

Beiträge zum Klima der Region Bern / Beitrag No. 1

Das Messnetz der Region Bern
Grundlagen und Probleme

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. 1

Das Messnetz der Region Bern. Grundlagen und Probleme

Geographisches Institut der Universität Bern 1978

Print Version: vergriffen

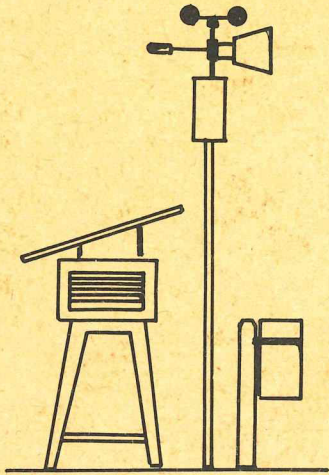
Geographica Bernensia: G104/1

DOI: 10.4480/GB2023.G104.01

© 2023 GEOGRAPHICA BERNENSIA



Creative Commons Licences



**Beiträge zum Klima
der Region Bern**

Beitrag No. 1

Das Messnetz der Region Bern

Grundlagen und Probleme

Hans Mathys und Roland Maurer

Geographisches Institut der Universität Bern 1978

Dieser Beitrag gehört in die Reihe der "BEITRAEGE ZUM KLIMA DER REGION BERN" des Geographischen Institutes der Universität Bern. Er entstand mit der Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung und eines Publikationsbeitrages der Schweizerischen Geographie-Kommission der SNG.

Leiter des Forschungsprogrammes

Prof. Dr. B. Messerli

Bearbeiter des BEITRAGES 1

Hans Mathys

Roland Maurer

Stefan Kunz

Heinz Wanner

Dieser Beitrag war ursprünglich als erster Beitrag der Reihe vorgesehen und sollte die Ausgangsinformation zu den geplanten Untersuchungen beinhalten.

Als die Untersuchungsprogramme aber angelaufen waren und erste Resultate vorlagen, wurde der aktuellen Publikation fachtechnisch interessanter Untersuchungsergebnisse immer wieder der Vorrang gegeben.

So erscheint dieser BEITRAG Nr. 1 erst kurz vor Abschluss der Untersuchungsarbeiten als neunter Bericht der Reihe.

Diesem Umstand sowie der im Verlaufe der Arbeiten angeplanten Auswahl der Themen der einzelnen Berichte ist Rechnung zu tragen.

INHALTSVERZEICHNIS

I. EINLEITUNG

- 1.1. Meteorologie - Klima - Lufthygiene
- 1.2. Von der Regionalstudie zum Modell

II. DAS FORSCHUNGSPROGRAMM "KLIMUS"

- 2.1. Zielsetzung des Forschungsprogrammes "KLIMUS"
- 2.2. Der Ablauf des Forschungsprogrammes
- 2.3. Klimatologisch-lufthygienische Grundlagen
 - 2.3.1. Vorausgegangene Messungen
 - 2.3.2. Vorhandene Klimadaten
 - 2.3.3. Vorhandene lufthygienische Daten
- 2.4. Die Topographie des Untersuchungsgebietes

III. DAS KLIMATOLOGISCH-LUFTHYGIENISCHE MESSNETZ DER REGION BERN

- 3.1. Aufbauidee
- 3.2. Uebersicht über Messnetz und Betreuung
- 3.3. Der Einsatz des Messwagens
- 3.4. Andere Methoden
 - 3.4.1. Fotoaufnahmen
 - 3.4.2. Film
 - 3.4.3. Der Einsatz von Fernerkundungsmethoden
 - 3.4.4. Mobiles Messnetz mit stationärer Messung

IV. KLIMATOLOGISCHE MESSUNGEN

- 4.1. Wind
- 4.2. Lufttemperatur
- 4.3. Niederschlag
- 4.4. Sonnenschein. Bewölkung und Nebel
- 4.5. Frost
- 4.6. Fehlende Klimaelemente

V. LUFTHYGIENISCHE MESSUNGEN

- 5.1. Schwefeldioxid
- 5.2. Kohlenmonoxid
- 5.3. Sedimentstaub

VI. MESSKAMPAGNEN

- 6.1. Einleitung
- 6.2. Bremgarten - Aaregraben
- 6.3. Murifeld
- 6.4. Inselspital
- 6.5. Eigerplatz

VII. VERSUCHE MIT EINER VOLLAUTOMATISCHEN MESSANLAGE

- 7.1. Die Idee einer Automatisierung des Messnetzes
- 7.2. Der Prototyp OTT und sein Einsatz
- 7.3. Ausblick
- 7.4. Heutiger Einsatz

VIII. DIE AUSWERTUNG DES DATENMATERIALS

- 8.1. Einleitung, Zielsetzung, Problemstellung
- 8.2. Datenerfassung
- 8.3. Fehlersuche bei den Temperaturdaten
- 8.4. Datenverarbeitung

IX. DAS PROBLEM DER WETTERLAGEN

X. SYNTHESE AUS DER GESAMTEN FORSCHUNGSARBEIT

Zusammenfassung

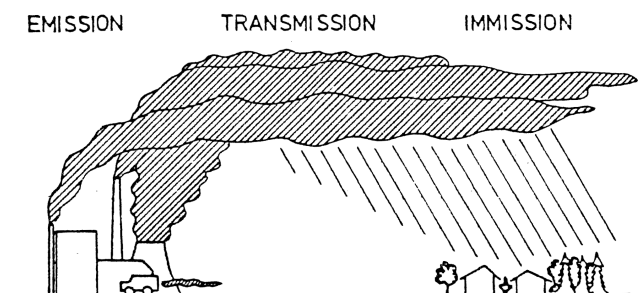
Anhang

I. EINLEITUNG

1.1. Meteorologie - Klima - Lufthygiene

Die Verunreinigung der Luft rührt in unserem Land, ähnlich wie in den meisten anderen Ländern, in allererster Linie von der Verwendung fossiler Treib- und Brennstoffe her. Durch die Emissionsquellen Hausfeuerungen, Motorfahrzeuge, Industrie und Gewerbe, Kehrlichtverbrennung und thermische Energieproduktion werden Luftschadstoffe erzeugt, die unsere Atmosphäre verunreinigen und dadurch die Ökosysteme belasten. Als wesentlichste Luftschadstoffe sind Kohlendioxid, Schwefeldioxide, Kohlenmonoxid, nitrose Gase, Kohlenwasserstoffe und ihre Abkömmlinge, Stickoxide, Bleiverbindungen, Oeldämpfe, Staub, Rauch und Russ in verschiedener Zusammensetzung in unseren Gebieten bekannt und teilweise auch näher untersucht.

Die den Emissionsquellen in hoher Konzentration entströmenden Luftverunreinigungen sind in der Atmosphäre physikalischen und chemischen Veränderungen unterworfen. Die Konzentration der Fremdstoffe in den einzelnen Schichten der Atmosphäre sowie das Ausmass der Belastung des Menschen und seiner natürlichen Umwelt hängt von der ausgestossenen Fremdstoffmenge und den Austrittsrandbedingungen ab, ferner unterliegen sie dem Einfluss der Schwerkraft, dem thermischen Auftrieb, den Diffusionsvorgängen und in entscheidendem Masse auch meteorologischen Einwirkungen. So sind es vor allem Windverhältnisse, Lufttemperaturschichtungen (besonders Inversionen) und Niederschläge, welche die Luftschadstoffverteilung beeinflussen und damit mitbestimmen, in welchem Ausmass vor allem bodennahe Luftschichten verunreinigt werden.



Figur 1
Klimaelemente wie Wind, Temperaturschichtung und Niederschlag sorgen für die Verdünnung und Verteilung der Schadstoffemissionen.

Die Untersuchung umweltbelastender Luftschadstoffimmissionen bedarf somit umfassender Kenntnisse des meteorologischen Geschehens. Voraussetzung für die Interpretation des kurzzeitigen Verlaufes der Luftschadstoff-Konzentrationsänderungen ist die Erfassung des täglichen, regionalen Witterungsgeschehens. Untersuchungen globaler Auswirkungen der Luftverunreinigungen sowie Ausscheidungen potentiell gefährdeter Regionen bedürfen klarer Vorstellungen meso- und makroklimatischer Gegebenheiten. Kurzfristige Analysen lufthygienischer Immissionen ohne Mitberücksichtigung meteorologischer Mechanismen sind ebensowenig möglich wie die Erstellung langfristiger Belastungsprognosen ohne Kenntnisse klimatischer Verhältnisse.

1.2. Von der Regionalstudie zum Modell

Geleitet durch die Aussagen von RATZEL (1902): "Die Brechung eines Klimas in lokalklimatische Bruchstücke macht erst bei den engsten Räumen Halt. Man kann nicht bloss jedem Thale eines Gebirges sein Lokalklima zusprechen, auch die Gehänge eines Thales sind wieder klimatisch anders beschaffen als der Thalgrund", sowie durch MARR (1970): "Das Geländeklima erfasst die durch das Relief und die Grossformen der Pflanzendecke, insbesondere die Wälder, bedingten Unterschiede innerhalb des Landschaftsklimas", wurde mit den meso- oder geländeklimatischen Untersuchungen in der Region Bern versucht, die unterschiedlichen Klimaausprägungen in möglichst kleinen, topographisch einheitlichen Geländekammern aufzudecken.

Die Aufteilung des Regionalklimas in geländeklimatische Bruchstücke, die eine Uebertragung zulassen und damit in anderen Regionen als Bauteile eines Modells verwendet werden können, bildete den einen Schwerpunkt der Arbeiten.

Im Zusammenhang mit Ueberlegungen der potentiellen lufthygienischen Belastung wurden dabei Tal-, Becken- und Muldenlagen besonders eingehend untersucht. Aus der Umschreibung der Topographie der Region Bern in Kap. 2.4., dem Luftbild (Abb. 1) und der to-

pographischen Kartenbasis der Messnetzübersichtskarte im Anhang ist ersichtlich, dass die Region Bern eine Vielzahl unterschiedlicher Geländekammern aufweist und daher als Untersuchungsgebiet im umrissenen Sinne als geeignet erschien.

Dies um so mehr, als in dieser Region auch klimatische Wechselbeziehungen zwischen Siedlung und Umland sowie stadtklimatische Einflüsse mituntersucht werden konnten. Diese Stadteffekte im Sinne allgemeingültiger Aussagen aufzuzeigen, bildete den zweiten Schwerpunkt der Untersuchungen.

Die in der Region Bern durchgeführten Untersuchungen sollten somit unter Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen ähnliche regional- und geländeklimatische Aussagen auch in anderen Regionen erlauben.

II. DAS FORSCHUNGSPROGRAMM "KLIMUS"

2.1. Zielsetzung des Forschungsprogrammes "KLIMUS"

Die Schweiz verfügt über ein umfassendes Netz klimatischer Messstationen (ca. 230). Da dieses Messnetz der Meteorologischen Zentralanstalt (MZA) ursprünglich nach Bedürfnissen der Agrarklimatologie und des Flugwetterdienstes konzipiert wurde, erfolgen die Messungen vorwiegend entweder in Messhütten in 2 m Höhe über dem Boden oder mit Ballonsonden ab ca. 800 m über Grund. Die für die lufthygienische Verdünnung und Verfrachtung wichtige Luftschicht bis etwa 500 m Höhe über Grund wird somit kaum erfasst.

Da der Raster der MZA-Stationen zudem für regional- und lokal-klimatische Untersuchungen zu weitmaschig ist und in vielen Fällen nachts keine Messungen durchgeführt werden, vermag das vorhandene Datenmaterial etwa im Zusammenhang mit Problemen der Luftverschmutzung oft nicht zu genügen.

1972 entstand am Geographischen Institut der Universität Bern unter Leitung von Prof. B. Messerli eine Arbeitsgruppe KLIMUS (KLima und UMWeltSchutz), die sich zur Aufgabe stellte, die klimatischen Grundlagen in der Region Bern sowohl räumlich als auch zeitlich aufzuarbeiten - eine Lücke im mesoklimatischen Bereich sollte geschlossen werden. Im wesentlichen sollte diese Untersuchung Beiträge zu folgenden Problemkreisen liefern:

1. Bedeutung des Reliefs für das Klima der Agglomeration Bern
2. Bedeutung der Stadt für das Klima der Region Bern
3. Ausmass der klimatischen Wechselwirkung und Austauschmechanismen zwischen Stadt und Umland
4. Einordnung der regionalen Ausprägung des Klimas (Mesoklima) in übergeordnete Klimabereiche (Makroklima)

5. Beziehungen zwischen lufthygienischen Schadstoffausbreitungen und meteorologisch-klimatischen Einflüssen
6. Aufarbeitung, Interpretation und Prognostizierung von klimatologisch-lufthygienischen Belastungssituationen für den Raum der Region Bern

Aus der Einleitung geht deutlich hervor, dass Klima und Lufthygiene aufs engste miteinander gekoppelt sind (vgl. Kap. 1.1.). Aufgrund der umfassenden Kenntnisse der klimatischen Abläufe in der Region Bern sollte die Möglichkeit geschaffen werden, gezielte lufthygienische Untersuchungen einzuleiten. Die Aufnahme des Jetzt- oder Istzustandes sollte zudem signifikante Veränderungen des Klimas und der Lufthygiene in der Region Bern frühzeitig erkennen lassen. Damit sollte den Planern und Behörden Grundlagen für die Gestaltung unseres Wohnraumes sowie des Industrie- und Verkehrsraumes zur Verfügung gestellt werden.

2.2. Der Ablauf des Forschungsprogrammes

Ursprünglich, in seiner ersten Version, war das vorliegende Forschungsprojekt für eine Zeitdauer von drei Jahren geplant. Es beinhaltete folgenden Aufbau:

1. Jahr: Einrichtung eines umfassenden Messnetzes in der Region Bern
2. Jahr: Eigentliche Messphase
3. Jahr: Auswertung der Messdaten und Redaktion einzelner Beiträge zum Klima der Region Bern

Schon im Laufe des zweiten Jahres zeigte sich, dass dieser Zeitplan nicht eingehalten werden konnte. Verschiedene Ursachen führten dazu, das ganze Forschungsprogramm um zwei Jahre zu verlängern:

1. Ausdehnung der eigentlichen Messphase (16 Monate)
2. Immenser Datenanfall, Datentransformation für die Computerauswertung
3. Die Basis des gesamten Messprogrammes war derartig vielseitig, dass die Auswertung und Darstellung der Daten unmöglich in einem Jahr bewerkstelligt werden konnte

Diese Gründe führten zu folgender Neukonzeption des Forschungsprogrammes:

1. Phase

Vorbereitungsphase (April - Oktober 1972)

Errichtung des Messnetzes: Bau von Wetterhütten, Evaluation der Standorte, Integration bestehender Einrichtungen, Geräteauswahl, Messtests, Sicherstellung bestehenden Datenmaterials, Ausbau eines Messwagens als mobile Station.

2. Phase

Messphase (November 1972 - März 1974)

Hauptmessphase 18 Monate, Messkampagnen, mobile Messeinsätze, Entwicklung einer vollautomatischen Messstation mit Datenfernübertragung (vgl. Kap. 7).

3. Phase

Auswertungs- und Redaktionsphase (März 1974 - April 1976)

Auswertung der Messdaten, Ergänzungsmessungen, Ueberarbeitung der Daten für EDV-Auswertung, Computerprogramme, 1. Interpretation der Ergebnisse, Verfassung der einzelnen Berichte, Oeffentlichkeitsarbeit (Seminarrien, Vorträge, Kontakte mit Behörden und Instituten), Abbruch des Messnetzes

4. Phase

Schlussphase (Mai 1976 - Februar 1977, in Teilen bis Mitte 1978)

Synthese aus den klimatischen Grundlagenberichten, Aufarbeiten lufthygienischer Komponenten, Erarbeitung nichtklimatischer Grundlagen (heutige Nutzung, Bevölkerungsdichte etc). Entwurf einer Belastungs- und Konfliktgebietskarte für Stadt und Region Bern.

2.3. Klimatologisch-lufthygienische Grundlagen

2.3.1. Vorausgegangene Messungen

Umfassende Messungen zur Abklärung der mesoklimatischen Verhältnisse in der Region Bern waren uns aus den Jahren vor 1970 nicht bekannt. Vereinzelt Institutionen führten zwar periodisch oder im Rahmen routinemässiger Kontrollen spezielle klimatische Messungen durch, aber nie mit dem Ziel, das Klimageschehen im Raum als Ganzes zu erfassen. Bekannt waren Messungen der Eidg. Landwirtschaftlichen Forschungsanstalt, des Eidg. Landwirtschaftlichen Technikums Zollikofen und der Landwirtschaftlichen Schule Rüti zu agrarmeteorologischen Problemen, des Flugwetterdienstes im Belpmoos und der Autobahnpolizei im Sinne der Wetterprognose und Früherkennung von Unwettern sowie städtischer und kantonaler Stellen aus verschiedensten Interessen. Die Messresultate dieser dispersen Erhebungen wurden zwar vereinzelt mit den Daten des Meteorologischen Observatoriums der Universität Bern verglichen, eigentliche räumliche Korrelationen waren aber nicht erstellt worden.

Ab 1970 wurden vom Geographischen Institut im Raume der Stadt-agglomeration Bern erste gezielte Untersuchungen unternommen. Einerseits wurden die langjährigen Messergebnisse der MZA-Station nach bestimmten Fragestellungen hin ausgewertet (Auswertung langjähriger Wind-, Temperatur-, Sonnenschein- und Frost-

messungen), andererseits wurden mit einfachen, zum Teil selbst erstellten Messeinrichtungen Klimaelemente untersucht. So wurde in einer ersten Phase etwa untersucht, wie weit sich der Fernsehturm Bantiger als Windmessstation für übergeordnete Gradientwinde eigne. Mehrere Luft- und Bodentemperaturstationen gaben zudem Hinweise auf die Konzeptidee des zu erstellenden Messnetzes. Ergebnisse dieser vorausgegangenen Untersuchung finden sich zum Teil im Jahresbericht der Geographischen Gesellschaft von Bern, Band 50/1970 - 72 (MESSERLI, B. et al: Beiträge zum Klima des Raumes Bern, ausgewählte Probleme und vorläufige Ergebnisse).

2.3.2. Vorhandene Klimadaten

Das Untersuchungsgebiet wurde im nationalen Stationsnetz der Meteorologischen Zentralanstalt Zürich bis 1978 durch die MZA-Station Bern repräsentiert. Diese Station befand sich auf der Grossen Schanze oberhalb des Bahnhofkomplexes, mitten in der Stadt Bern. Sie bildete die Ausgangs- oder Basisstation für unser mesoklimatisches Stationsnetz der Region.

Seit der Installation des nationalen Messnetzes im Jahre 1864 wurden in Bern folgende Klimaelemente kontinuierlich gemessen: Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind, Niederschlag, Bewölkung, Sonnenscheindauer.

In der Region Bern standen zudem mehrere private Messstationen (siehe Tab. 1).

Zwischen der Basisstation MZA-Bern und diesen bestehenden Messstationen bestand aber keine direkte Zusammenarbeit; gemeinsame Auswertungen oder Vergleiche waren kaum vorgenommen worden. Dennoch schien es uns sinnvoll, die bestehenden Einrichtungen in unserem Messnetz zu integrieren. Teils wurden sie mit neuen Instrumenten versehen, teils genügte eine Instruktion für die Wartung der Instrumente.

Als weiteres Grundlagenmaterial standen einige wenige meteorologische Gutachten zur Verfügung. Leider lagen diesen Arbeiten in den meisten Fällen nur kurzfristige Messungen zugrunde, so dass sie nur als "Hinweis" benutzt werden konnten.

Einige der langjährigen Beobachtungs- und Messreihen konnten ~~die~~ kurze Messperiode (November 1972 - März 1974) des Forschungsprogrammes in das langjährige Klimageschehen eingliedert und überprüft werden. Allerdings muss eingeschränkt werden, dass die Berner-Reihe seit 1864 nicht vollständig homogen ist. Wegen Bautätigkeit musste der Stationsstandort im Verlaufe der letzten hundert Jahre mehrmals gewechselt werden, so dass an der Berner-Reihe verschiedene Korrekturen notwendig waren (JOOS 1975).

Tab. 1 Vor 1972 in der Region bestehende Klimamessstationen

| Stationen | Klimaelemente | | | | | | Adresse (Besitzer oder Betreuer) |
|----------------|---------------|---|---|---|---|---|--|
| | T | F | W | N | S | B | |
| Uecht | x | x | x | x | x | x | Dr. h. c. W. Schaerer, Uecht, 3087 Niedermuhlern |
| Liebefeld | x | x | x | x | | | Landwirtschaftliche Versuchsanstalt, 3097 Liebefeld-Bern |
| Belpmoos | x | | x | | | | Flugwetterdienst, Radio Schweiz 3123 Belp |
| Zollikofen | x | x | | | | | Landwirtschaftliches Technikum, 3052 Zollikofen |
| Ersigen | x | x | | x | x | x | W. Hirt, Lehrer 3423 Ersigen |
| Münchenbuchsee | x | x | | | | | Sekundarschule 3053 Münchenbuchsee |

2.3.3. Vorhandene lufthygienische Daten

Seit 1963 wurden vom vormaligen Lebensmittelinspektorat und Laboratorium bzw. heutigen Amt für Umweltschutz und Lebensmittelkontrolle der Stadt Bern an sieben Messstellen mittels Lieseganglocken und Bergerhofftöpfen Trendmessungen der Schwefeldioxid- und Staubniederschlagsbelastung durchgeführt. Mit der seit 1963 laufenden Erweiterung des Geräteparkes und des Amtes erfolgten ab 1964 verschiedentlich lufthygienische Messungen im Stadtbereich. Diese meist im Rahmen einer besonderen Untersuchung durchgeführten Messungen konnten aber kein Bild der allgemeinen Luftbelastung geben. Die seit 1972 mit dem Messwagen an sogenannten Fixpunkten jährlich durchgeführten Ueberwachungsmessungen gelten vorab der Erfassung der Schwefeldioxid-, Kohlenmonoxid-, Sediment- und Schwebstaub- wie auch Stickoxidbelastung. In einem bestimmten Turnus werden zudem an sogenannt neuralgischen Punkten vor allem extreme Verkehrsschadstoffbelastungen gemessen. Die meisten Ergebnisse dieser Messungen oder Untersuchungen sind seit 1963 in den jährlichen Verwaltungsberichten der Gesundheitsdirektion und ab 1972 in den Jahresberichten des Amtes für Umweltschutz und Lebensmittelkontrolle der Stadt Bern publiziert.

2.4. Die Topographie des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet zeigt als Hauptmerkmal eine klare Grossgliederung: Die Region Bern liegt am Uebergang vom tieferen zum höheren Mittelland. Damit ist eine markante Geländelinie von SW nach NE verlaufend, mit Höhenunterschieden bis zu 500 m, gegeben. Ebenfalls markant treten die Quertäler der Aare und der Worblen in Erscheinung. Beim Austritt vom höheren in das tiefere Mittelland bilden diese das Becken von Bern (vgl. Luftbild Abb. 1).

GROSJEAN (1966/69) hat in seinem Planungsatlas den Naturraum der Region Bern anhand von verschiedenen Physiotopten weiter gegliedert. Er definiert den Begriff des Physiotops wie folgt:

"Unter einem Physiotop verstehen wir einen Ausschnitt der Erdoberfläche, der in seinen wichtigsten natürlichen Gegebenheiten einigermaßen einheitliche Verhältnisse aufweist, bzw. eine charakteristische Assoziation verschiedener Elemente darstellt. Dabei müssen nicht nur die Erdoberfläche im strengen Sinne, sondern auch deren zugeordnete Lufthülle und deren Untergrund einbezogen werden, soweit sie das Leben auf der Oberfläche beeinflussen."

Demzufolge lässt sich das tiefere Mittelland in drei Physiotope aufgliedern, welche auch für die vorliegende klimatische Untersuchung ihre Gültigkeit haben.

- A 1. Deutlich eingetiefte Täler und Talungen des tieferen Mittellandes. In der Region Bern sind diese Talungen relativ schmal (Lyssbachtal, Wangental).
- A 2. Zwischen 500 und 650 m ü. M. dominieren über grosse Teile des Untersuchungsgebietes die weichen Formen der Glaziallandschaft. Es handelt sich dabei um leicht gewelltes Hügelland mit Drumlins, Moränen und Terrassen. Typische Vertreter dieses Physiotops sind das Becken von Bern, das Plateau von Kirchlindach und Rapperswil, das Tal der Urtenen und das Forstplateau westlich von Bern.



Abbildung 1 Luftbild der Stadtregion Bern - Blick nach Südost

| | | | | |
|-----------|---|--------------------|---|-------------------|
| Legende : | A | Berner Altstadt | 1 | Aare - Aaretal |
| | B | Bern - Breitenrain | 2 | Gürbe - Gürbetal |
| | C | Bern - Länggasse | 3 | Belpberg |
| | D | Liefefeld Köniz | 4 | Ulmizberg |
| | E | Wabern | 5 | Gurten |
| | F | Ostermundigen | 6 | Könizberg |
| | G | Belp | 7 | Bremgartenwald |
| | | | 8 | Ostermundigenberg |

Aufnahme : SWISSAIR PHOTO + VERMESSUNGEN AG
 Neg.Nr.7804 18.Juli 1967

- A 3. Im Gegensatz zu diesen eher sanften Geländeformen wird das tiefere Molassehügelland abrupt durch den Aaregraben nördlich von Bern unterbrochen. Das enge Grabengebiet weist eine bedeutend höhere Reliefenergie auf und ist an seinen Nordabhängen stark bewaldet.

Das höhere Mittelland kann in folgende Geländetypen unterteilt werden:

- B 1. Die Sohlentäler des höheren Mittellandes zeichnen sich durch ihre Breite aus (Aaretal). An den Talseiten sind erhöhte Terrassen (Schotterterrassen) festzustellen (Gebiet von Muri-Gümligen).
- B 2. Das höhere Molassehügelland (700 - 1100 m ü. M.) zerfällt in zwei Landschaftstypen:
- Plateaugebiet mit starker glazialer Ueberformung wie z. B. Dentenberg und Frienisberg
 - Die Gebiete des nahen Schwarzenburgerlandes und des vorderen Emmentals wie etwa das Bantigergebiet sind dagegen vorwiegend Erosionslandschaften. Sie sind geprägt durch grosse Hangneigungen und intensive Kammerung. Als typische Kleinformen des Reliefs sind hier Gräben, Eggen (Gräte) und steile Hänge anzutreffen.

Am Austritt des Quertales der Aare in das tiefere Mittelland, in einer eigentlichen Beckenzone, liegt der Stadtkörper von Bern. Die Beziehung und Verknüpfung zum intensiv geprägten Relief ist sehr augenfällig, reichen doch einzelne Agglomerationen der Stadt bis weit in verschiedene Geländetypen hinein.

Die Planungsregion Bern, welche sich aus den umliegenden politischen Gemeinden und der Stadt Bern zusammensetzt, ist nicht identisch mit dem Untersuchungsgebiet. Wie die nachfolgende Figur zeigt, reicht sie an verschiedenen Stellen weit über das untersuchte Gebiet hinaus.



Fig. 2 Gemeinden der Planungsregion Bern mit eingetragem Untersuchungsgebiet

III. DAS KLIMATOLOGISCH - LUFTHYGIENISCHE MESSNETZ DER REGION BERN

3.1. Aufbauidee

Wie bereits in Kap. 2.3.2. dargelegt wurde, bildete die MZA-Station Bern den Ausgangspunkt zu unseren Untersuchungen. Anhand der langjährigen Messreihen dieser Station (1864) konnte die Messperiode (November 1972 bis März 1974) in das langjährige Geschehen eingeordnet werden. Dieser Vergleich zeigte denn auch, dass wir mit unserer Messphase einen recht repräsentativen Zeitabschnitt erfassen konnten.

Für die Installation eines mesoklimatischen und lufthygienischen Messnetzes galt es nun, die Bedürfnisse der einzelnen Elemente aufeinander abzustimmen. Sehr oft konnten an ein und demselben Standort mehrere meteorologische Elemente gemessen werden. Bei speziellen Fragestellungen allerdings mussten für die verschiedenen meteorologischen und lufthygienischen Elemente gesonderte Einzelstandorte gewählt werden. Diese Aufsplitterung brachte für die wöchentliche Bedienung und Wartung einen bedeutenden Mehraufwand.

Unter Ausnützung des Reliefs konnte im vertikalen Bereich die Höhenstufe von 500 m ü. M. (Aareniveau) bis 1000 m ü. M. (Fernsehturm Bantiger, Uecht) erfasst werden. Diese natürliche Voraussetzung erlaubte uns, die vertikalen atmosphärischen Bedingungen in der untersten Luftschicht (500 m) zu untersuchen.

Im horizontalen Bereich ging es vor allem darum, die Abfolge Innerstadt - Agglomeration - Umland zu erforschen.

Daneben sollten die verschiedenen Geländeklimate (Tal-, Mulden-, Hanglagen, Plateaus usw.) untersucht werden. Da das Relief teilweise stark in den Stadtkörper von Bern hineinreicht, liessen sich Gelände- und stadtklimatische Einflüsse oft nicht klar trennen, auch wenn das Stationsnetz den topographischen Formen angepasst war.

Spezielle Geländeformen im Zwischengelände wie etwa das Güm-
ligen- und Gurtental konnten mit dem Stationsnetz nicht er-
fasst werden. Diese Lücke musste durch zeitlich limitierte
Messkampagnen oder Messfahrten geschlossen werden.

Der Perimeter des Untersuchungsgebietes wurde nach folgenden
Kriterien abgegrenzt:

1. Das ganze Becken von Bern sollte in der Untersuchung erfasst
werden.
2. Der Uebergang vom tieferen zum höheren Mittelland musste
ersichtlich sein.
3. Der Uebergang von der Stadt in das Umland musste in jeder
Himmelsrichtung gewährleistet sein.
4. Alle wesentlichen Reliefformen (Physiotope) sollten im
Untersuchungsgebiet enthalten sein.

Wie aus der Fig. 2 (Kap. 2.4.) hervorgeht, stimmte das Unter-
suchungsgebiet nicht mit demjenigen des Regionalplanungsvereins
Bern überein, da es sich bei dieser Gebietseinteilung um eine
politische Abgrenzung handelt. Unser zentrales Anliegen aber
war es, von den naturräumlichen Voraussetzungen auszugehen.

3.2. Uebersicht über Messnetz und Betreuung

In der dem Bericht beigelegten Uebersichtskarte (Anhang A) ist
das gesamte klimatisch (Δ) - lufthygienische (O) Messnetz der
Region Bern dargestellt. Dabei wird zwischen den kontinuierli-
chen (●) und den temporären (○) Messstationen unterschieden.
Einzelne, nach den bearbeiteten Klimaelementen gruppierte Teile
dieses Messnetzes sind in den entsprechenden BEITRAEGEN ZUM
KLIMA DER REGION BERN detaillierter umschrieben.

A. Klimatisches Messnetz

Entsprechend der Aufbauidee (vgl. Kap. 3.1.) basierte das mesoklimatische Messnetz auf der zentralen MZA-Station des Meteorologischen Observatoriums der Universität Bern. Um Vergleichsdaten zu dieser Station zu erhalten, wurde jede grössere Geländekammer durch eine kontinuierlich messende Station mit vergleichbarer Instrumentierung abgedeckt. In den peripheren Abschnitten des Untersuchungsgebietes mussten klimatische Werte teilweise extrapoliert werden.

Durch die zeitweise Verlegung einzelner Klimastationen in der zweiten Phase der Untersuchungen, war es möglich, ganz speziellen Fragestellungen wie z. B. Lufttemperaturen entlang des Aarelaufes, Niederschlagsverhältnisse im Luv und Lee des Bantigers etc. nachzugehen (vgl. dazu einzelne BEITRÄGE).

B. Lufthygienisches Messnetz

Bei der Messung der Luftfremdstoffe SO_2 (Schwefeldioxid) und Sedimentstaub richtete sich das Augenmerk hauptsächlich auf die besiedelten Gebiete. Hier sollten vor allem signifikante Differenzen innerhalb der Stadt und zwischen der Stadt und den Agglomerationen herausgefunden werden. Einige wenige Stationen im Umland dienten als Referenzstationen (=O-Stationen). Im Zusammenhang mit klimatischen Elementen wurde lediglich am Eigerplatz (Station Nr. 27) das vom Strassenverkehr stammende CO (Kohlenmonoxid) zeitweise gemessen.

C. Messnetzbetreuung

Die beiden Messnetze wurden während der Hauptmessperiode vom Dezember 1972 bis März 1974 wöchentlich jeweils am Montag abgefahren. Im Rahmen dieser Kontroll- und Servicefahrten, die vor allem in der kälteren Jahreszeit bei einer Fahrstrecke von gegen 120 km meist einen ganzen Arbeitstag beanspruchten, wurden folgende Arbeiten verrichtet:

- Ueberprüfung der Geräte
- Austausch defekter Instrumente
- Eichungen und Kontrollmessungen
- Auswechseln von Streifen und Filtern
- Einsammeln von Wochenproben

Im Winter ergab sich durch das Freimachen der Geräte von Schnee und Vereisungen sowie das Auftauen der Niederschläge zusätzlicher Arbeitsaufwand.

Das Hauptmessnetz wurde am Ende der Hauptmessperiode (März 1974) weitgehend abgebrochen. Die integrierten privaten Stationen, die in die Betreuung miteinbezogen worden waren, laufen teilweise bis heute weiter.

Das Datenmaterial einzelner weiterlaufenden Stationen wird in unausgewerteter Form (Original-Registrierstreifen) zum Teil im Geographischen Institut der Universität aufbewahrt.

3.3. Der Einsatz des Messwagens

Seit dem Jahre 1927, als SCHMIDT in der Stadt Wien die erste Temperaturmessfahrt durchführte, wurde diese Methode der Gelände- und Stadtklimaaufnahme sehr oft angewendet. Mannigfaltig sind denn auch die Hinweise und Verbesserungsvorschläge aus der Literatur. In unserem Forschungsprogramm ging es aber weniger um eine fahrbare Registrierung der meteorologischen und lufthygienischen Parameter als vielmehr um die Mobilität einer Station. Aus diesem Grunde wurde auf eine spezielle Instrumentierung verzichtet, da die eigentlichen Messungen stationär erfolgten. In den meisten Fällen wurde die Messfahrt bei einer festen Station des Messnetzes begonnen (Eichung und Vergleich der Instrumente). Danach wurden, entlang einer bestimmten Fahrstrecke, an verschiedenen Standorten kurze Messungen durchgeführt. Endpunkt einer solchen Messstrecke bildete immer eine feste Station, so dass die Messergebnisse sowohl zeitlich wie auch für Korrekturen verglichen werden konnten. Auf diese Art wurden, besonders zur Nachtzeit, ver-

schiedene Profile im Aaretal (vgl. BEITRAG 2 und 3), im Aaregraben (BEITRAG 8), in den Hanglagen (BEITRAG 3) und am Uebergang von der Stadt in das Umland (BEITRAG 3 und 6) untersucht.

Da der Messwagen aber auch als Transportfahrzeug (Installationen der Wetterhütten, wöchentlicher Messkehr etc.) zu dienen hatte, wurden die speziellen Einrichtungen sehr knapp gehalten.

Abb. 2

Messwagen auf dem Dach sichtbar der aufklappbare Windmast und die Temperatur-Feuchte-Mess-einrichtung



Feste Einrichtungen:

1. Kippbarer Windmast mit elektrisch anzeigendem Anemometer zur Messung des Windes in ca. 3 m über dem Boden
2. Temperatur- und Luftfeuchtemessung in verschiedener Höhe über der Bodenoberfläche (Pernixelement mit Haarhygrometer und Platinsonde)
3. SO₂-Messgerät (nach System EMPA. Ansaugereinrichtung mit zwei Waschflaschen)
4. CO-Messgerät (Typ UNOR 2, Mayhak, Hamburg)

Je nach den Bedürfnissen wurden bei Messfahrten und Messkampagnen die jeweils benötigten konventionellen Messinstrumente mitgeführt.

Nachdem der Einsatz des Prototyps einer vollautomatischen Wetter- und Lufthygienestation (OTT) in stationären Verhältnissen erprobt worden war, wurde eine automatische Klima- und Lufthygienestation im Messwagen eingebaut (vgl. Kap. 7).

3.4. Andere Methoden

3.4.1. Fotoaufnahmen

Sehr früh zeigte es sich, dass mit verschiedenen konventionellen Messgeräten zu wenig fein gemessen werden konnte; d. h. mehrere meteorologische Situationen konnten in unserem Messnetz nicht erfasst werden. Eine Geräteverfeinerung aber war für uns zu aufwendig. Für den sichtbaren Bereich solcher klimatischer Situationen bot sich nun der Einsatz einer Fotokamera an. Verschiedene Nebellagen und Schwachwindsituationen konnten auf diese Art viel klarer als mit den Messgeräten erfasst werden. Mit diesen Aufnahmen war es möglich, die Dynamik der Vorgänge und den Raum zu erfassen.

Als Standort für die Kamera eignete sich die höchste Station des Messnetzes auf dem Fernsehturm Bantiger in 1000 m ü. M. vorzüglich:

- Das ganze Untersuchungsgebiet konnte von diesem Standort aus überblickt werden.
- Das "Becken von Bern" lag im Zentrum des Bildausschnittes, so dass Einzelheiten ohne weiteres lokalisiert werden konnten.
- Die Ueberhöhung gegenüber dem Umland war so gross (bis 500 m), dass der Kamerastandort bei Nebellagen meistens über die Nebelobergrenze zu liegen kam.
- Ohne störende Einwirkung der Sonne (Sonnenlicht im Objektiv) konnte bis gegen 17 Uhr fotografiert werden (Aufnahmerichtung war WSW).

Aufnahmen mit automatischer Fotokamera ab Fernsehturm Bantiger

Ueberwachung des Nebelgeschehens:

Abb. 3

Morgenaufnahme

Kompakte Nebeldecke ueber
dem Becken von Bern
Nebelobergrenze um 850 m ü. M.



Abb. 4

Mittagsaufnahme

Nebel teilweise aufgelöst,
vor allem an den Südhängen
des Bantigers. Aus dem
Aaretal "Nebelschlange"
bis über das Stadtgebiet
hinaus



Abb. 5

Abendaufnahme

Nebeldecke wieder ge-
schlossen, Obergrenze
um 650 m ü. M.



Durch die Konstruktion eines schützenden, wetterfesten Häuschens mit Heizung und Scheibenwischenanlage sowie eines automatischen Bildauslösers (mit Zeitimpuls) und automatischer Blendeneinstellung war es möglich, eine Reihe von aufschlussreichen Aufnahmen der Region Bern zu machen. Diese täglichen Fotoserien über längere Zeit liessen es zu, gewisse dynamische Prozesse in der Region Bern flächenhaft zu interpretieren. Mit drei Aufnahmen pro Tag war allerdings die Informationsdichte auf der Zeitachse zu gering, um wie im vorliegenden Beispiel (Abb. 3 - 5) den Ablauf der Nebelbildung, das Einsetzen des Südwindes etc. genau zu bestimmen. Aus diesem Grunde lag es nahe, in einem weiteren Schritt zu der Filmaufnahme über der Region Bern überzugehen.

3.4.2. Film

Mit der Technik des Zeitrafferfilms (alle 10 Sekunden eine Aufnahme) wurde das Studium der Luftmassenverschiebungen im sichtbaren Bereich ermöglicht. Nicht mehr messbare klimatische und lufthygienische Mechanismen wie beispielsweise Nebelbewegungen über der Stadt, Thermik über der Stadt, Entstehung von Dunstschichten und Inversionen konnten nun genau erfasst und verfolgt werden. Die starke zeitliche Raffung liess sonst kaum wahrnehmbare Bewegungen sehr deutlich werden. Die Filmtechnik bot zudem die einzigartige methodische Möglichkeit, sowohl Fachleuten wie auch Laien klimatische und lufthygienische Probleme aufzuzeigen.

So entstand während den Herbst- und Wintermonaten 1975/76 (HAEUSELMANN und FRIEDRICH) eine Reihe von Filmen, welche sehr viel zum Verständnis der klimatisch-lufthygienischen Vorgänge in der Region Bern beitrugen (vgl. BEITRAG 2 und 3).

3.4.3. Der Einsatz von Fernerkundungsmethoden

Die Datenbeschaffung mit Hilfe von Fernerkundungsmethoden vom Flugzeug oder Satelliten aus ist in zweifacher Hinsicht zweck-

mässig und vielfach erprobt:

- A. Direkte Messung von meteorologischen Parametern
- B. Indirekte Bestimmung meteorologischer und lufthygienischer Einflüsse

Der Einsatz dieser Messmethoden stand im Forschungsprogramm der Region Bern nicht an erster Stelle, verschiedentlich waren jedoch ergänzende Messungen vom Flugzeug aus vorgesehen. Ebenso war der Beizug von Satellitendaten gegeben, wo diese dem Programm dienlich sein konnten.

A. Direkte Messung von meteorologischen Parametern

Die dreidimensionale Verteilung der Lufttemperatur über der Stadt ist entlang vertikaler (Ballonsondenmessungen) oder horizontaler (Flugzeugmessungen) Profile möglich. Einzelne Flüge quer über die Stadt in verschiedenen Flughöhen sollten Aufschluss über die Wärmeglocke der Stadt Bern geben. Die Messungen wurden mit Hilfe von Pt-100-Temperaturfühlern und punktwiser Ablesung (nicht-kontinuierliche Registrierung) durchgeführt (vgl. BEITRAG 3).

Die terrestrischen Nebelbeobachtungen wurden verschiedentlich durch Luftaufnahmen ergänzt. So hatte der Luftaufklärungsdienst in verdankenswerter Weise mehrmals das Untersuchungsgebiet überflogen und instruktive Luftbilder geliefert, die die horizontale Nebelausbreitung, Nebelmeeroberfläche und Nebelstrukturen veranschaulichte. Auch wenn die systematische Erfassung verschiedenster Nebellagen nicht möglich war, zeigten doch die Einzelaufnahmen sehr instruktive lokale Phänomene. Dazu gehörten auch die Rauch- und Dampfpilze verschiedener Emittenten, die die Nebeldecke zwar aufwölben, nicht aber zu durchdringen vermögen (vgl. BEITRAG 5).

Nebel- und Bewölkungsaufnahmen der Forschungssatelliten LANDSAT und NOAA 3 belegten den grossräumigen Zusammenhang in der Nebel- und Bewölkungsverteilung, insbesondere im Zusammenhang mit den

frostgefährdeten Strahlungsnächten (vgl. BEITRAG 6).

B. Bestimmung lufthygienischer Einflüsse

Auf eine direkte Entnahme von Luftproben aus dem Flugzeug für lufthygienische Analysen musste verzichtet werden, da die dazu notwendigen Apparate nicht beschafft werden konnten. Hingegen dienten Luftaufnahmen der Stadt Bern in zwei grösseren Arbeiten als Basisdaten für Fragen dieses Problemkreises: Bestimmung von Schäden an städtischer Baumvegetation und die Bestimmung des Verkehrsvolumens und der damit verbundenen Autoabgasproduktion (FUHRER 1977).

Vegetationsschäden

Ausgehend von der weitverbreiteten Annahme, dass lufthygienisch belastete Luft zur Erkrankung von Vegetation führen kann, wurden systematisch sogenannte Falschfarbenaufnahmen, aber auch Multispektralaufnahmen (gleichzeitige Aufnahme von Bildern in verschiedenen Spektralbereichen) geflogen. Im Rahmen einer Diplomarbeit konnte denn auch ein weitgehend automatisiertes Verfahren zur Bestimmung geschädigter Bäume (Kastanien, Linden, Platanen) ausgearbeitet werden. Enzymatische Untersuchungen an Blättern der geschädigten Bäume zeigten aber - z. T. recht unerwartet - , dass die grössten Schädigungseinflüsse nicht von der belasteten Luft, sondern vom Streusalz (Glatteisbekämpfung) herrühren (FUHRER 1977).

Verkehrserhebungen

Die Belastung der Stadtluft durch den Motorfahrzeugverkehr setzt entweder genaue örtliche Abgasmessungen voraus oder kann über rechnerische Methoden (Anzahl Fahrzeuge x mittlere Abgasausstoss) bestimmt werden. Verschiedene Bildflüge verbunden mit terrestrischen Kontrollzählungen (Zählschwellen, Handzählungen) lieferten ein gut auswertbares Datenmaterial.

Die Auszählung des gesamtstädtischen Verkehrsaufkommens ermöglichte die Bildung folgender Kategorien: Parkierte Fahrzeuge, Fahrzeuge im Verkehrsfluss, wartende Fahrzeuge vor Verkehrsampeln oder in Stauungen, Anteil öffentlicher Verkehr, Anteil Lastwagen.

Auch wenn die Luftaufnahmen nur einen momentanen Verkehrszustand erfassen, ist durch Kombination mit zeitlich kontinuierlichen Zählschwellenmessungen doch ein raum-zeitlich brauchbares Verteilungsbild des Verkehrsaufkommens rekonstruierbar. So überraschte der sehr hohe Anteil parkierter Fahrzeuge (85 %) selbst während der abendlichen Verkehrsspitze.

Die Belastung der Luft durch Autoabgase (errechnet) unter Verwendung der Verkehrsverteilungskarte, erlaubte die differenzierte Beurteilung städtischer Quartiere und Vororte. Konflikträume sind präzise abgrenzbar und allfällige Widersprüche zu planerischen Leitbildern können belegt werden (GILGEN 1977).

3.4.4. Mobiles Messnetz mit stationärer Messung

Im eigentlichen Messnetz (Dezember 1972 - März 1974) waren die Wetterhütten in den Boden einbetoniert worden. Nach dem Abschluss der Hauptmessphase im Frühjahr 1974, konnten acht Wetterstationen für den mobilen Einsatz umgebaut werden.

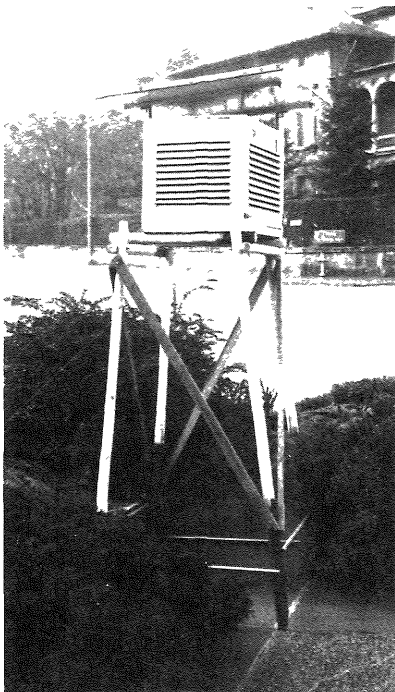


Abb. 6
Mobile Wetterhütte

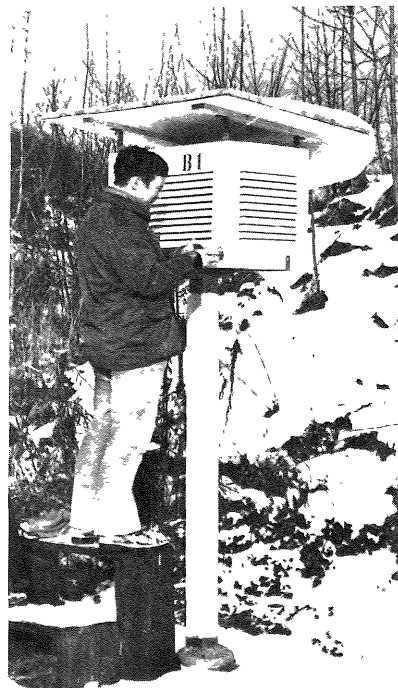


Abb. 7
Feste Wetterhütte

Der Unterbau der Wetterhütten wurde so konstruiert, dass er ohne grossen Aufwand demontiert und wieder aufgestellt werden konnte. Dadurch wurde es möglich, verschiedene Messkampagnen (vorwiegend Lufttemperaturen) unter einheitlichen Bedingungen durchzuführen (vgl. BEITRAG 3). Mit solchen schnell montierten Messhütten konnten grosse Teile des Zwischengeländes im ursprünglichen Messnetz überprüft werden.

Im Rückblick würden wir sogar empfehlen, ein derartiges Messnetz nur noch auf diese Art aufzustellen. Meistens können nämlich die genauen Messstandorte erst nach einigen Testmessungen festgelegt werden, und das wiederum bedingt, dass die Wetterhütten innerhalb eines Standortplatzes verschiebbar sind.

IV. KLIMATOLOGISCHE MESSUNGEN

4.1. Wind

Dem Wind als entscheidendem Klimaelement der Luftschadstoffverfrachtung kommt besonders im Bereich der Wechselbeziehungen zwischen den zahlreichen Schadstoffquellen und den dicht besiedelten Wohngebieten einer Stadt besondere Bedeutung zu. Die vorherrschenden Winde bestimmen durch ihren Richtungswechsel und die Windgeschwindigkeit Ausmass und Schwere vorherrschender Luftschadstoffbelastungen. Die lokalen Windströmungen können aber auch durch die hochgeschossigen städtischen Ueberbauungen und siedlungsthermischen Effekte beeinflusst werden.

Der Erforschung und Analyse der vorherrschenden Ventilationsverhältnisse kommt daher eine grundlegende Bedeutung zu. Die in BEITRAG Nr. 2 dargestellten Ergebnisse dieser Ventilationsanalyse zeigen die Probleme des in einem Kessel liegenden Stadtgebietes von Bern auf und umreissen die Bedeutung des aus dem Voralpengebiet durch das Aaretal, Worblental, Gürbental und Köniztal regelmässig einfliessenden Frischluftströme als Teile eines bis über Bern wirksamen Berg - Tal - Windsystemes.

Die Untersuchung der Windverhältnisse in ihrer dreidimensional wie auch zeitlich stark variierenden Ausprägung stellt grosse Probleme an die Messmethodik. In Ermangelung umfassender finanzieller Mittel konnte daher das Windgeschehen lediglich an einigen wenigen terrestrischen Messstellen über längere Zeit erfasst werden. Mit flankierenden Untersuchungen wie zeitlich beschränkten Messkampagnen, Messfahrten, Rauchversuchen sowie dem Einsatz optischer Mittel wurde versucht, aus den punktförmig erfassten Informationen eine Vorstellung von den räumlich wirkenden Mechanismen zu gewinnen.

4.2. Lufttemperatur

Ausgehend von den Kenntnissen der langjährigen Temperaturmessung des Meteorologischen Observatoriums der Universität Bern (MZA-Station Bern seit 1864) wurde in dieser Untersuchung der Versuch unternommen, mit dem in Kap. 3.2. beschriebenen Messnetz, mit Messkampagnen und Messfahrten, die raum-zeitlichen Veränderungen des Temperaturfeldes in der Region Bern zu erfassen.

Unter Ausnützung der natürlichen Höhendifferenzen von 500 - 1000 m ü. M. wurde den lufthygienisch relevanten Inversionslagen (= Temperaturumkehrschichten und Kaltluftseen) besondere Beachtung geschenkt, da in der Schlussphase des Forschungsprogrammes mögliche Konfliktgebiete für die lufthygienische Belastung innerhalb des Untersuchungsgebietes aufgezeigt werden sollten (BEITRAG 10). Im wesentlichen ging es um die Untersuchung der Häufigkeit, der Entstehungsmechanismen und der Ausdehnung dieser Kälteseen.

Zahlreiche Untersuchungen (LIKE 1940, LANDSBERG 1956, SHARON und KOPLOWITZ 1972 u. a.) zeigen, dass jedes Haus, jede Siedlung, umso mehr jede Stadt Ursache zu einer weiteren Temperaturdifferenzierung ist. Die Verbauung des freien Geländes schafft Lufträume, welche in verschiedener Weise dem Wind, den Verdunstungs- und Strahlungsvorgängen und somit auch der Temperatur ausgesetzt sind. Das Ergebnis all dieser Vorgänge ist letztlich eine Temperaturerhöhung der besiedelten, stark verbauten Teile der Stadt gegenüber der unverbauten Landschaft mit natürlicher Vegetation. Es ging somit im weiteren darum, festzustellen, wie häufig und wie stark sich der Stadtkörper von Bern thermisch aus der umgebenden Landschaft heraushebt.

Diese beiden Zielsetzungen führten denn auch dazu, dass das gesamte regionale Messnetz in ein Inversionsnetz und ein Stadtnetz aufgeteilt wurden.

4.3. Niederschlag

Der Niederschlag gehört wohl zu den vom Menschen als am unmittelbarsten empfundenen Klimaelementen. Niederschläge sind aber nicht nur als Wetterelement oder aus der Sicht landwirtschaftlich - forstwirtschaftlicher Betrachtung von allgemeiner Bedeutung, Niederschläge stellen durch ihre grosse zeitliche, örtliche und mengenmässige Zufallswahrscheinlichkeit spezielle Probleme für die mit der Entwässerung eines besiedelten Raumes verantwortlichen Behörden. Gerade in den letzten Jahren fielen z. B. im Westen unserer Stadt immer wieder Starkniederschläge, die regelmässig zu lokalen Ueberschwemmungen und erheblichen Schäden führten und deren Ursache und Mechanismen Untersuchungen fordern. Die Aufarbeitung des an der MZA-Station Bern vorhandenen Datenmaterials schien daher im Rahmen der klimatischen Untersuchungen angebracht, vermögen doch langjährige Messwerte einen Eindruck der Bandbreite möglicher Niederschlagsereignisse aufzuzeigen. Eine Besonderheit der bei uns auftretenden Starkniederschläge ist ihre auf kleinstem Raum örtlich stark unterschiedliche Spende.

Zur Erfassung der räumlichen Verteilung wurde daher ein Messnetz mit zeitweise über 20 Messstellen errichtet, das aber aus Gründen des Aufwandes nur über eine relativ kurze Zeitspanne (17 Wochen) in vollem Umfange betrieben werden konnte.

Der BEITRAG Nr. 4 gibt nicht nur Auskunft über langjährige Niederschlagswerte und ihre örtliche Verteilung. In Zusatzbeiträgen analysieren KUNZ die Hagelgefährdung anhand mehrjähriger Versicherungsdaten und WITWER die Schneverhältnisse im Raume der Stadt Bern.

4.4. Sonnenschein, Bewölkung, Nebel

Die von der Sonne auf die Erde einfallende Strahlungsenergie, sowie die von der Erdoberfläche, der Atmosphäre und den Wolken ausgehenden Strahlungsströme sind für unseren Lebensraum von ausschlaggebender Bedeutung (MAHRINGER 1973). Es sind hauptsächlich zwei Gründe, welche es notwendig machen, die Strahlungs- und Besonnungsverhältnisse näher zu untersuchen:

1. Die Ursachen des grossräumigen Wettergeschehens sind, trotz mannigfaltiger Verknüpfung verschiedener Klimaelemente letztlich Energieumsätze, welche sich im Bereich der Strahlung abspielen. Wie gross aber der Anteil der Besonnung an der Ausbildung eines speziellen Geländeklimas ist, wurde im BEITRAG Nr. 5 untersucht.
2. Die unmittelbaren Einwirkungen der Strahlung und Besonnung auf die Lebensvorgänge bei Mensch, Tier und Pflanzen im chemisch-physiologischen oder psychologischen Bereich sind derart wichtig, dass sie heute in vielen Anwendungsbereichen nicht mehr übergangen werden dürfen.

Die Sonnenscheindauer wird sowohl durch das Relief (=topographische Voraussetzung) wie auch durch die Bewölkung und den Nebel stark eingeschränkt. Um den ganzen Komplex "Sonnenscheindauer" zu verstehen, ist es deshalb notwendig, die Elemente einzeln zu untersuchen.

Der Ausgangspunkt für diese Untersuchung war die rein theoretische Zahl der astronomischen Sonnenscheindauer. Das ist diejenige Zeit, welche die Sonne bei vollständiger Wolkenlosigkeit in einer totalen Ebene scheinen würde. Sie beträgt für die geographische Breite von Bern 4472 Stunden pro Jahr. Durch die genaue Vermessung des von der Sonne während eines Jahres bestrichenen Horizontes bei Sonnenauf- bzw. -untergang,

konnte die Horizontabdeckung oder umgekehrt die effektiv mögliche Sonnenscheindauer eines bestimmten Standortes berechnet werden.

In einem reichdifferenzierten Relief, wie wir es im südlichen Teil der Region Bern antreffen, ist die Horizontabdeckung (auch Bergschatten genannt) oft beträchtlich. Aus diesem Grunde musste die Besonnung im Untersuchungsgebiet durch zahlreiche Vermessungspunkte (1300) aufgearbeitet und kartographisch zur Darstellung gebracht werden. Damit ergab sich von den terrestrischen Voraussetzungen her bereits eine klare Gliederung in der Region Bern.

Im weiteren aber wird die Sonnenscheindauer durch das Bewölkungsgeschehen mitbestimmt. Wird die Zeit, in welcher die Sonne tatsächlich scheint, gemessen, so sprechen wir von der absoluten Sonnenscheindauer (Angabe in Stunden) oder der relativen Sonnenscheindauer (Angabe der absoluten Sonnenscheindauer in Prozenten der effektiv möglichen).

Mit Hilfe von drei Stationen, bei welchen täglich die absolute Sonnenscheindauer gemessen wurde, konnte das Bewölkungsgeschehen innerhalb der Region Bern näher untersucht werden. Die drei Stationen wurden so ausgewählt, dass das tiefere Mittelland, der Uebergang vom tieferen zum höheren Mittelland und das höhere Mittelland erfasst werden konnte. Noch klarer kam diese Dreiteilung bei der Untersuchung des Nebels, einem Spezialfall der Bewölkung zum Ausdruck.

Mit der Untersuchung der Besonnung in der Region Bern wurde eine Grundlage geschaffen, welche sowohl für die Planung als auch für zukünftige Energiekonzepte von entscheidender Bedeutung ist.

4.5. Frost

Treten Fröste innerhalb der Vegetationszeit (Frühjahr und Herbst) auf, verdienen sie besonders von der agrarmeteorologischen Seite her ein besonderes Augenmerk. Solche Untersuchungen dürften aber in vermehrtem Masse auch für die verkehrstechnischen Belange (Strassenbau und rollender Verkehr) von Bedeutung sein.

Das Einsetzen und Ausklingen des Phänomens ist in unserem topographisch reichdifferenzierten Gelände sowohl im Raum als auch in der Zeit sehr unterschiedlich. Grundsätzlich unterscheiden wir zwei Frostarten, den Advektivfrost und den Strahlungsfrost. Der Advektivfrost entsteht durch den Einbruch kalter polarer Luftmassen aus NW bis E. In der Regel strömen diese Kaltluftmassen grossräumig über den nördlichen Teil unseres Landes und bewirken eine starke Abkühlung in den höheren und tieferen Regionen. Im Gegensatz zum Advektivfrost ist der Strahlungsfrost sehr stark an das Relief gebunden. Durch die nächtliche Ausstrahlung, besonders in klaren, windstillen Nächten kühlen sich die bodennahen Luftmassen in Mulden- und Tallagen sehr stark ab, so dass gefährliche Kaltluftseen mit Temperaturen unter dem Gefrierpunkt entstehen können.

Bereits bei der vertikalen Betrachtung der thermischen Verhältnisse in der Region Bern (vgl. Kap. 4.2.) waren durch die Untersuchung der Inversionslagen (=Kälteseenbildung) Hinweise auf eine Frostgefährdung möglich. Mit verschiedenen präziseren Arbeitsmethoden konnte im Frühjahr 1974, anlässlich eines ausgeprägten Spätfrostereignisses, das Auftreten der Fröste bis in den mikroklimatischen Bereich weiter differenziert und kartiert werden. In der Frostuntersuchung der Region Bern kamen folgende Methoden zur Anwendung:

- Messfahrten in Strahlungsnächten
- Messkampagnen (Messung der Lufttemperatur wenige Zentimeter über der Erdoberfläche)

- Befragung alteingesessener Landwirte
- Beobachtung klimatischer Phänomene wie Bodennebel und Reifbildung
- Phänologie an verschiedenen Pflanzen (Wachstumsstand), insbesondere Schädigungsgrad durch Frost an den Nussbäumen (*juglans regia*)

Das Ziel der Frostuntersuchung war es, die Frostgefährdung in der Region Bern zu erfassen, wobei die geländeklimatischen Aspekte klar herausgearbeitet werden sollten.

4.6. Fehlende Klimaelemente

Verschiedene Klimaelemente konnten in unserem Forschungsprogramm nicht oder nur summarisch bearbeitet werden. Obwohl es dabei interessante Forschungsansätze gibt, musste aus verschiedenen Gründen darauf verzichtet werden:

Luftdruck

Im Zusammenhang mit den lokalen Wetterlagen dürfte das grossräumige Druckfeld eine wesentliche Rolle spielen (vgl. BEITRAG 9). Innerhalb eines Untersuchungsgebietes vom Ausmass 20 x 20 km aber wird der Luftdruck kaum erheblichen Differenzierungen unterworfen sein. Allerdings ist der Zusammenhang zwischen raschen Druckschwankungen oder Druckextremen und dem menschlichen Wohlbefinden ein interessanter Forschungsbereich der Meteoropsychologie. So konnte MOSIMANN (1975) anhand der Berner Klimadaten den Einfluss des Wetters auf die Zustandsbefindlichkeit des Menschen eingehend untersuchen.

Luftfeuchtigkeit

Auf eine ausführliche Untersuchung dieses Klimaelementes wurde aus folgenden Gründen verzichtet:

- Alle im Stationsnetz eingesetzten Hygrographen wiesen über längere Zeit eine derart grosse Ungenauigkeit auf, dass eine sinnvolle Auswertung der Messstreifen nicht möglich war.

- Durch intensive Wartung der Haarhygrometer (ständige Befuchtung, Eichung etc.) hätte unter Umständen eine annehmbare Genauigkeit erzielt werden können, aber damit wäre der Arbeitsaufwand im Berner Messnetz zu gross geworden.

Dass aber gerade diesem Klimaelement im Zusammenhang mit der Lufthygiene eine besondere Bedeutung zukommt, ist unbestritten (vgl. BEITRAG 3, Kapitel der Inversionen).

Bodentemperatur

An mehreren Stellen in der Region Bern wurden hauptsächlich für den agrarmeteorologischen Anwendungsbereich die Bodentemperaturen in verschiedenen Tiefen gemessen.

In Ergänzung zu diesen Messungen wurden bei Messhütten unseres Netzes vereinzelte Bodentemperaturen erfasst. Die Ergebnisse waren aber derart von mikroklimatischen Einflüssen geprägt, dass sich daraus keine allgemeingültigen geländeklimatischen Aussagen gewinnen liessen.

In einem weiteren Forschungsprogramm des Geographischen Institutes soll in allernächster Zeit ein Multispektralscanner angeschafft werden. Damit ergibt sich die Möglichkeit, aus der Luft Aufnahmen der Oberflächentemperaturen zu machen. Solche "Wärmebilder" dürften auch für das Untersuchungsgebiet wertvolle Hinweise geben.

Strahlung

Obwohl die Sonnenscheindauer auf viele Fragen erschöpfend Auskunft geben kann (vgl. Kap. 4.4. und BEITRAG 5), gibt es Fälle, in denen es notwendig ist, den dazugehörigen Strahlungswert zu kennen (Wohnungsbau, Heiz- und Klimatechnik etc.). Sonnenschein heisst in diesem Falle nicht einfach Licht und Wärme, denn eine bestimmte Stunde Sonnenschein z. B. im Frühjahr ergibt einen ganz anderen Strahlungswert ($\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$) als dieselbe Stunde im Sommer oder gar im Winter.

Da in der Region Bern nicht auf eine langjährige Strahlungsmessreihe zurückgegriffen werden konnte, wurde dieses Klimaelement nur summarisch im Zusammenhang mit der Besonnung bearbeitet. Verschiedene Autoren (THAMS und ZENONE 1952, HINZPETER 1955, ROTT 1974 u. a.) haben aber Möglichkeiten aufgezeigt, wie aus der Sonnenscheindauer die Strahlungswerte berechnet werden können (vgl. BEITRAG 5).

Zudem überstieg der enorme instrumentelle Aufwand zur genauen Erfassung der Strahlung unsere Möglichkeiten, so dass darauf verzichtet werden musste.

V. LUFTHYGIENISCHE MESSUNGEN

5.1. Schwefeldioxid

Schwefeldioxid entsteht vor allem durch die Verbrennung von schwefelhaltigen, fossilen Brenn- und Treibstoffen. Für die Emissionen in Stadtgebieten sind somit der Hausbrand, die Kraftfahrzeugmotoren und die Industrie verantwortlich.

SO₂-haltige Luft bedeutet für den Menschen insofern eine Gefahr, als bereits geringe Konzentrationen (bis 5 ppm) zu einer Beeinträchtigung der Atemwege führen kann (GRANDJEAN 1973 : 47). Aber nicht nur der Mensch, sondern auch Gebäude (besonders die in der Stadt Bern häufigen Sandsteinbauten) und vor allem Pflanzen sind durch SO₂-Immissionen Gefahren ausgesetzt.

Da bei der Emissionsausbreitung der Verlauf von Talzügen, lokale Windsysteme und die Ausbildung von Temperatur-Inversionen eine grosse Rolle spielen, ist es wichtig, einen Zusammenhang zwischen den messbaren SO₂-Konzentrationen und den erfassbaren klimatischen Faktoren herzustellen. Zu diesem Zweck wurde an verschiedenen Stellen der Region Bern (vgl. Stationsverzeichnis Kap. 3.2.) der SO₂-Gehalt während längerer Zeit gemessen. Die anfallenden Daten bedeuten Mittelwerte für Intervalle von drei bzw. vier Tage. Daraus liessen sich Monats- und Jahresmittel berechnen.

Die Daten wurden zusammen mit den beiden meteorologischen Parametern Inversionsdauer und Temperatur auf Lochkarten gespeichert und anschliessend miteinander korreliert. Der Einfluss der Windrichtung sollte an einigen typischen Fällen, d. h. wenn über längere Zeit eine konstante Windrichtung herrschte, untersucht werden.

Als Ergebnisse wurde erwartet:

1. Zeitlicher Verlauf der SO₂-Konzentration an verschiedenen Stellen

2. Hinweise auf die Immissionsbelastung einzelner Gebiete
3. Einfluss regionalklimatischer Faktoren auf die SO_2 -Konzentration

5.2. Kohlenmonoxid

Im Rahmen des Einsatzes der automatischen Messstation am Eigerplatz (vgl. Kap. 7) wurde der Einfluss mesoklimatischer Witterungselemente auf die Luftschadstoffkonzentration an einem Verkehrsknotenpunkt überprüft. Für diese Messungen gelangte ein Infrarot-Gasanalysator (UNOR 2, Firma MAYHAK, Hamburg) zum Einsatz. Das Strassenluftgemisch wurde dabei von einer am Strassenrand in 1,8 m Höhe stehenden Ansaugstelle kontinuierlich angesogen. Die Bewertung der Messergebnisse erwies sich in der Folge aber als äusserst schwierig, konnten doch in Ermangelung weiterer technischer Anlagen nicht alle zur Beurteilung notwendigen Einflusskomponenten gleichzeitig erfasst werden. So erwies sich beispielsweise die Erfassung des Verkehrsflusses am Eigerplatz als eher schwierig. Aufgrund der dort gemachten Erfahrungen wurde daher auf weitere Erfassungen der Verkehrsabgase im Rahmen der mesoklimatischen Untersuchungen verzichtet.

5.3. Sedimentstaub

Der in der Stadtluft vorkommende Staub rührt in erster Linie vom Fahrzeugverkehr her, d. h. vom Abrieb des Belags und der Reifen sowie vom Auspuff. Weitere Quellen sind die Verbrennungsanlagen vieler Industriebetriebe und die Hausfeuerungen. Dazu kommt im Sommer der Pollenstaub.

Das Verhalten in der Atmosphäre und die Wirkung dieser Stoffe hängt erstens von der Grösse der Teilchen und zweitens von den chemischen Eigenschaften ab. Im Gegensatz zu den kleinsten Partikeln (bis 1μ), welche sehr lange in der Luft schweben (Schwebestaub), sedimentieren grössere Partikel (über 10μ) rasch (Sedimentstaub).

Für die Gesundheit des Menschen ist von Bedeutung, dass Teilchen von weniger als 1 Durchmesser bis in die Lungenalveolen eindringen können, währenddem grössere Bestandteile in den oberen Luftwegen niedergeschlagen werden. Die Sedimentation von Staub auf den Assimilationsorganen führt zu einer Beeinträchtigung der Vitalität von Pflanzen.

Im Rahmen unserer Untersuchung wurde lediglich der Staubbiederschlag (Sedimentstaub) gemessen und zwar in Erweiterung des Messnetzes des städtischen Lufthygieneamtes an acht Stellen (vgl. Stationsverzeichnis Kap. 3.2.). Als Mass diente die Menge Staub, welche während eines Monates auf einer bestimmten Fläche sedimentierte. Auch hier übten meteorologische Faktoren einen entscheidenden Einfluss auf die gemessenen Werte aus; es war aber nicht möglich, eine Korrelation durchzuführen, da die Messintervalle zu gross waren. Hingegen versuchten wir, durch mikrophotographische Aufnahmen von Staubpartikeln eine Identifikation der Emissionsquellen durchzuführen. Dieses Verfahren kam zur Anwendung, um den emmittierten Staub der Kehrichtverbrennungsanlage nachzuweisen, der mit Hilfe von Haftfolien am Bantiger-Fernsehturm aufgefangen wurde.

Insgesamt hoffte man auf Resultate für die folgenden Probleme:

1. Zeitlicher Verlauf der Sedimentstaubmenge an verschiedenen Stellen
2. Belastungsunterschiede an verschieden stark exponierten Stellen
3. Hinweise auf die Transmission von speziellen Staubpartikeln

VI. MESSKAMPAGNEN

6.1. Einleitung

Wie bereits aus Kap. 3 hervorgeht, wurde bei der Konzeption des Berner Messnetzes darauf geachtet, dass im Untersuchungsgebiet möglichst jede charakteristische Geländekammer durch eine feste Messstation erfasst werden konnte. Dieses Vorgehen führte zu einem umfassenden klimatologischen Ueberblick in der Region Bern. Signifikante klimatische Erscheinungen und Mechanismen sowie deren lokale Ausprägungen konnten in den Grundlagenberichten dargestellt werden. Mit diesen Kenntnissen war es nun möglich, Konfliktgebiete der Region Bern zu bezeichnen (BEITRAG 10).

Bei den Messkampagnen wurde der umgekehrte Weg beschritten: Der Ausgangspunkt zu diesen Untersuchungen war in allen Fällen eine klimatologisch-lufthygienische Konfliktsituation, welche es zu analysieren galt. Mit den Grundlagenkenntnissen war es möglich, zielgerichtete Messkampagnen anzusetzen, damit die Konfliktherde genau definiert werden konnten. Es zeigte sich dabei, dass die Ergebnisse dieser Untersuchungen mit den notwendigen Modifikationen auch auf andere Räume übertragen werden konnten.

6.2. Bremgarten - Aaregraben

Die starke Expansion der Stadt Bern in das Gebiet des Aaregrabens und des Wohlensees nördlich von Bern hat in neuester Zeit zu Konflikten in der Lufthygiene und der Planung dieser Region geführt. In unserer Untersuchung ging es nun darum, abzuklären, wie weit die Naturgrundlagen, insbesondere die Topographie (enges Grabenrelief) und die daraus resultierenden klimatischen Verhältnisse an diesem Konflikt teilhaben. Im weiteren sollten auch die menschlichen Eingriffe in den Naturraum näher untersucht werden.

Ungeachtet der politischen Grenzen im Untersuchungsgebiet (Gemeinden) wurden verschiedene klimatische und lufthygienische Elemente und deren Zusammenwirken untersucht. Die Konfliktherde konnten an diesem Beispiel klar herausgearbeitet und dargestellt werden. Durch die komplexe, vom Naturraum bis zu der eigentlichen Lebensqualität reichenden Problemkette, wurde diese Untersuchung zu der Pilotstudie in unserem Forschungsprogramm. In der Synthese (vgl. Kap. 10, BEITRAG 10) konnte dieses komplexe Thema wieder aufgenommen und für die gesamte Region Bern ausgearbeitet werden. Damit weist diese Untersuchung weit über die lokale Bedeutung hinaus, denn ähnliche, topographisch engbegrenzte Räume, sind im Jura, den Alpen, ja selbst im Mittelland sehr häufig.

6.3. Murifeld

Im Murifeld (Saali) entstand anfangs der 70er Jahre östlich der Autobahn N 6 die wohl für längere Zeit letzte Hochhaus-Grosssiedlung an der Stadtperipherie Berns. Da von den zum Teil über 80 m hohen Gebäuden dieser Ueberbauung wesentliche Einflüsse auf das lokale Windgeschehen erwartet wurden, schien eine umfassende Untersuchung des Ventilationsgeschehens an dieser Stelle im Rahmen unserer Untersuchungen angezeigt. So wurde im März 1974 eine erste Messkampagne mit Rochat-Handwindmessern und dem Einsatz von Nebelkörpern durchgeführt. Aufgrund der bei dieser ersten Untersuchung erhaltenen Hinweise wurde der stadtwärts fliessende Luftstrom über längere Zeit mit zwei mechanischen Windschreibern auf den Flachdächern des Hochhauses Jupiterstrasse 5 und des SRG-Gebäudes am Freudenbergplatz überprüft. All diese Untersuchungen ergaben recht interessante Aufschlüsse, deren Erhärtung aber eine umfassende technisch sehr aufwendige weitere Abklärung bedürft hätte. Besonders der Umstand, dass die aus dem Aaretal einströmenden Winde meist recht niedrige Windstärken aufweisen, erforderte den Einsatz besonders empfindlicher Anemometer. Da weitere grossangelegte Unter-

suchungen daher parallel zu den übrigen Messungen nicht verantwortet werden konnten, erfolgten keine weiteren Untersuchungen mehr im Raume Murifeld. Aehnliche Messungen wurden später durch INDERMUEHLE (BEITRAG 9) im Westen der Stadt, im Quartier Tscharnergut, durchgeführt.

6.4. Inselspital

Im Westen des Stadtzentrums von Bern liegt der Spitalkomplex Inselspital - Loryspital - Kinderspital mit über 1500 Betten und gegen 10 000 Beschäftigten und Patienten. Kernstück des Inselspitals ist das rund 80 m hohe Bettenhochhaus. 430 m westlich dieses Hochhauses stehen die drei Hochkamine des Fernheizwerkes und der Kehrlichtverbrennungsanlage der Stadt Bern. Diese örtliche Verkoppelung von Grosse mittenten und Spitalanlage in der Achse einer für Bern häufigen Windrichtung schien uns einer näheren Untersuchung wert. Im Rahmen der mesoklimatischen Abklärungen wurde daher dem Gebiet Inselspital besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Erste lufthygienische Messungen ergaben denn auch, dass die Sedimentstaub- und Schwefeldioxidbelastung am Inselspital-Bettenhochhaus noch in 80 m Höhe überdurchschnittliche Werte aufwies. Ausgelöst durch diese Hinweise führte das Amt für Umweltschutz und Lebensmittelkontrolle der Stadt Bern in den Wintern 1976/76 und 1976/77 umfassende lufthygienisch-klimatische Messungen durch, die den Einfluss der benachbarten Grosse mittenten eindeutig bestätigten, gleichzeitig aber auch aufzeigten, dass zur Zeit kaum Belastungen auftreten, die als gesundheitsschädigend bezeichnet werden müssen.

6.5. Eigerplatz

Um zusätzlich zur Untersuchung der Klimaeinflüsse auf Hausbrandimmissionen auch Angaben über die Abhängigkeit von Verkehrsimmissionen zu erhalten, wurde am Eigerplatz in Bern eine kombinierte klimatologisch-lufthygienische Messstation errichtet. Es gelangte dabei die vom Geographischen Institut zusammen mit der Firma Ott, Kempten BRD, entwickelte vollautomatische Datenerfassungsanlage zum Einsatz.

KUNZ beschreibt dieses Messsystem in Kap. 7 des vorliegenden Berichtes. Einzelne Ergebnisse der Messungen sind in BEITRAG Nr. 2 im Bericht von KUNZ aufgezeigt.

VII. VERSUCHE MIT EINER VOLLAUTOMATISCHEN MESSANLAGE

7.1. Die Idee einer Automatisierung des Messnetzes

Bei einer mesoklimatologischen Untersuchung wird eine Fülle von Daten verarbeitet, die aus einem dichten Messnetz zusammenlaufen. Während sich die Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt (MZA) bei ihren Stationen bis anhin noch mit einer Datendichte von drei Messungen pro Tag begnügte, erfordert eine mesoklimatologische Untersuchung bedeutend kleinere Messintervalle. Die Dauer von Temperaturinversionen, der Zusammenbruch lokaler Zirkulationssysteme, der Tagesverlauf von Schadstoffkonzentrationen in der Luft, sowie viele ähnliche Phänomene verlangen zu ihrer Beschreibung hohe Messwertdichten. Allein für die Wind- und Lufttemperaturuntersuchungen im vorliegenden Forschungsprogramm wurden innerhalb von 15 Monaten 180 000 Messwerte registriert. Somit fällt bei der Untersuchung atmosphärischer Verhältnisse eine grosse Datenmenge an, die nur noch mit elektronischer Verarbeitung rationell zu bewältigen ist.

Neben der grossen Datenmenge, welche eine elektronische Bearbeitung verlangt, gibt es aber noch weitere Gründe zur Datenverarbeitung am Computer. Neue Untersuchungsmethoden wie verschiedene Verfahren der beurteilenden Statistik sind praktisch nur auf Grossrechenanlagen durchführbar. Exemplarisch aufgeführt seien hier als bekannteste etwa die Diskriminanzanalyse, Mehrfachregression, Faktoranalyse und Clusteranalyse.

Da nun also in der Datenauswertung mehr und mehr der Computer als Hilfsmittel benötigt wird, drängt sich auch die Methode auf, die Daten direkt in computerlesbarer Form zu registrieren. Die Uebertragung von herkömmlichen Speichermedien (Messstreifen) auf Lochkarten oder ähnlichem ist zeitraubend und kostspielig. Für die genannten Wind- und Temperaturdaten beliefen sich diese Kosten auf 15 000.-- Franken.

In vielen Industrieländern bestehen für verschiedene Schadstoffe Immissionsgrenzwerte. Auch für die Schweiz sind solche luft-

hygienische Bestimmungen vorgesehen. Gesetzliche Bestimmungen sind aber nur dann sinnvoll, wenn ihre Einhaltung garantiert wird, im vorliegenden Fall durch ein Ueberwachungssystem (BACH, DANIELS 1973 : 8). Ueberwachungssystem bedeutet hier eine Kombination von Emissions- und Meteorologischem Kataster, Diffusionsmodell, Immissionsmessnetz und einem Massnahmenpaket zur Aufrechterhaltung oder zum Erreichen eines lufthygienischen Sollzustandes. Daher wurde zusätzlich in Zusammenarbeit mit der Stadt Bern von Anfang an für einen späteren Zeitpunkt ein Mess- und Kontrollsystem vorgesehen. Dieses sollte an lufthygienisch kritischen Stellen (innerstädtische Verkehrsknotenpunkte, inversionsgefährdete Tieflagen) und klimatologisch bedeutsamen Standorten den Zustand der bodennahen Luftschichten in der Region Bern erfassen. Das System sollte wartungsexensiv und schnell arbeiten und eine rationelle Auswertung an zentraler Stelle ermöglichen. Bei lufthygienisch und meteorologisch kritischen Situationen, wie Bildung tiefliegender Inversionen, sollten unter Umständen Frühwarnungen möglich sein.

BACH und DANIELS (1973 : 22) zeigen, dass für solche Aufgaben der Ueberwachung der Luftverunreinigung schon bei einem kleinen, permanenten Messnetz eine volle Automatisierung die ökonomischste Lösung ist. Für ein Netz, bestehend aus acht Stationen mit je vier Messgeräten, geben sie z. B. folgende Kosten an (berechnet für drei Jahre):

1,71 MIO \$ für ein manuelles System mit ständlichen Messungen
0,55 MIO \$ für ein System mit automatischen Messgeräten, vom
Computer aufbereiteten und analysierten Daten und
einstündigen Mittelwerten

0,54 MIO \$ für ein vollständig automatisiertes System, welches
einstündige Mittelwerte liefert.

Auch Bayern setzt für sein lufthygienisches Landesüberwachungssystem LÜB (KELLNER et al 1974) eine vollautomatisierte Anlage ein. Der Endausbau des LÜB sieht 80 Messstationen für lufthygienische und meteorologische Variablen in allen Ballungsgebiete-

ten, kleinräumigen Gebieten mit konzentrierter Industrieansiedlung, sowie zwei Referenzstationen in Reinluftgebieten vor. Es bestehen also im wesentlichen vier Gründe für die Automatisierung der Datenerfassung, -übertragung und -speicherung:

- Datenflut bei mesoklimatologischen und lufthygienischen Untersuchungen
- rechenaufwendige Analysemethoden der beurteilenden Statistik
- Wunsch nach rascher Information über komplexe lufthygienische und meteorologische Zusammenhänge und Zustände
- praktische, lufthygienische Kontrollaufgaben

In einem ersten Schritt wurde daher eine einfache automatische Datenerfassungs- und Uebertragungsanlage geprüft und im Berner Messnetz eingesetzt.

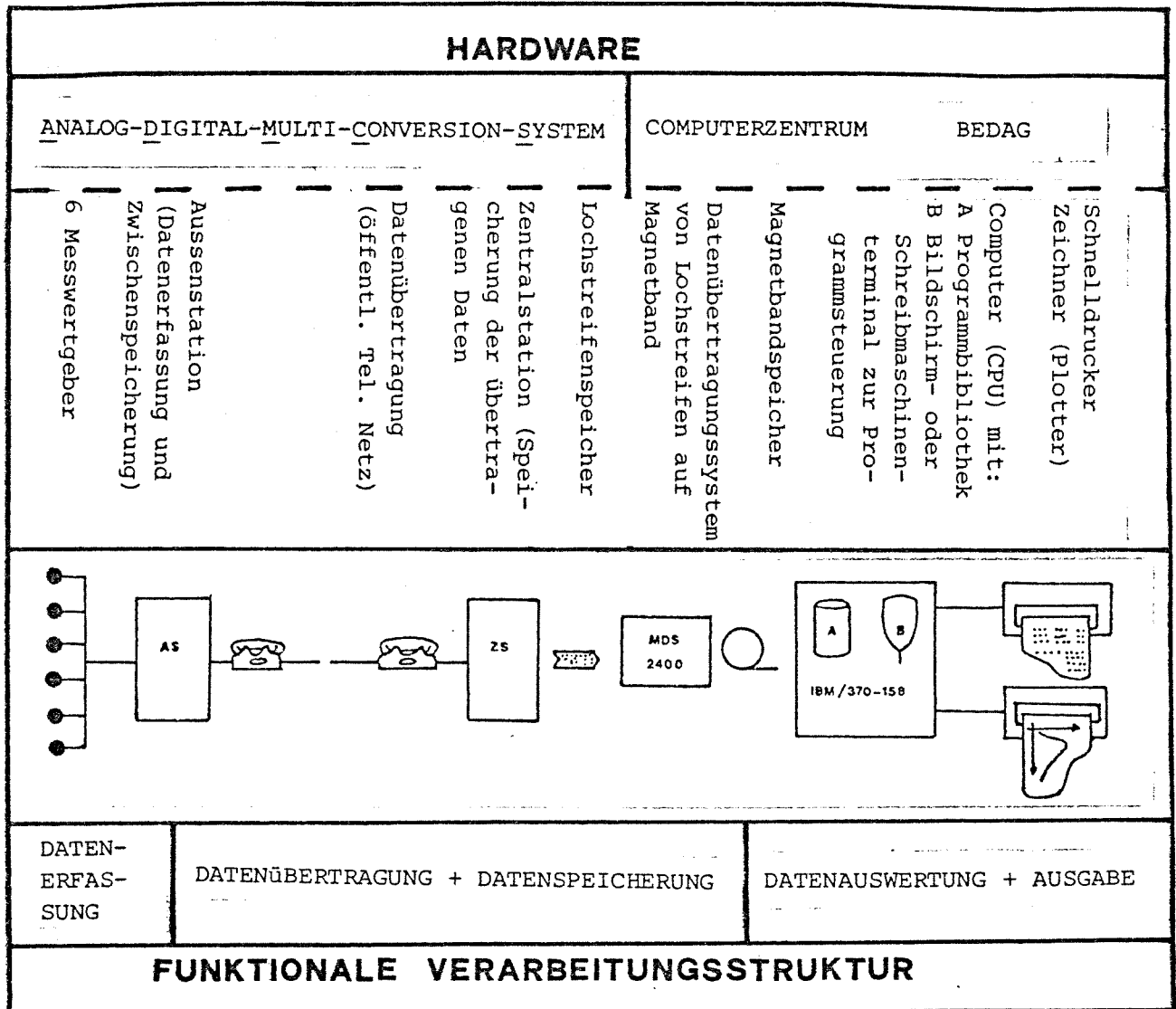
7.2. Der Prototyp OTT und sein Einsatz

Das automatische Mess- und Auswertungssystem sollte also nach den verschiedenen Ansprüchen, wie sie in Kap. 7.1. formuliert worden sind, alle Schritte von der Datenerfassung bis zur leicht lesbaren Ausgabe, zur Digitalspeicherung und Standardauswertung umfassen. Nach und nach wurde so ein eigentliches Informationssystem aufgebaut, bestehend aus einer losen Kette von einzelnen Uebertragungs- und Verarbeitungsstufen:

Datenerfassung - Uebertragung - Speicherung - Auswertung - Resultatausgabe

KUNZ (1976) beschreibt detailliert diese ganze "Informationskette". Es wird daher an dieser Stelle nur eine Uebersicht vermittelt. Zur Datenerfassung, Fernübertragung und Speicherung auf Lochstreifen wurde ein System der Firma OTT (Kempten, BRD) eingesetzt. Bei diesem Prototyp handelte es sich um ein Analog-

Fig. 3 ADMCS-Messsystem OTT



Digital-Multi-Conversion-System (ADMCS), welches momentane Spannungs- oder Widerstandswerte der Messwertgeber über mehrere Zwischenstufen in digitaler Form abspeicherte. Fig. 1 zeigt eine grobe Uebersicht über das ganze Informationssystem.

Der Versuch mit dem beschriebenen ADMCS zu arbeiten wurde drei Jahre nach Inbetriebnahme abgebrochen. Die vom Konzept her gut einsetzbare und ausbaufähige Anlage hatte als Prototyp zu viele Störungen, als dass sie ohne ständige Betreuung durch Fachpersonal kontinuierlich hätte betrieben werden können. So ist denn die Ausbeute an brauchbarem Zahlenmaterial gering ausgefallen und beschränkt sich auf 50 Tage im Frühjahr 1974.

Neben den aufgetauchten technischen Problemen sind aber die

Vorteile dieser automatischen Messmethode nicht zu übersehen:

- Erreichen hoher zeitlicher Messwertdichten (1/4 stündlich)
- Absolute Gleichzeitigkeit bei der Registrierung der Messwerte verschiedenster Messgrößen
- Ausbaumöglichkeiten zu einem Überwachungsnetz ohne starke Erhöhung des personellen Aufwandes

In BEITRAG 2 dieser Publikationsserie (MAURER, KUNZ 1976) werden die durch das ADMCS registrierten Wind- und Lufttemperaturdaten ausgewertet und diskutiert. Hier kommen die oben erwähnten Vorteile besonders zum Tragen, indem schon der kurze Einsatz des ADMCS einige Aufschlüsse zum Windgeschehen in der Region Bern liefern konnte.

An den sechs Eingangskanälen wurden in 1/4 stündlichen Intervallen folgende Variablen gemessen:

Lufttemperatur, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit, Schwefeldioxidgehalt der Aussenluft, Kohlenmonoxidgehalt der Aussenluft.

Für die Weiterverarbeitung der Lochstreifen stand das Rechenzentrum des Kantons Bern (BEDAG) zur Verfügung, dessen Hardware- und Softwareausstattung den gestellten Ansprüchen voll auf genügten. In einem ersten Schritt waren mit Hilfe des Konversionssystems MDS 2400 die Daten von Lochstreifen auf Magnetband zu übertragen. Die anschliessenden Datenkontrollen, Korrekturen und Auswertungen wurden im Time-Sharing-Betrieb ab Schreibmaschinen- oder Bildschirmterminal interaktiv durchgeführt.

7.3. Ausblick

Die gegenwärtige, stürmische Entwicklung in der Elektronik lässt weder im Bereich der technischen Möglichkeiten, noch im Bereich der Kosten einen klaren Ausblick zu. Es sind allgemein für den Konsumenten wesentliche Verbesserungen zu erwarten. Neueste automatische Mess- und Uebertragungssysteme, wie sie z. B. die Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt für ihr Stationsnetz aufbaut (Projekt ANETZ), scheinen den technischen Anforderungen, die auch bei einer meso- oder mikroklimatischen Problemstellung auftauchen, vollauf zu genügen und dies zu relativ günstigen finanziellen Bedingungen. Der hier diskutierte Ausblick bezieht sich auf die wissenschaftlichen Ansprüche einerseits und die Bedürfnisse nach Umweltkontrolle andererseits.

In der mesoklimatologischen Forschung sind ortsfeste, automatische Stationen wegen des grossen Installationsaufwandes nur in langedauernden Projekten sinnvoll einsetzbar. Vorabklärungen zur optimalen Standortwahl sind unerlässlich. Dabei darf aber nicht ausser acht gelassen werden, dass die Verbesserung der Messmethodik auch neue Möglichkeiten des Erkennens von klimatischen Verhältnissen und Zusammenhängen vermittelt. Es sind neue Fragestellungen möglich, die mit herkömmlichen Geräten nicht beantwortet werden können. Als Beispiel sei hier auf den Zusammenhang zwischen momentaner Windrichtung und Lufttemperatur hingewiesen (KUNZ 1976 : 45 - 50).

Ausserhalb des eigentlichen Forschungsbereiches müssen generell zwei Einsatzkonzepte unterschieden werden:

- Ueberwachung mit Prognose- und Alarmsystem: hier ist eine Datenfernübertragung und Verarbeitung im Real-Time-Betrieb unerlässlich.
- Kontrollsystem mit nicht kontinuierlicher Auswertung (z. B. nur wöchentlich).

Das erstgenannte Konzept ist nur dann sinnvoll, wenn auf Grund der Prognosen oder eines Alarmes Massnahmen ergriffen werden können, welche von praktischem Wert sind (z. B. Emissionsreduktion). Da wartungsfreie Geräte insbesondere bei lufthygienischen Messeinrichtungen nicht existieren, müssen die Aussenstationen auf alle Fälle in regelmässigen Abständen kontrolliert werden. Dabei können nichtfernübertragene Daten bei diesen Kontrollgängen abgeholt werden. Diese Art der Datenerfassung genügt für das zweite oben genannte Konzept.

Die Fernübertragung kann also nur durch Prognose- und Alarmaufgaben begründet werden. Der technische Aufwand der Fernübertragung ist in jedem Fall grösser als der dadurch erreichte Datenerfassungskomfort.

7.4. Heutiger Einsatz

Gegenwärtig wird an Stelle der ortsfesten Station eine Mobilstation eingesetzt, welche den aktuellen wissenschaftlichen Projekten besser dient. Die Anlage vom Typ "Automatische Wetterstation" (OTT, Kempten, BRD), ist in einen Lieferwagen eingebaut und registriert ohne Fernübertragung 1/4 stündlich digital acht Messvariablen. Vier der acht Kanäle sind gegenwärtig fest belegt mit Lufttemperatur-, Luftfeuchtigkeits-, Windgeschwindigkeit- und Windrichtungsgebern. Für den fünften Kanal ist ein Strahlungsmessgerät eingeplant, die drei restlichen sind frei bestückbar.

Aus der Intervallfrequenz ergibt sich, dass die Anlage nicht für Messfahrten einsetzbar ist. Ihr ideales Anwendungsgebiet ist eine Aufstellung bei Messkampagnen von mehreren Tagen Dauer. Die Verarbeitung der Daten erfolgt auf der Grossrechenanlage des Kantons Bern (BEDAG).

Eine Sammlung von Programmen steht für die Routineauswertung zur Verfügung (Detailbeschreibung von Anlagebedienung und Auswertung in speziellen Handbüchern zur Anlage). Die Speicherung auf Lochstreifen hat zwar den Nachteil, dass kein lesbares Mess-

protokoll erstellt wird, doch wird dadurch der Aufwand für die quantitative Verarbeitung erheblich reduziert.

VIII. DIE AUSWERTUNG DES DATENMATERIALS

8.1. Einleitung, Zielsetzung, Problemstellung

In diesem Kapitel soll der eingeschlagene Weg der Datenverarbeitung von der Registrierung der Messwerte bis zur Darstellung der Resultate beschrieben werden. Dabei werden die Standortfragen für die Messgeräte von den Betrachtungen ausgeklammert. Bei der EDV wird nicht detailliert auf die Programme eingetreten, da die meisten nicht für einen allgemeinen, operationellen Einsatz konzipiert wurden. Ziel des vorliegenden Kapitels ist besonders die Darstellung der Möglichkeiten, die in der elektronischen Datenverarbeitung stecken.

Der zu diskutierende Verarbeitungsweg kann anhand der Datenträger folgendermassen gegliedert werden:

| | |
|--------------------|--------------|
| MESSFUEHLER | |
| REGISTRIERSTREIFEN | |
| TABELLE | |
| LOCHKARTE | |
| MAGNETBAND | A |
| OUTPUT | B |
| | DATENTRAEGER |

Das Augenmerk richtet sich nachfolgend vor allem auf die Punkte

A : statistische Datenkontrolle mit Plausibilitätstests

B : Auswertungsprogramme

8.2. Datenerfassung

Für die Lufttemperatur- und Winduntersuchungen, bei welchen EDV eingesetzt wurde, sammelte man je ca. 90 000 Messwerte auf Registrierstreifen.

Für die Lufttemperaturmessung und die Windregistrierung wurden durchwegs konventionelle Instrumente eingesetzt. Die einfache und problemlose Art der Registrierung, welche sofort eine gute, qualitative Uebersicht über die Daten ermöglicht, bringt einen grossen Aufwand für die quantitative Auswertung mit sich. Zusätzlich stecken in der Uebertragung der Messstreifen auf einen digitalen Datenträger via Tabelle viele Fehlerquellen. Sie reichen von den Ungenauigkeiten beim Ablesen bis zum Verwechseln von Messstreifen und Lochbelegen.

Es besteht aber durchaus die Möglichkeit, diese Uebertragung einfacher und damit sicherer und billiger zu gestalten:

- Verwenden eines Tonbandes, auf das die Messwerte gesprochen werden und das direkt beim Datenlochen abgehört wird. Man erspart sich damit den Arbeitsgang des Tabellierens der Werte.
- Verwendung eines Digitizers zur Uebertragung der Messstreifen direkt auf einen digitalen Datenträger.

Die in digitaler Form aufgenommenen Daten wurden in korrigierter Version alle auf Magnetband abgespeichert und stehen weiteren Benützern zur Verfügung (Band: KLIMA 1, Standort: Geographisches Institut, Universität Bern, Abteilung Prof. B. Messerli)

8.3. Fehlersuche bei den Temperaturdaten

Die Temperaturwerte aller Stationen des mesoklimatologischen Messnetzes der Region Bern waren zu kontrollieren. Dabei sollte eine einfache, schnelle und wirksame Fehlersuchmethode ange-

wendet werden. Es waren sowohl Mess- als auch Uebertragungsfehler bei den total 88 283 Messungen der 17 eingesetzten Stationen aufzuspüren. Die besten Resultate erbringt natürlich die vollständige, manuelle Kontrolle aller Messwerte. Diese Methode war aber zu aufwendig. Um nicht die gesamte Datenmenge kontrollieren zu müssen, wählten wir ein Verfahren, bei welchem nur diejenigen Werte kontrolliert werden, welche mit grosser Wahrscheinlichkeit fehlerhaft sind.

Wir wählten folgendes Vorgehen (vgl. Fig. 5):

- Berechnung einer einfachen linearen Regressionsbeziehung zwischen zwei Stationen
- Bestimmung der Varianz der Residuen
- Bestimmung des 99 % Konfidenzintervalls für die Residuen unter Annahme einer Normalverteilung
- Manuelle Kontrolle aller Temperaturmessungen der zwei Stationen, deren Residuenwerte ausserhalb des Konfidenzintervalles liegen.

Die in Fig. 5 mit einem Punkt bezeichneten Temperaturmessungen wurden als fehlerhaft erkannt und korrigiert.

Dieses Vorgehen wurde für alle Stationen angewandt und führte, unserer Ansicht nach, mit vertretbarem Aufwand zu einer wirksamen Datenkontrolle.

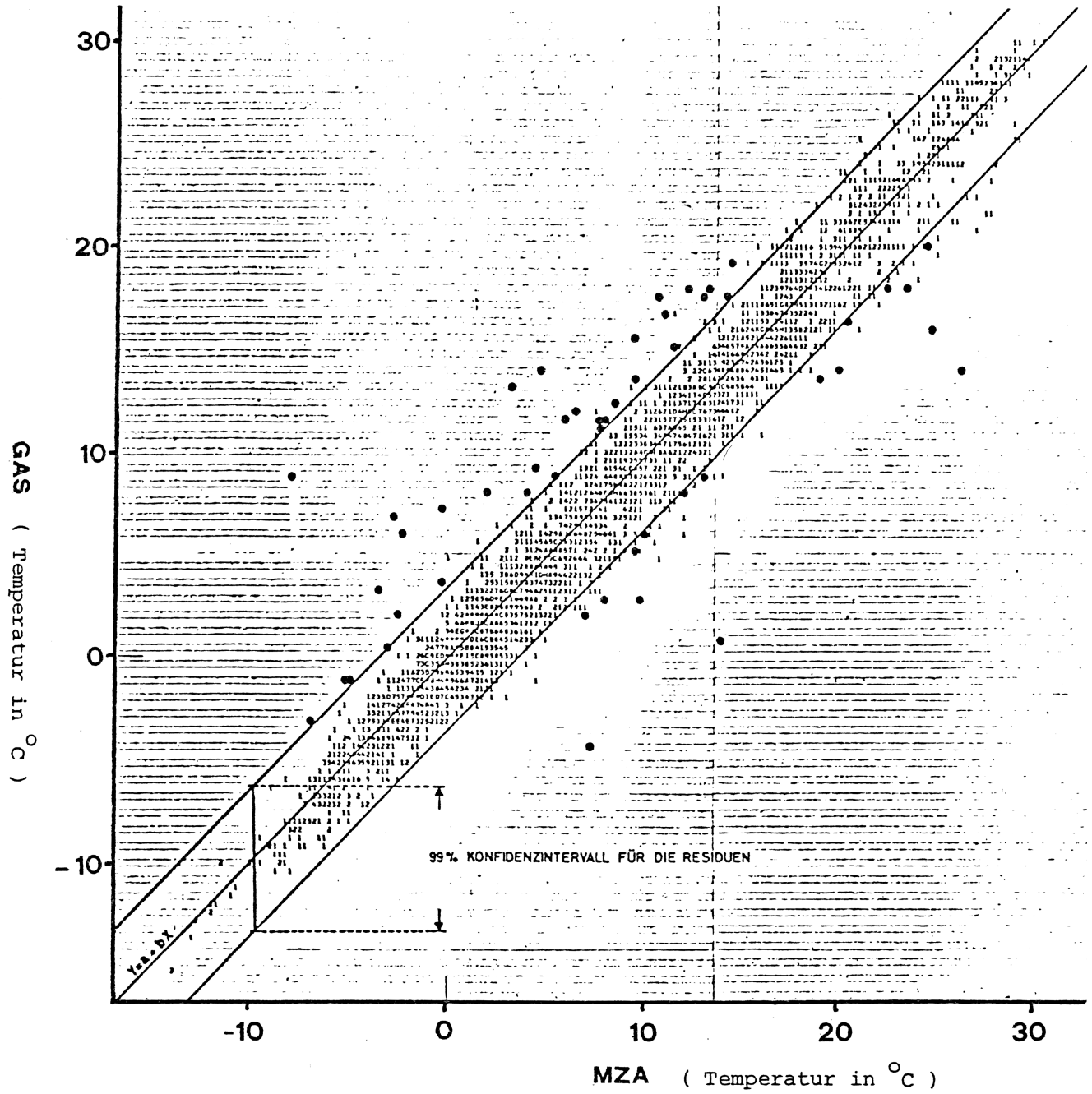


Fig. 4 Ermittlung von Temperaturfehlerdaten zwischen der Station MZA Bern und der Station GASwerk Bern

8.4. Datenverarbeitung

Die Verarbeitung der Daten im Rechenzentrum des Kantons Bern (BEDAG) bot vom Hardware- und Softwareangebot her keine wesentlichen Beschränkungen. Ohne Programme, die speziell für das vorliegende Projekt geschrieben werden mussten, war allerdings nicht auszukommen. Es können in der Auswertung drei Bereiche voreinander getrennt betrachtet werden.

Programmbibliotheken

Programme, die im System implementiert sind, wie z. B. die Programmbibliothek BMDP (DIXON 1975), ermöglichen aufwendige Berechnungen mit minimem Programmieraufwand. So wurde z. B. die gesamte Fehleranalyse (Kap. 8.3.) ausschliesslich mit Programmen der oben erwähnten Bibliothek durchgeführt. Die Nachteile solcher Bibliotheken sind:

- kleine Flexibilität im Input
- keine Flexibilität im Output
- nur standardmässige statistische Verfahren, die allgemein gebräuchlich sind, werden angeboten

Spezielle Auswertungsprogramme

Oft sind eigene Programme nötig, welche diejenigen Lücken füllen, die durch die Programmbibliotheken offen gelassen werden. Speziell problembezogene Darstellungsweisen und Berechnungen sind nur mit solchen Programmen zu verwirklichen. Für das vorliegende Projekt wurden mehrere solche Programme entwickelt.

Von zweien ist nachstehend der Output aufgeführt.

Fig. 5 zeigt einen Teil des Outputs eines Programmes zur Sichtbarmachung von Lufttemperaturdifferenzen zwischen Stationspaaren.

| DATUM | NR. | MZA-STATION BERN - BRUENNEN | MZA-STATION BERN UETTLIGEN | MZA-STATION BERN MUENCHENRUCHSEE | MZA-STATION BERN ZOLLIKOFEN |
|-----------|-----|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| 1.AUG/73 | 213 | ###+ | +++ +### | +++ - +++ | ++++ +++ |
| 2.AUG/73 | 214 | - | ++++ +++++ | -- | - |
| 3.AUG/73 | 215 | - - | ++++ +++++ | -- | + ++ |
| 4.AUG/73 | 216 | - - + | ++++ +### | + -- ++ | ++ - ++ |
| 5.AUG/73 | 217 | ++ +-- ++ | ++++- +### | - +### | ++++ +## |
| 6.AUG/73 | 218 | ++++- + | +++ +### | - +### | ++++- ++ |
| 7.AUG/73 | 219 | ++++ | +### | ++ | + |
| 8.AUG/73 | 220 | +++ - + | ++++- +++ | +++ +++++ + | + -- +++ |
| 9.AUG/73 | 221 | ###+ - + | + + -- ++ | + - +++ + | ### -- ### |
| 10.AUG/73 | 222 | ++++ - ++ | -- +### | -- +### + | ++++ -- ### |
| 11.AUG/73 | 223 | ++++ -- + | -- + | -- + | + + = # |
| 12.AUG/73 | 224 | + -- ++ | +++ -- +++++ | +++ + | ++ -- +### |
| 13.AUG/73 | 225 | ###+ - ++ | + +++++ | + +### - | ###+ - ++ |
| 14.AUG/73 | 226 | ++++- ++ | +++ | + ++ +### | ++++ + |
| 15.AUG/73 | 227 | ++++- +### | ++ +++++ | + - ++ + | ++++ + + |
| 16.AUG/73 | 228 | ###+-- +### | ++++ +++++ | ++++- +### | ++++ - +-- |
| 17.AUG/73 | 229 | ###+-- ### | + + +### | + + -- +### | ++++- ### |
| 18.AUG/73 | 230 | ###+-- +### | ++++ | - +### | +++ +### |
| 19.AUG/73 | 231 | ###+-- +### | ++++ | ++ - +### | ++++- +## |
| 20.AUG/73 | 232 | ++++- ++ | - +++++ | - + + | ++ +-- + |
| 21.AUG/73 | 233 | ++++ - ++ | + +++++ | ++ +++++ | +++ - +### |
| 22.AUG/73 | 234 | + -- | + + +++++ | + +++++ | ++ -- + |
| 23.AUG/73 | 235 | - + | ++ +++++ | ++++ | +++ -- + |
| 24.AUG/73 | 236 | ++++- - + | + + + + + | +++ -- + | +++ - ++ |
| 25.AUG/73 | 237 | ++++ - - - | +++++ + | +++ | +++ |
| 26.AUG/73 | 238 | - - - | ++++ | +++ | |
| 27.AUG/73 | 239 | - | +++++ | + + | + + |
| 28.AUG/73 | 240 | - - - | -- | - | - |
| 29.AUG/73 | 241 | - - - | - - - ### | + + | + + |
| 30.AUG/73 | 242 | - - - | - - - +### | - | |
| 31.AUG/73 | 243 | - - - - | - - - - | - | + + |

Fig. 5 Temperaturdifferenzen zwischen MZA Bern und vier weiteren Stationen. Tägliche Darstellung von 2-Stunden-Intervallen (00-02, 02-04,22-24 Uhr)

Signaturen: # stark positive Differenz
 + positive Differenz
 keine Differenz
 - negative Differenz
 = stark negative Differenz

Es wurden gleichzeitig vier Stationspaare unabhängig voneinander verglichen. Tageweise sind die Temperaturdifferenzen der 12 Zweistundenintervalle aufgeführt. So zeigt sich z. B. für das Stationspaar MZA-Station Bern und Brünnen für den Monat August 1973 eine deutlich höhere Temperatur bei der MZA-Station in den Nacht- und Morgenstunden bis 8 Uhr. Am Vormittag ist die MZA-Station dann eher kälter, am Nachmittag weisen beide etwa gleiche Temperaturen auf (vgl. BEITRAG 3).

Fig. 6
 Windrichtungs-
 verteilung an den
 Stationen Bern Stadt
 (MZA), Radio Schweiz
 Münchenbuchsee (RSW)
 und Bern West Tschar-
 nergut (TSA) bei
 Winden am Bantiger
 aus Richtung West mit
 Windstärken über
 8 m/sec

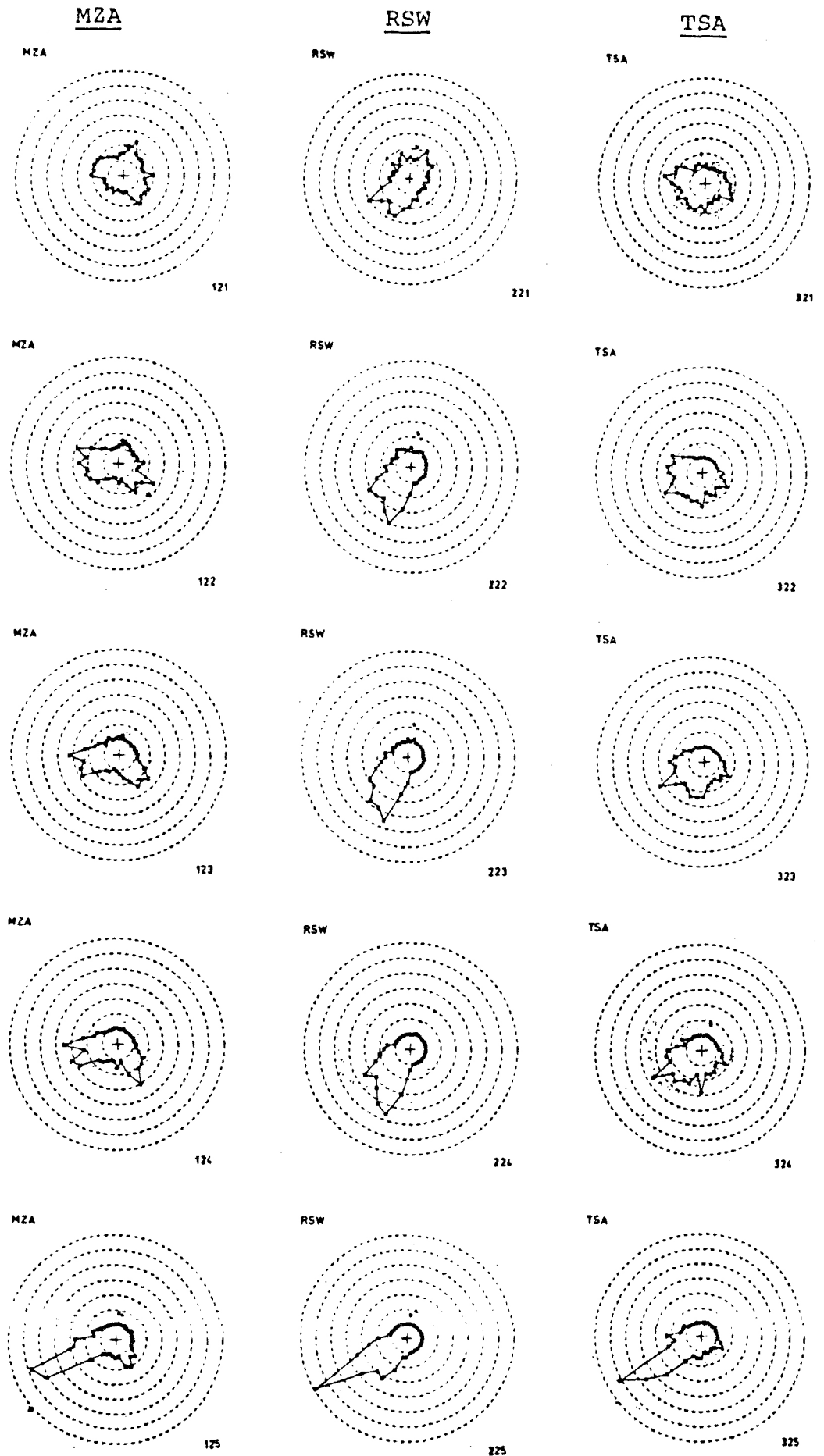


Fig. 6 zeigt die Anwendung des Plotters zur Sichtbarmachung von Winddaten. Das hier benutzte Programm zeichnet, nach Berechnung von Häufigkeiten oder Geschwindigkeiten beliebig viele Windrosen beliebiger Grösse mit beliebiger Anzahl Richtungen und beliebiger Anzahl Linien im gleichen Polarkoordinatennetz. So können grosse Datenmengen übersichtlich dargestellt werden (vgl. BEITRAG 2).

Hilfsprogramm

Oft müssen Daten vorgängig zur Auswertung durch Programme aus implementierten Bibliotheken und neu angeordnet werden. Daten müssen abgeändert und reorganisiert werden. Dazu sind kleine, eigene Programme zu erstellen, die für einmaligen Gebrauch bestimmt sind.

In diesem Kapitel ging es darum, die Struktur der Verarbeitung zu skizzieren. Allgemeine Auswertungsanleitungen können nicht gegeben werden, da diese vom Dateninput, der Rechenanlage und der Problemstellung abhängig sind.

IX. DAS PROBLEM DER WETTERLAGEN

Bei der Untersuchung und Bearbeitung der grundlegenden Klimaelemente Temperatur, Sonnenscheindauer, Niederschlag und Wind diente wie bei vielen anderen klimatischen Arbeiten die Zeitachse als ordnendes Element (FLIRI 1970). Das für einen bestimmten Zeitraum zusammengetragene Datenkollektiv wurde mit Hilfe verschiedener Lageparameter und Streuungsmasse (BAHRENBURG und GIEHSE 1975) charakterisiert. Die Existenz eines dichten Messnetzes brachte nun die zusätzliche Möglichkeit einer differenzierten räumlichen Analyse (Niederschlags- und Temperaturverteilung, Kartierung der Sonnenscheindauer, Struktur des Windfeldes etc.). Bei der Diskussion der räumlichen Verteilungsmuster dieser Elemente und der sie hervorrufenden dynamischen Prozesse wurde wiederholt festgestellt, dass eine witterungsklimatologische Bearbeitung und Deutung des gewonnenen Zahlenmaterials vorgenommen werden sollte. Die wesentlichen Ziele dieser lokalen Wetterlagenklassifikation (vgl. BEITRAG 9) können wie folgt umrissen werden:

1. Wenn wir zuerst die Ansprüche betrachten, welche rein vom Datenmaterial her an eine Gliederung nach Wetterlagen gestellt werden, so können wir die folgenden Bemerkungen anbringen: Bereits KNOCH (zit. in WILMERS 1968 : 145) verlangte die "Auflösung des Mittelwertes" in charakteristische Wetterlagen, und FLIRI (1967 : 220) spricht in diesem Zusammenhang von einer "synoptisch sinnvollen Zerlegung eines Gesamtkollektivs in Teilkollektive grösserer Signifikanz".
2. Nehmen wir an, dass die erste Forderung erfüllt werden kann, so sollten wir zweitens die Möglichkeit haben, mit der Betrachtung der Abfolge der einzelnen Wetterlagen sowie der dabei auftretenden Differenzen einen Einblick in die Dynamik, d. h. das Wechselspiel der wichtigen Witterungserscheinungen zu gewinnen.
3. Die dritte Zielsetzung ist an die Existenz eines dichten, für typische Teilgebiete des Untersuchungsraumes repräsentativen Messnetzes gebunden: Sind wir wie im Falle Berns in der glück-

lichen Lage, dass wir während eines bestimmten (allerdings begrenzt auf 16 Monate) Zeitraumes über ein sehr dichtes Messnetz verfügen (BEITRAG 1 wird genaue Angaben über Messstandorte und Geräte liefern), so sollten daraus genauere Kenntnisse über den Einfluss des grossräumigen Druck- und Strömungsfeldes auf die lokale Ausprägung der Witterungserscheinungen abgeleitet werden können.

4. Als viertes, allerdings hochgestecktes Ziel möchten wir die Verwendung des klassierten Datenmaterials für prognostische Zwecke erwähnen. KIRCHHOFER (1971 : 42) hat im Zusammenhang mit der Verwendung der Alpenwetterstatistikvariablen (SCHÜEPP 1968) auf die auftauchenden Schwierigkeiten bei der Prognostizierung bestimmter Wetterelemente (in seinem Falle Niederschlag und Sonnenschein) hingewiesen. Auch in unserem Falle möchten wir feststellen, dass die einzelnen Datenkollektive der Wetterlagen (vor allem beim Niederschlag) Streubereiche aufweisen können, die eine prognostische Verwendung ausschliessen.

Die klimatischen Erscheinungen und deren Wechselspiel lassen sich im Untersuchungsgebiet durch diese Betrachtungsweise besser überblicken und klassifizieren. Eine zuverlässige Prognose kann allerdings mit dem vorhandenen Datenmaterial noch nicht vorgenommen werden. Immerhin ist mit dieser Grundlagenarbeit ein wichtiger Schritt zu der Voraussage im regionalen Rahmen skizziert.

X. SYNTHESE AUS DER GESAMTEN FORSCHUNGSARBEIT

Das umfangreiche Forschungsprogramm wird mit dem BEITRAG 10 abgeschlossen und in einer Synthese zusammengefasst. Die Ziele dieser Synthese, welche über den klimatisch-lufthygienischen Rahmen hinausgehen, können wie folgt umrissen werden:

1. Zusammenfassung der bearbeiteten regionalklimatischen Grundlagen.
2. Darstellung der lufthygienischen Grundbelastung der Region und Stadt Bern durch Hausbrand, Verkehr, Industrie und Gewerbe.
3. Erstellen einer regionalklimatisch-lufthygienischen Belastungskarte der Stadt und Region Bern aus den klimatischen Grundlagen (1) sowie der lufthygienischen Grundbelastung (2). Darin werden die topographischen Gegebenheiten im Gegensatz zu den heute gebräuchlichen Emissionskatastern berücksichtigt sein.
4. Gegenüberstellung dieser regionalklimatisch-lufthygienischen Belastungskarte mit der heutigen und geplanten Nutzung. Die Gebiete, in denen die heutige Nutzung im Gegensatz zu der klimatisch-lufthygienischen Belastbarkeit stehen, ergeben die Konfliktgebiete der Region Bern.

Durch die Gegenüberstellung der rein klimatisch-lufthygienischen Forschungsergebnisse mit dem Ist-Zustand (=aktuelle Nutzung) wird der Problembereich der grundlagenbezogenen Forschung eindeutig verlassen. Dadurch sollte es möglich werden, den Stellenwert solcher Untersuchungen im Gesamtgefüge, welches von den soziologischen bis zu den volkswirtschaftlichen Aspekten reicht, zu bestimmen. Damit wird auch die Frage, ob der Problemkomplex Klima - Lufthygiene in der zukünftigen Planung wie bis anhin einfach vernachlässigt werden kann, klar zu beantworten sein.

Verschiedene Untersuchungen, welche durch das Forschungsprogramm KLIMUS in Gang gesetzt wurden und erst nach der vorliegenden Synthese zum Abschluss gelangen werden, führten dazu, dass bestimmte Erkenntnisse immer wieder überprüft und angepasst werden mussten.

Das Grundprinzip aber, dass die natürliche Umwelt auch heute bis in das funktionale und soziale Gefüge einer Stadtregion hineinwirkt, und dass umgekehrt das funktionale und soziale Gefüge die natürliche Umwelt mitbestimmt, wird auch in Zukunft seine Gültigkeit nicht verlieren.

ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende, aus den eingangs erwähnten Gründen erst als neunter Bericht der Reihe erschienener Beitrag, umschreibt Idee, Konzept und Verlauf der klimatologisch-lufthygienischen Untersuchungen in der Region Bern.

Das Forschungsprogramm "KLIMUS" des Geographischen Institutes der Universität, das sich zum Ziel setzte, die potentielle lufthygienische Belastbarkeit der topographisch stark gegliederten und verschiedenartigen Klimaeinflüssen ausgesetzten Stadtregion Bern aufzudecken, wird von der Aufbauidee bis zur Verarbeitung der Daten mittels elektronischer Hilfsmittel dargestellt.

Es werden die im Verlaufe der Untersuchungen zur Anwendung gelangten Messmethoden umschrieben, neuartige Messsysteme werden vorgestellt.

Die aufgrund besonderer Fragestellungen durchgeführten Messkampagnen und Sonderuntersuchungen werden im Detail umschrieben und begründet.

Das allen durchgeführten Untersuchungen als Grundelement dienende Messnetz wird in einer Reliefkarte (Anhang) und einer umfassenden Liste der Messstation aufgezeigt. Die, mit der eigens für die Untersuchungen im Raum Bern entwickelten automatischen Messstation, gemachten Erfahrungen werden umschrieben.

Der detaillierten Umschreibung des Vorgehens bei der Verarbeitung des immensen Datenmaterials wurde besondere Beobachtung geschenkt.

Der Beitrag Nr. 1 ist als Hilfsmittel zum besseren Verständnis der übrigen Beiträge der Reihe "BEITRÄGE ZUM KLIMA DER REGION BERN" zu verstehen.

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND FIGURENAbbildungen

- | | |
|-------|---|
| Nr. 1 | Luftbild der Stadtregion Bern |
| Nr. 2 | Messwagen |
| Nr. 3 | Aufnahmen mit auto- - Morgenaufnahme matischer Foto- kamera |
| Nr. 4 | - Mittagsaufnahme |
| Nr. 5 | - Abendaufnahme |
| Nr. 6 | Mobile Wetterhütte |
| Nr. 7 | Feste Wetterhütte |

Figuren

- | | |
|-------|--------------------------------------|
| Nr. 1 | Emission - Transmission - Immission |
| Nr. 2 | Gemeinden der Planungsregion Bern |
| Nr. 3 | ADMCS - Messsystem OTT |
| Nr. 4 | Ermittlung der Temperaturfehlerdaten |
| Nr. 5 | Temperaturdifferenzen |
| Nr. 6 | Windrosen |

Beschreibung der Stationen gemäss beigelegter Karte "Messstationen"

| Stations- nummer | Name und Standort | Koordinaten | Höhe ü. M in M. | Klima | | | | Lufthygiene | | | Bemerkungen |
|---------------------|-------------------|-----------------|--------------------|-------|---|---|-----|-------------|-----------------|----|--|
| | | | | T | W | N | S+B | ST | SO ₂ | CO | |
| 1 | MZA Bern | 200 000/600 000 | 561 | x | x | x | x | | | x | Basisstation |
| 2 | Gaswerk | 198 500/600 300 | 503 | x | | x | | x | | x | Areal des Gaswerkes |
| 3 | Liebefeld | 197 550/598 700 | 570 | x | x | x | | x | | x | Landwirtschaftliche Versuchsanstalt Liebefeld |
| 4 | Spiegel | 197 075/600 250 | 681 | x | | x | | | | | Areal des Wasserreservoirs |
| 5 | Belpmoos | 195 750/604 750 | 510 | x | x | x | | x | | x | Flugplatz Belpmoos, Flugwetterdienst |
| 6 | Uecht | 189 050/601 050 | (910) | x | | x | | x | | | Dr. h. c. W. Schaeerer, Uecht, Niedermuhlen |
| 7 | Melchenbühl | 198 625/604 100 | 560 | x | | x | | | | | inkl. Globalstrahlungsmessung |
| 8 | Rörswil | 201 575/604 725 | 549 | x | | x | | | | | |
| 9 | Bantiger | 203 000/606 825 | 1000 | x | x | x | | x | | x | Fernsehturm 50 m über Grund |
| 10 | Zolllikofen | 204 450/602 300 | 560 | x | | x | | | | | Schweiz. Landwirtschaftliches Tech- nikum |
| 11 | Münchenbuchsee | 207 375/600 825 | 568 | x | x | x | | | | | Windmessung Sendeturm Radio Schweiz 45 m über Grund |
| 12 | Chalchacher | 202 550/599 750 | 522 | x | | x | | | | x | |
| 13 | Seftau | 202 125/599 725 | 490 | x | | x | | | | | 50 m vom Aareufer |
| 14 | Viererfeld | 201 625/600 050 | 575 | x | | | | | | | Schreibergärten |
| 15 | Uettligen | 203 700/595 850 | 620 | x | | x | | | | | Sekundarschulhaus |
| 16 | Brünnen | 199 475/595 500 | 552 | x | | x | | | | | Anstaltareal |

| Stations-Name und Standortnummer | Koordinaten | Höhe ü. M in M | Klima | | | | Lufthygiene | | | Bemerkungen |
|----------------------------------|------------------------|-----------------|-------|---|---|-----|-------------|-----------------|----|--|
| | | | T | W | N | S+B | ST | SO ₂ | CO | |
| 17 | Tscharnergut | 199 750/596 075 | 596 | x | | | | | | Hochhaus 45 m über Boden |
| 18 | Matzenried | 197 850/592 675 | 640 | | x | | | | | |
| 19 | Niederwangen | 197 150/594 750 | 570 | | x | | | | | |
| 20 | Eymatt | 201 500/595 850 | 488 | x | | x | | | | Campingplatz (Garten) |
| 21 | Birchi | 203 500/599 750 | 581 | x | x | | | | | |
| 22 | Reichenbach | 204 450/600 800 | 498 | x | | | | | | |
| 23 | Worblaufen | 202 875/601 900 | 497 | x | | | | | | 70 m von der Aare entfernt |
| 24 | Lorraine | 201 150/600 375 | 511 | x | | | | | | |
| 25 | Hochfeld | 200 950/599 225 | 570 | | | x | | x | | |
| 26 | Untertorbrücke | 199 750/601 475 | 500 | x | | | | | | |
| 27 | Eigerplatz | 198 850/599 450 | 566 | x | x | x | | x | x | Hochhaus Eigerplatz 45 m über Grund auf Niveau 522 m (lufthygienesche Messungen) |
| 28 | Bergstrasse | 197 300/599 775 | 600 | x | | | | | | |
| 29 | Gurten Kulm | 196 475/599 900 | 855 | x | | | | | | Gipfellation |
| 30 | Gurtentäli | 195 225/600 775 | 648 | x | | | | | | |
| 31 | Murifeld (Ueberbauung) | 198 675/603 250 | 610 | | x | | | | | Hochhaus 60 m über Grund |
| 32 | Hochhaus SRG | 199 150/602 650 | 505 | | x | | | | | Hochhaus 45 m über Grund |

| Stations- nummer | Name und Standort | Kordinaten | Höhe ü. M in M | Klima | | | Lufthygiene | | | Bemerkungen |
|---------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|-------|---|---|-------------|----|-----------------|--|
| | | | | T | W | N | S+B | ST | SO ₂ | |
| 33 | Bolligen Dorf | 202 800/604 450 | 580 | x | x | | | | | |
| 34 | Riedli | 201 550/605 900 | 562 | x | | | | | | |
| 35 | Ferenberg | 201 925/606 975 | 720 | x | x | | | | | |
| 36 | Hubel | 202 375/607 550 | 788 | x | | | | | | |
| 37 | Bantiger | 202 600/606 125 | 720 | | x | | | | | |
| 38 | Insel | 199 625/598 875 | 590 | | | x | x | | | Bettenhochhaus Insel 20 und 60 m über Grund |
| 39 | Steigerhubel | 199 500/598 075 | 545 | | | x | x | | | |
| 40 | Bümpliz | 198 900/596 225 | 558 | | | x | x | | | |
| 41 | Unter der Halen- brücke | 202 325/598 400 | 498 | | | x | | | | Direkt unter der Halenbrücke |
| 42 | Neben der Halen- brücke | 202 425/598 400 | 518 | | | x | | | | |
| 43 | Bremgarten | 202 900/599 750 | 528 | | | | | x | | Schulhausareal |
| 44 | Autobahnbaustelle | 201 900/602 400 | 550 | | | | | x | | |
| 45 | Wylenstrasse | 200 850/600 850 | 552 | | | x | | x | | |
| 46 | Viktoria | 200 400/601 150 | 598 | | | x | | x | | Auf dem Turm der Feuerwehr |
| 47 | Münster | 199 550/600 950 | 570 | | | | | x | | 1. Plattform des Münsters ca. 40 m über Grund |
| 48 | Casino | 199 500/600 750 | 535 | | | x | | x | | |
| 49 | Egelmösl | 199 350/602 075 | 540 | | | x | | x | | |

| Stations- nummer | Name und Standort | Koordinaten | Höhe ü. M in M | | Klima | | | Lufthygiene | | | Bemerkungen | |
|---------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----|-------|---|---|-------------|----|-----------------|-------------|----|
| | | | T | M | T | W | N | S+B | ST | SO ₂ | | CO |
| 50 | Tannacker | 197 325/605 425 | | 561 | | | | | | | | |
| 51 | Boll-Sinneringen | 200 300/607 800 | | 567 | | | x | | | | | |
| 52 | Felsenau | 201 950/600 500 | | 541 | | | | | x | | | |
| 53 | Suvahaus | 199 500/599 800 | | 533 | | | | | x | | x | |
| 54 | Belp | 192 575/604 950 | | 527 | | | | x | | | | |
| 55 | Wohlen | 202 300/593 650 | | 549 | | | | | | | | |

Legende: Erfasste Komponenten:

| | |
|-----------------|--------------------------------------|
| T | Lufttemperatur |
| W | Winde |
| N | Niederschlag |
| StB | Sonnenschein u. Bewölkung |
| ST | Sedimentstaub |
| SO ₂ | Schwefeldioxid (Hausbrandemissionen) |
| CO | Kohlenmonoxid (Verkehrsemissionen) |

LITERATURVERZEICHNIS

- BAHRENBURG, G., GIESE, E., 1975: Statistische Methoden und ihre Anwendung in der Geographie. Teubner Studienbücher, Stuttgart
- DIXON, W. J., 1975: BMDP, Biomedical Computer Programs. Univ. of California Press, Berkley, Los Angeles/London
- FLIRI, F., 1967: Ueber die klimatologische Bedeutung der Kondensationshöhe im Gebirge. Die Erde, 98. Jg., H. 3
- FLIRI, F., 1974: Niederschlag und Lufttemperatur im Alpenraum. Wissenschaftl. Alpenvereinshefte, H. 24, Innsbruck
- FRIEDRICH, R., HAEUSELMANN, F., 1976: Die Ventilation im Becken von Bern. Geographisches Institut, Universität Bern (unveröff.)
- FUHRER, J., 1977: Ein System zur Unterscheidung verschiedener Arten und Vitalitäten von Bäumen auf falschfarbigen Luftbildern der Stadt Bern. Geographisches Institut, Universität Bern (unveröff.)
- GILGEN, A., BARRIER, A., 1969: Besonnung und natürliche Belichtung von Wohnungen. Bericht erarb. im Auftrag d. ORL-Institutes ETH, Zürich, Verlag Ott, Thun
- GRANDJEAN, E., GILGEN, A., 1973: Umwelthygiene in der Raumplanung, Thun und Zürich
- GROSJEAN, G., 1973: Kanton Bern. Historische Planungsgrundlagen. Planungsatlas des Kantons Bern. 3. Lfg., Bern 1973
- HINZPETER, H., 1959: Vergleichende Prüfung von Formeln zur Berechnung von Globalstrahlungssummen. Arch. f. Meteorol., Geophys. u. Bioklimatol., Bd. 9, Wien
- JOOS, G., 1975: Frost- und Eistage in Bern seit 1864. Seminararbeit Geographisches Institut, Universität Bern (unveröff.)
- KIRCHHOFER, W., 1971: Abgrenzung von Wetterlagen im zentralen Alpenraum. Veröffentl. d. Schweiz. Met. Zentr. anstalt, Nr. 23
- KNOCH, K., 1963: Die Landesklimateaufnahme. Wesen und Methodik. Berichte d. Deutsch. Wetterdienstes, Nr. 85, Bd. 12, Offenbach
- LANDSBERG, H. E., 1970: Climates and urban planning. Urban climates. WMO Bull. Nr. 254
- MAHRINGER, W., 1973: Ueber das Strahlungsklima im Raum Salzburg. Festschrift f. Hanns Tollner zum 70. Geburtstag, Salzburg
- MATHYS, H., WANNER, H., 1975: Sonnenscheindauer, Bewölkung und Nebel. Beiträge zum Klima der Region Bern, Nr. 5, Geographisches Institut, Universität Bern
- MATHYS, H., 1975: Spätfrostschäden in der Region Bern. Beiträge zum Klima der Region Bern, Nr. 6, Geographisches Institut, Universität Bern

- MATHYS, H., 1976: Die Temperaturverhältnisse in der Region Bern. Beiträge zum Klima der Region Bern Nr. 3, Geographisches Institut Universität Bern
- MARR, L. R., 1970: Geländeklimatologische Untersuchungen im Raume südlich von Basel. Basler Beitr. z. Geographie, H. 12
- MAURER, R., KUNZ, S., WITMER, U., 1975: Niederschlag, Hagel, Schnee - Die Niederschlagsverhältnisse in der Region Bern. Beiträge zum Klima der Region Bern Nr. 4, Geographisches Institut der Universität Bern
- MAURER, R., KUNZ, S., 1976: Das regionale Windgeschehen. Beiträge zum Klima der Region Bern Nr. 2, Geographisches Institut Universität Bern
- MESSERLI, B. et al, 1973: Beiträge zum Klima des Raumes Bern. Geographische Gesellschaft Bern, Bd. 50/1970 - 72, Bern : 55 - 56
- MOSIMANN, H. R., 1972: Die Abhängigkeit der Schneedecke von klimatischen Faktoren in den Berner und Walliser Alpen. Geographica Helvetica, Nr. 4/1973
- ROTT, H., 1974: Sonnenschein. Globalstrahlung und Lufttrübung in Innsbruck. Diss., Universität Innsbruck
- "
SCHÜEPP, M., 1959: Lufttemperatur. Beil. Annalen 1959, 1960, 1967, 1968 H. C. Met. Zentr. anst., Zürich
- THAMS, J. C., ZENONE, E., 1952: Ueber Sonnenscheindauer und Globalstrahlung auf der Magadinoebene unter besonderer Berücksichtigung des Tabakbaus. Landwirtschaftl. Jb. d. Schweiz, Jg. 66
- WANNER, H., KUNZ, S., 1977: Die Lokalwettertypen der Region Bern. Beiträge zum Klima der Region Bern Nr. 9, Geographisches Institut Universität Bern

Klimatologisch - lufthygienisches Messnetz (1972 bis 1976) und Relief der Region Bern



Beiträge zum Klima der Region Bern Beilage zum Beitrag No. 1

Sachbearbeiter : H. Mathys, R. Maurer

Kartographie : R. Isenschmid

MESSTATIONEN

| fixe Einrichtungen | temporäre Einrichtungen | Erfasste Komponenten |
|--------------------|-------------------------|--|
| ▲ | △ | – klimatisch |
| ● | ○ | – lufthygienisch |
| ●▲ | ○△ | – kombiniert klimatisch-lufthygienisch |

Stationsnummerierung gemäss Stationsliste im Anhang des Beitrages No.1 der Beiträge zum Klima der Region Bern

Reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 8.12.1972

© Geographisches Institut der Universität Bern, Abt. Prof. Messerli

Geländeklimatologische und lufthygienische Untersuchungen in der Region Bern mit Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung.
Druck mit Unterstützung der Geographischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.

Masst. 1:50 000