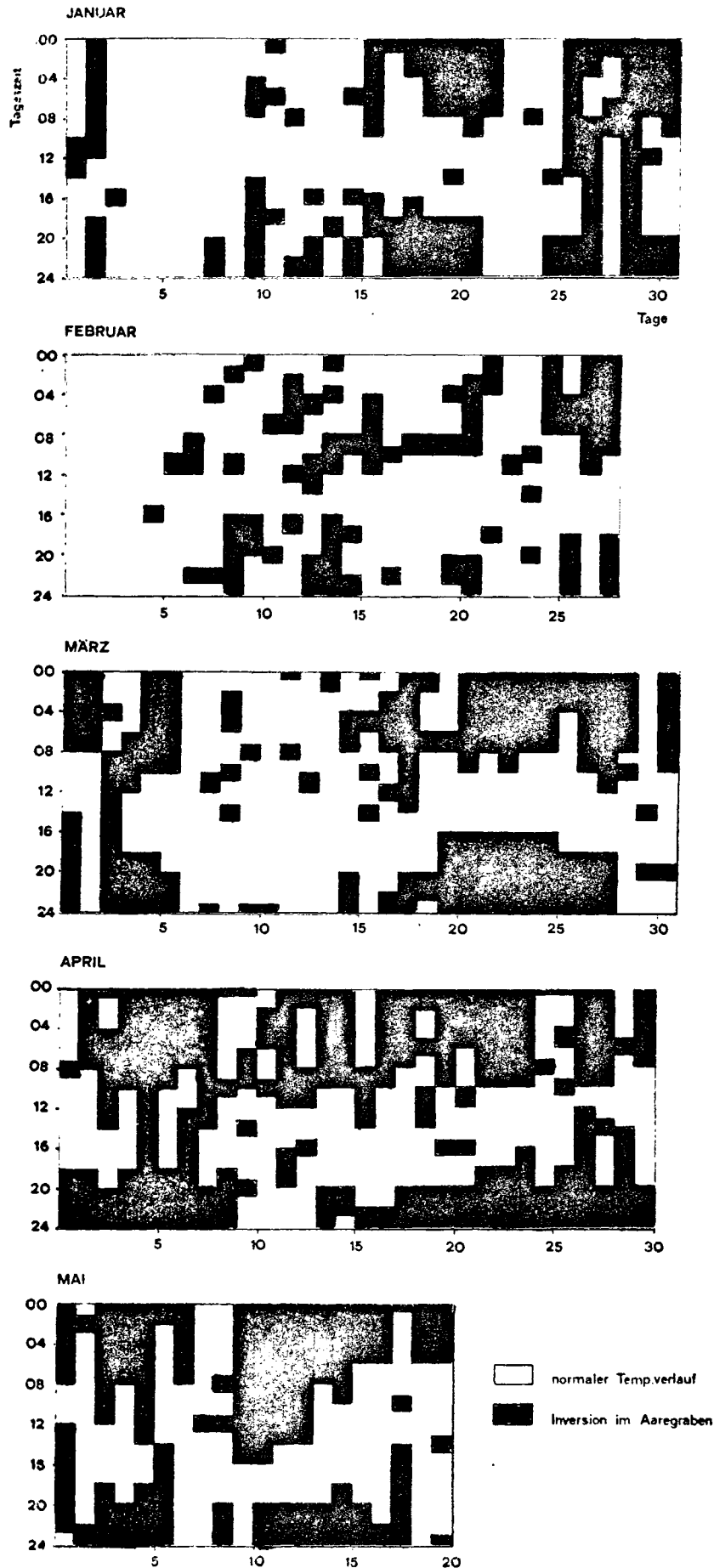


Fig. 5 Inversionsstunden im Aaregraben während der Messperiode (1. Januar - 20. Mai 1973)

während 140 Tagen (= 3360 Stunden) konnten im Aaregraben 1678 Stunden mit Inversion festgestellt werden. Rund 50 % der Zeit herrschte im Aaregraben die inverse Temperaturschichtung. Wie die nachfolgende Zusammenstellung und auch Fig. 5 zeigen, nehmen die Inversionsstunden vom Januar bis im Mai zu:

Januar	304 Stunden	=	40,7 % Inversion
Februar	232 Stunden	=	34,5 % Inversion
März	390 Stunden	=	52,4 % Inversion
April	472 Stunden	=	65,5 % Inversion
Mai *	280 Stunden	=	58,1 % Inversion

* nur 20 Tage

Diese Zunahme der Inversionsstunden mit fortschreitender Erwärmung mag auf den ersten Blick erstaunen, sind wir es doch gewohnt, dass Bodennebel (= sichtbare Inversion) eher im Herbst und im Winter auftreten. Wie aber in Beitrag 3 erläutert wird, werden lange nicht alle Inversionen durch Nebel- oder Dunstbildung sichtbar.

Aus dieser Zusammenstellung wird klar, dass im Aaregraben zu jeder Jahreszeit Inversionen sehr zahlreich sind. Es ist sogar eine Tendenz festzustellen, dass die Inversionshäufigkeit während der wärmeren Jahreszeit zunimmt.

Wie gross die Inversionshäufigkeit und -dauer über ein ganzes Jahr ist, wird durch Korrelation mit Nachbarstationen (Seftau mit Eymatt und Birchi mit Uettiligen) in einer weiteren Untersuchung bearbeitet (vgl. Beitrag 3).

2.3. Verteilung der Inversionen über die Tageszeit

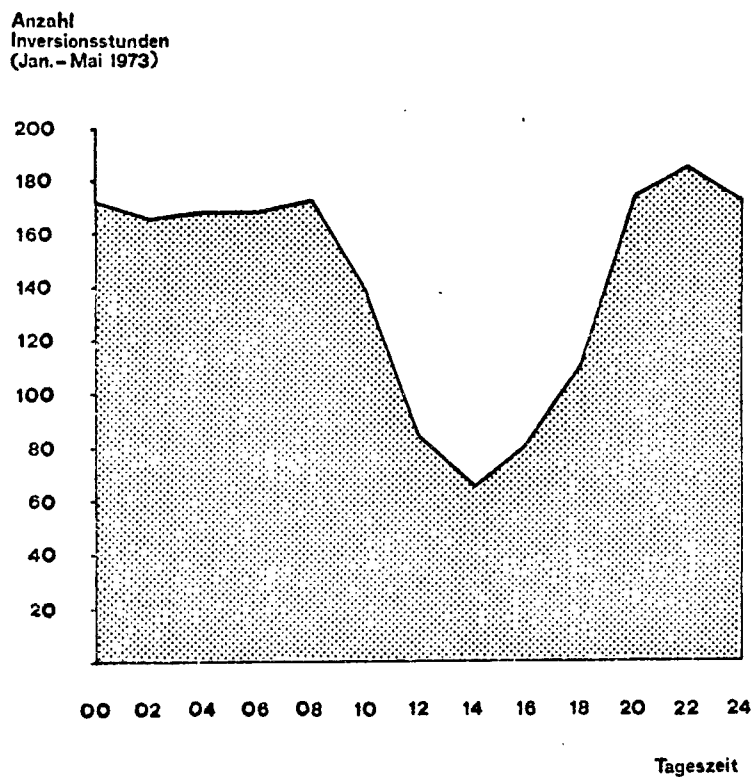




Fig. 6 Verteilung der gemessenen Inversionsstunden über die Tageszeit

Die obenstehende Figur zeigt, wie sich die Inversionen über die Tageszeit verteilen: Von Mitternacht bis morgens um 8 Uhr ist die Inversionshäufigkeit gross. Anschliessend sinkt die Kurve stark ab. Sehr viele Inversionen lösen sich in den Mittagsstunden und am frühen Nachmittag auf. Ab 16 Uhr zeichnet sich ein starker Anstieg der Kurve ab, d. h. die Inversionen nehmen zu. Die Kulmination wird um 22 Uhr erreicht. Diese Darstellung zeigt deutlich, dass die Inversionsgefährdung im Aaregraben während der Nacht besonders gross ist (vgl. dazu Kap. 7).

2.4. Der Inversionszyklus im Aaregraben

(Räumliche und vertikale Gliederung der Inversionen im Aaregraben)

Da die Temperaturen gleichzeitig auf drei Niveaus im Aaregraben registriert wurden, konnten die Inversionslagen weiter differenziert werden. Es stellte sich dabei heraus, dass in der ganzen Inversionsentstehung und -auflösung ein Zyklus beobachtet werden kann. In den nachfolgenden fünf Darstellungen (Fall 1 - 5) soll die räumliche und vertikale Gliederung der Inversionen näher erläutert werden. Bei dieser Betrachtung werden die Temperaturen nur schematisch d. h. relativ mit kälter und wärmer angegeben:

-  kältere Luftmasse
-  wärmere Luftmasse
- Temperaturvergleich in zwei Stufen
Seftau Chalchacher
Chalchacher - Birchi
- Temperaturvergleich direkt:
Seftau - Birchi

FALL 1

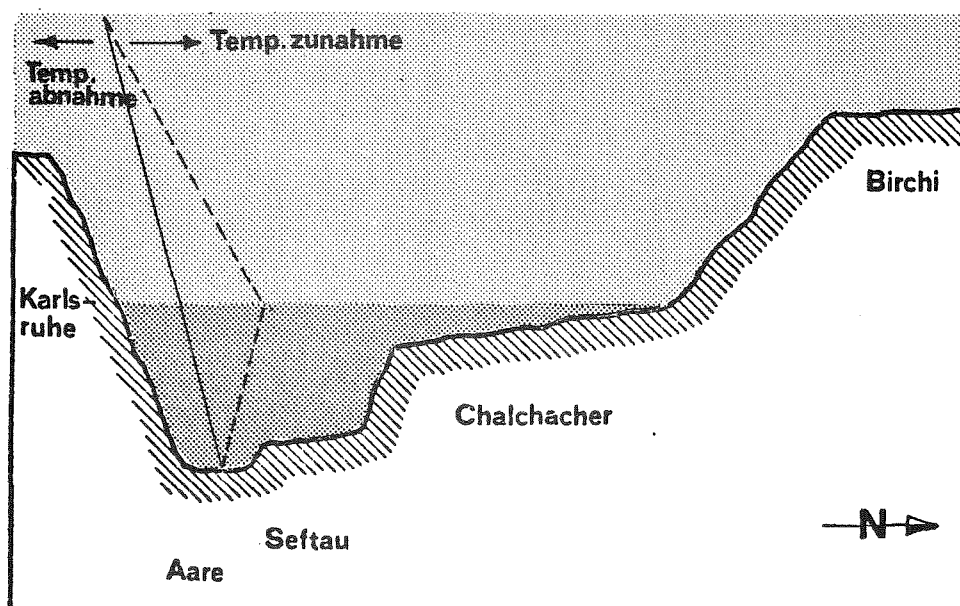


Fig. 7 Leichter Kaltluftsee am Grund des Aaregrabens

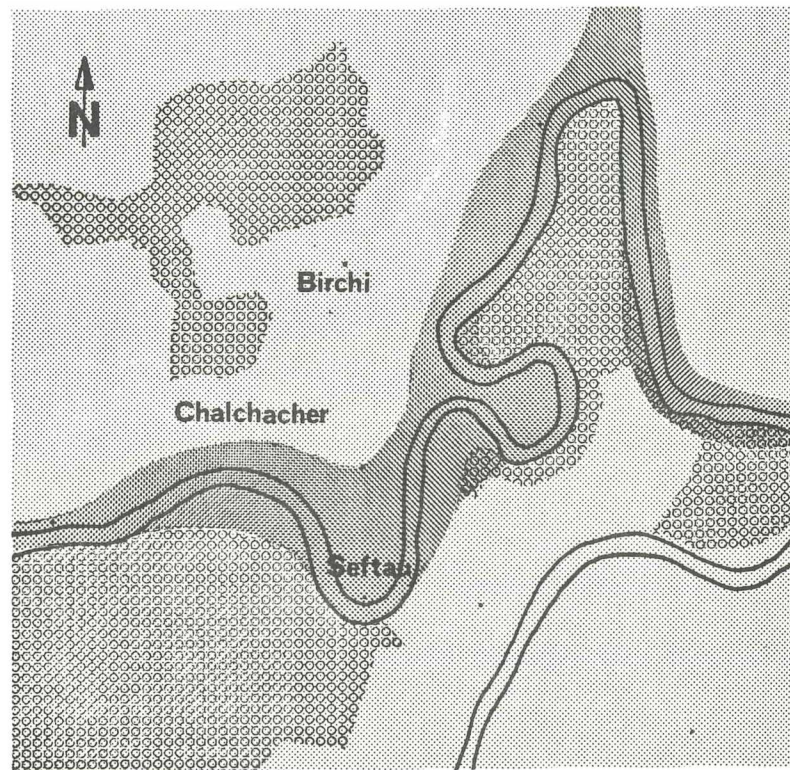


Fig. 8 "Kaltluftschlange" dem Aarelauf entlang

Wie aus Fig. 7 zu ersehen ist, hat sich im untern Teil des Grabens ein leichter Kaltluftsee gebildet. Diese Abkühlung ist auf die fehlende Sonneneinstrahlung in den frühen Abendstunden zurückzuführen. Diese Temperatursituation ist meistens der Beginn des eigentlichen Inversionszyklus'

Gesamthaft gesehen (Seftau - Birchi, ohne die Zwischenstation Chalchacher) erscheint diese Temperaturabfolge normal. Die Ausbreitung der Inversion, wie das Kärtchen 8 zeigt, zieht sich wie eine Kaltluftschlange den tiefsten Stellen des Aarelaufes entlang.

FALL 2

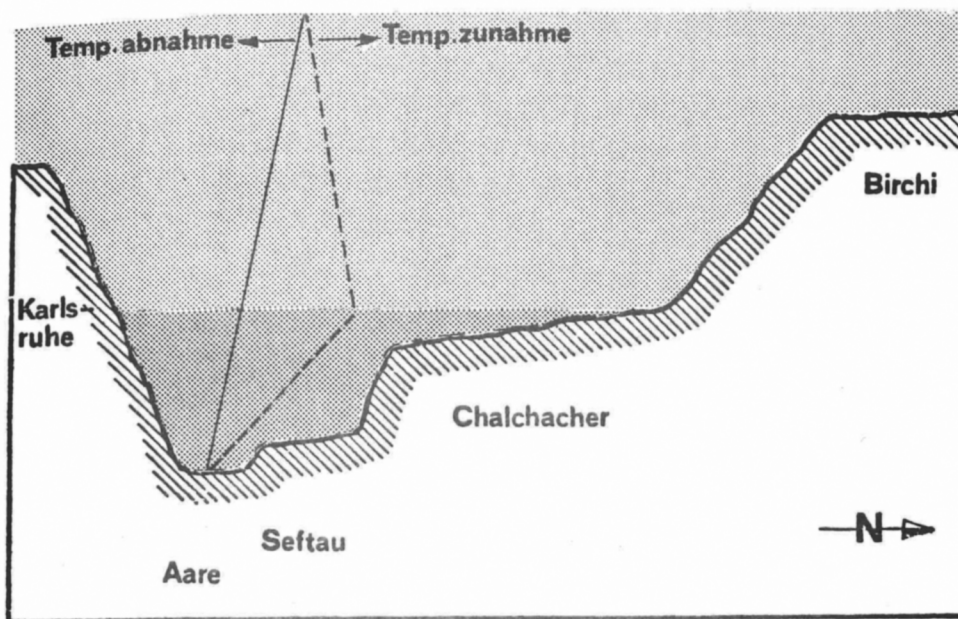


Fig. 9 Verstärkter Kaltluftsee am Grund des Aaregrabens (wie Fall 1)

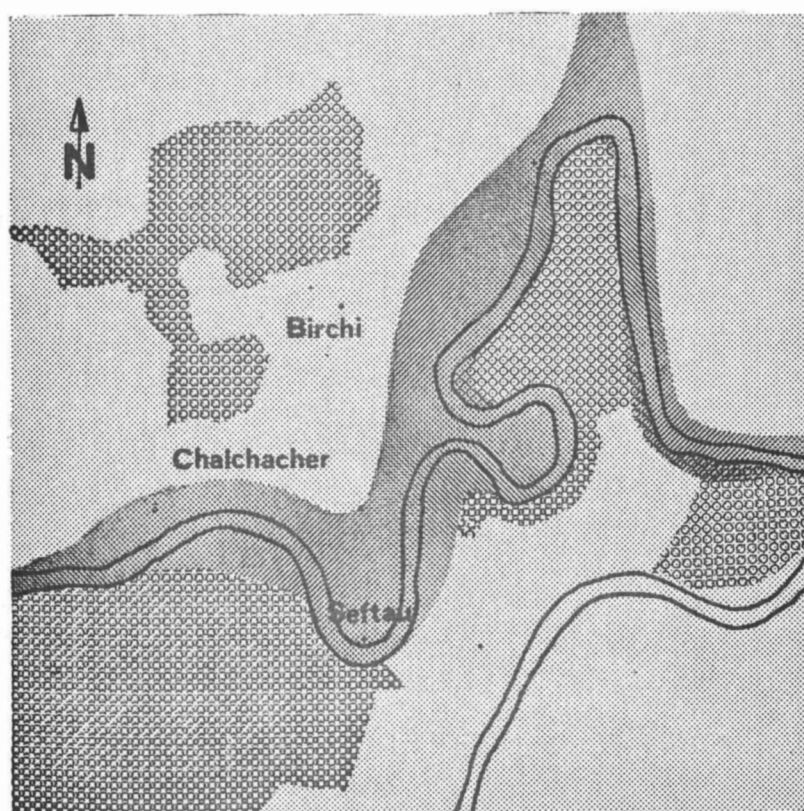


Fig. 10 Kaltluftausbreitung der Aare entlang (wie Fall 1)

FALL 3

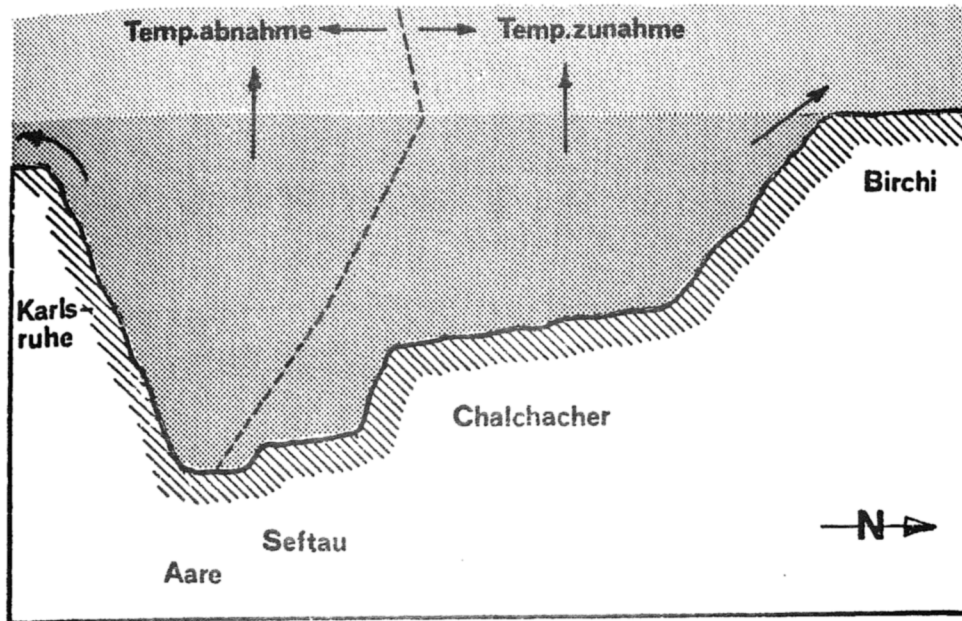


Fig. 11 Die konsequent durchlaufende Inversion (Endphase)

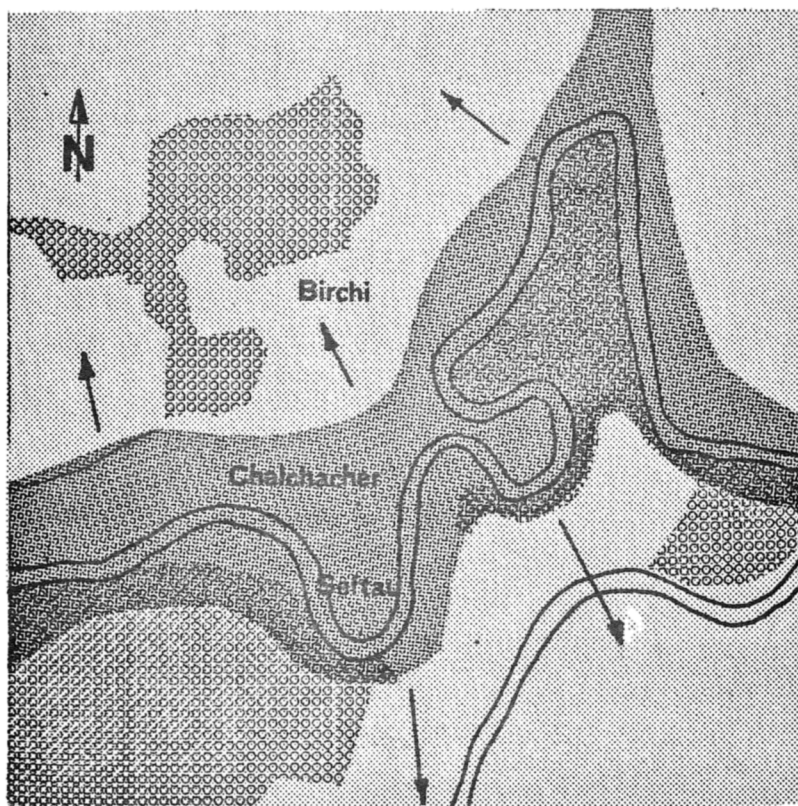


Fig. 12 Die grösste Ausbreitung der Kaltluft
(Tendenz zur Ausbreitung in das ganze Becken von Bern)

Im Laufe des Abends verstärkt sich nun die Kaltluft im untern Grabenteil so stark, dass auch beim Vergleich Seftau - Birchi eine Inversion herauszulesen ist. Es ist dies die logische Weiterentwicklung des Falles 1. Das Kärtchen (Fig. 10) zeigt dieselbe Kaltluftausbreitung wie bei Fall 1.

Aus Fig. 11 ist zu entnehmen, dass die Temperaturzunahme bis zum Grabenrand und öfters auch darüber hinaus anhält. Dabei lagern die kältesten Luftmassen, ihrem spezifischen Gewicht entsprechend, zuunterst.

Dieser Fall 3 kann als eigentliche Endphase des Inversionszyklus betrachtet werden. Er tritt in den meisten Fällen gegen Mitternacht ein und dauert bis zum Sonnenaufgang.

Das Ausbreitungskärtchen (Fig. 12) zeigt, dass bei der konsequent durchlaufenden Inversion das ganze Untersuchungsgebiet betroffen wird. Oft liegt sogar das ganze Becken von Bern (mit der Stadt) in diesem Kaltluftsee. Die Umkehr zur normalen vertikalen Temperaturabnahme erfolgt dann erst ab 600 - 700 m ü. M.

FALL 4

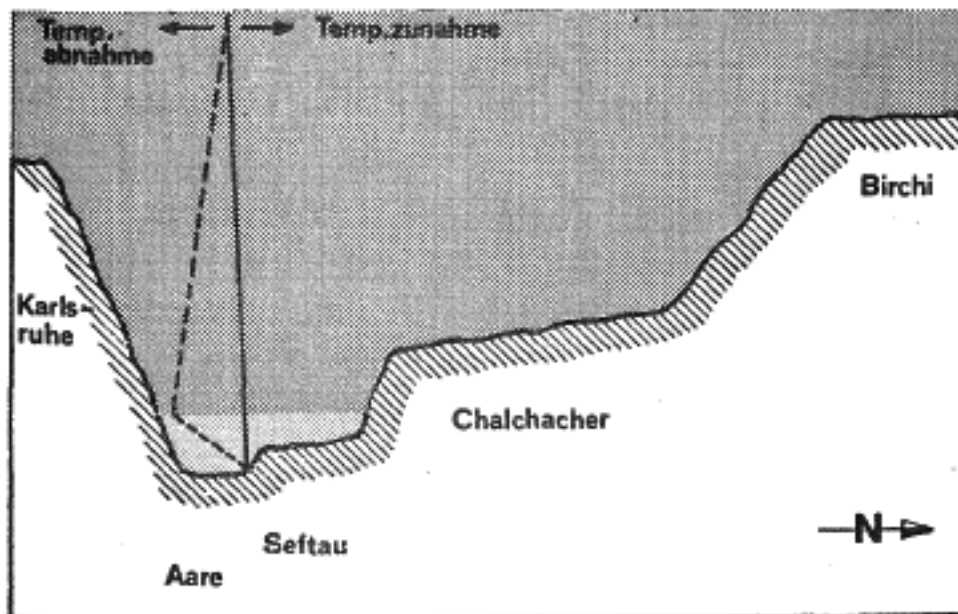


Fig. 13 Warmluft im tieferen Grabenteil

Besonders in den frühen Morgenstunden, zur Zeit des Temperaturminimums, erscheint, wie aus Fig. 13 ersichtlich wird, die unterste Luftschicht an der Talsohle relativ warm. Diese Erwärmung ist auf den Einfluss des relativ warmen Flusswassers zurückzuführen, dessen tägliche Temperaturschwankungen bedeutend kleiner sind als diejenigen der Luft (KUHN 1972). Die Station Seftau ist dann wärmer als Chalchacher und Birchi. Dagegen besteht zwischen Chalchacher und Birchi eine Inversion. Dem Aarelauf entlang zieht sich bei dieser Situation (Fig. 14) eine wenig mächtige Warmluftschicht. Darüber lagert sich wie eine Decke die Kaltluft.

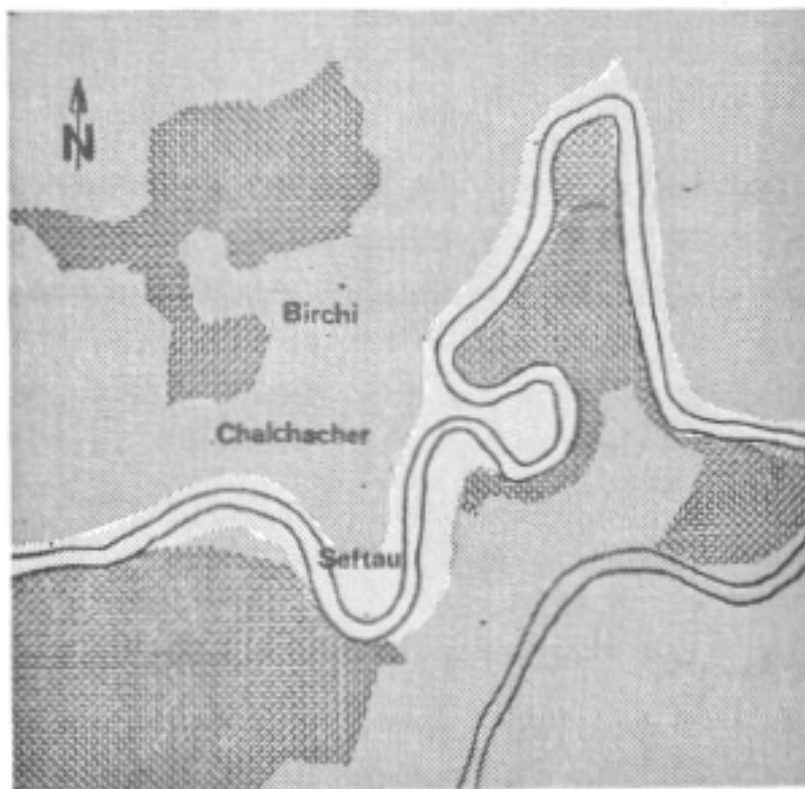


Fig. 14 Warmluftausbreitung der Aare entlang

FALL 5

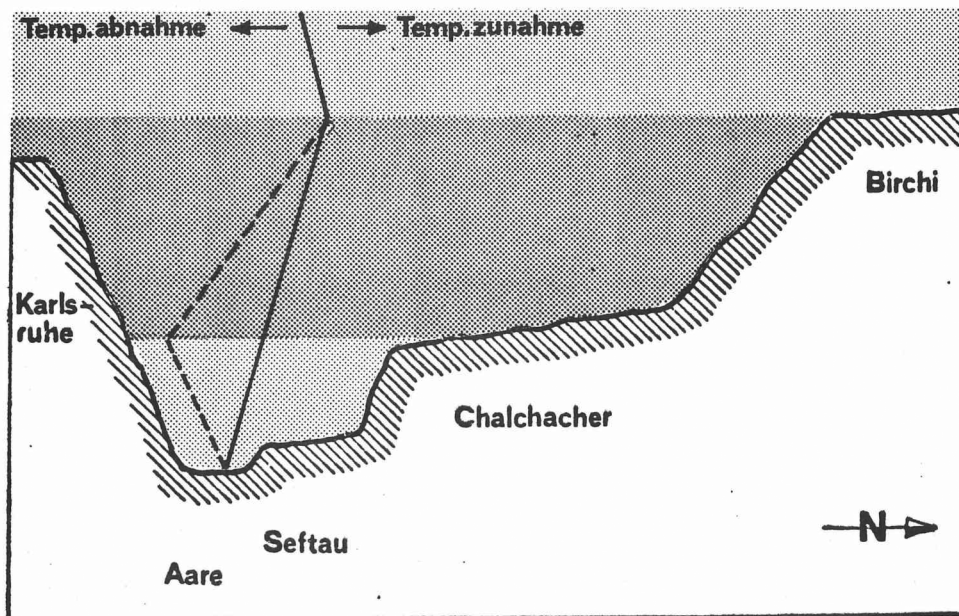


Fig. 15 Mittlere oder mittelhohe Inversion

Das letzte Beispiel (Fall 5) ist ein Sonderfall, der nicht in den eigentlichen Inversionszyklus hineingehört. In den Mittagsstunden kann sich der enge, geschützte Teil des Talgrundes stärker erwärmen als die Chalchacherterrasse. Wiederum zieht sich warme Luft der Aare entlang. Aber auch das Plateau von Birchi erwärmt sich sehr stark, so dass wir eine Kaltluftschicht im oberen Grabenteil haben. Obwohl dieser Fall öfters bei der Auflösung der konsequenten Inversion vorkommt, ist er von geringer Bedeutung, da diese "Mittelinversion" sehr kurzlebig ist, d. h. nur stundenweise auftritt.

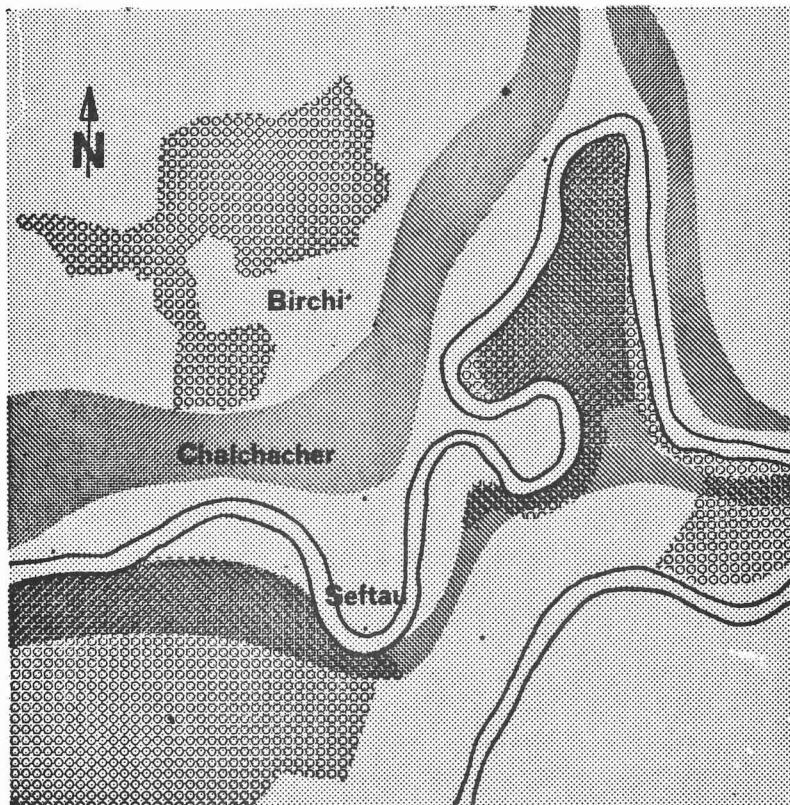


Fig. 16 Wärmere Luftschicht in Seftau und auf dem Plateau von Birchi

Fünf Inversionsfälle

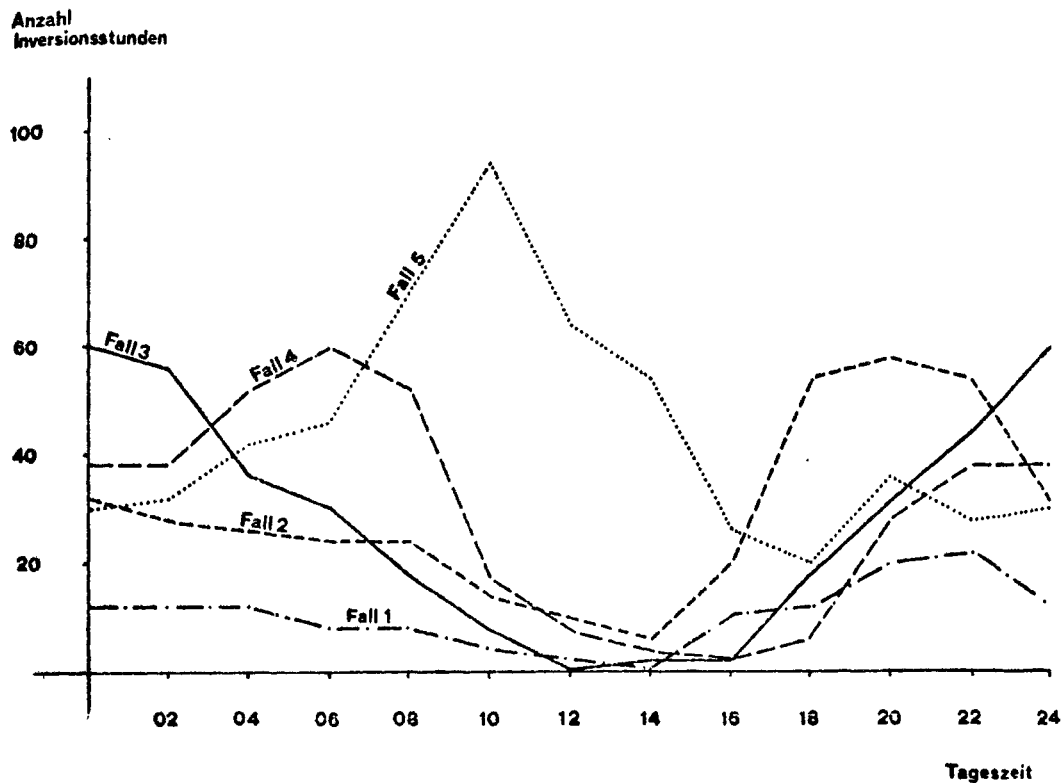


Fig. 17 Verteilung und Häufigkeit der einzelnen Fälle über die Tageszeit

- Fall 1 Vorbereitung - Einleitung der Inversion (spätnachmittags oder abends)
- Fall 2 Verstärkung am späten Nachmittag
- Fall 3 Endphase nachts
- Fall 4 Abbau von unten her (zu der kältesten Tageszeit)
- Fall 5 Sonderfall um die Mittagszeit

Die Erläuterung der fünf Inversionsfälle zeigt, dass nicht jeder Teil des Aaregrabens den Inversionslagen in gleichem

Masse ausgesetzt ist. Die Inversionsbildung und -auflösung hat ihre eigenen Gesetzmässigkeiten. Allerdings ist es nicht so, dass bei jeder Inversionsbildung immer alle Phasen durchlaufen werden. Es ist durchaus möglich, dass z. B. Fall 1 direkt in Fall 3 übergeht.

2.5. Die Entwicklung der Temperaturen und der Inversionslage am Beispiel des 24. März 1973

Wenn in Kap. 3.3. von kälter und wärmer die Rede war, so soll nun ein Beispiel mit konkreten Zahlen (24. März 1973) dargestellt werden. Die nachfolgende Figur zeigt, wie sich die Temperaturen an diesem Frühlingstag entwickelten.

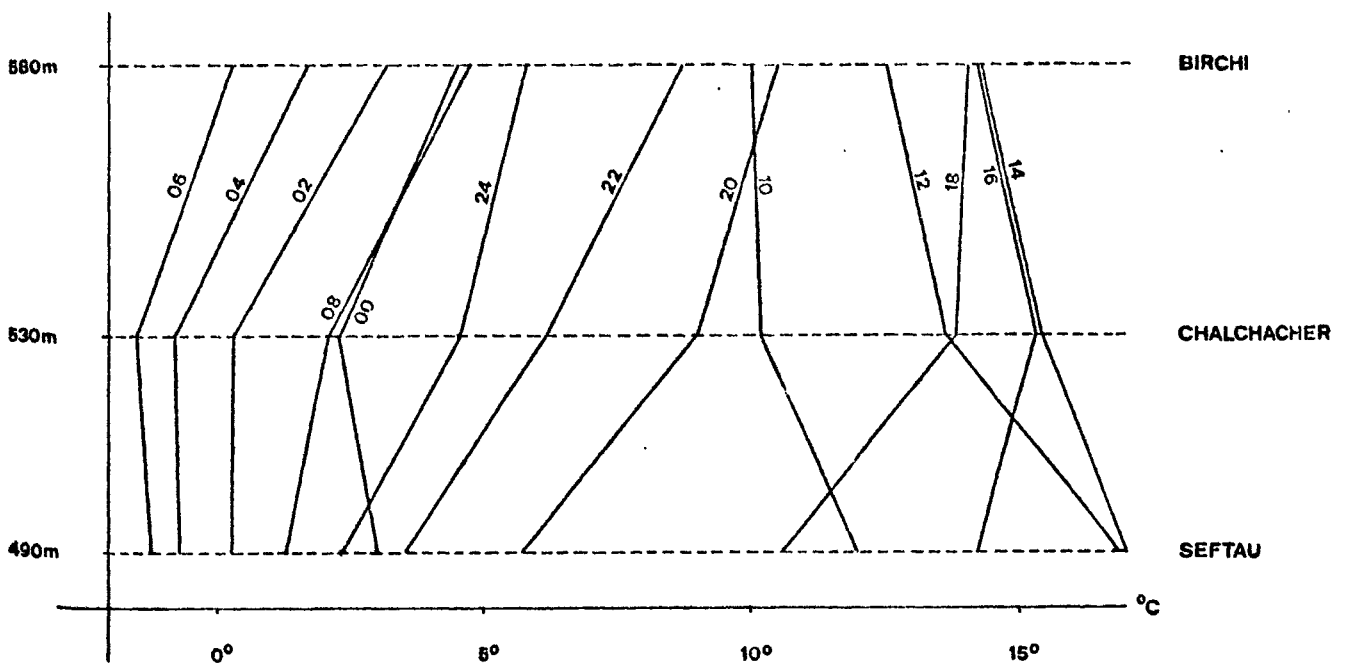


Fig. 18 Tautochronendarstellung der Temperaturen am 24.3.1973 (Vertikaler Temperaturverlauf im Aaregraben zu einem bestimmten Zeitpunkt: 00, 02, 04 24 Uhr)

- 00 - 06 Uhr In allen Stationen sinkt die Temperatur. Kalte Luft füllt den Graben langsam auf. Während der ganzen Zeit bleibt Birchi die wärmste Station: Die Temperatur fällt im Gegensatz zu Chalchacher und Seftau nie unter den Gefrierpunkt.
- 06 - 08 Uhr Nach dem Sonnenaufgang (07.20 Uhr) setzt eine generelle Erwärmung ein (alle Stationen).
- 08 - 10 Uhr Während dieser Zeit holt nun der untere Teil des Aaregrabens auf. Um 10 Uhr hat sich die Inversionslage ganz aufgelöst (normale vertikale Temperaturabnahme).
- 10 - 14 Uhr Die vertikale Temperaturabfolge bleibt normal.
- 14 - 16 Uhr Bereits vor 16 Uhr erreicht die Sonne den Grund des Grabens nicht mehr, was eine deutliche Abkühlung zur Folge hat. Zwischen Seftau und Chalchacher herrschen bereits wieder inverse Temperaturverhältnisse.
- 16 - 22 Uhr Um 18 Uhr ist die Abkühlung schon ziemlich weit fortgeschritten: Es stellt sich die konsequente Inversionslage ein, welche während der ganzen Nacht bleibt (bei genereller Abkühlung).

Welche Inversionsdauer diese Temperaturverhältnisse zur Folge haben, ist in der nachfolgenden Figur dargestellt:

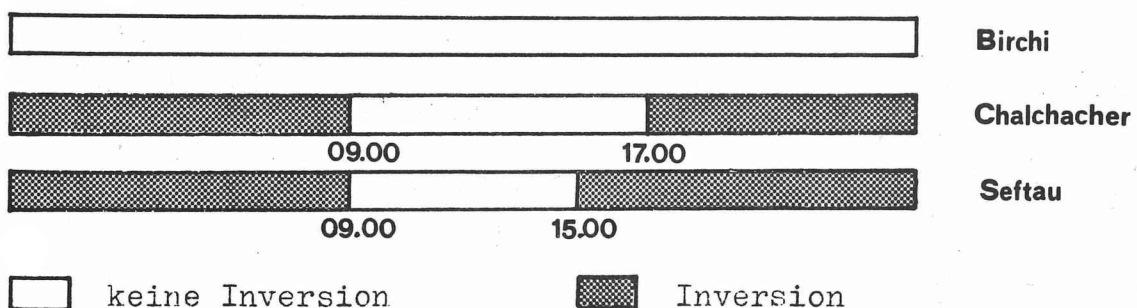


Fig. 19 Inversionsdauer der verschiedenen Stationen am 24. März 1973

Birchi	Keine Inversion. Der Vergleich mit höher gelegenen Stationen in der Region Bern (Spiegel 700 m ü. M. und Bantiger 1050 m ü. M.) zeigt, dass die Temperaturabfolge über dem Birchi-Niveau normal ist.
Chalchacher	16 Stunden Inversion
Seftau	18 Stunden Inversion

Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass der unterste Teil des Aaregrabens den Inversionen am stärksten ausgesetzt ist. In Kap. 7 wird auf diese Tatsache noch einmal näher eingegangen.

2.6. Die Temperaturdifferenzen bei Inversionslagen

Während in Kap. 2 die Temperaturmittel und die Mittel der Minima und Maxima während der ganzen Messperiode verglichen wurden, sollen nun in diesem Kapitel die Temperaturunterschiede zwischen den drei Stationen nur bei Inversionslagen besprochen werden.

Im Mittel lagen bei Inversionen die Temperaturen auf dem Chalchacher $0,7^{\circ}$ C höher als diejenigen in der Seftau. Die Temperaturerhöhung zwischen Chalchacher und Birchi beträgt noch einmal $0,7^{\circ}$ C (ΔT_m). Ueber die mittlere monatliche Temperaturzunahme gibt uns die Histogramm-Darstellung in der Fig. 20. Auskunft: diese schwankt zwischen $0,1^{\circ}$ und $1,1^{\circ}$ C. Nehmen wir einzelne Inversionslagen heraus, so erhalten wir bedeutend grössere Temperaturgegensätze: 4° C Temperaturzunahme Seftau - Chalchacher und nochmals 4° C zwischen Chalchacher und Birchi (max. ΔT). Die tiefer gelegenen Gebiete des Aaregrabens sind folglich bei inverser Temperaturschichtung stark unterkühlt.

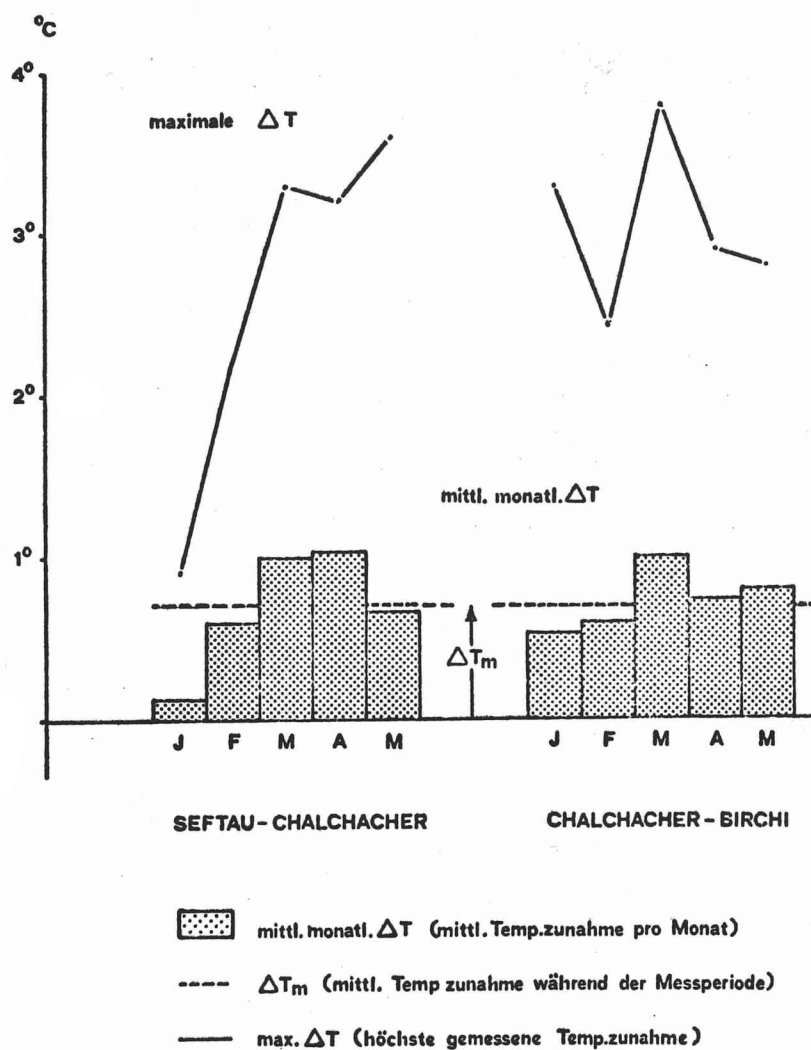


Fig. 2o Die Temperaturdifferenzen (ΔT) nur bei Inversionslagen

2.7. Grossräumige und kleinräumige Inversionen - ein Vergleich

Bei winterlichen Hochdrucklagen entstehen häufig grossräumige Inversionen, welche eine Nebeldecke zur Folge haben (vgl. Beitrag 3). Die Umkehr zu der normalen vertikalen Temperaturschichtung (= Obergrenze der Kaltluft) schwankt in diesen Fällen meist zwischen 700 m und 1000 m (WANNER, H. 1971). Damit steht fest, dass das ganze Becken von Bern mitsamt dem Aaregraben unter dieser Hochnebeldecke liegt. Da nun in unserem Messnetz der Region Bern eine Temperaturstation auf dem Fernsehturm Bantiger (1050 m ü. M.) besteht, wurden die Inversionsstunden des Aaregrabens mit denjenigen über der Stadt Bern verglichen (Fig. 21).

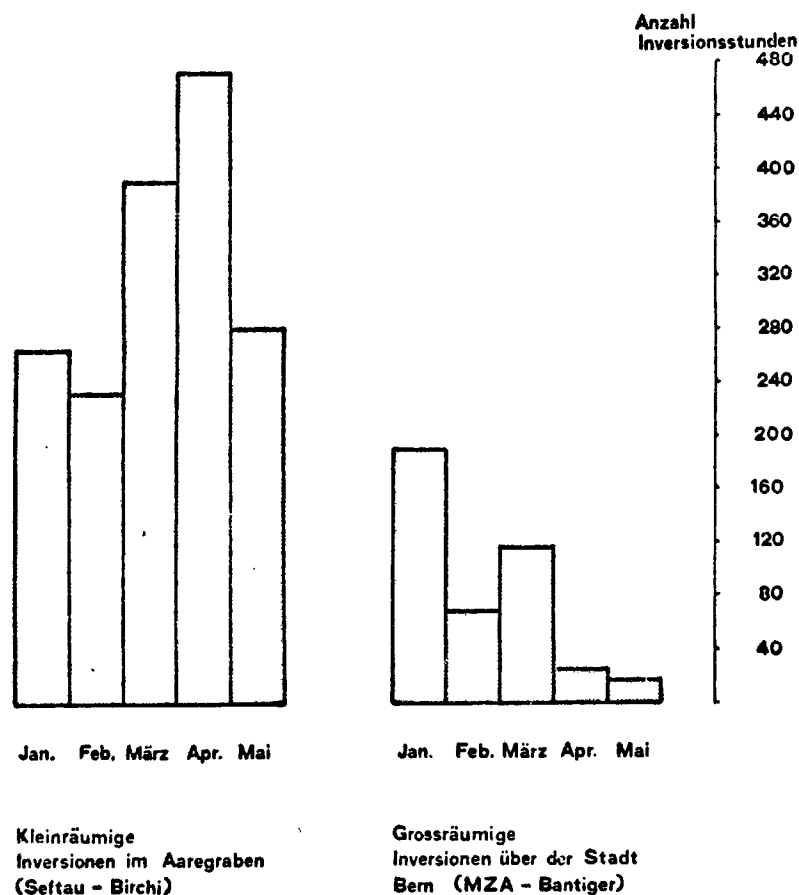


Fig. 21 Vergleich der Inversionshäufigkeit im Aaregraben und in der Stadt Bern

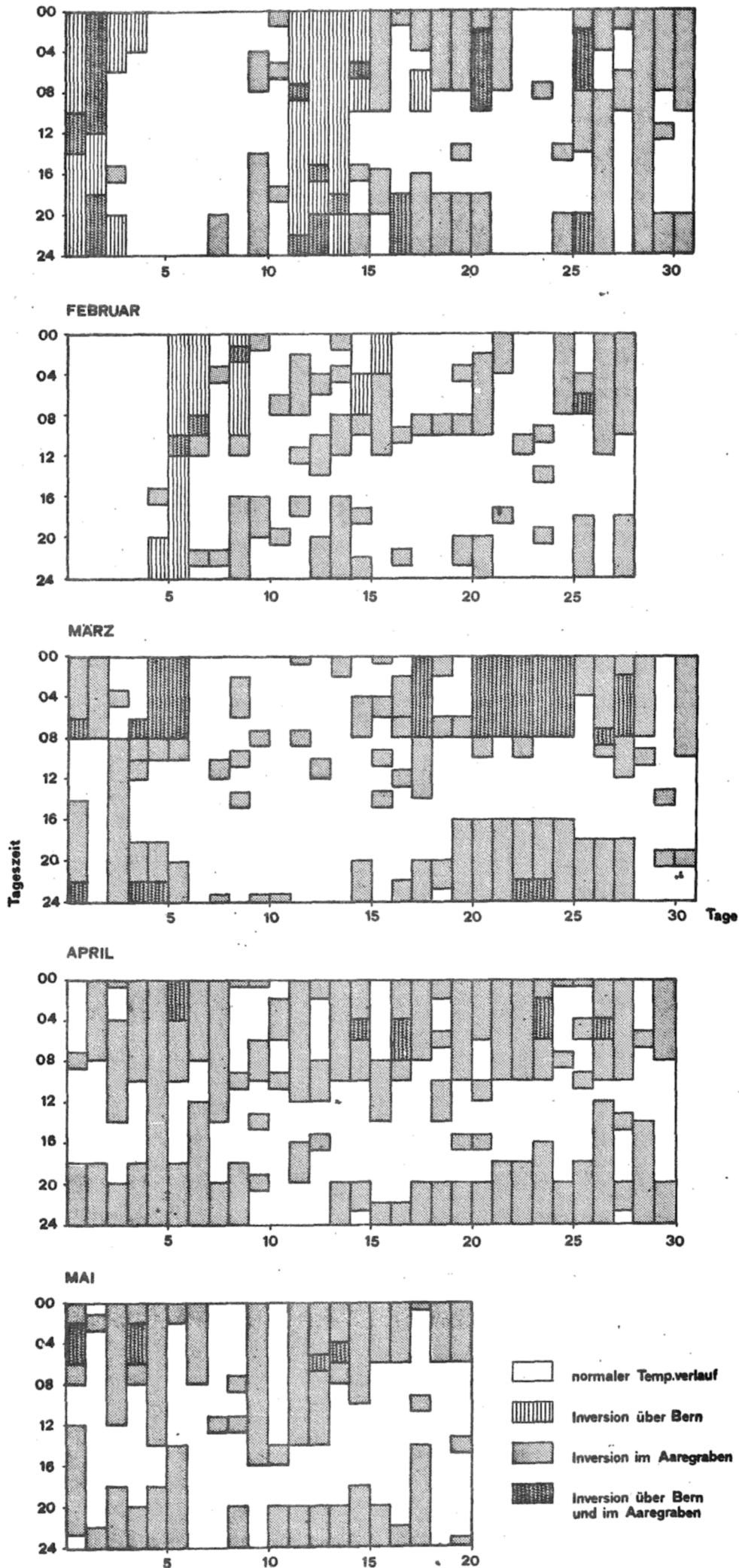


Fig. 22 Häufigkeit und Dauer der gross- und kleinräumigen Inversionen

Während der Messperiode (140 Tage = 3360 Stunden) ergaben sich im Aaregraben, wie wir bereits wissen, 1678 Stunden mit Inversionen = 49,6 % (vgl. Kap. 2.2.). Dagegen resultierten aus dem Temperaturvergleich MZA Station Bern - Bantiger während derselben Zeit nur 418 Inversionsstunden = 12,4 %. Die Station Bern, welche auf der Anhöhe der grossen Schanze (540 m ü. M.) liegt, ist also weit weniger inversionsgefährdet als der Aaregraben. Stellten wir in Kap. 2.2. fest, dass die kleinräumigen Aaregrabeninversionen während des ganzen Jahres vorkommen, so zeigt nun diese Darstellung, dass die grossräumigen Inversionen mit zunehmender Erwärmung seltener werden. Im Mai waren in Bern nur noch neun Inversionsstunden (Aaregraben 280!) zu verzeichnen. Allerdings dauern grossräumige Inversionen oftmals mehrere Tage an (1. - 3. Januar, 12. - 15. Januar und 4. - 6. Februar). Die meteorologische Station Payerne hat durch tägliche Ballonaufstiege im Durchschnitt 100 Inversionssituationen pro Jahr beobachtet, von denen 25 mindestens einen ganzen Tag dauerten (GRANDJEAN 1973). Die meisten von diesen Inversionen hatten ihre Obergrenze bei 900 m. Bodeninversionen wurden leider nicht gemessen - sie dürften aber, wie Fig. 22 verdeutlicht, viel zahlreicher sein.

2.8. Die Ueberlagerung der Aaregrabeninversionen durch die grossräumigen Inversionen (Mehrblättrigkeit der Inversionen)

Schon aus Fig. 22 geht hervor, dass praktisch jede Kombination zwischen Aaregrabeninversionen und grossräumigen Inversionen möglich sind. Anhand der nachfolgenden Figur sollen diese Möglichkeiten noch einmal diskutiert werden.

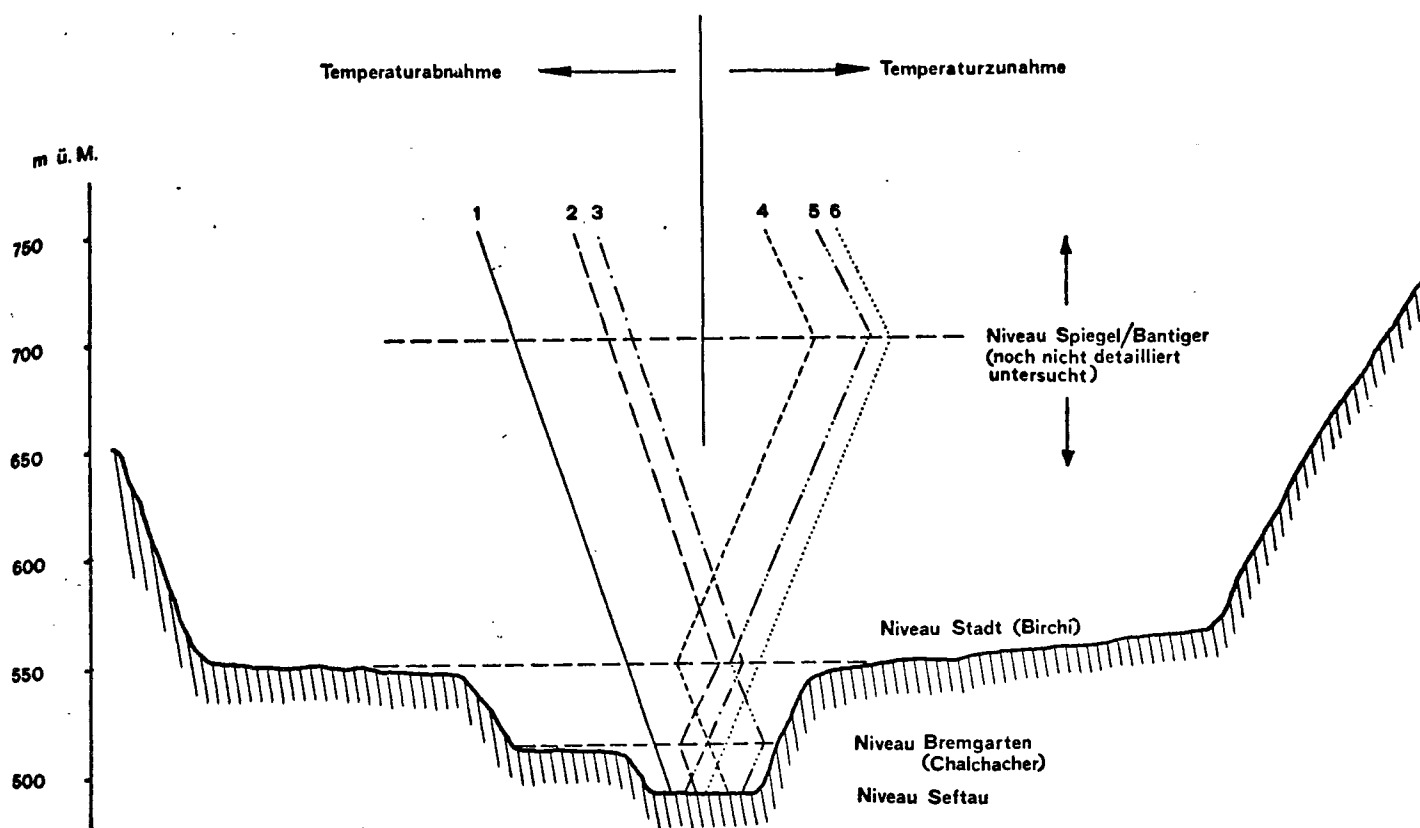


Fig. 23 Vertikale Temperaturabfolge bei Inversionsüberlagerungen

- Fall 1 Normale vertikale Temperaturabnahme
- Fall 2 Kaltluft im untern Teil des Aaregrabens. Wärmere Luft im oberen Teil des Aaregrabens, anschliessend normale Temperaturabnahme.
- Fall 3 Kaltluft füllt den ganzen Graben aus. Birchi ist am wärmsten. Nur Inversion im Aaregraben.
- Fall 4 Normale Temperaturabnahme im Aaregraben. Darüber nimmt die Temperatur zu und geht erst wieder bei der grossräumigen Inversionsobergrenze in die normale vertikale Abfolge über. In diesem Falle haben wir nur eine Höheninversion.

- Fall 5 Kaltluft am Grunde des Aaregrabens. Anschliessend normale Abnahme, sonst wie Fall 4.
- Fall 6 Konsequente inverse Temperaturabfolge bis zur Obergrenze der Höheninversion. Inversion im ganzen Graben und in der Höhe.

Diese komplexen Verhältnisse zeigen, dass sich mehrere Inversionsschichten überlagern können. Je nach Geländeform ist die Ausdehnung der einzelnen Kaltluftschichten verschieden gross. Enge Gräben, Täler, Muldenlagen und Beckenzonen sind viel stärker inversionsgefährdet als Hügel, Hang- oder Kammlagen.

III. DIE WINDVERHAELTNISSE IM AAREGRABEN

3.1. Vergleich der Windverhältnisse Bern - Aaregraben

Mitentscheidend für die Ausprägung des Klimas und die lufthygienische Belastung einer Region sind, zusätzlich zum Inversionsgeschehen, vor allem auch die Windverhältnisse. Untersuchungen haben ergeben, dass bei Windstärken unter 2 - 3 m/s die Belastung der Luftmassen mit Schadstoffen in städtischen Expansionsgebieten bedeutende Ausmasse annimmt (BAND 1969).

Die Windverhältnisse beeinflussen die Inversionsdauer und sind entscheidend für die regionale Verteilung der Schadstoffemissionen.

Es liegt daher nahe, im Rahmen der klimatischen Untersuchungen im Aaregraben auch die Ventilationsverhältnisse dieser Region genauer aufzuarbeiten.

Als erstes sollen dabei die Hauptwindrichtungen des Aaregrabens mit denjenigen über der Stadt Bern verglichen werden.

Leider fehlen ganzjährige Windmessungen aus dem Untersuchungsgebiet. Dagegen sind langjährige Messungen der Windverhältnisse über der Stadt Bern durch die Windmessenanlage der Meteorologischen Station Bern (Institut für Exakte Wissenschaften) vorhanden.

MESSERLI (1972) hat die Winddaten dieser Station für die Jahre 1965 - 1969 analysiert.

Die Hauptwindrichtungen für die Stadt Bern sind durch die topographischen Ventilationsrinnen bedingt (Fig. 25).

Interessant ist dabei, dass neben den durch das Wangental und die Senke von Riedbach einfallenden Westwinden und der aus der Mulde von Zollikofen - Moosseedorf einströmenden Bise für Bern die Winde aus dem Aaretal von entscheidender Wichtigkeit sind (siehe Beitrag 2).

Fig. 24 zeigt deutlich, dass dieser Aaretalwind mit grosser Regelmässigkeit, über alle Jahreszeiten hinweg, die Stadt vor allem

nachts überströmt.

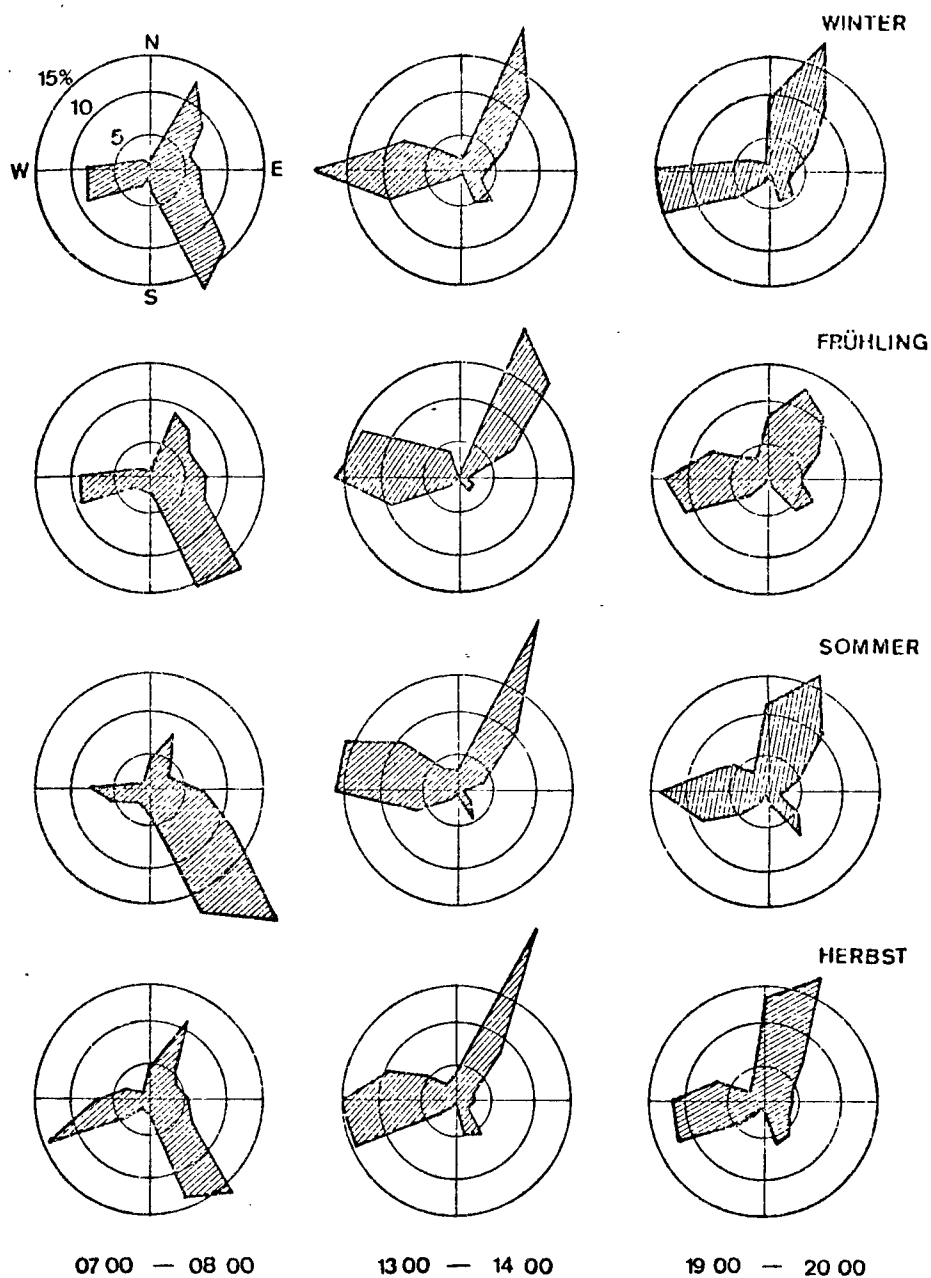


Fig. 24 Tagesgang der Hauptwindrichtungen über Bern.
 Winddaten 1965 - 69 der MZA Station (MESSERLI 1973 : 57)

Es handelt sich dabei in den wenigsten Fällen um Föhnwinde, fast ausschliesslich sind es aus dem Alpenraum abgleitende Kaltluftmassen mit mittleren Windstärken unter 4 m/s (MESSERLI 1972).

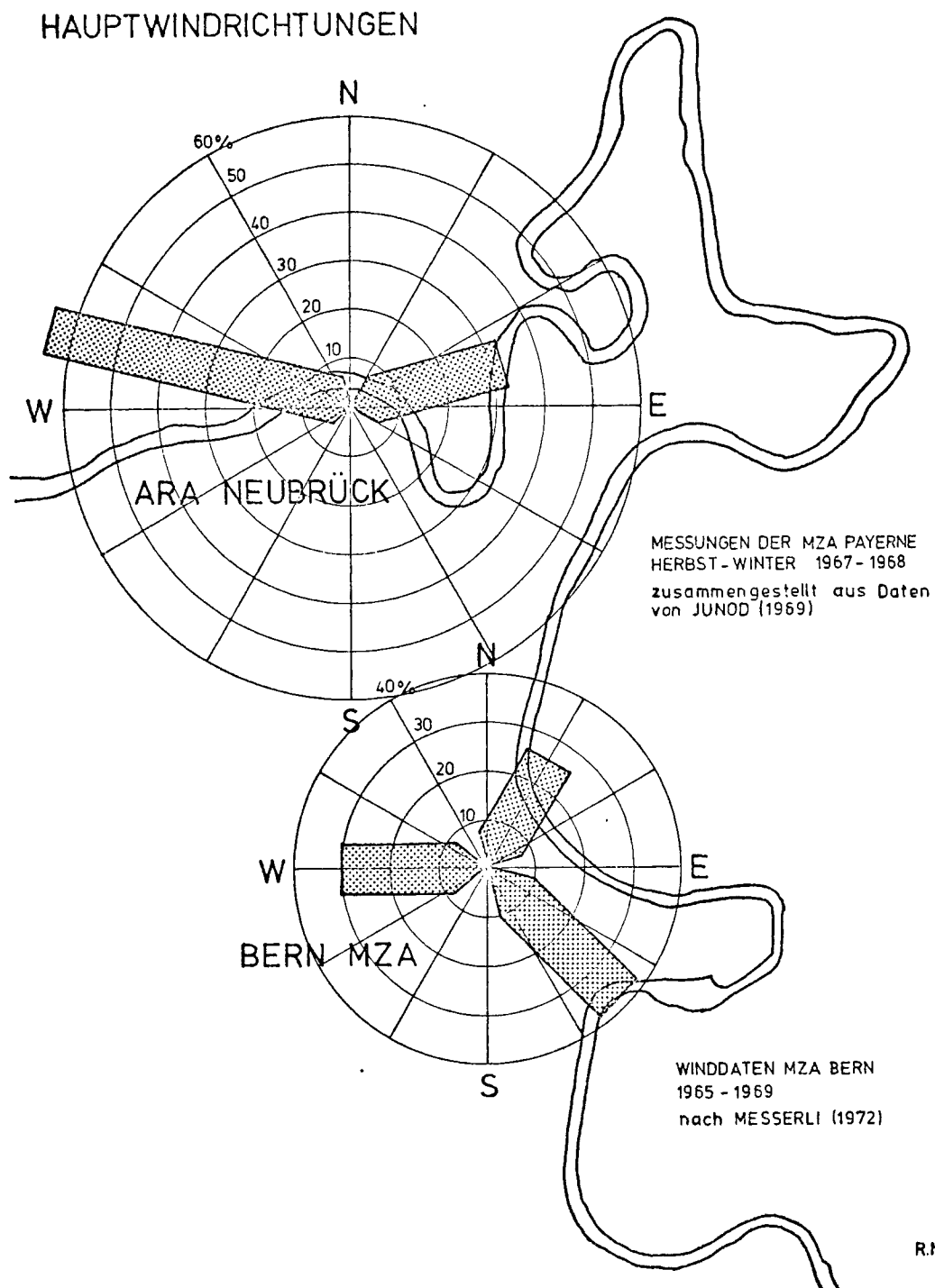


Fig. 25 Vergleich der Hauptwindrichtungen über Bern und im Aaregraben bei Neubrücke/Bremgarten. Die Windrosen sind schematisch auf die Hauptwindrichtungen vereinfacht.

In Fig. 25 sind die von MESSERLI (1973) ausgewerteten Winddaten der Stadt Bern in bezug gebracht mit den von JUNOD (1969) erarbeiteten Resultaten der Windmessungen im Aaregraben. Obwohl die beiden Darstellungen aus zeitlich nicht miteinander übereinstimmenden Messdaten stammen, lässt sich die allgemeine Tendenz unschwer erkennen.

Das Windgeschehen in der Grabenregion ist grundsätzlich verschieden vom Windgeschehen über der Stadt.

Die drei Hauptwindrichtungen über Bern werden im Graben auf zwei Hauptwindrichtungen reduziert. Die Westwinde werden dabei aus der im Mittelland üblichen Richtung von 240° - 270° durch die Kanalisationswirkung auf 270° - 300° abgedreht.

Als wichtigstes Ergebnis dieses ersten Vergleichs darf festgehalten werden, dass die für Bern bedeutende Südostkomponente der Winde im Graben fast vollständig fehlt.

Diese, vor allem für lufthygienische Untersuchungen im Expansionsgebiet der Stadt, wichtige Tatsache, soll im weiteren noch näher untersucht werden.

Genauere Untersuchungen der Ventilationsverhältnisse der Region Bern sind zur Zeit noch in Arbeit. Im Rahmen der Regionalklimamessungen werden die Windverhältnisse seit 1972 an verschiedenen Orten gemessen. Da die Auswertungen dieser Messungen noch nicht alle vorliegen, werden detaillierte Winduntersuchungen und Fragen im Zusammenhang zwischen Ventilation und lufthygienischer Belastung der Region Bern später veröffentlicht (siehe Beiträge 2 und 9).

3.2. Windmessungen der MZA Payerne im Aaregraben

Im Auftrag der Bernischen Kraftwerke AG und der Stadt Bern führte die MZA Payerne meteorologische Untersuchungen zur Abklärung der Standortfrage für das Hochkamin des Atomkraftwerkes Mühle-

berg und die Abwasserreinigungsanlage I der Stadt Bern durch. Diese im Raum Wohlensee und Bremgarten/Neubrücke durchgeführten Messungen ergeben interessante Hinweise auf die Ventilation des Aaregrabens.

JUNOD (1969) kommt zum Ergebnis, dass die Winde im unteren Teil des Grabens eindeutig kanalisiert werden. Bei windschwachen Wetterlagen kommt es zur Ausbildung eines Talwindsystems mit Wechselwinden zwischen Tag und Nacht.

Im oberen, etwas offeneren Grabenteil (Raum Stuckishaus - Bremgarten), sind die Windverhältnisse etwas schwieriger zu interpretieren.

Fig. 26 gibt einen Überblick über die Windverhältnisse im oberen Grabenteil.

Bei Tag sind die Hauptwindrichtungen Nordwest bis West (Sektoren 270° - 300°) und Nordost (Sektor 60°).

Diese zwei Hauptwindrichtungen machen rund 75 % aller Fälle aus. In diesen Windrichtungen wehen auch die stärksten Winde. Die quer zur Grabenachse auftretenden Windstärken aus den Sektoren 330° , 30° und 180° dürften durch zeitlich beschränkt auftretende, heftige thermische Hangwinde bedingt sein.

Bei Nacht verschieben sich sowohl die Nordwest- wie auch die Nordostwinde mit ihrem Schwerpunkt etwas nach Süden. Interessant ist dabei das Aufkommen einer Südwestkomponente (Sektor 240°) mit rund 7 % Windanteil.

Hier ist nun zu beachten, dass bei den nächtlichen Messungen 12,6 % der Windrichtungsdaten nicht eindeutig zugeordnet werden konnten. Dieser Ausfall ist durch die Ansprechträgheit des Messinstrumentes bedingt. Die nicht erfassten Winde weisen somit Windstärken unter 0,5 m/s auf. Die Windstärkenverteilung zeigt bei Nacht eindeutig, dass die stärkeren Winde tal- und hangabwärts wehen. Die Südwestkomponente weist dabei die geringsten Stärken auf. Es liegt daher nahe, diesem Sektor einen Anteil der

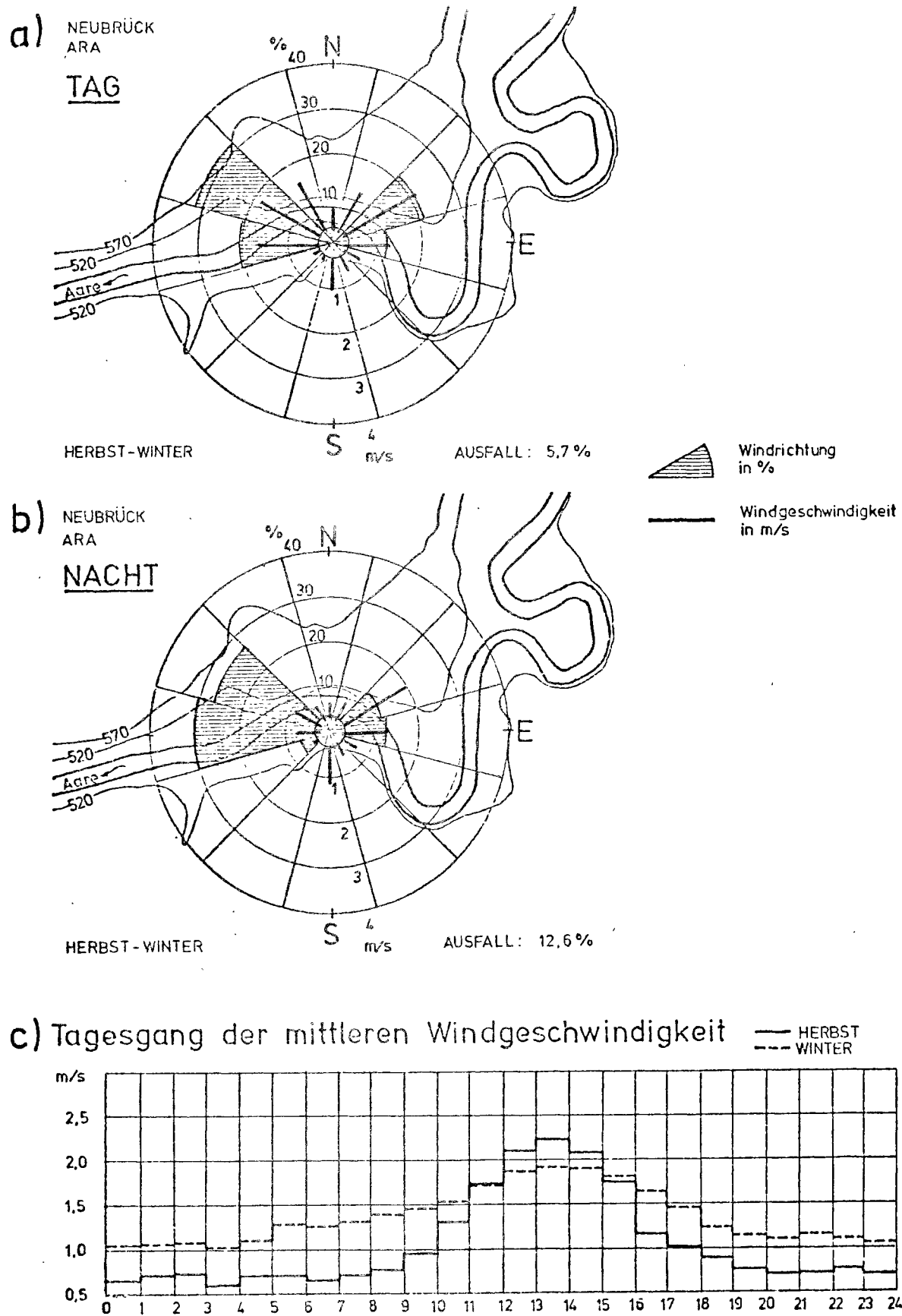


Fig. 26 Windverhältnisse im Raum Bremgarten/Neubrücke

a) und b) gezeichnet nach Angaben von JUNOD (1969)
c) kopiert aus JUNOD (1969 : Abb. 3)

nichtdefinierbaren Windrichtungen zuzuordnen.

Damit ist aufgezeigt, dass das Grabenwindssystem durch nächtliche Hangwinde aus Süden beeinflusst wird.

Der Tagesgang der Windgeschwindigkeiten (Fig. 26 c) zeigt, dass die Ventilation gesamthaft gesehen schwach ist. Windstärken über 2 m/s im Stundenmittel sind selten. Dabei sind die Winde in der Nacht ganz allgemein wesentlich schwächer als bei Tag. Dieser, durch thermischen Austausch bedingte Unterschied, ist im Winter weniger ausgeprägt.

Zusammenfassung

Die Messungen bei Neubrück geben für die Windverhältnisse im Kessel von Bremgarten folgende Anhaltspunkte (JUNOD 1969):

1. Die Hauptwindrichtungen sind durch die Grabenachse bestimmt
2. Ein Wechselwindsystem entlang der Grabenachse ist in diesem relativ offenen Grabenteil nicht eindeutig feststellbar.
3. Thermisch bedingte Hangwinde (vor allem von der Stadtseite her) sind durch die Nord-Süd-Verlagerung der Hauptwindrichtungen zwischen Tag und Nacht angedeutet.
4. Die im Graben auftretenden Winde sind allgemein schwach. Besonders nachts liegen die mittleren Windgeschwindigkeiten meist unter 1 m/s.

3.3. Messkampagnen des Geographischen Instituts

Um die von JUNOD (1969) erhaltenen Ergebnisse auf den ganzen Raum Bremgarten auszuweiten und zusätzliche Informationen über die Feinstruktur der Ventilationsverhältnisse im Aaregraben zu erhalten, führte das Geographische Institut der Universität Bern im Mai 1974 zusätzliche Messungen durch. Mit zwei Woelfle-Windschreibern (vgl. Kap. 1.4.) wurde als erstes eine Vergleichsmessung zwischen dem Birchi-Plateau und der Talstufe von Brem-

garten-Chalchacher durchgeführt (siehe Fig. 2 und Fig. 27).

Fünf weitere Kurzmesskampagnen mit besonders empfindlichen Rochat-Windmessern sollten zudem Auskunft über feinste Unterschiede der Luftverfrachtungen aufzeigen (vgl. Kap. 3.3.2.). Fig. 27 gibt einen Ueberblick über die für die Messkampagnen gewählten Instrumentenstandorte.

3.3.1. Vergleichsmessung Birchi - Chalchacher

Eingesetzte Instrumente:

2 Windschreiber Woelfle auf

Rohr 2,5 m über Boden

(siehe Abb. 2)

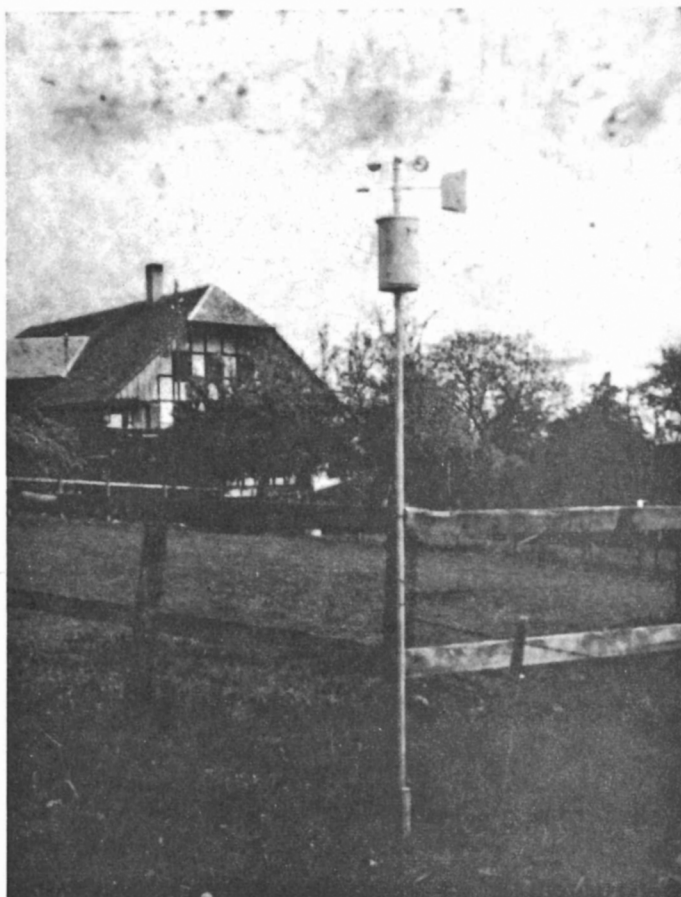


Abb. 2 Windmess-Station Bremgarten Chalchacher mit Woelfle-Windschreiber

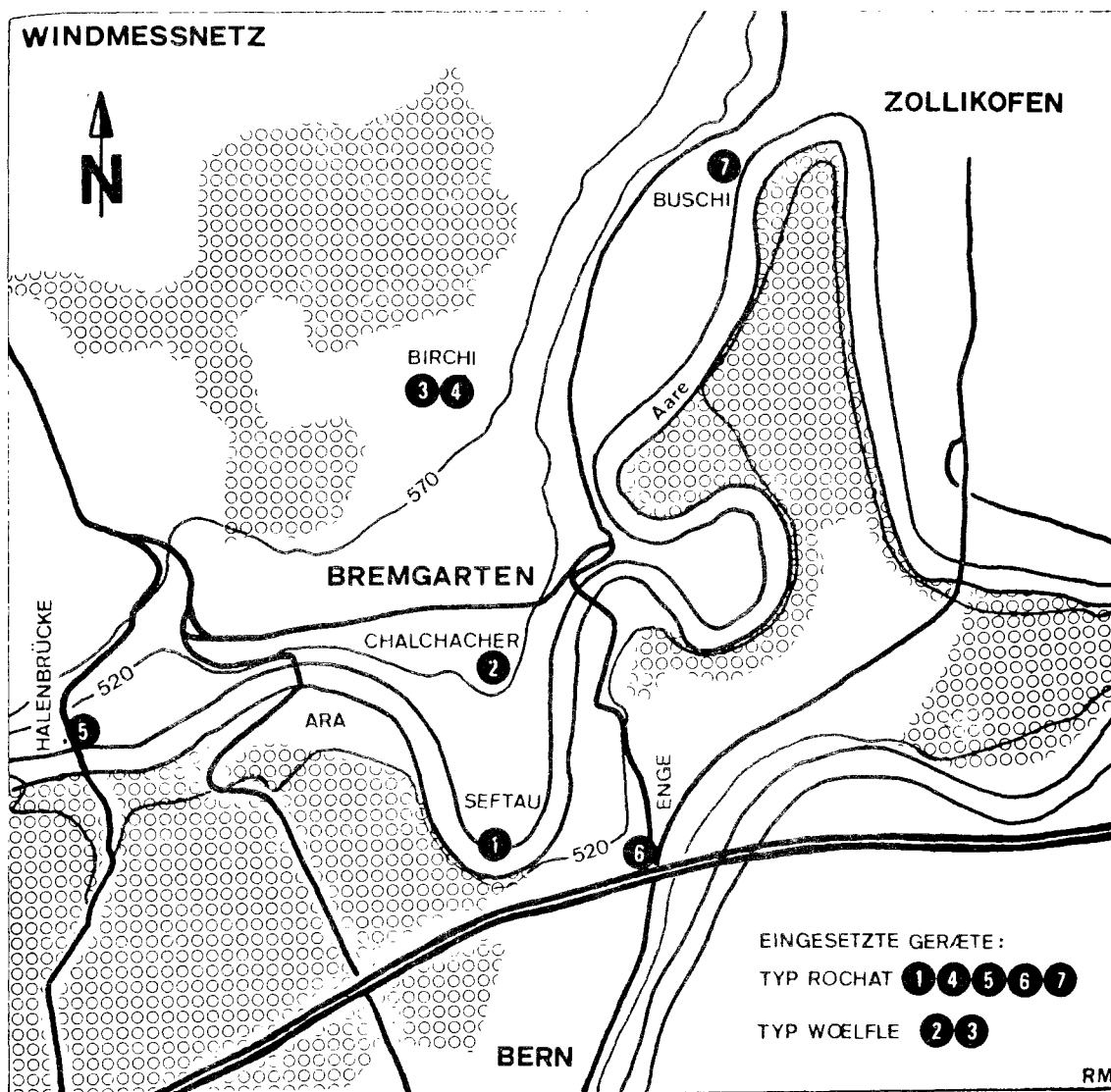
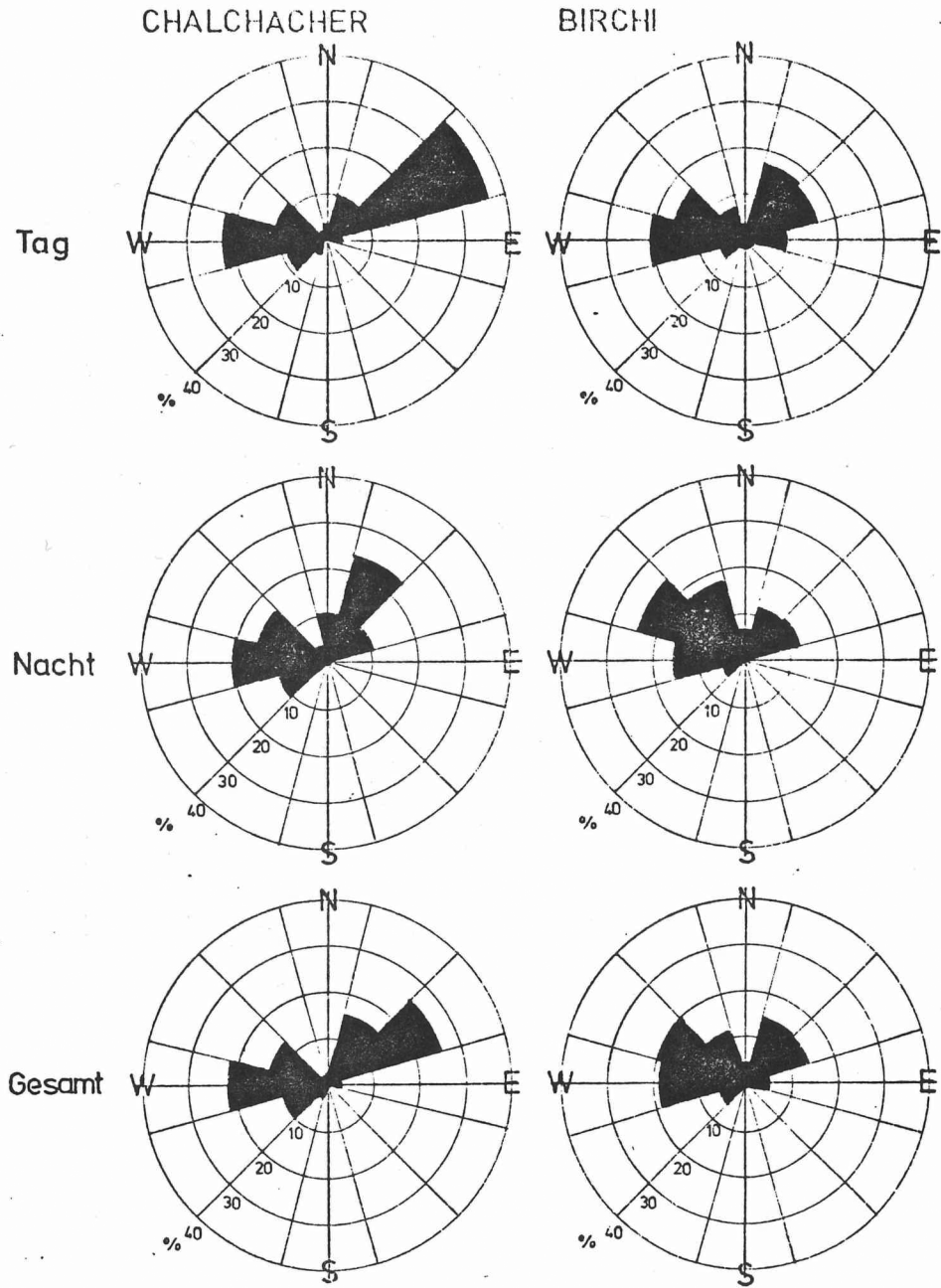


Fig. 27 Instrumentenstandorte für Kurzmesskampagnen

<u>Nr.</u>	<u>Station</u>	<u>Umschreibung der Oertlichkeit</u>
1	Seftau	am Feldweg, ca. 30 m nördlich Aareufer
2	Chalchacher	am Feldweg südlich Garten Affolter
3/4	Birchi	Ecke Hofstatt nördlich Bauernhof
5	Halenbrücke	ca. 10 m vom Aareufer unterhalb Brücke
6	Enge	bei Bushaltestelle Felsenau-Enge
7	Buschi	ca. 30 m südlich Hofstatt Bauerngut

Windrichtungshäufigkeit in %



Tagesmittel der Windgeschwindigkeit

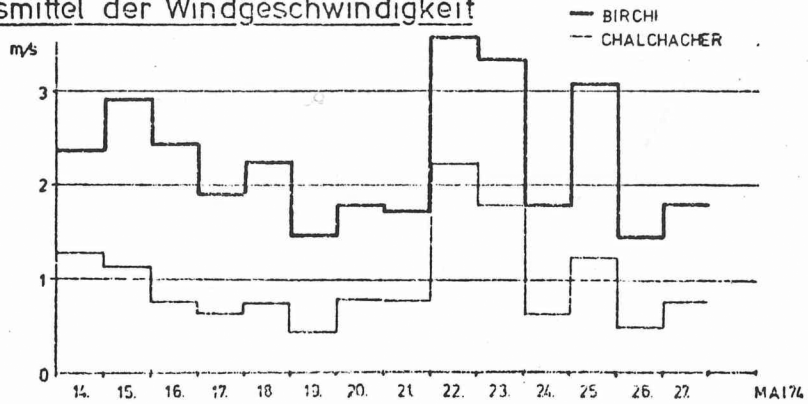


Fig. 28 Vergleich der Windverhältnisse Birchi-Chalchacher. 12-tägige Messung mit Woelfle-Windschreiber

Die in Fig. 28 dargestellten Ergebnisse der Vergleichsmessung können wie folgt analysiert werden:

1. Windrichtungen

Gesamthaft gesehen verteilen sich die Windrichtungen auf dem Plateau auf einen grösseren Windsektor als auf der Talstufe. Die Kanalisation der Winde bei Chalchacher auf West und Nordost entspricht den topographischen Verhältnissen. Dem grössten Anteil an Nordostwinden auf der Darstellung (Fig. 28) kommt keine besondere Bedeutung zu. Während der kurzen Messperiode überwiegen die Bisenwinde zeitlich. Im Vergleich zwischen Tag und Nacht fällt auf, dass auch hier die Windrichtungen nachts den Hängen zugekehrt werden, was andeutet, dass an der Geländestufe Chalchacher - Birchi schwache nächtliche Kaltluftabflüsse wirksam sind.

Kanalisation der Hauptwindrichtungen und thermische Hangwindeffekte sind also auch auf der Talstufe von Chalchacher vorhanden.

2. Windgeschwindigkeiten

Aus den Tagesmitteln der Windgeschwindigkeiten (Fig. 28 unten) ist erkennbar, dass zwischen Birchi und Chalchacher eine beträchtliche Reduktion der Windstärken besteht. Im Mittel sind die Winde auf der Talstufe Chalchacher um 57 % schwächer als auf dem Plateau. Setzt man die Windgeschwindigkeiten in Beziehung mit den Hauptwindrichtungen so ergibt sich folgende interessante Tatsache:

Während vier Tagen der Messperiode herrschten Westwinde eindeutig vor (20.5./22.5./23.5./27.5.). Vier Tage müssen als Bisentage bezeichnet werden (15.5./16.5./18.5./25.5.) und vier weitere Tage sind durch Windwechsel von West auf Nordost gekennzeichnet (14.5./17.5./24.5./26.5.).

In Tab. 1 sind nun für diese Tage die Tagesmittel der Windgeschwindigkeit eingesetzt.

Tab. 1 Tagesmittel der Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Hauptwindrichtungen

<u>Westwindtage</u>			<u>Nordostwindtage</u>			<u>Wechselwindtage</u>		
Tag	WG in m/s		Tag	WG in m/s		Tag	WG in m/s	
	Bi	Ch		Bi	Ch		Bi	Ch
20.5.	1.79	0.78	15.5.	2.92	1.13	14.5.	2.36	1.28
22.5.	3.57	2.21	16.5.	2.44	0.75	17.5.	1.90	0.64
23.5.	3.33	1.79	18.5.	2.24	0.74	24.5.	1.77	0.63
27.5.	1.80	0.81	25.5.	3.08	1.23	26.5.	1.45	0.49
∅	2.62	1.40		2.67	0.96		1.87	0.76

Zwischen Westwinden und Bise besteht im Birchi kein wesentlicher Unterschied in der Stärke (im Mittel über vier Tage 2,62 m/s und 2,67 m/s). Dagegen ist die Abschwächung dieser Hauptwinde im Chalchacher verschieden stark ausgeprägt. Im Mittel über vier Tage beträgt die Stärke der Westwinde im Chalchacher 53 % der Windstärken auf dem Birchi, diejenige der Nordostwinde aber nur 36 %. Diese stärkere Reduktion der Nordostwinde deutet darauf hin, dass der im Nordosten der Messstelle gelegene Dorfkern von Bremgarten die bodennahe Zirkulation doch zu beeinflussen vermag.

Für Ueberlegungen lufthygienischer Art sei noch darauf hingewiesen, dass Wechsel der Hauptwindrichtungen fast immer mit starker Abschwächung der Windstärken verbunden sind. So zeigen denn auch die Tage mit Windwechsel erheblich tiefere Tagesmittelschwindigkeiten.

Als Wesentlichstes darf aus dieser Messkampagne festgehalten werden:

1. Auf der Talstufe von Bremgarten-Chalchacher (Hauptsiedlungsgebiet der Gemeinde Bremgarten) sind die Winde gegenüber dem

Plateau von Birchi um rund 50 % abgeschwächt.

2. Die vom Relief her nicht zwingende stärkere Abschwächung der Nordostwinde im Chalchacher deutet an, dass die Ventilation durch Ueberbauungen beeinflusst wird.
3. Die Höhendifferenz von rund 70 m zwischen Chalchacher und Birchi genügt, um thermische Hangwinde zu erzeugen.

3.3.2. Kurzmesskampagnen mit Rochat-Windmessern

Ziel dieser Messkampagnen mit besonders empfindlichen Messgeräten war es, zusätzliche Informationen über feine Luftverfrachtungen im Kessel von Bremgarten - Seftau vor allem beim Einnachten und bei Sonnenaufgang zu erhalten. Die auf einem Messständer in 2,5 m über Boden montierten Windmesser (Abb. 3) wurden dabei alle 10 Minuten ab-



Abb. 3 Rochat-Windmesser zur Erfassung schwacher Luftströme
Station Enge (vgl. Fig. 27)

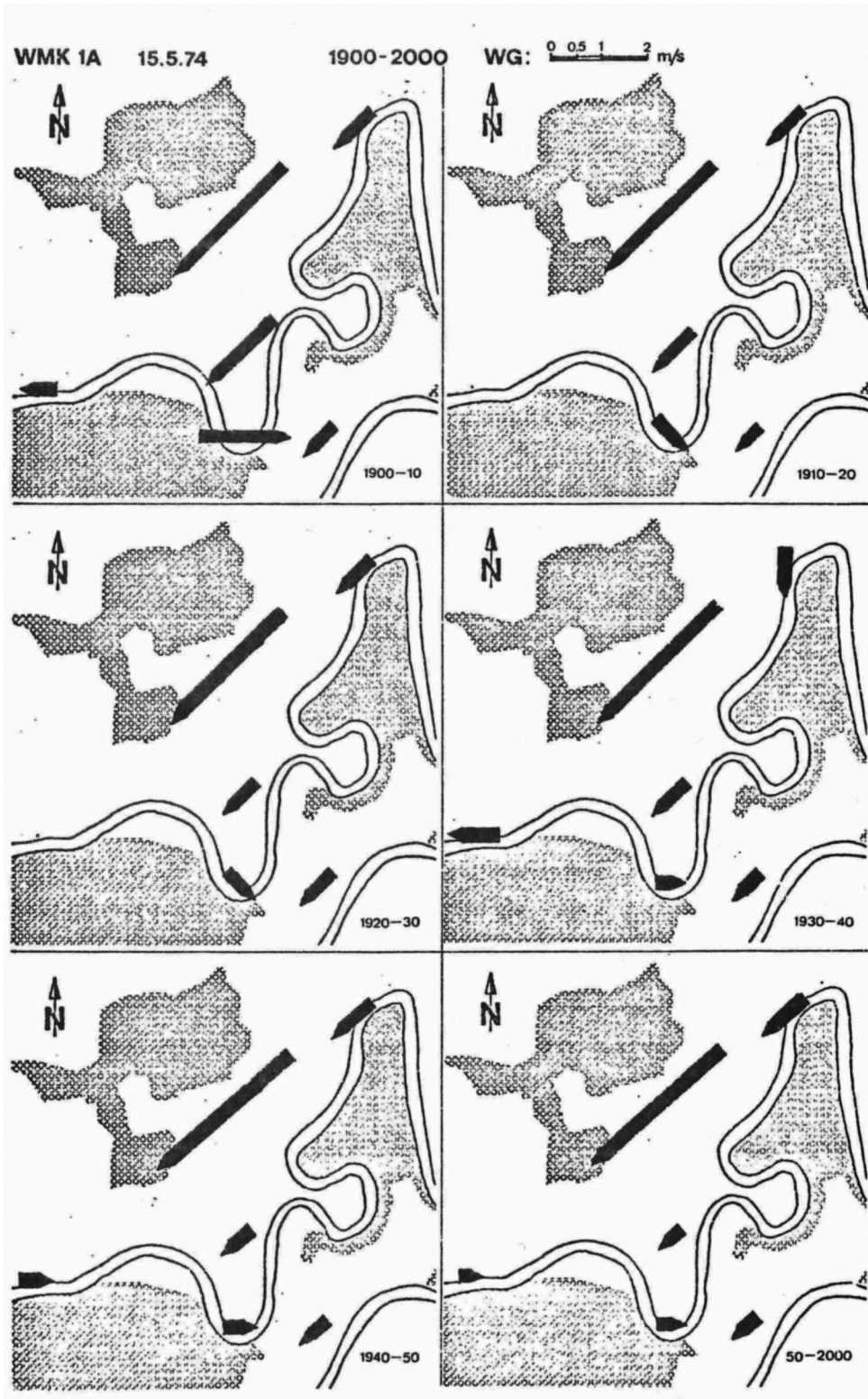


Fig. 29 Windverhältnisse im Kessel von Bremgarten am 15.5.1974 von 1900 - 2000 Uhr
Zur Orientierung vgl. Fig. 27

In den Fig. 29 und 30 sind die Windverhältnisse von zwei der insgesamt fünf durchgeführten Kurzmesskampagnen dargestellt. Fig. 31 gibt Ueberblick über den Gang der Windgeschwindigkeiten an den verschiedenen Stationen.

Die Windmesskampagne 1 A vom 15.5.1974 zeigt, dass bei praktisch gleichbleibenden Windstärken auf dem Plateau von Birchi, die Winde in der Tieflage des Grabens beim Einnachten innert kurzer Zeit fast vollständig abflauen (vgl. Fig. 29). In den ersten Nachtstunden bricht dann auch das übergeordnete Windsystem zusammen. Schwache, rasch wechselnde Windströmungen bestimmen die nächtliche Ventilation. Die Luftmassen bewegen sich dabei, ohne dass sie richtig aus der Grabenregion ausgeblasen werden.

Fig. 31 zeigt, dass sich die schwachen, unruhigen Luftbewegungen nach Einsetzen der Strahlung verstärken und sich das übergeordnete Windsystem wieder aufbaut.

In der nachfolgenden Tabelle sind die mittleren Windstärken für jede einzelne Messstelle angegeben. Um vergleichen zu können sind die Windstärken jeweils in Prozent der Windstärke auf dem Birchi angegeben.

Tab. 2 Vergleich der Windstärkenverhältnisse im Raum Bremgarten
Stationen: 1 Seftau, 2 Chalchacher, 3 Birchi, 5 Halenbrücke, 6 Aeussere Enge, 7 Buschi (vgl. Fig. 27)

Einnachten			Sonnenaufgang			Gesamthaft		
Stat.	WG m/s	%v.3	Stat.	WG m/s	%v.3	Stat.	WG m/s	%v.3
3	2.36	100	3	1.26	100	3	1.81	100
6	0.93	39.5	5	0.79	62.5	6	0.84	46.2
7	0.93	39.5	6	0.74	58.6	7	0.77	42.4
2	0.83	34.9	7	0.60	47.8	5	0.72	39.7
1	0.72	30.6	2	0.50	39.6	2	0.72	39.5
5	0.63	26.8	1	0.49	38.6	1	0.605	33.4

Beim Einnachten ist die Reihenfolge der Windgeschwindigkeiten der Höhenlage der Stationen entsprechend. Schwächste Winde an der Aare, stärkste Winde in der Höhe. In den frühen Morgenstunden

dagegen treten die stärksten Winde oben und ganz unten auf, die Mittellagen sind relativ windschwach. Dies mag darauf hindeuten, dass zu dieser Zeit noch ein Kaltluftabfluss in der Grabenachse wirksam ist.

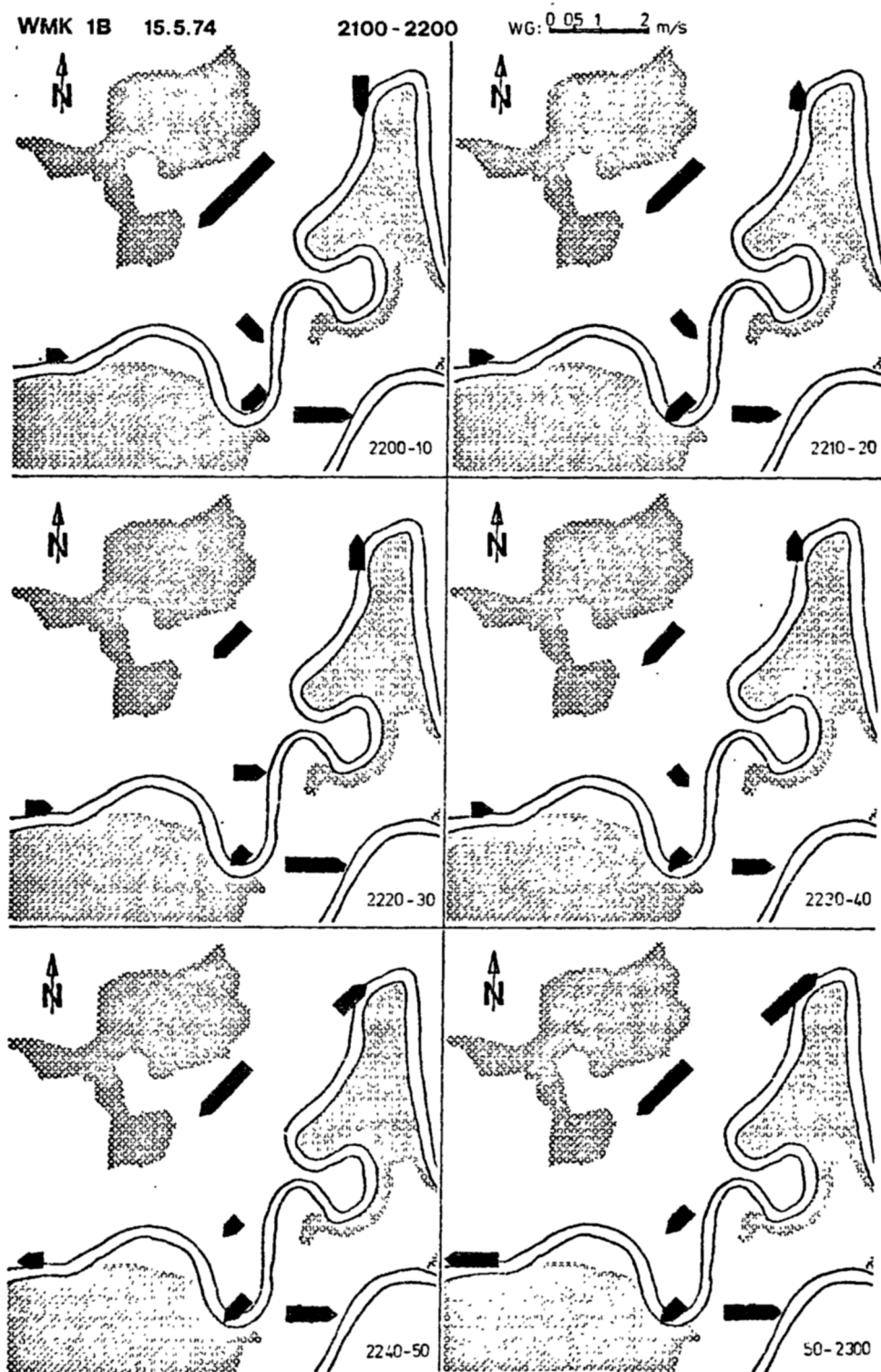


Fig. 30 Windverhältnisse im Kessel von Bremgarten am 15.5.1974 von 2100 - 2200 Uhr

Zur Orientierung vergleiche Fig. 27

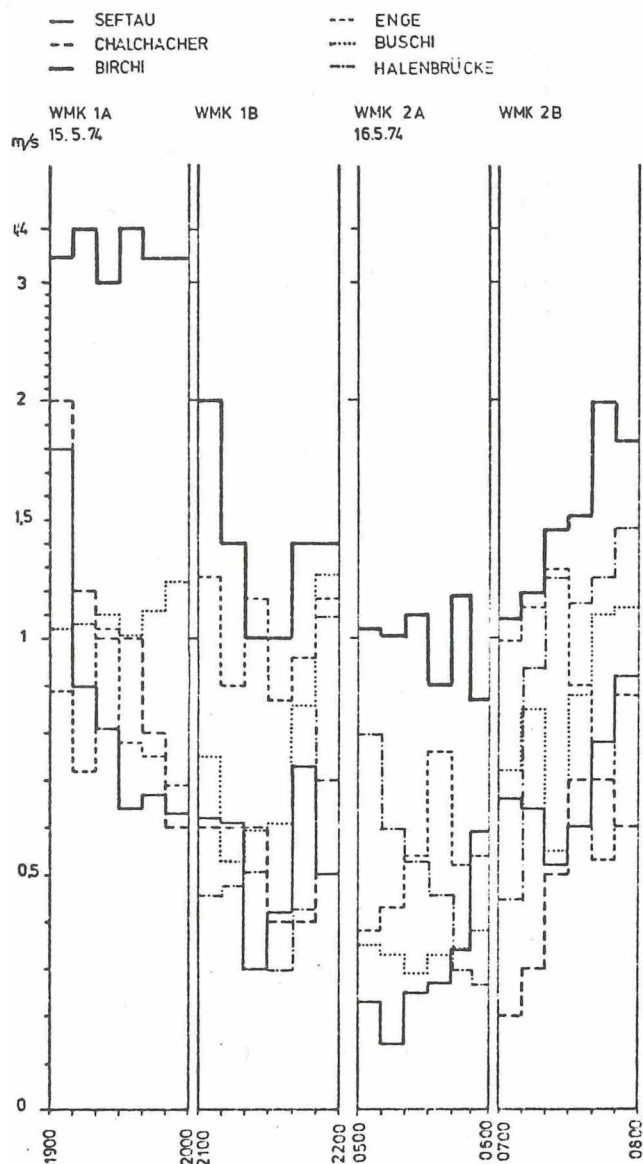


Fig. 31

10-Min Mittel der Windgeschwindigkeit über alle vier Kurzwindmesskampagnen im Raum Bremgarten

Zur Orientierung vgl. Fig. 27

Gesamthaft gesehen zeigen diese Messkampagnen deutlich das Abflauen der Winde beim Einnachten und das Wiederansteigen der Windstärken nach Sonnenaufgang. Die ungünstige Durchlüftung des Kessels von Bremgarten wird zwar beim Strahlungswechsel etwas aktiviert, die Strömungsgeschwindigkeiten der übergeordneten Winde werden dabei aber nicht erreicht.

3.4. Die Ventilation des Aaregrabens

Obwohl die vorliegenden Daten zum Teil auf sehr kurzen Messkampagnen beruhen und der Ventilationsmechanismus dieser Grabenregion noch nicht in allen Teilen untersucht ist, darf doch folgendes festgehalten werden:

- der Aaregraben wirkt kanalisierend auf die Windrichtungen. Hauptwinde im Graben sind Westwinde und Bise, je nach Topographie des Grabens mehr oder weniger abgelenkt.
- Bei windschwachen Wetterlagen dürfte sich im Graben ein sehr schwaches Wechselwindssystem mit nächtlichem Kaltluftabfluss entlang der Aare entwickeln (vgl. Kap. 3.3.2.).
- Durch Thermik bedingte Hangwinde quer zur Grabenachse treten bei Strahlungswechsel auf. Tags steigt warme Luft aus dem Graben den Hängen entlang auf, nachts strömt Kaltluft über die Grabenränder in die Tiefe.
- Die übergeordneten Winde werden im Graben nicht nur abgelenkt, sie erfahren auch eine starke Abschwächung. Windstärken über 2 m/s sind in den Tieflagen selten.

Ein durchschnittlicher Tagesverlauf der Ventilation lässt sich wie folgt beschreiben:

Tagsüber wehen vorwiegend West- oder Nordostwinde. Gegen Mittag erreichen diese Winde ihre höchsten Geschwindigkeiten (über 2 m/s). Bei starker Strahlung helfen thermische Aufwinde mit, den Graben tagsüber vertikal zu entlüften. Gegen abend nehmen die Windstärken rasch ab, die Luftmassen werden durch schwache Lokalströmungen im Graben hin und her geschoben. In der Nacht fallen die Windstärken weiter zusammen, mit zunehmender Abkühlung kommt es zum Einströmen von Kaltluftmassen aus den höher gelegenen Regionen und zum Abfluss der Aare entlang Richtung Wohlensee. Nach Sonnenaufgang setzen die Lokalströmungen wieder ein und

der Kaltluftabfluss bricht zusammen.

3.5. Einfluss der Winde auf die Inversionen

Das im vorangehenden Kapitel umschriebene windschwache Ventilationsgeschehen im Graben wird durch die Inversionen zusätzlich beeinflusst. Wie weit die Inversionsdauer selber vom übergeordneten Windsystem abhängig ist, soll hier abschliessend betrachtet werden.

Weil längere Windmessungen aus dem Graben fehlen, dienen für eine erste Betrachtung die in Münchenbuchsee (Radio Schweiz) gemessenen Windgeschwindigkeiten.

In Fig. 32 ist das Zusammenspiel zwischen Tagesmittel der Windgeschwindigkeit der übergeordneten Winde und der täglichen Dauer der Inversionen im Graben dargestellt. Da die beiden Messstellen doch recht weit auseinanderliegen (ca. 4 km) und auch verschiedene Geländestrukturen vorhanden sind, ist die Interpretation der Ergebnisse nicht einfach. Der Monat März lässt aber doch erkennen, dass die dem Graben übergeordneten Winde das Inversionsgeschehen mit beeinflussen. Bei Zunahme der Windgeschwindigkeiten sinkt die Dauer der täglichen Inversionen.

Da die Zusammenhänge aus diesem ersten Vergleich nicht befriedigend erkennbar sind, wurden zusätzlich auch die Winddaten der Messungen im Tscharnergut (Hochhaus Waldmannstrasse 75) mitberücksichtigt.

Fig. 33 zeigt die Korrelation zwischen dem Tagesmittel der Windgeschwindigkeiten in Münchenbuchsee und der Inversionsdauer im Graben, Fig. 34 diejenige zwischen dem Tagesmittel der Windgeschwindigkeiten im Tscharnergut und der Inversionsdauer. Beide Vergleiche gelten für den Monat März 1973. Die errechneten Korrelationen von 0,572 beziehungsweise 0,669 zeigen, in welchem Mass die Winde das Inversionsgeschehen bestimmen.

Vergleich zwischen Inversionsdauer und Tagesmittel der Windgeschwindigkeit

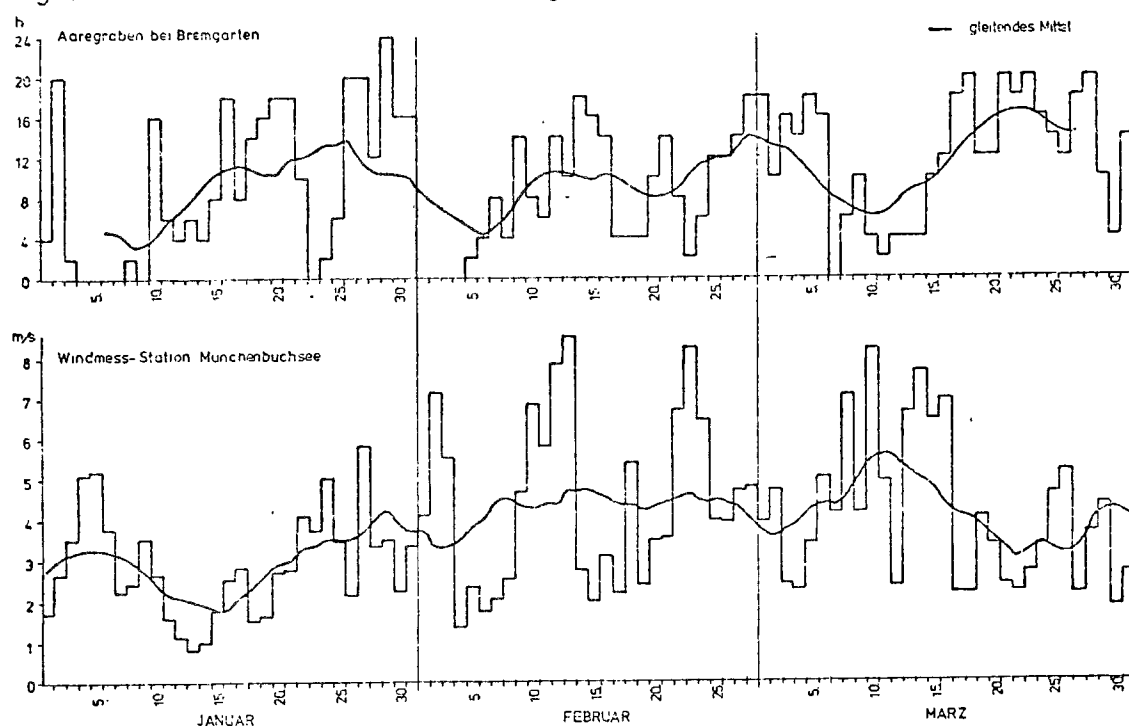


Fig. 32 Abhängigkeit der Inversionsdauer im Aaregraben (obere Kurve) von der Windstärke der übergeordneten Winde (untere Kurve). Messungen Januar - März 1973

Die einleitend im Kap. 1.1. gestellten Fragen können als Abschluss der Betrachtung der Windverhältnisse vorerst wie folgt beantwortet werden:

- Die Durchlüftung des Aaregrabens zwischen Reichenbach und dem Wohlensee ist relativ schlecht. Die in den Graben einfließenden Luftmassen werden nur bei günstiger Temperaturschichtung (keine Inversion) und beim Einwirken starker West- oder Nordostwinde wieder ausgetauscht.
- Es ist zu erwarten, dass aus dem Stadtgebiet nachts Luftmassen über den Bremgartenwald in den Graben abfließen. Anhaltspunkte für dieses Geschehen wurden bei früheren Messungen auf dem Hochhaus des Lindenhospitals (stadtnaher Rand des Bremgartenwaldes) gefunden und sind auch in den im Kap. 3.2. umschriebenen

Ereignissen erkennbar. Gerade hier müssten aber noch weitere Messungen zusätzliche Informationen über dieses sehr wind-schwache und daher schwer zu erfassende Ueberfliessen von Luftmassen ergeben.

Aus diesen beiden Hauptkenntnissen ergibt sich für die Beurteilung der lufthygienischen Belastbarkeit des Aaregrabens folgender Sachverhalt:

- Es ist von entscheidender Wichtigkeit, dass die West- und Nordostventilation möglichst ungestört bleibt. Nur die in der Grabenachse wehenden Winde erreichen Windstärken, die zum Austausch der Luftmassen und Auflösen der Inversionen genügen.
- Für die Luftqualität des Aaregrabens von grosser Wichtigkeit dürfte aber auch der Bremgartenwald sein, müssen doch die aus der Stadtregion überfliessenden Luftmassen dieses relativ grosse Waldgebiet überströmen (vgl. Kap. 6.1. und GEIGER 1960).

Gerade in diesen zwei Punkten zeichnen sich nun aber Konflikte ab, die aufzeigen, wie sehr man bei baulichen Eingriffen auch regionalklimatische Vorgänge kennen und mitberücksichtigen sollte.

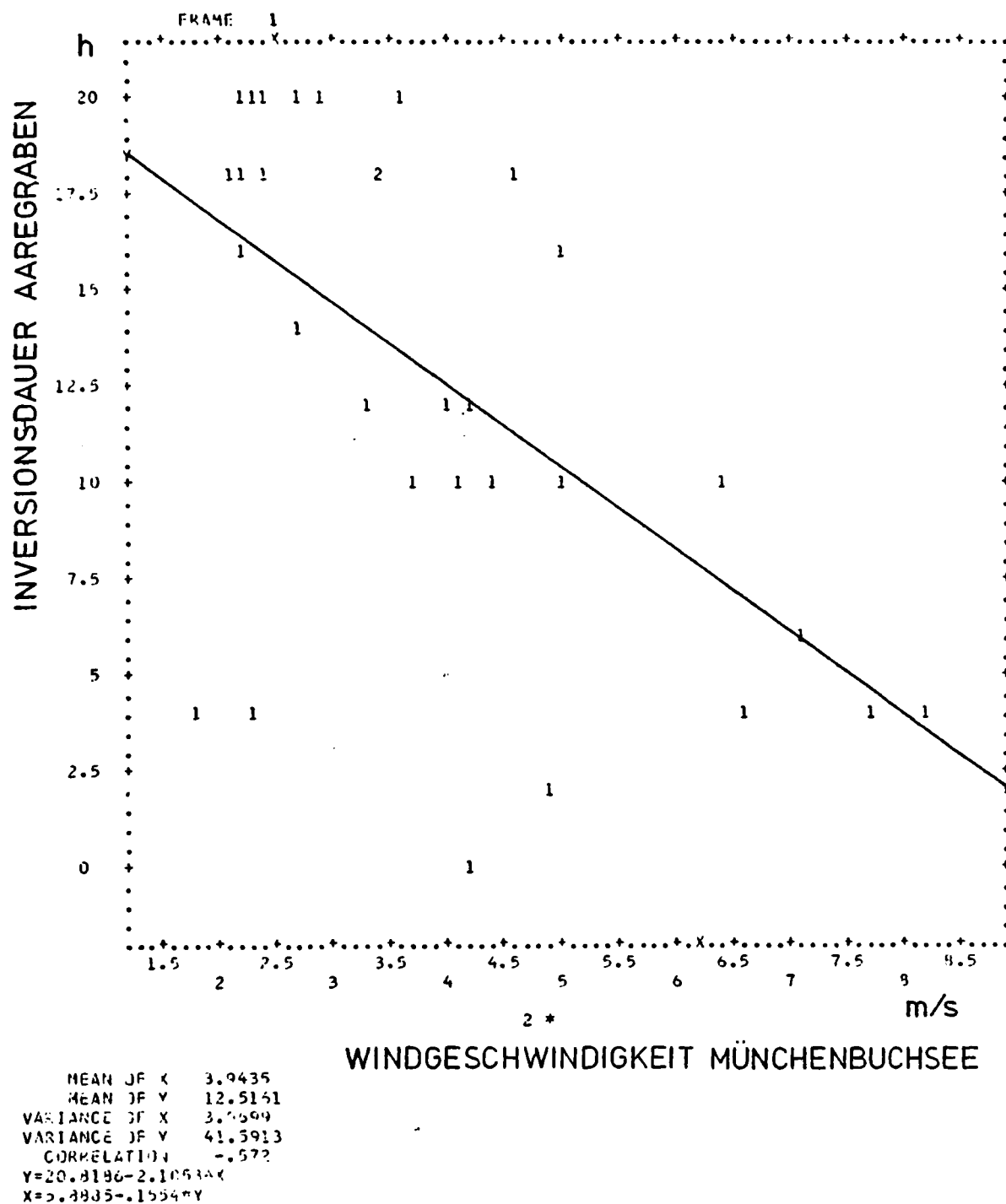


Fig. 33 Korrelation der Windverhältnisse Münchenbuchsee mit der Inversionsdauer im Aaregraben für den Monat März 1973

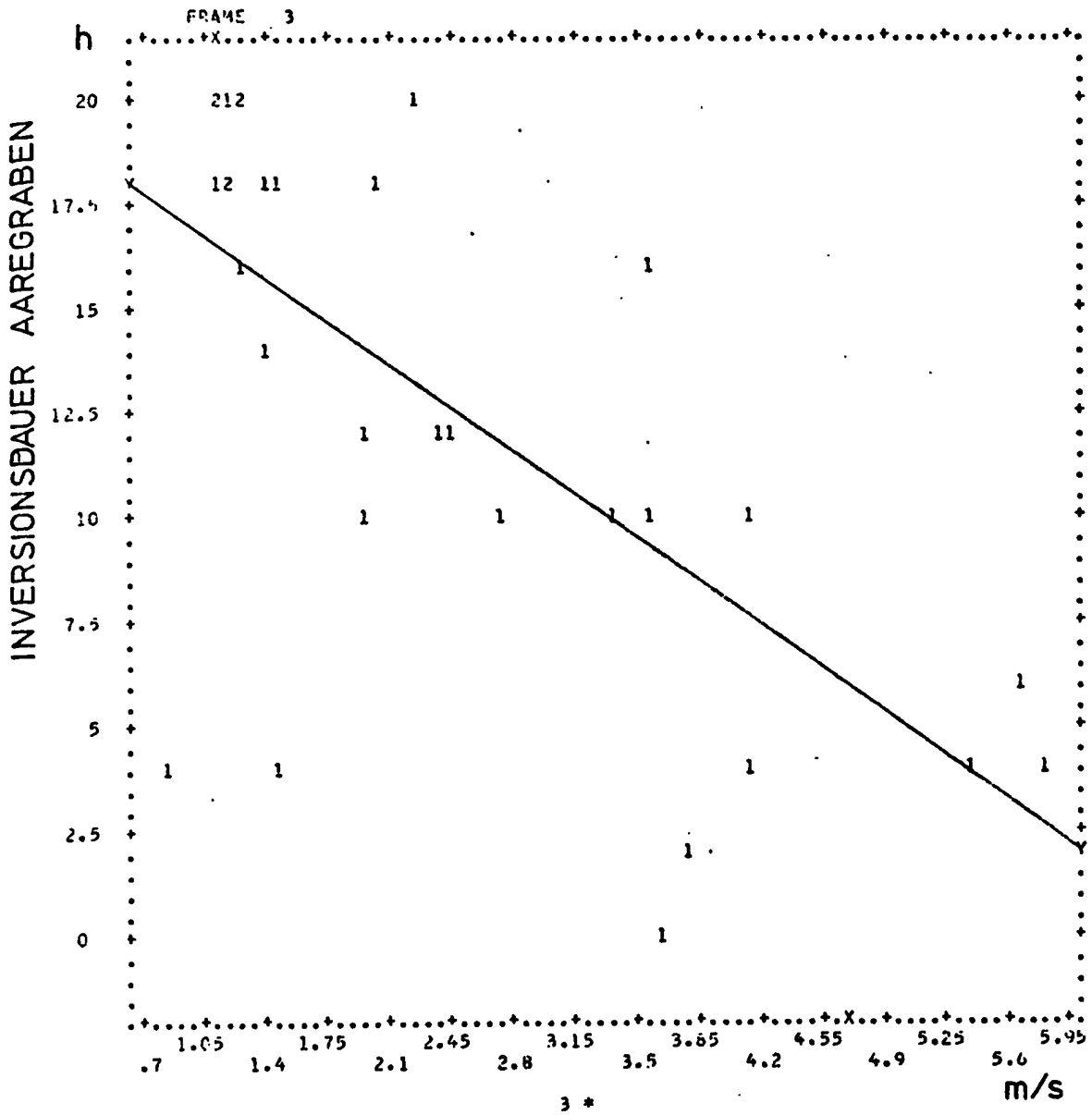


Fig. 34 Korrelation der Windverhältnisse Tscharnergut mit der Inversionsdauer im Aaregraben für den Monat März 1973

IV. SONNENSCHENDAUER UND INVERSIONEN

4.1. Der Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die Inversionen

Verschiedentlich wurde bisher darauf hingewiesen, dass die Temperaturverhältnisse in Zusammenhang mit der Besonnung stehen: Durch die Einstrahlung und durch die Rückstrahlung von der Erdoberfläche erwärmt sich die bodennahe Luftschicht (vgl. Beitrag 3). Die Inversionen lösen sich auf.

Strahlungsmessungen verlangen einen grossen instrumentellen Aufwand, doch können auch mit der wesentlich einfacheren Methode der Sonnenscheindauermessung gültige Antworten auf die Frage nach der Besonnung gefunden werden. Nicht allein für lufthygienische Aspekte ist die Sonneneinstrahlung von grosser Bedeutung. MAEDER (1970) stellt für die Bewertung der "Klimaeignungskarte für Siedlung und Erholung" des ORL-Institutes die Besonnung sogar an die erste Stelle der verwendeten Klimadaten. Die nachfolgende Darstellung (Fig. 32) zeigt folgende Beziehung zwischen Sonnenscheindauer und Inversion im Raum Bremgarten; 10 Stunden Sonnenschein in der Seftau stehen an diesem Tag 14 Stunden Sonnenschein auf dem Birchiplateau gegenüber. Vom Zeitpunkt des Sonnenaufganges in Birchi (06.20 Uhr) bis zur totalen Auflösung der Inversion im Aaregraben verstreichen fünf Stunden. Nur während vier Stunden (12 - 16 Uhr) ist der Aaregraben inversionsfrei. Bereits um 16 Uhr setzt die Temperaturumkehr wieder ein. Solch extreme Situationen treten vor allem bei Strahlungswetter (am Tag und in der Nacht) am markantesten in Erscheinung.

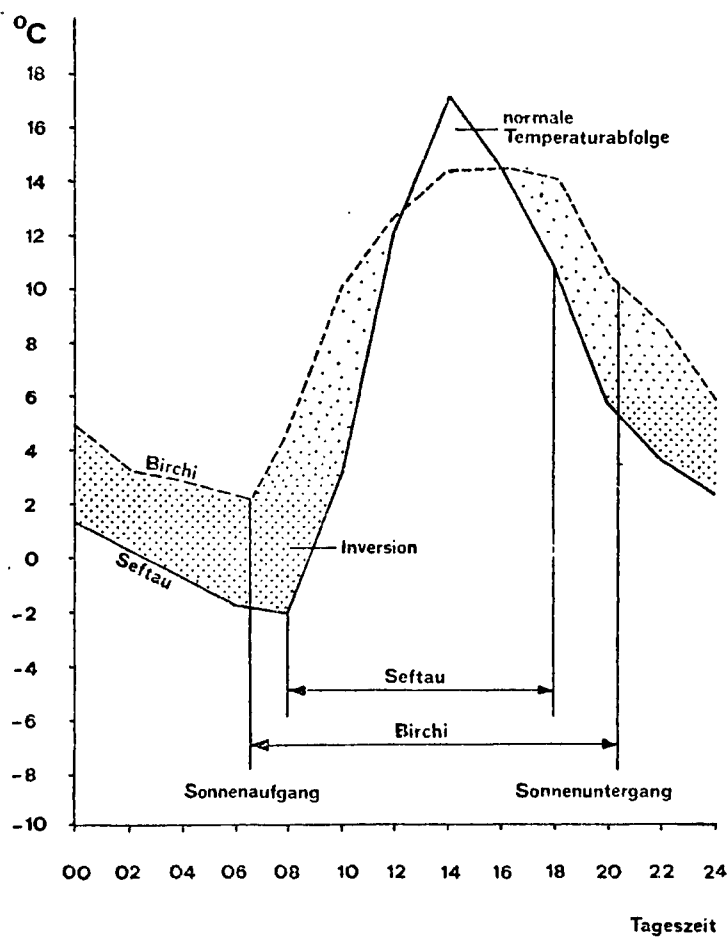


Fig. 35 Sonnenscheindauer und Inversionsauflösung
(23. März 1973)

4.2. Sonnenscheindauer im Aaregraben

In einer Detailaufnahme (19 Punkte) wurde in der Folge die effektiv mögliche Sonnenscheindauer für das Gemeindegebiet von Bremgarten vermessen und berechnet (Tagbogen-Messgerät nach DE QUERVAIN, siehe Kap. 1.4.).

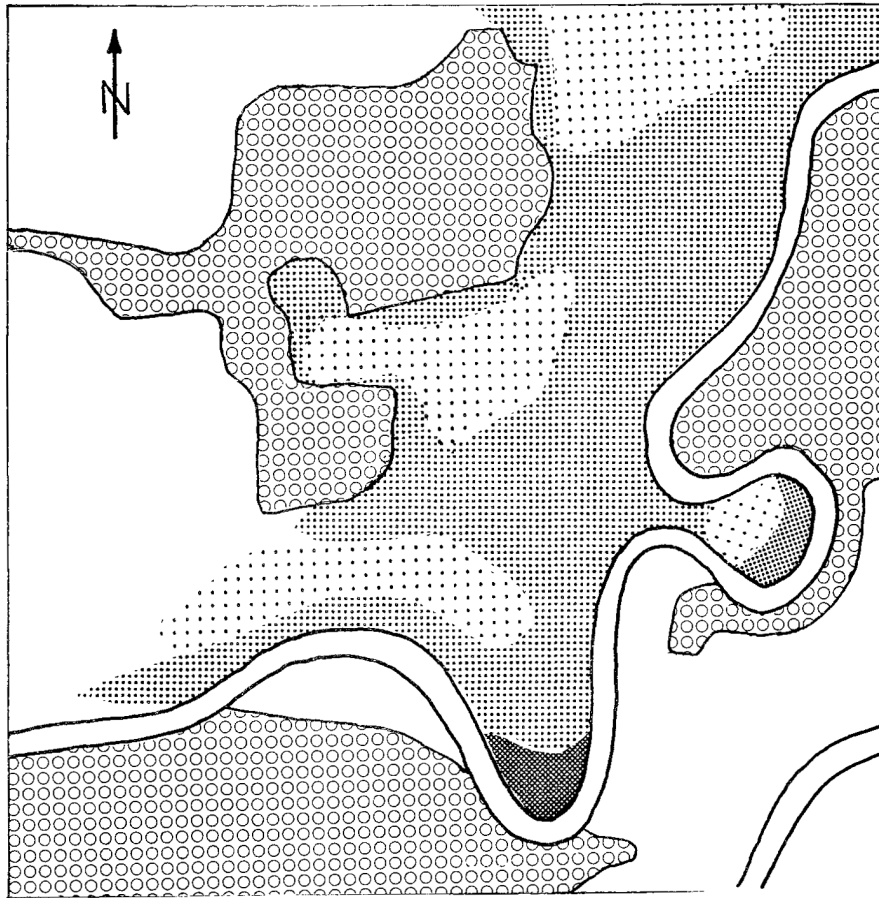






Fig. 36 Räumliche Verteilung der Sonnenscheindauer
im Sommerhalbjahr

Sommerhalbjahr		2500 - 2350 Stunden = Klasse 1 sehr gut
		2350 - 2200 Stunden = Klasse 2 mässig
		2200 - 2050 Stunden = Klasse 3 schlecht
		2050 - 1900 Stunden = Klasse 4 sehr schlecht

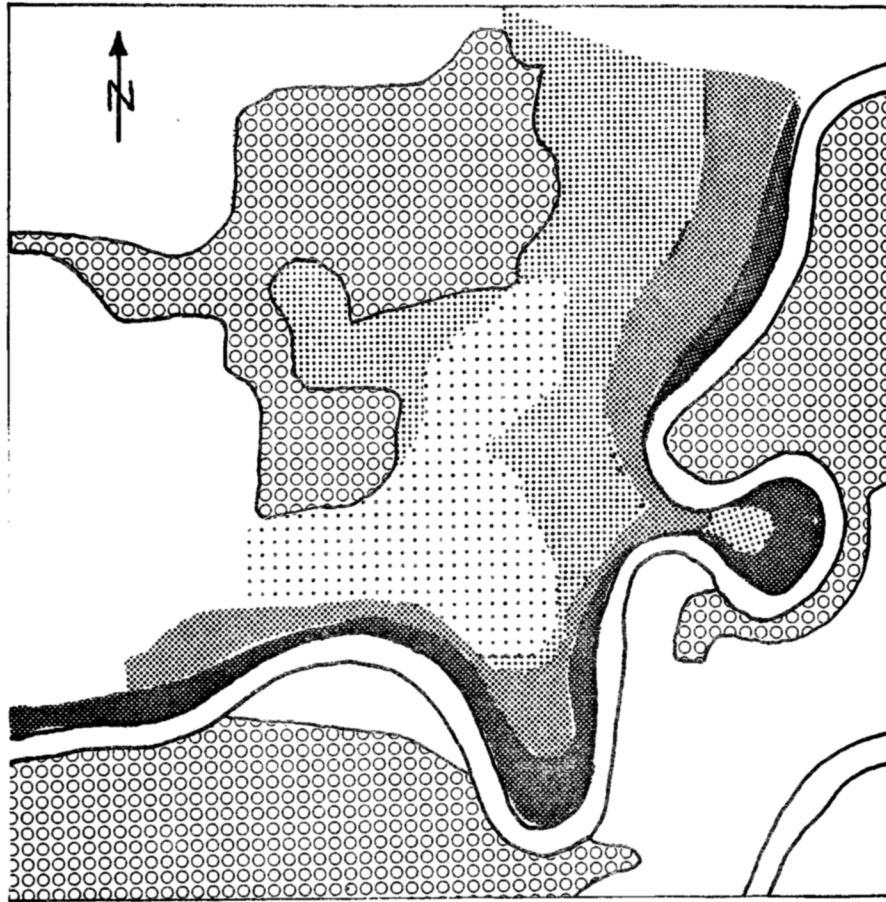






Fig. 37 Räumliche Verteilung der Sonnenscheindauer im Winterhalbjahr

Winterhalbjahr		1800 - 1600 Stunden = Klasse 1 sehr gut
		1600 - 1400 Stunden = Klasse 2 mässig
		1400 - 1200 Stunden = Klasse 3 schlecht
		1200 - 1000 Stunden = Klasse 4 sehr schlecht

Die effektiv mögliche Sonnenscheindauer gibt uns an, wie lange die Sonne im Laufe eines bestimmten Zeitabschnittes (hier Sommer- und Winterhalbjahr) bei völliger Wolken- und Nebelfreiheit scheinen würde. Da die effektiv mögliche Sonnenscheindauer ausschliesslich von der Abdeckung des umgebenden Horizontes abhängt, treten im Sommer- und im Winterhalbjahr die tiefsten Grabenteile als sonnenscheinarme Gebiete hervor. Grosse Reduktion bringt im Winterhalbjahr, des niedrigen Sonnenstandes wegen, der Schattenwurf des gegenüberliegenden Aarehanges mit sich: sogar die tieferen Teile des Siedlungsgebietes von Bremgarten fallen in eine schlechtere Sonnenscheinklasse als im Sommer.

Dagegen nimmt sich die Sonnenscheindauer auf der Mittelterrasse (Chalchacher) und auf der Hochfläche Birchi in beiden Jahreszeiten sehr gut aus (Klasse 1).

Ohne Zweifel ist die Sonnenscheindauer für die Wohn- und Lebensqualität ein sehr wichtiger Faktor. Er ist für den Menschen aber nicht gleichbedeutend, ob die Verkürzung der Sonnenscheindauer am Morgen oder am Abend während des ganzen Jahres, oder nur im Winterhalbjahr stattfindet. Die Bewertung der Sonnenscheindauer bleibt für den Menschen subjektiv.

Betrachten wir die Sonnenscheindauer hingegen im Zusammenhang mit den Inversionen, so steht fest, dass die sonnenärmsten Gebiete an der Talsohle zugleich die grösste Inversionsdauer und damit auch die längste lufthygienische Belastung haben (vgl. Kap. 7).

V. INVERSIONEN UND WETTERLAGEN

Wurden in Kap. 2 die Temperaturen und im Kap. 3 der Wind als einzelne meteorologische Parameter in Zusammenhang mit den Inversionslagen gebracht, so sollen nun in diesem Abschnitt die Wetterlagen (Zusammenwirken aller meteorologischen Faktoren) und deren Auswirkungen auf die Inversionslagen untersucht werden.

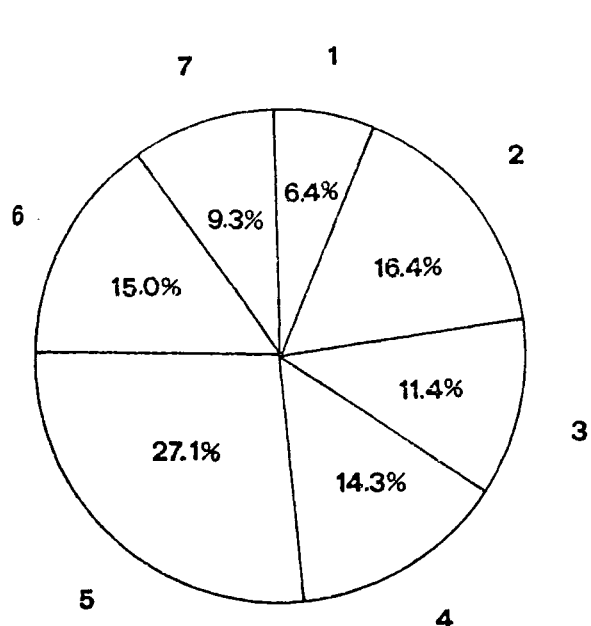


Fig. 38 a Anteil der Wetterlagen während der Messperiode

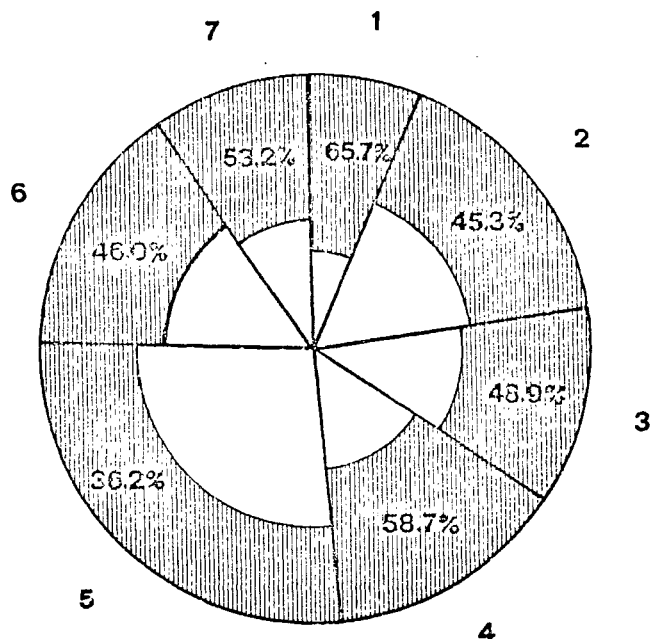


Fig. 38 b Prozentualer Anteil an Inversionsstunden während der sieben Wetterlagen

- 1 Antizyklonale Lage (Schönwetterlage)
- 2 Indifferente Lage (flache Druckverteilung)
- 3 Zyklonale Lage (Tiefdrucklage)
- 4 Nordlage
- 5 Ostlage (Bisenlage)
- 6 Südlage (Föhn)
- 7 Westlage

(Wetterlageneinteilung nach SCHUEPP 1970
vgl. Beitrag 1)

Während Wetterlage 1 - 3 durch den vertikalen Austausch der Luft (konvektive Lagen) gekennzeichnet , geschieht der Luftaustausch in Wetterlage 4 - 7 (advektive Lagen) im horizontalen Bereich. Wir wissen, dass eine Wetterlage in den meisten Fällen bei uns nach kurzer Zeit, meist schon nach 3 - 5 Tagen, von einem andern Typ abgelöst wird. Jede der sieben Wetterlagen hat ihr eigenes Gesicht. Doch eine Messperiode von 140 Tagen bringt nicht nur typische Wetterlagen, sondern alle möglichen Mischungen und Uebergänge mit sich, was das Erfassen, Abgrenzen und Zuordnen recht schwierig gestaltet.

1. Antizyklonale Lage

Bei der Schönwetterlage fällt auf, dass ein sehr hoher Anteil (65,7 %) Inversionen zu verzeichnen ist. Diese Wetterlage hat ein ausgeprägtes Strahlungsregime, deshalb ist der Inversionsanteil so hoch.

2. Indifferente Lage

Indifferente Lagen zeichnen sich durch Windschwäche aus, deshalb häufiges Vorkommen von Inversionen (45,3 %).

3. Zyklonale Lage

Wenn bei Tiefdrucklagen Niederschläge vorkommen, dann können keine Inversionen entstehen. Bei kurzen Aufhellungen (nach dem Regen oft sehr hohe Luftfeuchtigkeit) fließen Kaltluftmassen während der Nacht in die untersten Tallagen, da die Windgeschwindigkeiten meistens recht schwach sind.

4. Nordlage

Wie wir aus Kap. 3 (Einflüsse des Windes) wissen, wird der Wind in Tieflagen wie dem Aaregraben stark abgeschwächt. Deshalb treten gerade bei Nordwind (Windrichtung quer zum Aaregraben) an klaren Abenden und in hellen Nächten

Inversionen auf (58,7 %). Der Nordwind hat geringe "ausputzende" Wirkung.

5. Ostlage Ostwinde sind gekennzeichnet durch tiefe Temperaturen - sie strömen deshalb dem Boden entlang. Zudem verlaufen diese Winde genau in der Grabenlängsachse. Resultat: wenig Inversionen (36,2 %).
6. Südlage (Föhn) Der Föhn ist ein warmer Fallwind und streicht, wenn er überhaupt bis in die Region Bern vorstossen kann, quer zum Aaregraben. Die reinigende Wirkung ist gering. Oft entstehen bei Föhnlagen starke Aufhellungen mit sehr schwachen Winden, dann ist natürlich die Situation für Inversionen günstig (46 %).
7. Westlage Als ärgster Feind der Inversionen im Aaregraben sind wohl die Westwinde (vgl. Kap. 3) zu bezeichnen. In der Grabenlängsachse verlaufend, haben sie grosse "ausputzende" Wirkung. Häufig sind aber auch diese Westwinde zu schwach, so dass eine Inversionsbildung nicht verhindert wird.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass während unserer Messperiode bei jeder Wetterlage ein recht hoher Prozentsatz an Inversionen festzustellen ist. Die Unterschiede zwischen einzelnen Wetterlagen sind erstaunlich klein. Die Ursachen dazu sind noch nicht restlos geklärt. Folgende Einschränkungen müssen zu diesem Thema angebracht werden:

1. Während unserer Messperiode (Januar - Mai) ist ein aussergewöhnlich hoher Anteil an Bisenlagen festzustellen (27,1 %). Normalerweise dominieren, über das ganze Jahr gemessen, die Westwindlagen (hier nur 9,3 %!).
2. Der Inversionsanteil ist z. B. bei den Westwindlagen mit 53,2 % sehr hoch. Es ist erstaunlich und für uns vorderhand unerklärlich, dass gerade wenn der Wind in der Grabenlängsachse weht, ein so hoher Prozentsatz an Inversions-

stunden möglich wird. Die Ursachen dazu müssen noch abgeklärt werden.

3. Durch Korrelation mit Nachbarstationen (Seftau mit Eymatt und Birchi mit Uettiligen) soll in einer weiteren Arbeit versucht werden, die Zusammenhänge Wetterlagen - Inversionen über ein ganzes Jahr zu erfassen.

VI. LUFTHYGIENISCHE MESSUNGEN.

Die vor allem nachts das Aaretal hinabfliessenden Kaltluftmassen drängen die Stadtluft nach Norden (vgl. Beitrag 2). Dieser, in den Wintermonaten etwas länger andauernde Vorgang, bringt ein Überfließen belasteter Stadtluft in die Grabenregion. Damit erfährt die von klimatologischen Bedingungen her bereits ungünstige Region eine zusätzliche Belastung.

Die Messungen des Laboratoriums der Stadt Bern zeigen, dass über Bern im Sommer Schwebestaub, im Winter dagegen Schwefeldioxyd die Luft entscheidend belastet. In kalten Winternächten erfolgt eine maximale Belastung der Luftmassen mit Schadstoffen aus Verbrennungsvorgängen (WYSS 1973).

Die Beeinträchtigung stadtnaher Wohn- und Erholungsgebiete durch windverfrachtete Schadstoffe ist in mehreren Städten untersucht und bestätigt worden (OBLAENDER 1969; STEINHAUSER 1971).

Leider fehlen längere lufthygienische Messungen aus dem Untersuchungsgebiet vollständig. Im Rahmen der regionalklimatologischen Untersuchungen hat das Geographische Institut der Universität in Zusammenarbeit mit den städtischen Behörden einzelne Schadstoffe gemessen.

Diese Messungen geben erste Hinweise auf die Belastung der Grabenregion durch Luftverunreinigungen.

6.1. Sedimentstaub

In Erweiterung des vom städtischen Labor betriebenen Messnetzes wurde von Ende 1972 bis Februar 1974 an zwei Stellen bei der Halenbrücke die Sedimentstaubablagerung gemessen. Die dabei von FUHRER (1974) ermittelten Werte geben erste Anhaltspunkte. Weitere Messungen müssten nun noch zeigen, ob diese ersten, durch lokale Gegebenheiten geprägten Resultate, für weitere Gebiete der Grabenregion gültig sind.

Tab. 3 Vergleich der monatlichen Sedimentstaubablagerung
in mg/m²/Tag
Monatsmittelwerte nach Methode Bergerhoff

	März 73	Juni 73	Sept 73	Dez 73	Jahres- Mittel
Halenbrücke, oben	271	198	121	209	198
Halenbrücke, unten	434	161	68	189	151
Zieglerstrasse	-	-	115	395	184
Wylenerstrasse	105	150	63	137	116
Brünnen	264	281	84	187	169

Die in Tab. 3 vergleichsweise angegebenen Messstellen aus dem Stadtgebiet weisen ähnliche örtliche Gegebenheiten auf (grössere Verkehrsachse in unmittelbarer Nähe). Ohne auf die genauen Standorte und lokalen Einflüsse einzutreten, geben die bei der Halenbrücke gemessenen Werte doch interessante Hinweise. Die Werte liegen im Grössenbereich städtischer Belastung. Im Jahresmittel ist diese Stelle sogar stärker belastet als die drei Vergleichspunkte in der Stadt. Damit sei angedeutet, dass den Verkehrsachsen im Aaregraben eine lufthygienische Bedeutung zukommt, die durch weitere Messungen noch genauer abgeklärt werden sollte.

6.2. Schwebestaub

Leider konnte im Rahmen der vorliegenden Untersuchung diese sehr wichtige Komponente der Luftverunreinigung nicht gemessen werden, es fehlten dazu die geeigneten Geräte.

Da aber der Schwebestaub ein Luftschadstoff ist, der durch Windverfrachtung stadtnahe Wohn- und Erholungsgebiete besonders belastet, sei das Problem an dieser Stelle doch erwähnt.

ZENKER (1954) hat nachgewiesen, dass die Wälder staubfilternd wirken. Fig. 39 zeigt die Verteilung von Schwebestaub bei einer Messfahrt durch bewaldetes Gebiet nach ROETSCHKE (zit. aus GEIGER 1961).

Da die Verhältnisse bei Südwind (Aaretalwind) im Raum Bern ähnlich liegen, ist der Figur die Abfolge von Schadstoffemittent (Stadtgebiet) - Wald - immissionsgefährdetes Gebiet (Aaregraben) in derselben Grössenordnung beigefügt.

Damit sei die sehr wichtige lufthygienische Funktion des Bremgartenwaldes zwischen Stadt und Grabenregion nochmals unterstrichen.

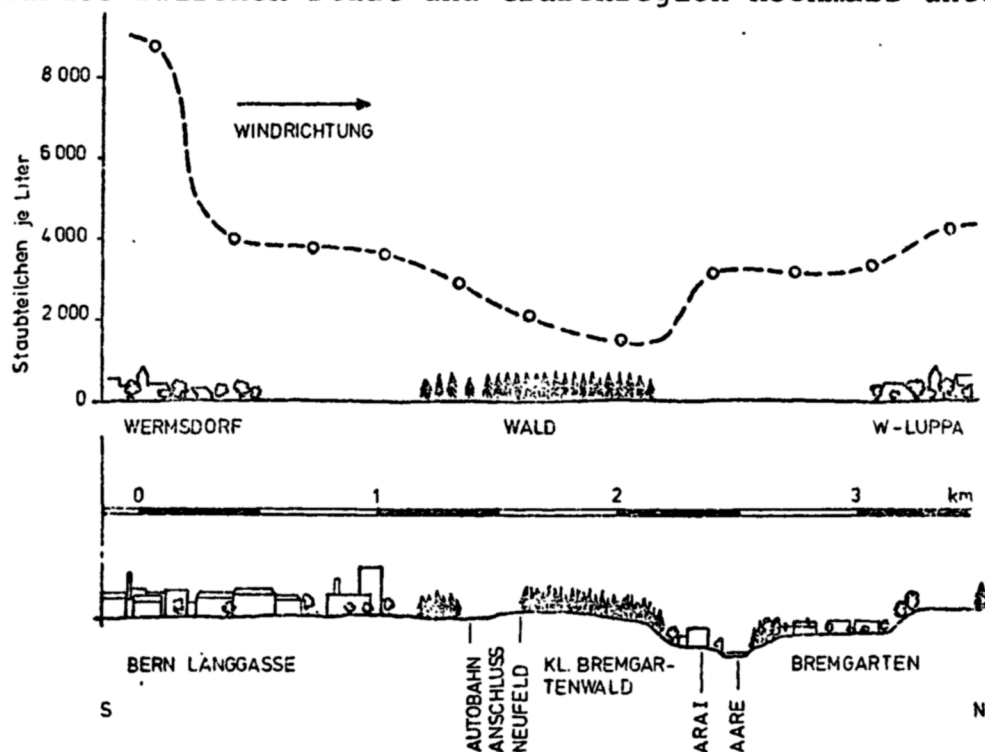


Fig. 39 Staubgehaltsmessungen im freien und bewaldeten Gelände nach ROETSCHKE (aus GEIGER 1961 : 385)

Die ähnlichen örtlichen Verhältnisse im Norden Berns sind der Figur angefügt.

6.3. Schwefeldioxyd

Die in den Monaten März und April 1973 beim Schulhaus Bremgarten durchgeführten Messungen ergaben folgendes:

Tab. 4 SO₂-Vergleichsmessungen im Raum Bern, Werte in 0,001 ppm

<u>März 1973</u>	Br	Be	Ga	Bü	Un	<u>April 1973</u>	Br	Be	Ga	Bü	Un
2.3.-5.3.	15	4	11	17	9	30.3.- 2.4.	11	18	16	19	19
5.3.-9.3.	7	6	12	15	15	2.4.- 6.4.	2	4	10	9	7
9.3.-12.3.	11	9	11	19	16	6.4.- 9.4.	3	-	14	29	3
12.3.-16.3.	7	12	16	14	14	9.4.-13.4.	4	3	-	12	9
16.3.-19.3.	10	7	-	13	16	13.4.-16.4.	19	3	5	12	14
19.3.-23.3.	6	6	11	19	19	16.4.-20.4.	7	2	2	10	9
23.3.-26.3.	8	5	12	9	16	20.4.-23.4.	6	-	10	8	2
26.3.-30.3.	11	-	12	17	15	23.4.-27.4.	8	5	4	2	4
						27.4.-30.4.	3	4	7	12	12
Mon.Mittel	9	7	12	15	15		7	6	10	13	9

Mittlere SO₂-Belastung für je drei oder vier Tage für folgende Stationen:

Br = Bremgarten, Schulhaus / Be = Belpmoos, Flugplatz / Ga = altes Gaswerk der Stadt Bern, Marzili / Un = Universität Bern, Institut für Exakte Wissenschaften / Bü = Bümpliz, Dorfzentrum

Diese Werte zeigen, dass der SO₂-Gehalt der Luft in der Vorortsgemeinde Bremgarten im Mittel zwar noch tiefer liegt als in der Stadt, während einzelnen Zeitabschnitten aber durchaus städtische Werte erreicht. Dies mag als Hinweis genügen, dass der Raum Aaregraben lufthygienisch potentiell gefährdet ist.

Damit sei auch vom Schwefeldioxyd her angedeutet, dass der Belastung der Grabenregion mit Luftschadstoffen besondere Aufmerksamkeit zu schenken ist. Genaue Messungen der heutigen Luftverschmutzung drängen sich bei weiterer Expansion im Aaregraben geradezu auf.

6.4. Die lufthygienische Belastung bei Inversionslagen

In einer Detailuntersuchung des Institutes für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH Zürich (Prof. Grandjean) wurden folgende Zusammenhänge zwischen Luftverunreinigung und Inversionslagen ermittelt.

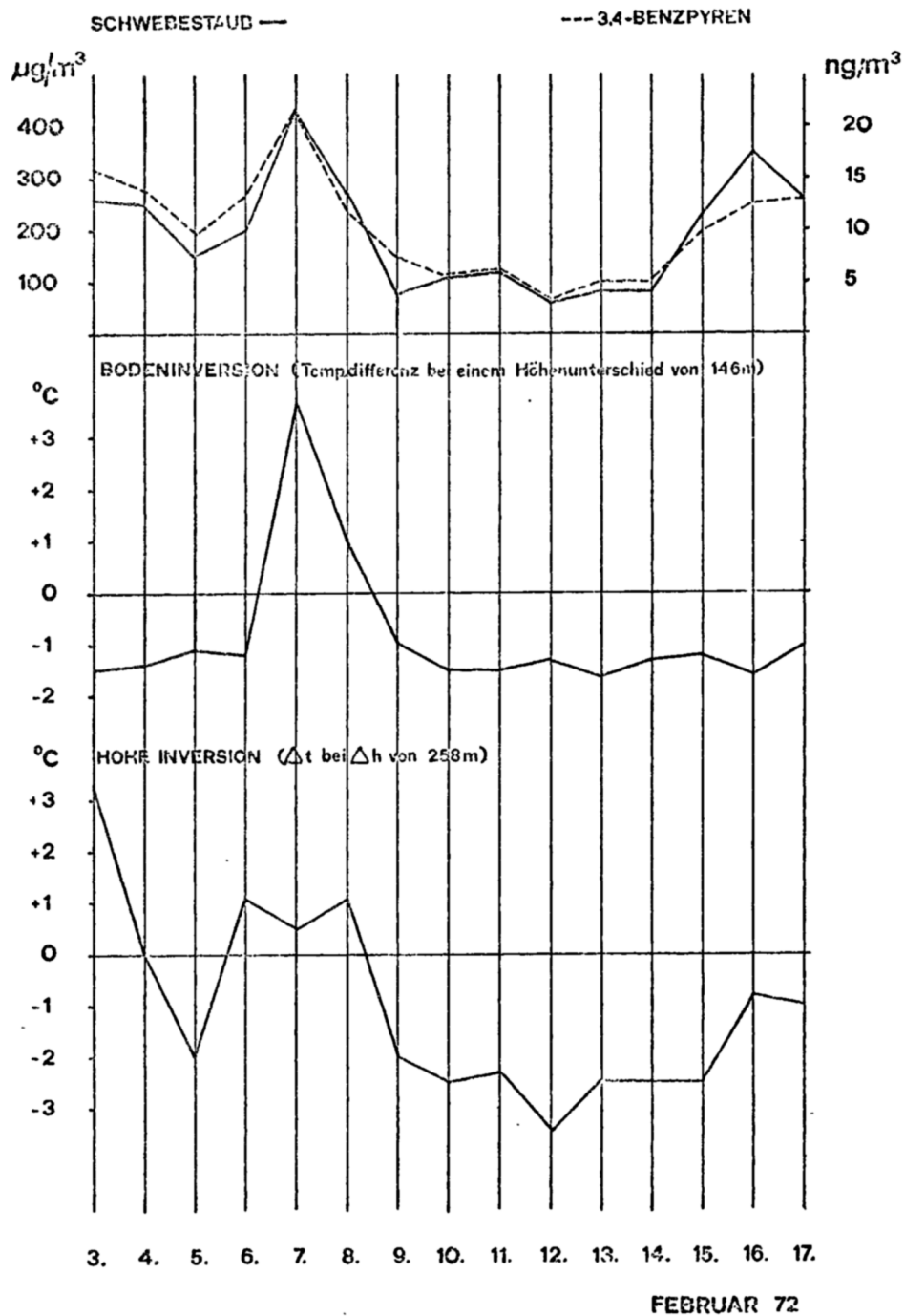


Fig. 40 Zusammenhang zwischen der Luftverunreinigung und der Temperatur (Inversionslage) Figur nach WAIBEL und WANNER

Als Indiz für die Luftverunreinigung wurden in diesem Falle Schwebestaub und Benzpyren (Steinkohlenteer im Abgas von Verbrennungsmotoren) untersucht. Am 7. und 8. Februar, während einer ausgeprägten Tiefinversion, steig der Anteil der beiden Luftverschmutzungsfaktoren stark an.

Da bei Inversionslagen der vertikale Luftaustausch nicht mehr funktioniert, werden die Schadstoffe in Tieflagen stark angereichert. Die lufthygienische Gefährdung bei Inversionslagen ist somit gross.

VII. DER AAREGRABEN - EIN KONFLIKTGEBIET

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass der Aaregraben nördlich von Bern durch seine besondere Topographie ein von der Umgebung abweichendes, lokales Klima aufweist, das geprägt ist durch häufige Inversionen und schlechte Durchlüftung. Der lufthygienischen Belastbarkeit sind somit natürliche Grenzen gesetzt.

Die landschaftlich reizvolle Talung zum Wohlensee galt vorerst als stadtnahes Wander- und Erholungsgebiet. Dann aber erhielt die Grabenregion zwei neue, kaum miteinander zu vereinbarende Funktionen, wie sie im Raum Bremgarten besonders deutlich erkennbar sind.

Die windgeschützten Südhänge des Grabens wurden mit Wohnsiedlungen überbaut. Das gegenüberliegende Aareufer aber, noch zum Gemeindegebiet der Stadt Bern gehörend, entwickelte sich gleichzeitig zum "Schüttstein" der Stadt. Als tiefstes Gebiet der Stadt, an der Aare und erst noch "hinter dem Bremgartenwald", ist es von der Stadt aus gesehen für diese Funktion prädestiniert.

Die unmittelbare Nachbarschaft von Wohnsiedlung und Abwasserreinigungsanlage führte gezwungenermassen zum Konflikt. Dieser erste Konflikt hat aufgezeigt, dass der weiteren Entwicklung in dieser Region besondere Aufmerksamkeit zu schenken ist, verträgt doch gerade der Aaregraben wegen seiner ungünstigen klimatischen Situation keine derartigen Kontrahenden in unmittelbarer Nachbarschaft.

Der erste Konflikt konnte durch umfassende Sanierungsmassnahmen der Stadt Bern an der ARA I weitgehend (aber nicht vollständig) beigelegt werden. Aber die Lehren aus diesem Vorfall wurden nicht gezogen, die besonderen Verhältnisse der Grabenregion nicht erkannt. Die nachfolgende Figur mag die klimatisch-lufthygienische Gefährdung des Aaregrabens noch einmal mit aller Klarheit aufzeigen:

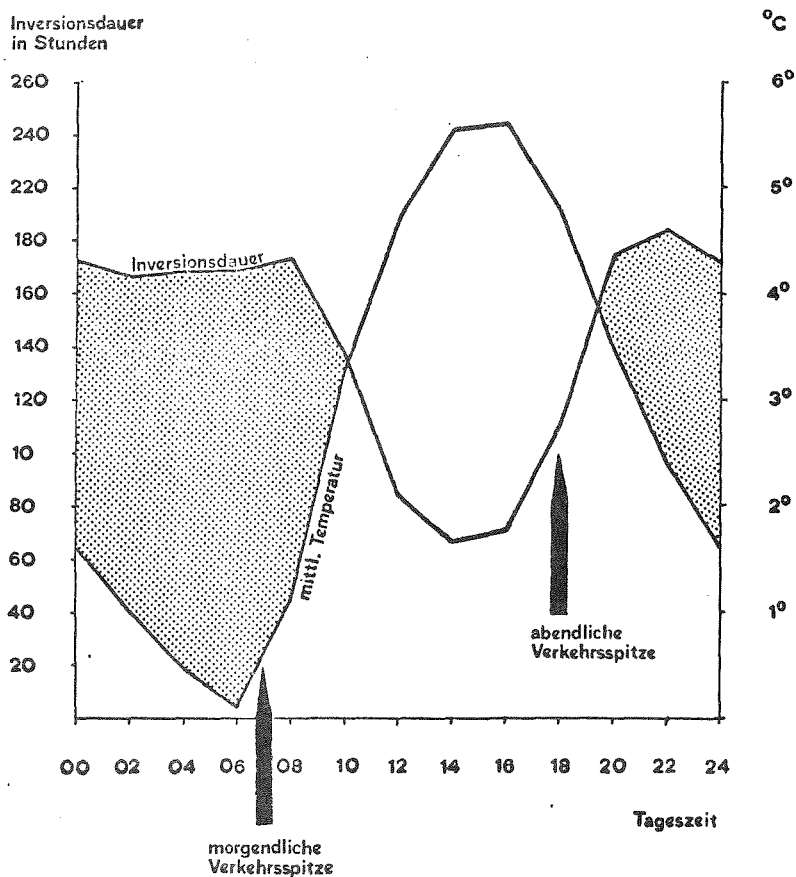


Fig. 41 Durch die Temperaturverhältnisse bedingte Konfliktsituation im Aaregraben

Im Kap. 2.3. wurde gezeigt, wie sich die Inversionsstunden im Mittel über die Tageszeit verteilen: Grosse Häufigkeit von Inversionen nachts und in den Morgenstunden. Vergleichen wir nun diese Inversionskurve mit der Temperaturkurve (mittlere Temperatur, gemessen alle zwei Stunden): Die tiefsten Temperaturen sind während der grössten Inversionshäufigkeit zu beobachten. Genau in diese Stunden fällt folglich die grösste SO_2 -Emission durch die Hausfeuerungen. Ebenfalls zu dieser Zeit sind die höchsten Verkehrsspitzen auf den Zubringerstrassen zur Stadt zu verzeichnen (Emission von CO , Benzpyren, Blei, Staub etc.). Dadurch ergibt sich für das Gebiet des Aaregrabens ein gefährlicher Summationseffekt: Eine Kausalkette führt von der Topographie über die meteorologische Situation (Inversion) und damit gleichzeitig über eine verstärkte

lufthygienische Belastung zu den Wohn- und Lebensverhältnissen im Gebiet des Aaregrabens.

Betrachten wir die sich abzeichnende weitere Belastung der Grabenregion durch zum Teil bereits eingeleitete Eingriffe:

- Zu den bereits bestehenden Ueberbauungen sind für die kommenden zwei bis drei Jahre in Unterdettigen, Vorderdettigen und Bremgarten rund 1800 neue Wohnungen im Graben geplant. (Pos. 1 Fig. 42).
- Da die Gemeinden Wohlen und Meikirch weitere 500 Wohnungen vorgesehen haben, ergibt das schon nur für die nächsten Jahre für den Raum nördlich Bern eine Bevölkerungszunahme von gegen 7000 Einwohnern (GAECHTER/MESSMER 1973). Da diese neuen Siedlungen nur über Motorfahrzeugverkehr mit der Stadt verbunden sind, muss mit einer starken Zunahme des Verkehrs auf den beiden Hauptverkehrsachsen durch den Graben gerechnet werden (Pos. 2 Fig. 42).

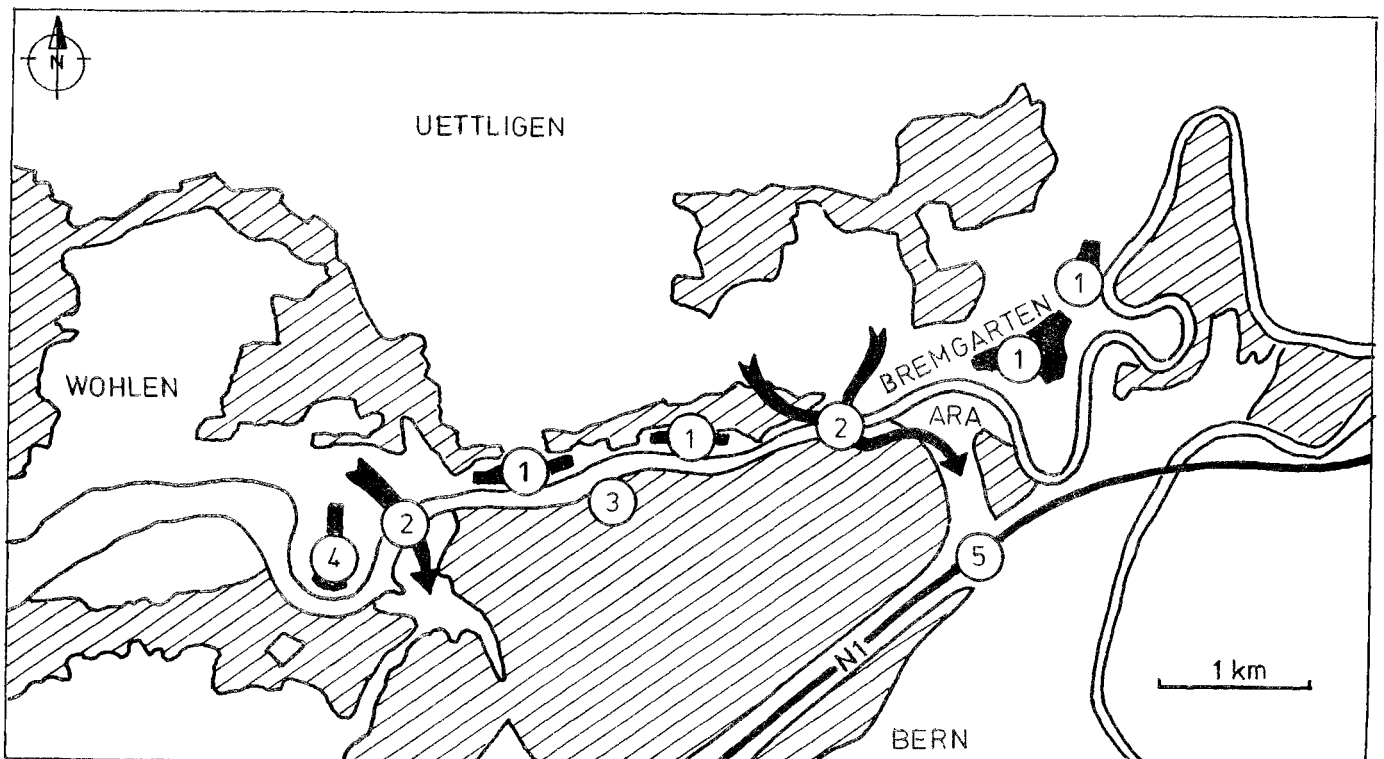


Fig. 42 Konfliktgebiet Aaregraben

In Ausführung begriffene oder geplante Eingriffe, die der Grabenregion weitere Belastungen bringen

- Im Raum Hasli - Wolei plant die Stadt Bern zusätzlich die zweite grosse Abwasserreinigungsanlage für die Westquartiere der Stadt. Eine weitere Belastung und ein weiteres vis à vis mit Wohnsiedlungen ist somit vorauszusehen (Pos. 3 Fig. 42).

Die sich abzeichnende weitere Belastung der Grabenregion stimmt nachdenklich. Umso mehr als nun auch noch die schon recht kritischen klimatischen Verhältnisse durch neueste Eingriffe zusätzlich beeinträchtigt werden.

- Durch Hochbausiedlungen im Westen des Grabens bei Hinterkappelen, quer zur Grabenachse, dürften die für die Durchlüftung des Grabens ausserordentlich wichtigen Westwinde weiter gestört werden (Pos. 4, Fig. 42).
- Besonders gravierend aber sind die Eingriffe im Bremgartenwald. Die für den Graben besonders wichtige Schutzfunktion des Waldes wird durch die Autobahn zusätzlich gestört. Der Wald wird vom "Reiniger" umfunktioniert zur schadstoffemittierenden Quelle. Besonders nachteilig dürfte sich dabei die grosszügig herausgehauene Schneise auswirken, die vom Brückfeld an die Aare hinunter geschlagen wurde. Durch diese Schneise wird die belastete Stadtluft in Zukunft ungehindert in den Graben abfließen können (Pos. 5 Fig. 42).

Obwohl die heutigen lufthygienischen Verhältnisse im Aaregraben nicht als alarmierend bezeichnet werden können, besteht die Gefahr, dass bei weiterer Fehlentwicklung im hier aufgezeigten Mass die Grabenregion zu einer für die Bewohner kritischen Region werden kann.

Gerechterweise muss gesagt werden, dass die Planer auf dem Gebiet der Regionalklimatologie völlig unzureichende Unterlagen besitzen. Detaillierte Angaben über lokale und regionale Klimaeigenheiten, über Inversionshäufigkeiten und Ventilationsverhältnisse fehlen fast vollständig.

Müsste nicht sehr rasch damit begonnen werden, vor allem im Expansionsbereich städtischer Siedlungen, ein Inventar der gefährdeten geographischen Einheiten aufzunehmen und in diesen Gebieten die klimatischen Gegebenheiten aufzuarbeiten, um eine Idee von der natürlichen Belastbarkeit dieser Regionen zu erhalten?

Das Planen im Gemeinderahmen nach heutiger Norm genügt nicht mehr. Das Beispiel des Aaregrabens zeigt deutlich, dass die Region als Ganzes betrachtet werden muss.

Dieses Problem stellt sich mit umso grösserer Dringlichkeit, als die im vorliegenden Bericht untersuchte Region des Aaregrabens nur ein kleiner Teil ist. Schon nur im Expansionsbereich der Stadt Bern bedürfen weitere Gebiete einer dringenden Ueberprüfung der regionalen Bedeutung geplanter Entwicklungen. Die Probleme im Aaretal (Bern - Thun), Wangental, Köniztal und Worblental, um nur einige Beispiele zu nennen, liegen ähnlich - überall ist beim Andauern der angezeigten Entwicklung mit Konflikten zu rechnen.

In diesem Sinne möge der vorliegende Bericht die Problematik aufzeigen und den Blick vom erkannten Einzelproblem im Aaregraben weg zur Grosszahl der sich abzeichnenden weiteren Probleme hinlenken.

Vieles ist leider schon entschieden und kaum mehr rückgängig zu machen. Durch verantwortungsbewusstes und rasches Handeln sollten aber wenigstens zukünftige Fehlplanungen auf ein Minimum beschränkt werden.

Dazu ist ein grossräumiges Denken erforderlich und es müssen die lokalen und regionalen Klimateigenheiten bekannt und in der Planung mitberücksichtigt werden.

VIII. ZUSAMMENFASSUNG

DER AAREGRABEN NOERDLICH VON BERN: EINE KLIMATISCHE UNTERSUCHUNG ALS PLANUNGSGRUNDLAGE

Im vorliegenden Bericht wird am Beispiel des Aaregrabens nördlich von Bern gezeigt, wie sehr das Kleinrelief die meteorologisch-klimatischen Verhältnisse beeinflusst. Dadurch wird die lufthygienische Situation derart geprägt, dass sich für eine weitere Expansion heute natürliche Grenzen abzeichnen.

Anhand von Temperaturmessungen konnte nachgewiesen werden, dass die Region des Aaregrabens sehr stark von den lufthygienisch gefährlichen Inversionen betroffen wird: Praktisch zu jeder Jahreszeit können sich nachts im Graben Inversionen bilden, die eine natürliche Lüfterneuerung (vertikaler Luftaustausch) verhindern. Im engen Aaregraben sind dreimal mehr Inversionsstunden zu verzeichnen als im weit offeneren Stadtgebiet von Bern.

Zudem sind die Durchlüftungsverhältnisse im Grabengebiet schlecht. Die Windmessungen haben ergeben, dass die säubernden Winde an der Talsohle wenig wirksam sind. Die Folge davon ist, dass sich die Inversionen häufig nicht auflösen. Selten treten Windstärken von über 2 m/s auf. Im weiteren wird nachts oft mit Schadstoffen belastete Stadtluft durch die aus dem Aaretal abfliessenden Kaltluftmassen in die Grabenregion abgedrängt.

Dies zeigt, dass der Graben auch von der Ventilation her ungünstige lufthygienische Verhältnisse aufweist.

Gesamthaft gesehen lässt sich folgender Sachverhalt erkennen: Bedingt durch das Relief ist der Aaregraben schlecht besonnt und schwach durchlüftet. Dadurch entstehen häufig Inversionslagen. Die im Graben liegenden Kaltluftmassen reichern sich mit Schadstoffen an, da kein vertikaler Luftaustausch möglich ist. Die Belastung wird durch das zeitweilige Einfließen von Luftmassen aus dem Stadtgebiet noch verstärkt. Diese Konfliktfolge wird nun durch Fehlplanungen und schwerwiegende Eingriffe weiter ver-

schärft. Ziel der Arbeit ist es, auf diese Verkettung natürlicher Gegebenheiten und menschlicher Eingriffe hinzuweisen, damit das Problem von allen mit Planung beschäftigten Instanzen erkannt wird. In Zukunft müssen besonders in stadtnahen Expansionsgebieten geographische Einheiten als Ganzes betrachtet werden. Es müsste vermieden werden, dass eine klimatisch ungünstige Region mit verschiedenen Funktionen belastet wird, die direkt zu Konflikten führen, wie dies im Aaregraben geschehen ist und in noch umfangreicherem Ausmass weiter geschieht.

Der Aaregraben ist dabei ein Beispiel, die Problematik dürfte in zahlreichen Regionen der Schweiz ähnlich liegen.

LE FOSSE DE L'AAR AU NORD DE BERNE.
UNE ANALYSE CLIMATOLOGIQUE COMME BASE D'AMENAGEMENT

A l'exemple du fossé de l'Aar au nord de Berne, ce rapport montre comment le relief influence la situation climatique. Ceci caractérise la situation de la pollution atmosphérique de façon telle que des limites naturelles se dessinent pour une expansion future.

Avec des mesures de températures on a pu prouver que la région du fossé de l'Aar est frappée fortement par des inversions dangereuses du point de vue de la pollution atmosphérique: pratiquement durant chaque saison se forment des inversions nocturnes qui empêchent un renouvellement naturel de l'air (échange vertical d'air). Dans la vallée encaissée de l'Aar l'on trouvera trois fois plus d'heures d'inversion que dans la région plus ouverte de Berne.

En plus, la ventilation est mauvaise dans la région du fossé. Des mesures de vent ont montré que les vents nettoyants sont peu efficaces dans le fond du fossé. Rarement des vitesses de vent de plus de 2 m/s sont enregistrées. En conséquence les inversions ne seront souvent pas dissoutes. En plus, de l'air polluée en provenance de la ville est repoussée par les masses d'air froides qui descendent la vallée de l'Aar. Ceci montre que le fossé a des propriétés peu favorables pour la pollution du point de vue de l'aération.

En tout, l'on reconnaîtra l'état de choses suivant: conditionné par le relief, le fossé de l'Aar est mal ensoleillé et peu ventilé. Ainsi se forment souvent des situations d'inversion. Les masses d'air froides du fossé se saturent d'agents polluants, puisqu'il n'y a pas d'aération verticale. Cette charge est augmentée par les masses d'air qui débordent de temps en temps de la région de la ville. Cette succession de conflits est encore aggravée

par des aménagements déplacés et des interventions graves. Le but de ce travail est de démontrer cet enchaînement de données naturelles et d'interventions humaines pour que le problème soit reconnu par toutes les instances qui s'occupent d'aménagement. A l'avenir, il faudra considérer des unités géographiques, surtout pour des régions d'expansion proches de villes. Il s'agit d'éviter de doter une région peu favorisée de différentes fonctions que mènent directement à des conflits, comme ceci s'est passé et se passe encore dans une plus grande mesure dans le fossé de l'Aar. Ceci est un exemple, les problèmes pourraient se situer semblablement dans de nombreuses régions de la Suisse.

LITERATURVERZEICHNIS

- BAND, G., 1969: Der Einfluss der Siedlung auf das Freiklima. Mitt. aus dem Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität Köln, H. 9, Köln
- FLOHN, H., 1968: Vom Regenmacher zum Wettersatelliten. Kindlers Universitäts Bibliothek, München
- FUHRER, J., 1974: Sedimentstaubmessungen um Bern. Manusk. Geographisches Institut der Universität Bern (unveröffent.)
- GRABER, K., 1967: Luftverunreinigung und ihre Wirkung, Berlin
- GEIGER, R., 1961: Das Klima der bodennahen Luftschicht, Braunschweig
- GRANDJEAN, E. und GILGEN, A., 1973: Umwelthygiene in der Raumplanung, Thun und Zürich
- HEYER, E., 1972: Witterung und Klima, Leipzig
- HOEGGER, D., 1973: Probleme der Lufthygiene. Unterlagen zu der Umweltschutzgesetzgebung. Zusammengestellt von der Eidg. Kommission für Lufthygiene, Bern
- JUNOD, A., 1969: Die Windverhältnisse in der Region Neubrück/Bremgarten. Meteorologische Expertise der MZA, Dienst für die Reinhaltung der Luft, Bern/Payerne
- KRATZER, A., 1956: Das Stadtklima, Braunschweig
- KUHN, W., 1972: Flussnebel über dem Rhein: Theorie und Beobachtung. Verhandlungen der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, Zürich
- MAEDER, F., 1970: Hinweise und Quellenangaben zu den Klimaeignungskarten, ORL-Institut, Zürich
- MESSERLI, P., 1972: Windstatistik der Meteorologischen Station Bern (1965 - 69). Manusk. Geographisches Institut der Universität Bern (unveröffent.)
- MESSERLI, P., 1973: Beiträge zum Klima des Raumes Bern. Geographische Gesellschaft in Bern, Bd. 50/1970-72, Bern
- MESSMER, O. und GAECHTER, E., 1973: Berner Beiträge zur Stadt- und Regionalforschung, H. 1, Bern

- OBLAENDER, W., 1969: Untersuchung des Einflusses meteorologischer Grössen auf die Schwefeldioxydkonzentrationen einer Grossstadt. Diss. Fakultät der Naturwissenschaften, Universität Karlsruhe
- QUERVAIN, de, M., 1957: Ein neuer Tagbogenschreiber. La Météorologie janvier-juillet, Paris
- QUITT, E., 1972: Mesoklima im Umweltschutzkomplex. Studia Geographica 26, Brno
- SCHUEPP, M., 1962: Sonnenscheindauer. Beiheft zu den Annalen der MZA 36, Zürich
- STEINHAUSER, F., 1959: Neue Untersuchungen über das Stadtklima von Wien. Oesterreichische Akademie der Wissenschaften, Jg. 1959, Nr. 5, Wien
- STEINHAUSER, F., 1960: Statistische Untersuchung der Inversionen im Luftraum über Wien. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Bd. 11, H. 4, Wien
- STEINHAUSER, F., 1960: Messungen der Luftverschmutzung in Wien. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Bd. 10, 2. H., Wien
- STEINHAUSER, F., 1961: Ergebnisse und Aufgaben stadtklimatischer Untersuchungen in Wien. Wetter und Leben, Jg. 3, H. 5 - 7, Wien
- STEINHAUSER, F., 1970: Vergleichende Messungen der Luftverschmutzung in verschiedenen Orten Oesterreichs. Wetter und Leben, Jg. 22, Wien
- STEINHAUSER, F., 1971: Ergebnisse mehrjähriger Beobachtungen der Staubablagerungen in Oesterreich. Wetter und Leben, Jg. 23, Wien
- WAIBEL, M. und WANNER, H. U., 1974: Schwebestaub- und Benzpyren-Immissionen in Zürich. Neue Zürcher Zeitung vom 28.1.1974, Nr. 45, Zürich
- WANNER, H., 1971: Die Nebelverhältnisse im Winter 1970/71. Beiträge zur klimatologischen Grundlagenforschung Nr. 6, Geographisches Institut der Universität Bern, Klimaforschung, Bern
- WANNER, H., 1973: Beiträge zum Klima des Raumes Bern. Geographische Gesellschaft in Bern, Bd. 50/1970-72

- WYSS, W., 1974: Umweltschutz. Tätigkeitsbericht 1973 des Laboratoriums der Stadt Bern, Bern
- ZENKER, H., 1954: Waldeinfluss auf Kondensationskerne und Luft-hygiene. Zeitschrift für Meteorologie 8, Frankfurt
- ZIMMERMANN, M., 1973: Lufthygiene und Meteorologie. Gesundheits-technik Nr. 5/73, Basel

VERZEICHNIS DER FIGUREN

- Fig. 1 Der Aaregraben nördlich von Bern
- Fig. 2 Drei Profile durch den Aaregraben
- Fig. 3 Temperaturvergleich Seftau - Chalchacher - Birchi
- Fig. 4 a. Ausbreitung der mittleren Maxima
b. Ausbreitung der mittleren Minima
- Fig. 5 Inversionsstunden im Aaregraben während der Messperiode (1. Januar - 20. Mai 1973)
- Fig. 6 Verteilung der gemessenen Inversionsstunden über die Tageszeit
- Fig. 7 Leichter Kaltluftsee am Grund des Aaregrabens
- Fig. 8 "Kaltluftschlange" dem Aarelauf entlang
- Fig. 9 Verstärkter Kaltluftsee am Grund des Aaregrabens (wie Fall 1)
- Fig. 10 Kaltluftausbreitung der Aare entlang (wie Fall 1)
- Fig. 11 Die konsequent durchlaufende Inversion (Endphase)
- Fig. 12 Die grösste Ausbreitung der Kaltluft
- Fig. 13 Warmluft im tieferen Grabenteil
- Fig. 14 Warmluftausbreitung der Aare entlang
- Fig. 15 Mittlere oder mittelhohe Inversion
- Fig. 16 Wärmere Luftschicht in Seftau und auf dem Plateau von Birchi
- Fig. 17 Verteilung und Häufigkeit der einzelnen Fälle über die Tageszeit
- Fig. 18 Tautochronendarstellung der Temperaturen am 24.3.1973
- Fig. 19 Inversionsdauer der verschiedenen Stationen am 24. März 1973
- Fig. 20 Die Temperaturdifferenzen nur bei Inversionslagen
- Fig. 21 Vergleich der Inversionshäufigkeit im Aaregraben und in der Stadt Bern
- Fig. 22 Häufigkeit und Dauer der gross- und kleinräumigen Inversionen
- Fig. 23 Vertikale Temperaturabfolge bei Inversionsüberlagerungen
- Fig. 24 Tagesgang der Hauptwindrichtungen über Bern

- Fig. 25 Vergleich der Hauptwindrichtungen über Bern und im Aaregraben bei Neubrücke/Bremgarten
- Fig. 26 Windverhältnisse im Raum Bremgarten/Neubrücke
- Fig. 27 Instrumentenstandorte für Kurzmessungen
- Fig. 28 Vergleich der Windverhältnisse Birchi - Chalchacher
- Fig. 29 Windverhältnisse im Kessel von Bremgarten am 15.5.1974 von 1900 - 2000 Uhr
- Fig. 30 Windverhältnisse im Kessel von Bremgarten am 15.5.1974 von 2100 - 2200 Uhr
- Fig. 31 10-Min. Mittel der Windgeschwindigkeit über alle vier Kurzwindmesskampagnen im Raum Bremgarten
- Fig. 32 Abhängigkeit der Inversionsdauer im Aaregraben von der Windstärke der übergeordneten Winde
- Fig. 33 Korrelation der Windstärke Münchenbuchsee mit der Inversionsdauer im Aaregraben für den Monat März 1973
- Fig. 34 Korrelation der Windverhältnisse Tscharnergut mit der Inversionsdauer im Aaregraben für den Monat März 1973
- Fig. 35 Sonnenscheindauer und Inversionsauflösung
- Fig. 36 Räumliche Verteilung der Sonnenscheindauer im Sommerhalbjahr
- Fig. 37 Räumliche Verteilung der Sonnenscheindauer im Winterhalbjahr
- Fig. 38 a. Anteil der Wetterlagen während der Messperiode
b. Prozentualer Anteil an Inversionsstunden während der sieben Wetterlagen
- Fig. 39 Staubgehaltsmessungen im freien und bewaldeten Gelände
- Fig. 40 Zusammenhang zwischen der Luftverunreinigung und der Temperatur
- Fig. 41 Durch die Temperaturverhältnisse bedingte Konfliktsituation im Aaregraben
- Fig. 42 Konfliktgebiet Aaregraben
In Ausführung begriffene oder geplante Eingriffe, die der Grabenregion weitere Belastung bringen

VERZEICHNIS DER TABELLEN

- Tab. 1 Tagesmittel der Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Hauptwindrichtungen

Tab. 2	Vergleich der Windstärkenverhältnisse im Raum Bremgarten
Tab. 3	Vergleich der monatlichen Sedimentstaubablagerung
Tab. 4	SO ₂ -Vergleichsmessungen im Raum Bern

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Abb. 1	Wetterhütte für die Temperaturregistrierung
Abb. 2	Windmess-Station Bremgarten Chalchacher mit Woelfle-Windschreiber
Abb. 3	Rochat-Windmesser zur Erfassung schwacher Luftströme

"BEITRAEGE ZUM KLIMA DER REGION BERN"

Uebersicht über die im Rahmen dieser Reihe durch das Geographische Institut der Universität Bern vorgesehenen Beiträge

- | | |
|------------|--|
| Beitrag 1 | Das Messnetz der Region Bern: Grundlagen und Probleme |
| Beitrag 2 | Das regionale Windgeschehen |
| Beitrag 3 | Die Temperaturverhältnisse in der Region Bern |
| Beitrag 4 | Niederschlag, Schnee, Hagel |
| Beitrag 5 | Sonnenscheindauer, Nebel und Bewölkung |
| Beitrag 6 | Spätfrostkartierung
Kartierung des Einzelereignisses im April 1974
am Beispiel des Nussbaumes |
| Beitrag 7 | Ausgewählte lufthygienische Elemente |
| Beitrag 8 | Der Aaregraben nördlich von Bern.
Eine klimatische Untersuchung als Planungsgrundlage |
| Beitrag 9 | Die Bedeutung von städtischen Hochbausiedlungen
im Zusammenhang mit Fragen der Lufthygiene und
Ventilation |
| Beitrag 10 | Möglichkeiten und Probleme der automatischen
Datenerfassung im klimatologisch-lufthygienischen
Messnetz Bern |
| Beitrag 11 | Mikroklimatische Analyse einer bestimmten Siedlungsstruktur
am Beispiel des Tscharnergutes |
| Beitrag 12 | Zusammenfassung und ungelöste Probleme |

Ergänzungen und Aenderungen dieser Aufstellung bleiben vorbehalten.