

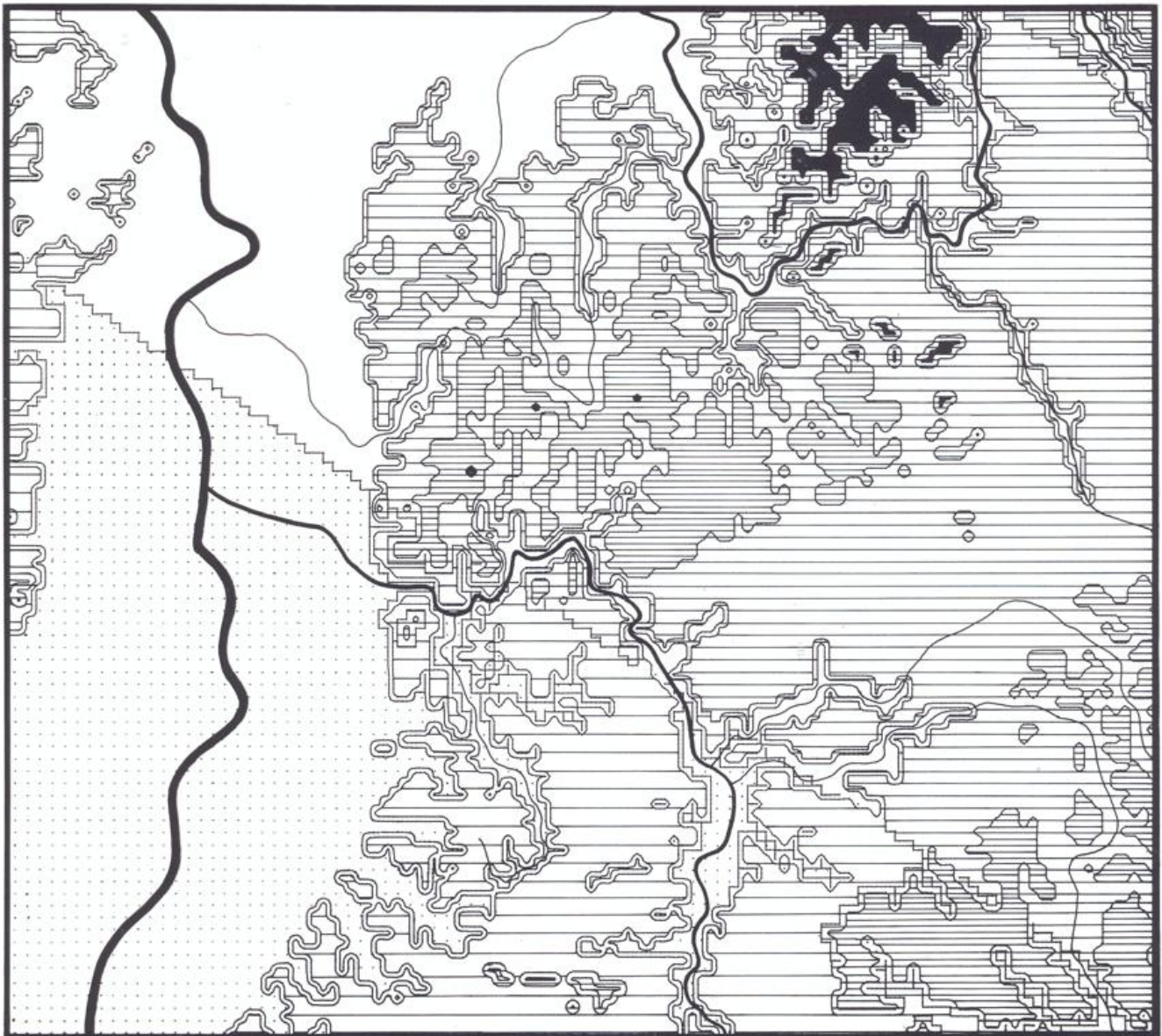
# **promet**

# 3'80

meteorologische fortbildung

## Klima und Planung I

Datengewinnung und -aufbereitung



**Herausgeber**

Deutscher Wetterdienst

**Hauptschriftleiter**M. Schlegel  
Frankfurter Straße 135  
6050 Offenbach am Main**Redaktionsausschuß**A. Cappel (Neustadt a.d.W.)  
F. Defant (Kiel)  
H.-W. Georgii (Frankfurt)  
K. H. Hinkelmann (Mainz)  
H. Hinzpeter (Hamburg)  
E. Lingelbach (Offenbach)  
H. Reiser (Offenbach)  
H.-P. Schmitz (Berlin)  
R. Simonis (Offenbach)  
S. Uhlig (Traben-Trarbach)  
F. Wippermann (Darmstadt)**Zum Titelbild**

Synthetische Berechnung der Feldverteilung der mittleren jährlichen Lufttemperatur (Zeitraum 1931–1960) für ein Gitternetz von Höhenwerten im 1-km-Raster mit einer Basis-Station und einer Regressionsgleichung. (Nähere Erläuterungen s. Beitrag 8 in diesem Heft.)

**promet** erscheint im Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes – Zentralamt – Frankfurter Straße 135, 6050 Offenbach am Main. Bezugspreis pro Jahrgang (4 Hefte) DM 28.–. Einzelheft DM 7,50.

Für den Inhalt der Arbeiten sind die Autoren verantwortlich. Alle Rechte bleiben vorbehalten.

Druck: Schön & Wetzel GmbH, Offenbacher Landstraße 368, 6000 Frankfurt (Main).

ISSN 0340 - 4552

**Meteorologische Fortbildung**

10. Jahrgang, Heft 3, 1980

Thema des Heftes:

**Klima und Planung I**

Datengewinnung und -aufbereitung

(Fachliche Redaktion: H. G. Matthäus, Offenbach a. M.)

| Beiträge  | Seite         |
|---|---------------|
| Vorbemerkungen (H. G. MATTHÄUS)                                       | 1             |
| H. SCHIRMER   |               |
| <b>1</b> Planungsfaktor Klima   | 2             |
| G. MÜLLER   |               |
| <b>2</b> Meßnetze und Meßtechnik                                      | 4             |
| M. GOESCH   |               |
| <b>3</b> EDV im Klimadienst   | 9             |
| A. BEFFERT  |               |
| <b>4</b> Qualitätskontrolle   | 12            |
| M. KALB   |               |
| <b>5</b> Prüf- und Korrekturverfahren für klimatologische Statistiken | 13            |
| A. GUTSCHE  |               |
| <b>6</b> Grundlagen und Bearbeitungen der Aeroklimatologie            | 18            |
| H. KUMM   |               |
| <b>7</b> Hydrometeorologische Statistiken                             | 24            |
| V. VENT-SCHMIDT   |               |
| <b>8</b> Analytische und synthetische Klimakarten                     | 27            |
| <b>Aus dem Geophysikalischen Beratungsdienst der Bundeswehr</b>       |               |
| Beratungsprobleme bei High Speed / Low Level-Flügen<br>(K. KRAMES)    | 31            |
| Inhalt des Heftes 4 '80   | 3. Umschlags. |
| Berichtigungen  | 3. Umschlags. |

Thema dieses Heftes

# Klima und Planung I

## Datengewinnung und -aufbereitung

---

### Vorbemerkungen

Die Klimatologie ist – historisch gesehen – einen dornenvollen Weg gegangen. Als manchmal geschmähte statische Mittelwertklimatologie kam sie über ein Dornröschendasein in den Studierstuben einiger Gelehrter lange nicht hinaus. Der Durchbruch zu einer mehr dynamisch orientierten Witterungsklimatologie gelang ihr erst relativ spät. Mit der Verkündung des Weltklimaprogramms der Weltorganisation für Meteorologie bahnt sich nun erneut eine grundlegende Wandlung an. Gegenwärtig durchlebt die Klimatologie – einem zweiten Frühling vergleichbar – eine explosive Entwicklungsphase. Ihr sichtbarer Ausdruck ist das Eindringen vieler ihrer Anwendungsbereiche in das Bewußtsein der Öffentlichkeit. Das Klima ist zu einem Umweltfaktor ersten Ranges geworden. Seine Einbeziehung in die Planung ist daher nur folgerichtig.

Als Hauptthema des vorliegenden und des nächsten Heftes wurde "Klima und Planung" gewählt; dabei sollen wechselseitige Verknüpfungen und Zusammenhänge der Komponenten Klima und Planung sichtbar werden.

Die Akzente dieses Heftes liegen auf der planungsrelevanten Datengewinnung und -aufbereitung; im Folgeheft stehen die Anwendungen klimatologischer Erkenntnisse bei der Lösung von Planungsaufgaben im Mittelpunkt.

Der Beitrag 1 (H. SCHIRMER) "Planungsfaktor Klima" stellt eine Einführung in das Hauptthema dar und knüpft gedankliche Verbindungen zwischen den Schwerpunktthemen beider Hefte (3 und 4'80). Beitrag 2 (G. MÜLLER) befaßt sich mit der Gewinnung von Daten als Basis für die Ausführung von klimabezogenen Planungsvorhaben. Die Automatisierung der Meßnetze, die Untersuchung der optimalen Netzdichte und Probleme der Meßmethodik stehen hier im Vordergrund. Beitrag 3 (M. GOESCH) vermittelt einen Einblick in die Datenaufbereitung des klimatologischen Grundlagenmaterials für Planungszwecke, besonders in den Datenfluß von der Datengewinnung bis zur anwendungsbezogenen Auswertung spezieller Datenkollektive. Zuverlässige Ausgangsdaten, z.B. als Initialfelder für Modellrechnungen, sind nur von qualitätskontrollierten Datenkollektiven zu erwarten. Beitrag 4 (A. BEFFERT) erläutert die theoretischen Grundlagen der Datenprüfung und die Konsistenzbetrachtungen, die bei Prüfkriterien Verwendung finden. Beitrag 5 (M. KALB) setzt sich kritisch mit operationellen Gesichtspunkten der Datenprüfung auseinander. Fehlerträchtige Einflüsse auf die Datengewinnung werden diskutiert und Prüf- und Korrekturverfahren zur Fehlerbeseitigung in klimatologischen Statistiken vorgestellt. Die früher fast ausschließliche zweidimensionale planerische Behandlung des Raums geht zunehmend in eine dreidimensionale Betrachtungsweise über. Beitrag 6 (A. GUTSCHE) vermittelt daher eine Übersicht über Grundlagen und einige Arbeitsergebnisse der Aeroklimatologie. Viele Fragen der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung lassen sich nur mit aufbereiteten hydrometeorologischen Statistiken beantworten. Die in Beitrag 7 (H. KUMM) beschriebene Analyse von Niederschlagsdaten ist hier eine willkommene Entscheidungshilfe. Bisher vorhandene, überwiegend rein analytische Klimakarten werden den planerischen Anforderungen nicht mehr in jedem Fall gerecht; der Übergang zu anwendungsorientierten synthetischen Klimakarten ist daher eine Forderung der Zeit. Das vorliegende Heft schließt mit Beitrag 8 (V. VENT-SCHMIDT). Die Darstellung von Problemen der Konstruktion und Anwendung von Klimakarten bildet eine thematische Überleitung zum nächsten Heft.

Heft 4'80 wird durch Beitrag 9 (H. SCHMIDT) eingeleitet. Kraftwerke und andere Industrieanlagen belasten die Atmosphäre und Gewässer thermisch durch Abwärme. Diese negative Entwicklung muß durch eine die Klimafaktoren berücksichtigende Standortvorsorge kontrolliert werden. Die von Kühltürmen emittierten Wärme- und Wassermengen, die sich in der Atmosphäre als turbulente Abluftfahne ausbreiten, stellen einen Spezialfall des Abwärmeproblems dar. Die Simulation dieser Ausbreitungsvorgänge mittels numerischer Modelle ist Gegenstand von Beitrag 10 (B. RUDOLF). Von Ausbreitungsvorgängen handelt auch Beitrag 11 (H. BARTELS). Im Rahmen von Genehmigungsverfahren für den Betrieb von Anlagen, die schädliche Umwelteinflüsse erwarten lassen, werden zur Ermittlung der Langzeitbelastungen klimatologische Angaben benötigt. Ausbreitungsklassen, ihre zeitliche Variation und ihre Anwendbarkeit werden hier diskutiert. Als Folge der Weltenergiekrise gewinnen Energieerzeuger wie Windkraft- und Solaranlagen sowie Wärmepumpen als Alternativen an Bedeutung. Beitrag 12 (G. JURKSCH) liefert hierzu einen Informationsüberblick. Die wissenschaftlichen Aspekte der Stadtmeteorologie wurden in PROMET 4'79 behandelt. Beitrag 13 (G. JURKSCH) beschränkt sich daher auf einige anwendungsorientierte Probleme der Stadtplanung. Um negativen Auswirkungen der Eingriffe des Menschen in die Natur zu begegnen, ist eine gezielte Regionalplanung erforderlich. Beitrag 14 (M. KALB / H. SCHMIDT) will zeigen, daß die Klimatologen sich auch in der Regionalplanung eine bedeutende Position erobert haben. Die Erhaltung und Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen gehören zu den elementaren Bedürfnissen des Menschen. Die Bioklimatologie hat hierbei eine wichtige Beratungsfunktion. Beitrag 15 (G. JENDRITZKY / R. REINKE / H. J. SWANTES) macht mit einigen bioklimatologischen Aspekten im Rahmen einer klimagerechten Planung bekannt. Der steigende Bedarf des kostbaren Rohstoffs Wasser ist nur mittels sorgfältig geplanter wasserwirtschaftlicher Maßnahmen zu decken. Dazu gehört rechtzeitige Vorsorge für einen räumlich-zeitlichen Ausgleich des natürlichen Wasserdargebots, damit die Wasserversorgung dem Bedarf angepaßt werden kann. Hochwasserschutz und Stadtentwässerung sind weitere Berührungsebenen von Hydrometeorologen und Planern; Beitrag 16 (H. H. JOHANNSEN) berichtet darüber. Das farbige, vielgestaltige Spektrum der Anwendungen klimatologischer Erkenntnisse bei der Lösung von Planungsaufgaben schließt mit Beitrag 17 (A. GUTSCHE); er ist Planungen des Luftverkehrs gewidmet. Aus klimatologischer Sicht geht es hier in erster Linie um die Versorgung der Anwender mit flugklimatologischen Unterlagen für Flughäfen, -strecken, und -räume; dies gilt für den Linienverkehr ebenso wie für die Allgemeine Luftfahrt.

H. G. MATTHÄUS

# Planungsfaktor Klima

## 1 Einführung

Der Raum stellt die natürliche Grundlage unserer Planung dar. In einer umweltgerechten Raumordnung müssen u.a. die Landschaftsfaktoren und ihr Wirkungsgefüge mit den menschlichen Nutzungsansprüchen in Verbindung gebracht und bewertet werden. Zu den Landschaftsfaktoren gehört neben Relief, Gestein, Boden, Wasser, Vegetation und Tierwelt auch das Klima. Die Berücksichtigung aller Faktoren in der Planung erfordert eine Analyse des Naturhaushaltes, aus der sich dann die Belastbarkeit für Nutzungsansprüche ableiten läßt, um dadurch ökologische Überlastungen zu vermeiden.

Das Klima ist daher ein ständig wirkender und durch den Menschen beeinflussbarer Umweltfaktor, auf den wir uns einzustellen haben und den wir bei unseren Überlegungen und Aktivitäten berücksichtigen müssen. Da die Umwelt durch die Raumplanung in entscheidender Weise sowohl positiv als auch negativ gestaltet werden kann, wird die Einbeziehung des Klimas, konkreter ausgedrückt der planungsrelevanten klimatologischen Erkenntnisse, in die Planungsvorhaben und -entscheidungen zu einer allmählich anwachsenden Selbstverständlichkeit. Man darf jedoch nicht übersehen, daß in der Raumplanung das Klima ein Faktor unter vielen ist, der aus politischen und anderen Gründen heute oft noch eine untergeordnete Rolle spielt. Da die Belastbarkeit des Naturraumes begrenzt ist und nach den Ergebnissen der Welt-Klima-Konferenz (1) die negativen klimatologischen Auswirkungen der heutigen anthropogenen Umweltbeeinflussung im nächsten Jahrhundert noch nicht abgeschätzt werden können, hat die Bedeutung des Planungsfaktors Klima zugenommen. Hierbei ist immer zu bedenken, daß Fehlplanungen mit nachfolgenden Veränderungen des Klimas meist nicht mehr oder nur schwer korrigierbar sind.

Bevor die vielfältigen Anwendungsbereiche klimatologischer Erkenntnisse in der Raumplanung näher vorgestellt werden, ist es zweckmäßig, zunächst auf die relevanten Aspekte der Raumplanung einzugehen und dann allgemein die sich daraus ergebenden Aufgaben und Probleme der Klimatologie zu betrachten. Vorweg sei jedoch besonders betont, daß der Bereich der angewandten Klimatologie in diesem und dem folgenden Heft nicht vollständig behandelt wird; es fehlt z.B. die Einbeziehung agrarklimatologischer Erkenntnisse in die Raumplanung; Ansätze hierzu enthält PROMET 1'75.

## 2 Bereich der Raumplanung

In diesem Abschnitt werden Definition, Ziele und räumliche Abgrenzungen der Raumplanung sowie der Planungsarten, Arbeitsverfahren und Gesetzgebung, soweit sie für die Mitarbeit des Klimatologen relevant sind, kurz behandelt.

### 2.1 Definition und Ziele

Unter Planung versteht man die systematische Vorbereitung eines vernunftgemäßen Handelns von Einzelnen oder von Gemeinschaften, um ein Ziel unter den gegebenen Verhältnissen auf die beste Weise zu erreichen (2). Voraussetzung ist hierbei, daß alle mitwirkenden Faktoren übersehbar und kontrollierbar sind.

Die mannigfachen Ziele der Planung können aus klimatologischer Sicht etwa wie folgt vereinfacht umrissen werden:

- Verbesserung der Lebensqualität durch eine klimagerechte Planung
- Verminderung oder Behebung bestehender ungünstiger klimatischer Verhältnisse
- Vermeidung ungünstiger klimatischer Auswirkungen bei der Realisierung von Planungen mit anderen Prioritäten.

### 2.2 Raumabgrenzung

Die räumliche Zuständigkeit der Planung ist eng mit der politischen Gliederung gekoppelt. Sie erstreckt sich bei uns vom gesamten Gebiet der Bundesrepublik Deutschland über die einzelnen Bundesländer und dort über unterschiedliche Regionen oder Verbände bis zu den Kommunen. Innerhalb der Kommunen folgt dann als kleinste Einheit einer Planungsebene der Standort für ein bestimmtes Vorhaben.

Es muß berücksichtigt werden, daß die Ziele und damit auch die Maßstäbe der Planungsarten in den verschiedenen Planungsebenen sehr unterschiedlich sind.

Zunehmende Bedeutung erlangt die sogenannte grenzüberschreitende Planung infolge der unterschiedlichen Zuständigkeit der Behörden in einem Raum, für den eine gemeinsame Planung aller dafür verantwortlichen Stellen erforderlich ist. Dies kann z.B. auf Teile eines Bundeslandes beschränkt sein, kann aber auch mehrere Bundesländer betreffen wie z.B. Hessen, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg im Raumordnungsverband Rhein-Neckar.

Infolge der zunehmenden Bedeutung der Umweltprobleme bei der Raumplanung wirkt sich die grenzüberschreitende Planung auch international aus. Ein Beispiel hierfür bietet die "Regio Basiliensis" mit den Ländern Frankreich, Schweiz und der Bundesrepublik Deutschland.

### 2.3 Arten der öffentlich-rechtlichen Planung

Bei der Anwendung klimatologischer Erkenntnisse in der Raumplanung dominiert die öffentlich-rechtliche Planung. Von ihren verschiedenen Arten kommt in diesem Fall die gebietsbezogene Planung, die alle Ebenen einschließt, also von der Bundesplanung bis zur Gemeindeplanung reicht, in Betracht. Ferner sind alle raumwirksamen Fachplanungen zu berücksichtigen, zu denen z.B. Grünflächenpläne, Landschaftsrahmenpläne, Verkehrspläne und Flächennutzungspläne gehören. Man kann ebenfalls die Vorsorgeplanungen einbeziehen, die eine Abgrenzung von Räumen nach Gunst oder Ungunst für spezielle Planungsvorhaben, z.B. Standortplanungen für Kraftwerke, anstreben und auch eine klimatologische Bewertung brauchen. Die mannigfachen Umweltaspekte schieben sich dabei zunehmend in den Vordergrund der Planung und auch des allgemeinen Interesses.

### 2.4 Arbeitsverfahren

Die landesplanerischen Aktivitäten basieren jeweils auf einer Analyse des Raumes, die den Zustand der raumprägenden Faktoren sowie die bereits erkennbaren Entwicklungstendenzen aufzeigt. Das Ergebnis wird im allgemei-

nen in Textform mit Tabellen, Abbildungen und Karten zusammengefaßt.

Das zu erarbeitende Landesentwicklungs- oder Landesraumordnungs-Programm soll in Ausrichtung auf das Zielkonzept unerwünschte räumliche Entwicklungen vermeiden und erwünschte deutlich aufzeigen. In den naturwissenschaftlichen Teil dieser Pläne gehören je nach der Problemstellung die klimatologischen Aspekte. Es ist darauf hinzuwirken, daß in den Fällen, in denen durch politische Zielkonzepte oder andere Prioritäten Entscheidungen getroffen werden, die einzelne Planungsfaktoren (z.B. auch das Klima) nicht berücksichtigen, das Inkaufnehmen ungünstiger Begleiterscheinungen in sekundären Bereichen der Zielplanung allgemein bekanntgegeben wird (Transparenz der Planung).

Neben den Raumordnungsplänen und -berichten der Bundesländer sind die Planungsatlanten erwähnenswert, die von der Akademie für Raumforschung und Landesplanung herausgegeben werden (Zusammenstellung in (3)).

Ansätze für die Darstellung und Interpretation von planungsrelevanten Klimaparametern sind im Planungsatlas von Nordrhein-Westfalen (4) sowie in (5) enthalten. Derartige und noch stärker ins Detail gehende Unterlagen werden in zunehmendem Maß für einzelne Regionen oder Planungsräume erstellt.

## 2.5 Gesetzgebung

Die Mitarbeit von Klimatologen im Rahmen der Landesplanung und Raumordnung setzt die Kenntnis der hierzu erlassenen Gesetze und Verordnungen voraus. Das Bundesraumordnungsgesetz (BROG) vom 08.04.1965 bildet das Rahmengesetz für die Bundesländer. Man kann den Inhalt aus klimatologischer Sicht etwa wie folgt umreißen:

- Entwicklung der allgemeinen räumlichen Struktur unter Berücksichtigung der natürlichen Gegebenheiten
- Sicherung und weitere Entwicklung von Gebieten mit gesunden Lebens- und Arbeitsbedingungen sowie Erreichen von Strukturverbesserungen
- Erhaltung, Schutz und Pflege der Landschaft (einschl. Wald) und Reinhaltung der Luft.

Für die Reinhaltung der Luft wurden das Bundesimmissionschutz-Gesetz (BImSchG) und ergänzend dazu die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) mit konkreten Bestimmungen erlassen.

Die Berücksichtigung des Klimas ist deutlich im Bundesnaturschutz-Gesetz (BuNatSchG) vom 20.12.1976 (Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege) angesprochen. Aus diesem Rahmengesetz sei hier nur § 2, Absatz 8 (Grundsätze des Naturschutzes und der Landschaftspflege) zitiert:

“Beeinträchtigungen des Klimas, insbesondere des örtlichen Klimas, sind zu vermeiden, unvermeidbare Beeinträchtigungen sind auch durch landschaftspflegerische Maßnahmen auszugleichen oder zu mindern”.

Zu erwähnen ist ferner noch das Bundesbaugesetz (BBauG), das die rechtliche Grundlage für Bauleitpläne (mit den Flächennutzungs- und Bebauungsplänen) in den Gemeinden enthält.

## 3 Bereich der angewandten Klimatologie

Bevor die speziellen Darstellungen über Gewinnung und Aufbereitung der klimatologischen Daten sowie über die Anwendungen klimatologischer Erkenntnisse gebracht werden, sind einige generelle Vorbemerkungen und Erläuterungen über den Bereich des Klimas in Relation zu dem der Raumplanung zweckmäßig.

### 3.1 Definition

Das Klima kann man vereinfacht wie folgt definieren:

Das Klima ist der langfristige Aspekt des Wetters. Die Elemente, die beim Klima betrachtet werden, sind die gleichen wie beim Wetter, d.h. Niederschlag, Lufttemperatur, Bewölkung, Strahlung, Wind usw. Der Zeitraum, der zur Darstellung des Klimas verwendet wird, sollte ausreichend lang sein, um statistisch gesicherte Maßzahlen wie Mittelwert, Häufigkeit, Extreme usw. zu geben. Das Klima wird für einen Ort, eine Landschaft oder noch größere Räume, die letztlich die gesamte Erde umfassen, dargestellt.

Derzeit gilt weltweit als Bezugszeitraum für unser Klima der Zeitraum 1931–1960.

Das Klima ist also ein abstrakter Begriff ohne eine feste Maßzahl. Es setzt sich mosaikartig aus den einzelnen Elementen Temperatur, Niederschlag usw. sowie aus den verschiedenen Wetterabläufen zusammen.

### 3.2 Klimatologische Wirkungsfaktoren

Bei den Wirkungsfaktoren, die unser Klima prägen, unterscheidet man die natürlichen und die anthropogenen Faktoren, die hier nur kurz skizziert werden (4) (5) (6).

Zu den natürlichen Faktoren gehören die Sonnenstrahlung, die Art des Untergrundes (Wasser, Festland mit Bodenart und -bedeckung) und die Oberflächengestalt (Form, Neigung, Exposition, Höhenlage). Letztere prägt im Gebirgsland die Ausbildung von Lokalklimaten.

Die Kenntnis der anthropogenen Faktoren ist für die Landesplanung wichtig, da sie zu einer Veränderung des lokalen und regionalen Klimas führen können. Hierzu gehören folgende Änderungen der Flächennutzung:

- Zunahme der Dichte der Bebauung oder Besiedlung (Stadtklima)
- Ausweisung neuer Industriestandorte (Emission von Abwärme und Luftbeimengungen)
- Schaffung von Verkehrsanlagen (Emission von Abwärme und Luftbeimengungen; Lärmquelle)
- Abholzungen, Aufforstungen, Be- und Entwässerung, Kultivierungen, Schaffung neuer Wasserflächen (Änderung des Wärmeumsatzes, Wasserhaushaltes und Windfeldes).

Die möglichen Änderungen hängen von der jeweiligen Struktur des Lokalklimas und von der Art der Nutzungsänderung ab; sie können sowohl positive als auch negative Auswirkungen haben.

Die Probleme, die sich aus der räumlichen und zeitlichen Dichte des klimatologischen Datenmaterials in bezug auf die Kartenmaßstäbe und Zeitpläne der Landesplanung ergeben, werden – soweit erforderlich – in anderen Abschnitten, u.a. in Beitrag 8 dieses Heftes, behandelt.

## Literatur

- (1) Deutscher Wetterdienst: Das Welt-Klima-Programm. Eine Dokumentation internationaler und nationaler Aktivitäten (Stand: Sommer 1979). Offenbach a.M. 1979.
- (2) Akademie für Raumforschung und Landesplanung: Handwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung (3 Bände). 2. Aufl. Hannover: Gebr. Jänecke Verlag 1970.
- (3) SCHIRMER, H.: Anwendungen klimatologischer Erkenntnisse und Grundlagen für die Raumordnung. Ein gedankliches Konzept. Abh. Geogr. Inst. Fr. Univ. Berlin, 24 (1976) S. 135–144.
- (4) SCHIRMER, H.: Klimadaten. In: Deutscher Planungsatlas, Bd. 1: Nordrhein-Westfalen. [Akad. Raumforschung u. Landesplanung] Hannover: Lfg. 7, 1976.
- (5) SCHIRMER, H.: Die klimatische Gliederung des Gebietes der Landesarbeitsgemeinschaft Hessen/Rheinland-Pfalz/Saarland. In: Beiträge zur Raumplanung in Hessen/Rheinland-Pfalz/Saarland, 3. T. Forsch. u. Sitz-Ber. Akad. Raumforschung u. Landesplanung, Bd. 121 (1978).
- (6) SCHIRMER, H.: Climatic basis for land-use planning. Proceedings of the WMO Symposium on Meteorology as related to urban and regional land-use planning [Asheville, N.C., 3–7 Nov. 1975.] WMO-No. 444 (1976).

# 2

## G. MÜLLER, Offenbach a.M. Meßnetze und Meßtechnik

### 1 Gewinnung meteorologischer Daten als Grundlage klimatologischer Arbeit

Grundlage jeder klimatologischen Arbeit, insbesondere als Basis für Planungsvorhaben, ist die Kenntnis der statistischen Häufigkeitsverteilung der Werte der einzelnen meteorologischen Parameter in einem Gebiet. Zur Gewinnung der dazu nötigen Daten dienen Netze von Meßstationen, an denen über viele Jahre hinweg regelmäßig Messungen der wesentlichen meteorologischen Parameter nach einheitlichen Richtlinien in weitgehend unveränderter Umgebung durchgeführt werden. Die beobachteten und gemessenen Werte sollen auf eine möglichst große Stationsumgebung übertragbar, d.h. "repräsentativ" sein.

Da die räumliche Variabilität der einzelnen Parameter und die bei Interpolationen zu fordernde Genauigkeit unterschiedlich sind, wird zur flächendeckenden Erfassung für jede meteorologische Größe im Prinzip eine andere Netzdichte benötigt. Um die Veränderlichkeit der Parameter zu erkennen und zu berechnen, sind jedoch lange Meßreihen nötig, so daß die Berechnung einer optimalen Dichte des Meßnetzes erst nach längerem Bestehen empirischer Meßnetze möglich ist.

### 2 Die Meßnetze im Deutschen Wetterdienst

Die Meßnetze des Deutschen Wetterdienstes sind bisher aufgrund rein empirischer Erkenntnisse entstanden und historisch gewachsen. Sie stellen einen Kompromiß aus fachlichen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten dar, d.h. der Forderung nach einem möglichst dichten Meßnetz einerseits und den Beschränkungen andererseits, die durch die Einrichtungs- und Unterhaltungskosten der Netze sowie die Verarbeitung der Datenmengen bedingt sind.

#### 2.1 Das synoptische Meßnetz

Als Basis für die Analyse des aktuellen Wettergeschehens dient im Deutschen Wetterdienst das synoptische Meßnetz; es besteht derzeit aus 81 Stationen, an denen hauptamtliche Wetterbeobachter zum Teil in stündlicher, an Flughäfen halbstündlicher Folge Beobachtungen und Messungen durchführen, die später auch für Zwecke des Klimadienstes verarbeitet werden. Der mittlere Abstand zwischen den Stationen beträgt rund 55 km, d.h. es kommt durchschnittlich eine Station auf rund 3060 km<sup>2</sup>.

#### 2.2 Das klimatologische Meßnetz

Die Lage der Stationen des synoptischen Meßnetzes ist aufgrund ihrer Ausrichtung nach synoptischen Gesichtspunkten für klimatologische Zwecke nur bedingt geeignet. Außerdem ist die Netzdichte für nahezu alle meteorologischen Parameter (außer Luftdruck) zu gering, um das Klima der Bundesrepublik Deutschland flächendeckend zu erfassen. Es besteht daher ein spezielles klimatologisches Meßnetz von derzeit 403 Klimahauptstationen, an denen überwiegend nebenamtliche Beobachter Messungen vornehmen. Zur Verdichtung des klimatologischen Meßnetzes werden auch an den hauptamtlichen synoptischen Stationen Beobachtungen zu den Klimaterminen durchgeführt.

##### 2.2.1 Das Beobachtungsprogramm

Für die Klimahauptstationen wurden nur drei Beobachtungstermine, und zwar 7.00, 14.00 und 21.00 MOZ, festgelegt. Diese Termine stellen einen Kompromiß dar aus der Forderung nach Terminen, die eine möglichst exakte Bestimmung der Tagesmittelwerte der gemessenen Größen (hauptsächlich Lufttemperatur) erlauben, und der Zumutbarkeit für die ehrenamtlichen Beobachter.

##### 2.2.2 Die meßtechnische Ausstattung

Die Standardausstattung der Klimahauptstationen umfaßt eine Wetterhütte mit Aspirationspsychrometer nach Afmann, Maximum- und Minimumthermometer sowie Thermohygrograph in 2 m Höhe über dem Erdboden, ein Minimumthermometer zur Bestimmung des Temperaturminimums in 5 cm Höhe über dem Erdboden und einen Regenschirm nach Hellmann, vorwiegend in 1 m Höhe über Grund (1). Windrichtung und -stärke werden bei vielen Stationen nur geschätzt.

Ein Barometer gehört nicht zur Standardausrüstung der Klimahauptstationen. Zahlreiche Stationen besitzen jedoch zusätzliche Meßgeräte, insbesondere registrierende Regenschreiber, Sonnenscheinautographen nach Campbell-Stokes sowie Erdbodenthermometer (1).

Zu den Messungen kommen Augenbeobachtungen des Erdbodenzustands, der Sichtweite, der Bewölkung, des Niederschlags und besonderer Wettererscheinungen.

Auch außerhalb der Klimatermine soll der nebenamtliche Klimabeobachter, soweit ihm das bei seinen sonstigen Tätigkeiten möglich ist, den Wetterablauf verfolgen und in seinem Tagebuch vermerken (2).

### 2.3 Das Niederschlagsmeßnetz

Die Meßnetze der synoptischen Stationen und Klimahauptstationen ergeben zusammen bei einem mittleren Stationsabstand von etwa 23 km eine Stationsdichte von durchschnittlich 1 Station auf 512 km<sup>2</sup>. Das reicht für meteorologische Größen, die räumlich besonders stark variieren, insbesondere für den Niederschlag, zur flächendeckenden Erfassung des klimatologischen Geschehens, wie es z.B. für Klimakarten und andere planungsrelevante Unterlagen notwendig ist, aber nicht aus.

Es besteht daher ein zusätzliches Niederschlagsmeßnetz von ca. 2500 Stationen. Das entspricht zusammen mit den Klimahauptstationen einem mittleren Stationsabstand von 9 km und einer Stationsdichte von 1 Station auf etwa 84 km<sup>2</sup>.

An diesen Stationen, deren Betreuung wie bei den nebenamtlichen Klimastationen in den Händen von freiwilligen Helfern liegt, werden nur einmal täglich morgens um 7.00 Uhr die während der letzten 24 Stunden gefallene Niederschlagsmenge gemessen sowie Schneehöhe und Erdbodenzustand festgestellt. Außerdem soll wie an den Klimastationen der Verlauf des Wetters während des Tages soweit möglich notiert werden (3).

### 2.4 Das Windmeßnetz

Für Windmessungen existiert ebenfalls ein eigenes Meßnetz aus rund 200 Stationen, das die hauptamtlichen synoptischen Stationen, einen Teil des Klimameßnetzes, aber auch Stationen, die nur den Parameter Wind messen, umfaßt. Aus den kontinuierlichen Registrierungen von Windgeschwindigkeit und Windrichtung werden dann Stundenmittelwerte und maximale Böenwerte gewonnen.

### 2.5 Das aerologische Meßnetz

Die meteorologischen Verhältnisse in der freien Atmosphäre werden an 5 aerologischen Stationen erfaßt, die zweimal täglich zu den synoptischen Hauptterminen 0.00 und 12.00 Uhr GMT Sonden zur Messung der Lufttemperatur, der relativen Feuchte, des Luftdrucks und des Windes starten. Um 6.00 und 18.00 Uhr GMT werden außerdem weitere Höhenwindmessungen durchgeführt.

### 2.6 Andere Meßnetze

Darüberhinaus unterhält der Deutsche Wetterdienst kleinere Sondermeßnetze zur Registrierung verschiedener Strahlungsmeßgrößen, ein kleinaerologisches Netz für den Smogwarndienst sowie ein Netz zur Überwachung der Radioaktivität in der Luft und im Niederschlag (4) (5).

Die Stationen der genannten Meßnetze werden zwar vom Deutschen Wetterdienst betreut, aber nicht alle von ihm unterhalten. Vor allem das Niederschlagsnetz enthält zahlreiche Privatstationen.

Außerdem erhält der Deutsche Wetterdienst meteorologische Daten von speziellen Meßnetzen anderer Institutionen, insbesondere von Geophysikalischen Beratungsdienst der Bundeswehr, von Wasserwirtschaftsämtern und Umweltschutzbehörden.

## 3 Probleme langer Meßreihen

Um gesicherte Aussagen über das Klima an einem Ort machen zu können, sind in der Regel Meßreihen über 30 Jahre hinweg notwendig. Um Klimatrends zu erfassen, werden noch weit längere Reihen benötigt. Dies bringt einige Probleme hinsichtlich der Homogenität der Messungen mit sich (s. auch Beitrag 5 in diesem Heft). Oft bereitet es schon Schwierigkeiten, eine Station über einen Zeitraum von 30 Jahren hinweg zu erhalten. Da an einer Klimastation ohne Unterbrechung jeden Tag drei Beobachtungstermine einzuhalten sind, werden an den Beobachter hinsichtlich seiner Verfügbarkeit erhebliche Anforderungen gestellt (2) (6). Deshalb kommen in der Regel nur Personen in Frage, die nicht außer Haus arbeiten. Die Einrichtung einer Klimastation an einer Dienststelle scheitert meist daran, daß diese an Feiertagen und Wochenenden sowie zu dem relativ späten Abendtermin nicht besetzt ist. Die nebenamtlichen Beobachter sind daher oft Forstleute, Landwirte, Hausmeister, Hausfrauen und Rentner – überwiegend ältere Leute. Stationsverlegungen werden meist nötig, wenn sich für einen ausscheidenden Beobachter kein direkter Nachfolger findet.

Im Durchschnitt der Jahre 1968 bis 1977 wurden jährlich rund 22 Klimahauptstationen verlegt, 12 aufgelöst und 11 neu eingerichtet. Das bedeutet, daß eine Klimahauptstation im Mittel nach 14 Jahren verlegt oder aufgelöst wird. Für Niederschlagsstationen lauten die entsprechenden mittleren Zahlen: 104 Verlegungen, 30 Auflösungen, 23 Neueinrichtungen; das ergibt eine mittlere Lebensdauer ohne Verlegung von 19 Jahren.

Auch wenn eine Station nicht verlegt werden muß, können durch Veränderungen in der Umgebung – zunehmende Besiedlung, wachsende Bäume u. ä. – die klimatologischen Bedingungen an der Station im Laufe der Zeit Änderungen unterworfen sein.

Schließlich verursachen auch Neuentwicklungen bei Meßgeräten sowie Änderungen der Beobachtungs- und Auswertemethoden Unstetigkeiten in den klimatologischen Meßreihen, die bei der statistischen Bearbeitung der Daten berücksichtigt werden müssen (s. Beitrag 5 in diesem Heft).

## 4 Sondermessungen

Für viele Fragen der angewandten Klimatologie sind die aus Standardmeßnetzen zu gewinnenden Daten nicht ausreichend. Häufig werden sehr kleinräumige Scales untersucht, die sich nur mit Sondermessungen erfassen lassen. Dies gilt insbesondere für die Begutachtung von Standorten im Zusammenhang mit der Planung von Industriebetrieben, Kraftwerken und anderen Großprojekten (s. (4) (7) und weiterführende Beiträge in diesem und im nächsten Heft).

Schon aufgrund der Notwendigkeit zu relativ raschen Beurteilungen in Gutachten ist die Dauer der Sondermessungen auf wenige Jahre beschränkt. In der Regel werden die Messungen für zwei Jahre durchgeführt. Durch den Vergleich mit nahegelegenen Stationen der Standardmeßnetze können die oft durch Besonderheiten der Witterung (z.B. besonders kalter Winter) geformten Häufigkeitsverteilungen der kurzen Meßperiode auf die Bedingungen eines längeren Zeitraums extrapoliert werden.

Um die Ausbreitung von Schadstoffen in der freien Atmosphäre begutachten zu können, besitzt der Deutsche Wetterdienst mobile Meßzüge (8). Bei ausgewählten Wetterlagen

können so die Bedingungen der unteren Troposphäre mittels kleinaerologischer Sonden und mit Hilfe von Fesselballons erkundet werden. Außerdem besteht mit dieser Ausrüstung die Möglichkeit, die horizontale Verteilung von Lufttemperatur, Luftfeuchte und Wind in geographisch gegliedertem Gelände mit Hilfe mobiler Meßstationen und durch Profilmessfahrten zu untersuchen.

## 5 Die zukünftige Entwicklung der Meßnetze

### 5.1 Automatisierung und ihre Probleme

Um die Probleme mit ehrenamtlichen Beobachtern zu umgehen, wird langfristig die Umstellung des Meßnetzes, zumindest der Klimahauptstationen, auf automatische Meßstationen angestrebt. Dabei könnte man insbesondere von den unbefriedigenden drei Meßterminen je Tag auf eine stündliche Meßfolge übergehen. Bisher konnte auf diesem Gebiet aber noch kein Durchbruch erzielt werden. Dies hat mehrere Gründe:

An erster Stelle stehen die hohen finanziellen Kosten, die mit der Einrichtung und Unterhaltung dieser automatischen Systeme verbunden sind. Die bisher vorhandenen Systeme (9) (10) erfüllen noch nicht vollständig die Anforderungen des Klimadienstes (11).

Für einige klimatologische Meßgrößen, insbesondere für die bisher vom Beobachter direkt gemachten Augenbeobachtungen (Bewölkung, Erdbodenzustand, besondere Wettererscheinungen) gibt es großenteils noch keine oder nur unbefriedigend die Beobachtungen simulierende Meßgeräte. Die Funktionssicherheit der Gesamtsysteme ist auch noch nicht ausreichend für einen Betrieb ohne regelmäßige manuelle Kontrolle.

Schließlich wäre bei mehreren Parametern die Kontinuität der Meßreihen wegen grundsätzlich neuer Meßprinzipien und damit verbundener systematischer Abweichungen der Werte von denen der bisher verwendeten Geräte gefährdet.

Die Daten der für synoptische Zwecke bereits arbeitenden 20 automatischen Wetterstationen werden, soweit möglich, auch für aktuelle klimatologische Zwecke genutzt. Im klimatologischen Meßnetz sind vorläufig zwei Referenzstationen in naturnahen Räumen im Naturschutzgebiet Lüneburger Heide und im Nationalpark Bayerischer Wald als automatische Meßstationen geplant, um von lokalen anthropogenen Effekten unbeeinflusste Klimatrends zu erfassen.

### 5.2 Untersuchung der optimalen Netzdichte

Da die meteorologischen Meßnetze bisher weitgehend historisch gewachsen sind, ist die Lage einzelner Stationen oft durch praktische Erwägungen der Verfügbarkeit von Standorten bestimmt worden. Der unterschiedlichen räumlichen Variabilität der einzelnen meteorologischen Parameter ist durch die Einrichtung spezieller Meßnetze für die erfahrungsgemäß durch kleinräumige Effekte bestimmten Größen Wind und Niederschlag Rechnung getragen worden. Da andererseits der auf NN reduzierte Luftdruck keine wesentlichen kleinräumigen Schwankungen zeigt, konnte seine Messung auf die hauptamtlichen Stationen beschränkt bleiben.

Mit einer systematischen Untersuchung der räumlichen Variabilität der einzelnen meteorologischen Größen und der für die flächendeckende Erfassung dieser Parameter notwendigen Meßnetzdichte für das Gebiet der Bundes-

republik Deutschland wurde erst vor kurzem begonnen (12) (13). Sie basiert auf Arbeiten von L. S. GANDIN (14) (15).

#### 5.2.1 Bedingungen für die Berechnung einer optimalen Meßnetzdichte

Für ein räumlich einheitliches Gebiet, in dem die Varianz der Meßwerte überall gleich groß ist und die Korrelation zwischen äquivalenten Daten zweier Meßstationen nur von ihrem Abstand abhängt, läßt sich nach (15) der Interpolationsfehler bei optimaler Interpolation nach der Formel

$$E_{\text{opt}} = 1 - \sum_{i=1}^n (P_i \cdot m_{i0})$$

bestimmen.

Hierin bedeuten:

$P_i$ : Wichtungsfaktor, mit dem die Station  $i$  in die optimale Interpolation eingeht;

$m_{i0}$ : Wert der Korrelationsfunktion  $m = f(r)$  für den Abstand  $r_{i0}$  der Station  $i$  vor dem Punkt  $o$ , für den interpoliert wird.

Für die Wichtungsfaktoren  $P_i$  gilt

$$\sum_{j=1}^n (m_{ij} \cdot P_j) + \frac{s_i^2}{D} \cdot P_i = m_{i0}; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Dabei bedeuten:

$m_{ij}$ : Wert der Korrelationsfunktion für das Punktepaar  $i, j$ ;

$s_i$ : mittlerer Meßfehler am Punkt  $i$ ;

$D$ : Varianz.

Daraus läßt sich für jede gewünschte Interpolationsgenauigkeit die dafür notwendige Dichte des Meßnetzes bestimmen.

In der Praxis sind die Forderungen der Homogenität und Isotropie allerdings höchstens annähernd erfüllt. Für orographisch gegliedertes Gelände lassen sich diese Annahmen mit großen Einschränkungen maximal für einzelne Höhenschichten aufrechterhalten.

#### 5.2.2 Korrelationen zwischen Klimastationen in Abhängigkeit von der Entfernung für verschiedene Parameter

Um das oben genannte Verfahren zur Bestimmung einer optimalen Netzdichte zu verwenden, ist die Kenntnis der Korrelationsfunktion notwendig. Daher wurden zunächst für verschiedene meteorologische Parameter Korrelationen zwischen zahlreichen Stationen des klimatologischen Meßnetzes des Deutschen Wetterdienstes getrennt für die einzelnen Monate des Jahres berechnet. Als erstes Ergebnis liegen Diagramme der Korrelationskoeffizienten in Abhängigkeit vom Abstand der Stationen vor, wobei zur Eliminierung der Auswirkung größerer Höhenunterschiede nur Stationspaare mit einer maximalen Höhendifferenz von 100 m benutzt wurden.

Als Beispiele zeigen die Abbildungen 2.1 bis 2.4 die Entfernungsabhängigkeit der Korrelation in dem für praktische Zwecke wesentlichen Abstandsbereich von 20 bis 85 km für die Parameter Tagesmittel der Lufttemperatur, Tagesmittel der relativen Luftfeuchte, tägliche Niederschlagshöhe und Tagesmittel der Windstärke in den Monaten Januar, April, Juli und Oktober. Dabei wurde für jedes Stationspaar jeweils der gesamte Zeitraum, für den Parallelmessungen vorliegen, ausgewertet. Jedoch wurden nur solche Stationspaare berücksichtigt, bei denen mindestens 100 Einzelwerte für die Berechnung der Korrelationskoeffizienten zur Verfügung standen.

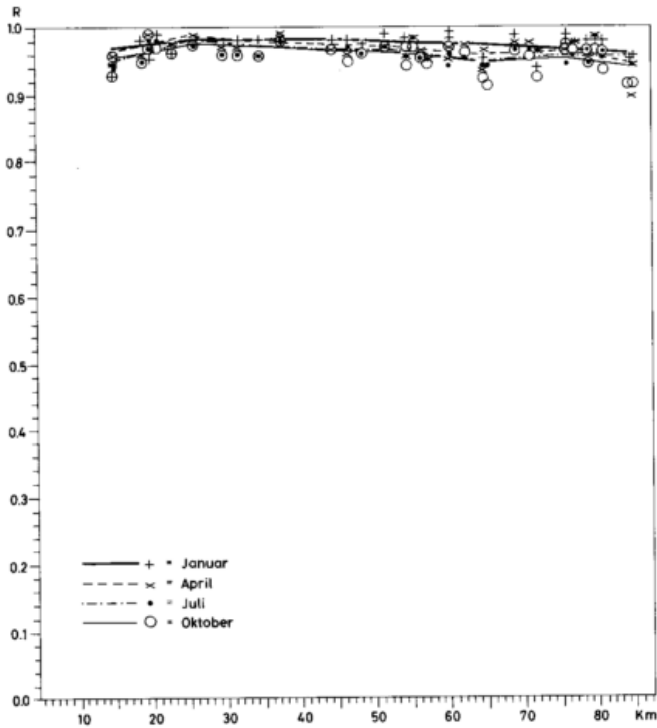


Abb. 2.1: Korrelationskoeffizient R der Tagesmitteltemperatur für Paare von Klimastationen mit einer Höhendifferenz unter 100 m in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen den Stationen für verschiedene Monate (Zeichen = Einzelwerte, Linien = Mittel über Entfernungsbereiche von 10 km)

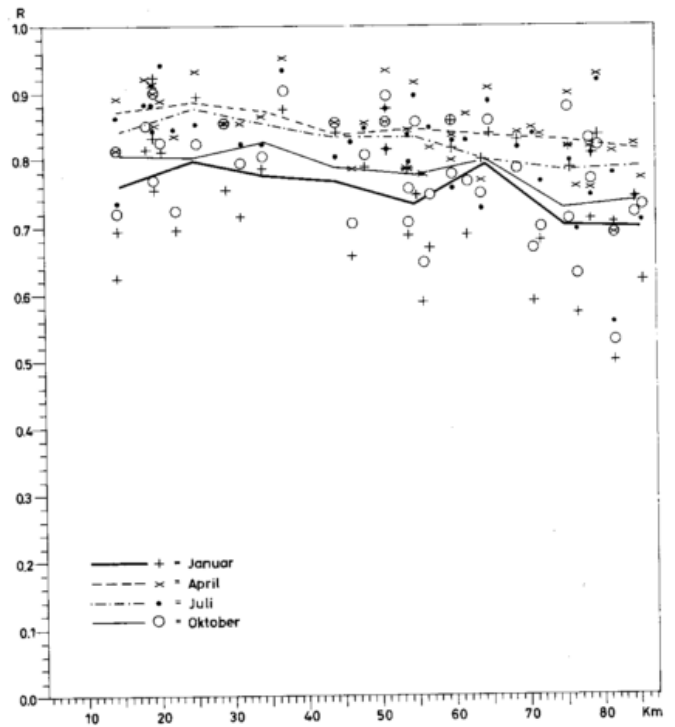


Abb. 2.2: Korrelationskoeffizient R des Tagesmittels der relativen Luftfeuchte für Paare von Klimastationen mit einer Höhendifferenz unter 100 m in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen den Stationen für verschiedene Monate (Zeichen = Einzelwerte, Linien = Mittel über Entfernungsbereiche von 10 km)

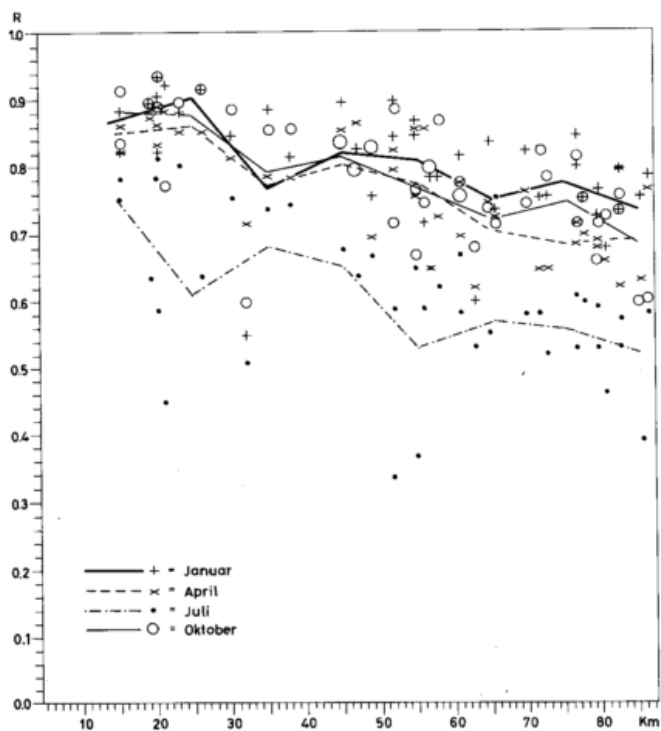


Abb. 2.3: Korrelationskoeffizient R der täglichen Niederschlagshöhe für Paare von Klimastationen mit einer Höhendifferenz unter 100 m in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen den Stationen für verschiedene Monate (Zeichen = Einzelwerte, Linien = Mittel über Entfernungsbereiche von 10 km)

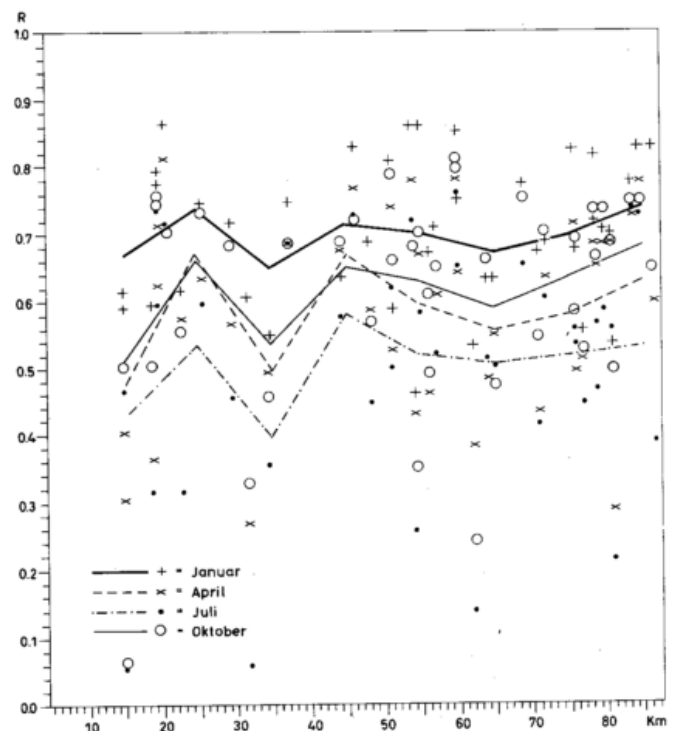


Abb. 2.4: Korrelationskoeffizient R des Tagesmittels der Windstärke für Paare von Klimastationen mit einer Höhendifferenz unter 100 m in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen den Stationen für verschiedene Monate (Zeichen = Einzelwerte, Linien = Mittel über Entfernungsbereiche von 10 km)

### 5.2.2.1 Tagesmittel der Lufttemperatur

Bei der Lufttemperatur (Abb. 2.1) zeigen sich generell sehr starke Korrelationen (alle Korrelationskoeffizienten über 0,90, meist über 0,95) ohne wesentliche Unterschiede zwischen den einzelnen Jahreszeiten. Eine Abnahme der Korrelation läßt sich in dem dargestellten Entfernungsbereich kaum erkennen. Sehr ähnliche Verhältnisse ergeben sich bei allen Temperaturparametern (Tagesminimum, -maximum, Erdbodenminimum, Werte zu einzelnen Klimaterminen) sowie bei den entsprechenden Werten des Dampfdrucks.

### 5.2.2.2 Tagesmittel der relativen Luftfeuchte

Für die aus Temperatur und Dampfdruck berechenbare relative Luftfeuchte (Abb. 2.2) ergibt sich jedoch ein deutlich anderes Bild. Die Korrelationen sind allgemein wesentlich geringer. Sie schwanken sehr stark von Stationspaar zu Stationspaar.

In den Herbst- und Wintermonaten Oktober und Januar sind die Korrelationen erheblich niedriger als in den Frühlings- und Sommermonaten April und Juli. Dies könnte auf lokale Feuchteanreicherungen unter niedrigen Inversionen im Winterhalbjahr zurückzuführen sein.

Weiterhin läßt sich ab einer Entfernung von etwa 35 km eine Abnahme der Korrelation mit zunehmender Entfernung zwischen den Stationen besonders in den Herbst- und Wintermonaten erkennen.

### 5.2.2.3 Tägliche Niederschlagshöhe

Bei der täglichen Niederschlagshöhe (Abb. 2.3) findet man im Mittel etwas geringere Korrelationen als bei der relativen Feuchte. Die jahreszeitlichen Unterschiede sind hier gerade umgekehrt. In den Herbst- und Wintermonaten sind die Korrelationen verhältnismäßig stark; im Sommer sind sie ganz besonders gering. Hier wirkt sich offensichtlich die räumlich sehr starke Variation sommerlicher Konvektionsniederschläge aus.

### 5.2.2.4 Tagesmittel der Windstärke

Beim Tagesmittel der Windstärke (Abb. 2.4) zeigt sich ein sehr diffuses Bild. Die Korrelationen sind allgemein recht gering. Es läßt sich keinerlei Beziehung zwischen der Stärke der Korrelation zweier Stationen und deren Abstand feststellen. Schon bei relativ geringem Abstand (15 km) kann es vorkommen, daß praktisch keine Korrelation zwischen den beobachteten Werten auftritt.

Eine wesentliche Ursache für die geringen Korrelationen dürfte in der ungenauen Schätzung der Windstärke zu suchen sein.

Im Winter sind die Korrelationen noch relativ hoch. Besonders niedrige Korrelationen verzeichnen überwiegend Sommer und Herbst. Dies dürfte auf die Ausbildung lokaler Windsysteme bei den in diesem Teil des Jahres gehäuft auftretenden gradientschwachen Wetterlagen zurückzuführen sein.

### 5.2.3 Schlußfolgerungen

Bei allen Parametern müssen die Korrelationen zwischen den Stationen mit wachsendem Abstand schließlich gegen Null gehen. Eine deutliche Abnahme der Korrelation der

untersuchten Parameter findet sich jedoch erst ab einem Abstand von rund 100 km, und auch bei den größten im Klimameßnetz des Deutschen Wetterdienstes auftretenden Abständen von rund 700 km sind meist noch deutliche Korrelationen vorhanden. Im Bereich der Netzdichte der Klimahauptstationen und der Niederschlagsmeßstellen zeigt sich hingegen meist eine Sättigung, allerdings überwiegend auf einem Niveau relativ geringer Korrelationen. Der große Rest an räumlicher Varianz wird offensichtlich durch so kleinräumige Effekte verursacht, daß das Meßnetz gar nicht dicht genug sein kann. Nur bei der Lufttemperatur zeigt sich bereits ab einem Stationsabstand von 80 km eine Sättigung der Korrelation auf sehr hohem Niveau. Hier wäre im Prinzip eine Verdünnung des bestehenden Meßnetzes zu vertreten, jedoch werden die Temperaturwerte zur Bestimmung der räumlich weit stärker schwankenden relativen Luftfeuchte benötigt. Ferner muß die Zahl der Stationen aufgrund der großen Fluktuation im Netz generell größer sein als sie nach der optimalen Netzdichte zu fordern wäre.

Andererseits stellt die Messung der Lufttemperatur nur einen kleinen Teil des Beobachtungsprogramms einer Klimahauptstation dar.

Wegen der allgemein großen Streuung der Korrelationswerte kann von einer Korrelationsfunktion kaum gesprochen werden. Offensichtlich ist die Forderung nach Isotropie des Zusammenhangs der Meßwerte benachbarter Stationen innerhalb der Bundesrepublik Deutschland nicht gegeben. Weitere Untersuchungen mit umfangreichem Datenmaterial sollen zeigen, ob zumindest in Teilgebieten, z.B. dem norddeutschen Flachland, eine optimale Meßnetzdichte für einzelne meteorologische Größen bestimmt werden kann.

### Literatur

- (1) Deutscher Wetterdienst: Instrumentenkunde. 2. Aufl. Leitfäden f. d. Ausbildung Nr. 6 (1973).
- (2) Deutscher Wetterdienst: Anleitung für die Beobachter an den Klimahauptstationen des Deutschen Wetterdienstes. 8. Aufl. Offenbach a.M. 1980.
- (3) Deutscher Wetterdienst: Anleitung für die Beobachter an den Niederschlagsstationen des Deutschen Wetterdienstes. Offenbach a.M. 1966.
- (4) JURKSCH, G.: Die Verwendung von Klimadaten für technische Probleme. Informationen f. d. Fachdienst 4/76.
- (5) KIESEWETTER, W.: Radioaktivitätsüberwachung der Atmosphäre. Promet 1'77.
- (6) MATTHÄUS, H. G.: Die ehrenamtliche Tätigkeit von freiwilligen Helfern für den Deutschen Wetterdienst. Informationen f. d. Fachdienst 2/77.
- (7) GRZIWA, J.: Kleinsonden für den Umweltschutz. Informationen f. d. Fachdienst 1/75.
- (8) BARTELS, H.; SCHARRER, H.: Meßzug Umweltschutz. Informationen f. d. Fachdienst 3/74.
- (9) HINZPETER, M.: Die Automatische Wetterstation. Promet 3'73.

- (10) LANG, A.:  
Automatische Wetterstationen — ein Weg zur Ökonomisierung und Verdichtung der meteorologischen Beobachtungsnetze. Informationen f. d. Fachdienst 1/74.
- (11) MÜLLER, G.:  
Untersuchung der Messungen einer automatischen Wetterstation im Vergleich mit den konventionellen Klima-beobachtungen an der Wetterstation Kleiner Feldberg/Taunus. DWD-interne Information, Offenbach a.M. 1977.
- (12) LUCZAK, H.; GRIMM-LUCZAK, E.:  
Zwischenbericht zum Forschungsprojekt des Deutschen Wetterdienstes zur Bestimmung der optimalen räumlichen Dichte in klimatologischen Meßnetzen. Darmstadt 1979 (unveröffentlicht).
- (13) MÜLLER, G.:  
Erste Ergebnisse von Untersuchungen zur optimalen Dichte klimatologischer Meßnetze. DWD-interne Information, Offenbach a.M. 1979.
- (14) GANDIN, L. S.:  
Objective analysis of meteorological fields. Jerusalem 1965 (Orig. russ., 1963).
- (15) GANDIN, L. S.:  
The planning of meteorological station networks. WMO-No. 265 (1970) = WMO Techn. Note No. 111.

# 3

M. GOESCH, Offenbach a.M.

## EDV im Klimadienst

### 1 Einleitung

Voraussetzung für die Gewinnung und Anwendung klimatologischer Erkenntnisse und Arbeitsmethoden für Planungszwecke ist das Grundlagenmaterial. Hierzu benötigt man Informationen über Wetter und Witterung aus dem zu bearbeitenden Gebiet.

Dieses Datenmaterial soll zuverlässig sein, einen möglichst langen Zeitraum überdecken und eine ausreichende zeitliche und räumliche Auflösung der Verteilungen ermöglichen; letztere Forderung ist durch die Netzdichte vorgegeben (s. Beitrag 2 in diesem Heft).

Da es sich hierbei um viele meteorologische Parameter handelt, die an einer großen Zahl von Meßstationen in z.T. unterschiedlicher Zeitfolge gewonnen werden, stellt sich die Aufgabe der Bearbeitung eines sehr umfangreichen, z.T. auch heterogenen Datenmaterials. Diese Aufgabe ist ohne Einsatz der Elektronischen Datenverarbeitung (EDV) nicht rationell und effizient zu bewältigen. Hierzu müssen die Daten zunächst EDV-gerecht aufbereitet werden.

### 2 Anwendungsbereiche der EDV im Klimadienst

Einen Überblick über die Bedeutung der Datenverarbeitung im Klimadienst gibt die folgende Darstellung des Datenflusses von der Gewinnung bis zur anwendungsbezogenen Auswertung der Daten:

#### Datengewinnung und -übermittlung

- Beobachtung, Messung, Registrierung (mit oder ohne automatische Meßwerterfassung) an den Meßstationen;
- Eintragung (manuelle) in Belege durch den Beobachter oder Zwischenspeicherung (manuell oder automatisch) auf Datenträger;
- Versand der Belege an die weiterverarbeitende Stelle oder manuelle oder automatische Eingabe der Daten in Übertragungsmedien (Datenleitung) zur weiterverarbeitenden Stelle.

#### Aufbereitung und Archivierung

- Datenerfassung (Übertragung manuell oder automatisch) auf ein Zwischenspeichermedium (Lochkarte oder direkt Magnetplatte);
- Qualitätskontrolle (manuell oder automatisch)
  - formale Prüfung
  - fachliche Prüfung
  - Korrektur;
- Archivierung auf Massenspeichern (Platte, Band) in einer für die Weiterverarbeitung geeigneten Form;

#### Anwendungsbezogene Auswertung

- Bearbeitung der Daten mittels klimatologisch-statistischer Verfahren;
- Ausgabe der Ergebnisse
  - in Form von Tabellen, räumlichen Darstellungen in Karten, graphischen Darstellungen,
  - auf Datenträger.

Man kann zwei Hauptgebiete der EDV-Anwendung unterscheiden:

- Die routinemäßige Anwendung, um Grundlagenmaterial auf EDV-kompatiblen Datenträgern zu erstellen.  
Dabei wird eine möglichst rationelle Organisation der für die EDV gespeicherten Daten im Hinblick auf Zugriff zu den Daten, Korrekturmöglichkeit, Erweiterung und Ergänzung angestrebt.
- Die statistische Auswertung gespeicherter Daten nach den Erfordernissen der angewandten Klimatologie, z.B. auf dem Gebiet der klimarelevanten Planungsfragen (näheres hierzu in Absch. 2.2).

### 2.1 EDV für Routinezwecke

#### 2.1.1 Aufbereitung der Daten

Gewinnung und Übermittlung der Daten geschehen im Klimadienst des Deutschen Wetterdienstes z.Zt. noch weitgehend manuell im Gegensatz zum synoptischen Dienst,

wo bereits teilweise Automation herrscht. Im Zuge der angestrebten Vereinheitlichung der Meßnetze, der Meßverfahren und des Ausbaus der Übertragungsmedien soll auch dieser Bereich schrittweise automatisiert werden.

Die Aufbereitung von der fachlichen Prüfung bis zur Archivierung der Daten wird jedoch bereits weitgehend mittels EDV durchgeführt, aus organisatorischen Gründen allerdings nicht sofort, sondern mit 4- bis 6-wöchiger Verzögerung.

Gleichwohl sind auch hier, z.B. bei der Prüfung und Korrektur der Daten, prinzipielle Grenzen der Automatisierbarkeit erkennbar (s. auch Beitrag 4 in diesem Heft).

Zur Zeit werden folgende Datenkollektive aktuell monatlich aufbereitet, d.h. erfaßt, geprüft, korrigiert und archiviert:

- a) Klima: Der gesamte Inhalt der Klimatabellen, soweit digitalisierbar;
- b) Niederschlag: Der gesamte Inhalt der Niederschlagstabellen, soweit digitalisierbar;
- c) Wind: Stündliche Mittelwerte von Windrichtung und -geschwindigkeit, einschl. der maximalen Windspitze pro Tag, aus Registrierstreifenbewertungen.

Am Ende der monatlichen Aufbereitung werden folgende EDV-Produkte für das Berichtswesen ausgegeben: Klima-, Niederschlags- und Windtabellen sowie Tabellen und Graphiken für die Klima-Eilinformation und den Monatlichen Witterungsbericht.

Die schrittweise Aufnahme weiterer Kollektive in die aktuelle Aufbereitung ist vorgesehen.

Im wesentlichen sind dies:

- a) Die synoptischen Daten, die zwar aktuell auf der synoptischen Datenbank gespeichert werden, allerdings nicht in einer für klimatologische Auswertungen zweckmäßigen Form;
- b) Die aerologischen Daten (TEMPS und Höhenwinde), Speicherung z.Zt. wie bei a);
- c) Stündliche Werte von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte;
- d) Erdbodentemperatur;
- e) Stündliche Werte der Sonnenscheindauer.

Von diesen Kollektiven liegen bereits längere Zeiträume vor, allerdings nicht bis zur Gegenwart.

Da der Einsatz der EDV (mit leistungsfähigen Großrechnern, Datenerfassung und -archivierung direkt auf Massenspeicher mit hoher Speicherkapazität und kurzer Zugriffszeit) noch keine lange Vergangenheit hat, existieren noch einige Datenkollektive, die ihrer EDV-gerechten Aufbereitung harren. Diese Daten stellen ein wertvolles Material dar, auf das nicht verzichtet werden kann. Um lange, ununterbrochene Reihen zu erhalten, muß daher parallel zu der angestrebten restlosen aktuellen Erfassung des laufend anfallenden Datenmaterials auch das "historische" Material aufbereitet und ggf. an bestehende Reihen angeschlossen werden.

### 2.1.2 Herstellung langer Reihen

Aufgrund der Art der am häufigsten verlangten klimatologischen Auswertungen — meist Statistiken der meteorologischen Elemente einer Station eines hinreichend langen

Zeitraums — benötigt man lange Reihen einzelner oder mehrerer meteorologischer Parameter für jede Station. Daher sind die Daten im Klimadienst so archiviert, daß alle Meßwerte und Beobachtungen (Einzelelemente oder Datensätze) des gesamten Zeitraums von einer Station hintereinander in einer Datei stehen, jedoch getrennt nach Kollektiven.

Diese Speicherungsart gestattet es, mit wenig Eingabeaufwand Statistiken einer sehr langen Zeitreihe einer Station zu erstellen.

Sinnvoll wäre die Errichtung einer *klimatologischen Datenbank* (im Gegensatz zum z.Z. existierenden umfangreichen Magnetbandarchiv mit ausschließlich sequentieller Datenspeicherung), die alle meteorologischen Grunddaten sowie bestimmte abgeleitete Größen, wie z.B. Monatswerte enthielte. Damit wäre eine direkte und schnelle Abrufmöglichkeit der dort bereitgestellten Daten für alle Benutzer möglich.

Dies ist z.Zt. allerdings angesichts des großen Umfangs des Datenarchivs und mangels technischer Voraussetzungen nicht realisierbar.

### 2.1.3 Vielfalt der Datenkollektive

Die geschichtliche Entwicklung der Stationsnetze und die Anforderungen, die an die Netze gestellt werden (möglichst lückenlose Erfassung des Wetterablaufs durch Wahrnehmung von 3 Klimaterminen nicht ausreichend gewährleistet, daher Einsatz von automatischen Registriergeräten) führte zwangsweise zu einer Vielfalt von verschiedenen Datenkollektiven (s. auch Beitrag 2 in diesem Heft). Im Klimadienst des Deutschen Wetterdienstes werden z.Zt. acht sehr umfangreiche und weitere kleinere Datenkollektive unterhalten.

Sie unterscheiden sich inhaltlich erheblich voneinander. So besteht z.B. das Kollektiv KLIMA aus Datensätzen, die jeweils die gesamten Beobachtungsdaten und Meßwerte aller 3 Klimatermine eines Tages an einer Station enthalten.

Das Kollektiv WIND enthält dagegen in einem Datensatz jeweils die 24 Stundenmittelwerte von Windrichtung und -geschwindigkeit eines Tages an einer Station.

Diese Vielfalt der Kollektive unterschiedlichen Dateninhaltes führt wiederum zu einer Vielzahl unterschiedlicher Satzformate und wirkt erschwerend bei der Datenaufbereitung, Archivverwaltung und Auswertung, da für gleichartige Bearbeitungen der Daten verschiedener Kollektive unterschiedliche Programme notwendig sind.

Nur wenn die Meßnetze vereinheitlicht werden, ist eine Abhilfe dieser Schwierigkeiten zu erwarten (s. auch Beitrag 2 in diesem Heft).

Aus der Sicht der Datenverarbeitung sollte Einheitlichkeit angestrebt werden in bezug auf

- Art und Auswahl der gewonnenen Parameter
  - Meßmethodik
  - Termine, Zeitfolge
  - Datenübermittlung
  - Meßgenauigkeit, Dimensionen
- (s. auch Beitrag 2 in diesem Heft).

Bis zum Erreichen dieses Zustands kann man nur durch interne Maßnahmen (Herstellung formaler Gemeinsamkeiten in den Datensätzen) eine gewisse Erleichterung schaf-

fen. Hierzu ist eine große Anzahl von Hilfsprogrammen nötig, mit denen die unterschiedlichen Dateiorganisationen kompatibel gemacht werden. Entwicklung und Pflege dieser Programme sind aufwendig.

Die Steuerungsdateien für den Ablauf der Routineprogramme im Klimadienst des Deutschen Wetterdienstes sind auf Datenträger gespeicherte sogenannte "Stationslexika". Diese Lexika enthalten Informationen über die Station selbst, wie z.B. die Stationskennziffer und Angaben zur geographischen Lage und Instrumentierung sowie Parameter, die zum Ablauf bestimmter Programmkomplexe notwendig sind. Daneben vermitteln die Stationslexika einen Überblick über den Zeitraum, aus dem Daten gespeichert sind sowie über die fachliche Prüfung, die Lücken im Datenbestand und über das Beobachtungsprogramm der Stationen.

Die für die Lexika notwendigen Informationen werden von der zentralen Netzverwaltung bezogen, die über die o.g. Angaben hinaus Information z.B. zur Instrumentierung, zur Stationsgeschichte und für die Berechnung der Beobachterentschädigung (per EDV) in Form von Stationsakten, -kartei und -karten bereithält.

Da diese Daten einer EDV-Bearbeitung noch nicht zugänglich sind, ist die Erstellung eines standardisierten Stationskataloges auf Datenträger geplant, der die o.a. Informationen weitgehend wiedergibt.

Schwierige Probleme verursacht die Fluktuation der Stationen (Verlegungen, Auflösungen, Neueinrichtungen). Sie macht nicht nur aufwendige Änderungen der Stationslexika erforderlich, sondern schafft auch klimatologische Probleme. Es muß jeweils untersucht und entschieden werden, inwieweit die betreffende Station noch für die Umgebung repräsentativ ist und die gesamte Reihe noch als homogen betrachtet werden kann sowie was andernfalls zu geschehen hat (s. hierzu Beitrag 5 in diesem Heft).

## 2.2 Statistische Auswertung für Zwecke der angewandten Klimatologie

Infolge der Zunahme der Bedeutung der angewandten Klimatologie haben sich die Anforderungen an das klimatologische Grundlagenmaterial gewandelt. Lag früher das Hauptgewicht auf der Nachfrage nach Mittelwerten, so werden zunehmend komplexere statistische Auswertungen verlangt.

Zur Zeit liegt der Schwerpunkt auf Häufigkeitsverteilungen aller Art:

- a) Häufigkeitsverteilungen einzelner Parameter, z.B. der Tagesmitteltemperatur in 1-Grad-Celsius-Stufen pro Monat, Jahreszeit oder Jahr;
- b) Häufigkeitsverteilungen der Kombination zweier Parameter (zweidimensionale Häufigkeitsverteilungen, auch Korrelationstabellen genannt), z.B. Windrichtung mit -geschwindigkeit bzw. mit Windstärke, auch Stärkewindrose genannt;
- c) drei- und mehrdimensionale Häufigkeitsverteilungen, z.B. die Verteilung von Windrichtung und -geschwindigkeit bei Niederschlag;

- d) Häufigkeitsverteilungen abgeleiteter Größen, z.B. der Ausbreitungsklassen;
- e) Häufigkeitsverteilungen für die Überschreitung bestimmter Schwellenwerte, z.B. einer bestimmten Niederschlagsintensität;
- f) Häufigkeitsverteilungen der Andauer bestimmter Zustände, z.B. einer Feuchttemperatur von mindestens 18°C.

Die obengenannten Auswertungen werden in der Regel maschinell in Form von Tabellen ausgegeben oder geplotteten Grafiken.

Vereinzelt tauchen Fragen nach verschiedenen statistischen Kenngrößen auf, die ebenfalls mittels EDV beantwortet werden. Im übrigen haben sich bisher modernere Verfahren der urteilenden Statistik kaum durchgesetzt, da sie sich auf das im Klimadienst vorhandene Datenmaterial und die anliegenden Probleme selten erfolgreich anwenden lassen.

Neuerdings erfordert ein anderer Arbeitsbereich der angewandten Klimatologie EDV-Auswertungen umfangreicher Art: Die Herstellung von *Klimakarten* (s. hierzu auch Beitrag 8 in diesem Heft).

Stellte man früher überwiegend die räumlichen Verteilungen einzelner, aus Messungen direkt gewonnener Größen wie z.B. der Monatsmitteltemperatur dar, die durchaus informativen Wert haben, so werden heute mehr und mehr Kartendarstellungen komplexer Größen verlangt, die für bestimmte Anwenderfragen relevant sind und die durch Kombination verschiedener Grundgrößen entstehen.

Hierzu gehören die in Entwicklung begriffenen, sogenannten *synthetischen Klimakarten* (siehe Beitrag 8 in diesem Heft). Sie erfordern diverse statistische Vorstudien und umfangreiche Berechnungen der synthetischen Größen und ihrer räumlichen Verteilung. Der Einsatz der EDV ist hierbei unumgänglich.

In jüngster Zeit gewinnen meteorologische *Modellrechnungen* auch in der Klimatologie zunehmend an Bedeutung, z.B. zur Ausbreitung von Kühlturmschwaden (näheres hierzu s. Beitrag 10 im nächsten Heft). Ohne EDV wären diese Aufgaben nicht zu bewältigen.

## 3 Schlußbemerkung

Grundsatz jeder EDV-Anwendung sollte die Ausnutzung der unumstrittenen Vorteile des Computers, nämlich Schnelligkeit, Zuverlässigkeit und Einheitlichkeit in der Ausführung bestimmter Anweisungen und in der Anwendung vorgegebener Regeln sein.

Die EDV sollte aber nur dort eingesetzt werden, wo durch sie Rationalisierungseffekte erzielt werden können.

Dabei beginnt die Aufgabe des Klimatologen nicht erst nach der EDV-Anwendung, also bei der Interpretation der EDV-Ergebnisse, sondern bereits bei der Planung des fachlich sinnvollen Einsatzes der EDV, speziell bei der Konzeption der Programme, die nicht dem Programmierer allein überlassen werden kann, sondern durch fundierte Problemanalyse vorzubereiten ist. Darüber hinaus sollten die Erfordernisse der EDV bereits bei der Netzplanung und der Festsetzung der Beobachtungsprogramme für die Stationen berücksichtigt werden.

### 1 Allgemeines

Jede zu irgendeinem Zeitpunkt  $t$  durchgeführte Messung oder Beobachtung eines meteorologischen Parameters  $\Psi$  entspricht nur näherungsweise dem wahren Wert  $\Psi_0$ , der gemessenen Größe, es gilt also:

$$\Psi = \Psi_0 + \Delta\Psi \quad [1]$$

Der Meß- oder Beobachtungsfehler  $\Delta\Psi$  ist zum einen auf die Meßungenauigkeit  $\Psi'$ , bedingt durch Wechselwirkungen zwischen der Atmosphäre und dem Meßinstrument, zum andern auf durchaus vermeidbare, teilweise durch das Meßinstrument, teilweise durch den Beobachter verursachte Meßfehler zurückzuführen.

Der Meßfehler  $\Delta\Psi$  läßt sich daher als Summe von folgenden Einzelfehlern darstellen:

$$\Delta\Psi = \Psi' + \Psi'_s + \Psi'_z \quad [2]$$

mit

$\Psi'$  Meßungenauigkeit,

$\Psi'_s$  systematischer Meßfehler,

$\Psi'_z$  zufälliger Meßfehler.

Für die Meßungenauigkeit  $\Psi'$  gilt mit hinreichender Genauigkeit

$$\int_{t=0}^{\infty} \Psi'(t) dt = 0 \quad [3]$$

Bei der Interpretation von Meß- und Beobachtungsreihen wirkt sie sich zwar nicht in den Mittelwerten aus, sie ist jedoch bei der Betrachtung von Einzelwerten in Rechnung zu stellen. Anders als beim systematischen und zufälligen Fehler kann man dieser Meßungenauigkeit durch Fehler-routinen – sog. Qualitätskontrollprogramme – nicht beikommen.

Der systematische Fehler  $\Psi'_s$  wirkt bei annähernd konstantem Betrag stets in gleicher Richtung, häufig gilt sogar:

$$\frac{d\Psi'_s}{dt} = 0 \quad [4]$$

Aus dieser Quasikonstanz folgt, daß sich beispielsweise der Mittelwert der Meßreihe oder die Lage von Maximum und Minimum von Häufigkeitsverteilungen um einen konstanten Betrag gegenüber dem wahren Wert verschieben, Streuung, Schiefe bzw. Form der Häufigkeitsverteilung jedoch erhalten bleiben.

Der zufällige Fehler  $\Psi'_z$  wirkt dagegen, ebenso wie die Meßungenauigkeit  $\Psi'$ , ohne Systematik auf den Parameter  $\Psi$  ein; er tritt jedoch, im Gegensatz zur Meßungenauigkeit  $\Psi'$ , nicht ständig auf. Seine Größenordnung ist, ebenso wie seine Auswirkung, kaum abschätzbar. Er verfälscht daher die typischen Merkmale der Messung bzw. der Beobachtung. Dadurch wird die Aussagekraft von Meßreihen erheblich beeinträchtigt; in extremen Fällen können sogar falsche Schlußfolgerungen gezogen werden.

### 2 Aktuelle und nachträgliche Datenprüfung

Um den Fehler in klimatologischen Daten so gering wie möglich zu halten, werden in den verschiedenen Verarbeitungsstadien Prüfungen durchgeführt. Diese schließen Kon-

trollmessungen ebenso ein wie zusätzliche Geräteeichung oder die statistische Analyse von Meßreihen. Zweckmäßigerweise teilt man die Prüfungen je nach ihrem zeitlichen Wirksamwerden in zwei Kategorien ein, nämlich in Real-Time und Non-Real-Time-Kontrollen. Kontrollen, die aktuell, d.h. bis zu einem Zeitraum von maximal 24 Stunden nach der Messung bzw. der Beobachtung durchgeführt werden, sind der Real-Time-Kontrolle zuzuteilen, alle anderen der Non-Real-Time-Kontrolle.

Vor Einführung eines bestimmten Kontrollverfahrens muß erst Klarheit darüber herrschen, welchen Fehlerarten auf welche Weise beizukommen ist. Wie bereits eingangs erwähnt, ist die Meßungenauigkeit  $\Psi'$  weder durch Fehler-routinen zu entdecken, noch durch eine geeignete Meßapparatur zu vermeiden. Anders dagegen verhält es sich sowohl mit den systematischen als auch mit den zufälligen Fehlern.

*Systematische Fehler* sind nur durch Non-Real-Time-Kontrollen zu entdecken, da sie sich durch Veränderungen der statistischen Kenngrößen einer Meßreihe über längere Zeiträume hinweg erkennen lassen, so daß zu ihrer Entdeckung entsprechendes Datenmaterial zur Verfügung stehen muß. Systematische Fehler sind häufig eine Folge von Stationsverlegungen oder von Veränderungen der Meßmethodik, Ereignisse, die auf Grund des Bestrebens, Meßreihen über einen möglichst langen, zusammenhängenden Zeitraum zu erhalten, nie unterbleiben können. Der Fehler wirkt sich in der Regel nur selten über den gesamten Zeitraum aus, vielmehr wird er in kürzeren Zeitabschnitten in Erscheinung treten. Das Entdecken dieser systematischen Verfälschung von meteorologischen Parametern bleibt Analysen der Zeitreihen, insbesondere Homogenitätsprüfungen (s. Beitrag 5 in diesem Heft) vorbehalten.

*Zufällige Fehler* entstehen in allen Phasen des Datenflusses, angefangen mit der Messung, über die Datenübermittlung bis hin zur Datenarchivierung. Die gefährdeten Bereiche sind insbesondere die Datengewinnung und die Datenaufbereitung. Hier setzt am zweckmäßigsten die Fehlerprüfung ein, sowohl als Real-Time- als auch als Non-Real-Time-Kontrolle. Die Real-Time-Kontrolle kann im Klimadienst nur vom Beobachter, beispielsweise durch Kontrollmessungen, durchgeführt werden, die Non-Real-Time-Kontrolle dagegen zentral, z.B. mit Hilfe von Prüfprogrammen.

### 3 Prüfmethodik

Die Kontrolle von Meßwerten erfolgt unter dem Gesichtspunkt von "Einheitlichkeit und Wiederholbarkeit der Prüfung". Absolut gewährleistet werden kann dies nur durch eine *maschinelle automatische Datenprüfung*. Bei dieser Art der Prüfung werden objektive Kriterien benutzt, die durch den physikalischen und statistischen Zusammenhang der Daten sowie durch Schlüssel- und Auswertvorschriften vorgegeben sind. Dabei hängt die Qualität der Prüfkriterien – und damit der Datenprüfung – stark von der Wechselwirkung der einzelnen Parameter untereinander, von der zeitlichen Aufeinanderfolge und von der räumlichen Verteilung der Parameter ab.

Die automatische Datenprüfung nutzt zunächst die Redundanzen einer Meldung, d.h. es wird die Widerspruchsfreiheit der einzelnen Parameter untereinander – die sog. innere Konsistenz – geprüft. Einen Schritt weiter geht die Prüfung auf zeitliche Konsistenz, bei der die Widerspruchsfreiheit mehrerer, zeitlich aufeinanderfolgender Meldungen zur Fehlererkennung genutzt wird. Eine zusätzliche Verbesserung der Prüfmethodik erzielt die Prüfung auf räumliche Konsistenz, welche die räumliche Verteilung der Parameter zur Fehlerbetrachtung verwendet, ein z.B. bei der Analyse von Wetterkarten täglich praktiziertes Verfahren.

Unabhängig von der Methode der Datenprüfung können die Prüfkriterien wie folgt angegeben werden

$$|\Psi - \Psi_E| \leq \epsilon \quad [5]$$

mit

$\Psi$  Meßwert,

$\Psi_E$  für  $\Psi$  erwarteter Wert,

$\epsilon$  für  $\Psi$  zulässiger Toleranzwert.

Eine Verletzung der Ungleichung [5] stellt nicht notwendigerweise einen Fehler dar – dies trifft nur für formale Verstöße zu – vielmehr handelt es sich bei dem zu überprüfenden Wert  $\Psi$  zunächst nur um einen angezweifelte Wert. Die Ungleichung [5] macht ferner deutlich, daß systematische Fehler unentdeckt bleiben, da sich der Fehler in gleichem Maße auf den Meßwert  $\Psi$  wie auf den zu erwartenden Wert  $\Psi_E$  auswirkt, und zufällige Fehler nur dann gefunden werden, wenn die zulässige Toleranz überschritten wird. Dies bedeutet, daß selbst geprüfte Daten fehlerbehaftet sein können, die falschen Werte allerdings als meteorologisch sinnvoll betrachtet werden.

#### 4 Testverfahren

Das Auffinden zweifelhafter Werte hängt von der Wahl des Toleranzwertes  $\epsilon$  ab. Dieser wird für jeden Parameter  $\Psi$  je nach Art des anzuwendenden Testverfahrens festgelegt.

Das einfachste Verfahren, der sog. *absolute Test*, beruht auf dem Prinzip der Ausschließlichkeit. Das bedeutet, daß der gemessene Wert immer innerhalb eines bestimmten Wertevorrates zu liegen hat oder, anders ausgedrückt, daß die Wahrscheinlichkeit für einen Wert  $\Psi$  außerhalb des

vorgegebenen Wertebereichs gleich Null ist. Der Wertevorrat kann dabei räumlich und jahreszeitlich variieren, bleibt aber unabhängig von anderen, zum gleichen Zeitpunkt gemessenen Parametern  $\tilde{\Psi}$ . Eine Prüfung der Daten nur mit diesem Verfahren würde ihre Qualität lediglich geringfügig steigern, da innerhalb des zum Teil großen Wertebereichs jeder Wert zwar gleich berechtigt, nicht aber gleich wahrscheinlich ist.

Beim *relativen Test* hängt die Toleranzgrenze  $\epsilon$  außer von Ort und Jahreszeit auch von der Wechselwirkung der meteorologischen Elemente untereinander, von vorangegangenen Messungen bzw. Beobachtungen und eventuell vom Wettergeschehen an benachbarten Stationen ab. Im Vergleich zum absoluten Test werden die Kriterien schärfer formuliert. Somit sind diejenigen Meßwerte, die die Ungleichung [5] verletzen, als zweifelhaft und nicht als falsch zu bezeichnen.

Ebenfalls nur Hinweise auf zweifelhafte Werte gibt der *physikalisch-statistische Test*, bei dem die Toleranzgrenze  $\epsilon$  gegenüber dem absoluten Test durch physikalische oder empirische Beziehungen präzisiert wird.

#### 5 Schlußfolgerungen

Die automatische Kontrolle klimatologischer Daten bedeutet eine Objektivierung des einzelnen Prüfvorgangs. Damit kann jeder Schritt der Prüfung genau nachvollzogen und beliebig oft wiederholt werden. Darüberhinaus führen gleiche Konfigurationen der Parameter stets zu gleichen Fehlermeldungen.

Die Objektivität der Prüfung beruht jedoch beim relativen und physikalisch-statistischen Test auf der subjektiven Wahl der Toleranzwerte  $\epsilon$ . Dies hat zur Folge, daß bei verschiedener Wahl des Toleranzwertes  $\epsilon$  der gleiche Parameter  $\Psi$  einmal als "richtig", ein andermal als "falsch" bewertet wird. Der endgültige Toleranzwert  $\epsilon$  hat sich daher an der räumlichen und zeitlichen Variabilität des Meßwertes  $\Psi$  und der Meßungenauigkeit  $\Psi'$  zu orientieren. Er wird umso objektiver gewählt, je größer die Wechselbeziehungen der meteorologischen Parameter untereinander sind, je höher die zeitliche Auflösung der Messungen und je dichter das Meßnetz ist.

## 5

M. KALB, Offenbach a.M.

## Prüf- und Korrekturverfahren für klimatologische Statistiken

### 1 Einleitung

Der Deutsche Wetterdienst ist gesetzlich verpflichtet, meteorologische Meßnetze zu unterhalten, die Daten zu bearbeiten und die daraus abgeleiteten Ergebnisse der Allgemeinheit zur Verfügung zu stellen.

In der Synoptik werden die aktuellen Daten, die sofort auf dem Fernmeldeweg zur Rechenanlage übermittelt werden, zu Analysen und Vorhersagen verarbeitet und u.a. im "Europäischen Wetterbericht" veröffentlicht oder über die Massenmedien verbreitet. Fehler im synoptischen Datenmaterial spielen bei der relativ hohen Meßnetzdicke in Mitteleuropa kaum eine Rolle. Sie werden entweder automatisch korrigiert, oder der jeweilige Wert bleibt unberücksichtigt, solange die Daten nur für synoptische Aufgaben verwendet werden.

Die Bearbeitung der Beobachtungsdaten aus den verschiedenen klimatologischen Meßnetzen verlief in früheren Jahren ähnlich. Das Datenmaterial wurde an den Wetterämtern des Deutschen Wetterdienstes überprüft und teilweise in verschiedenen Berichten veröffentlicht. Bei der Verwendung für Auskünfte oder Gutachten griff man auf die Originaltabellen zurück; fehlerhaftes Material oder Veränderungen in der Beobachtungsweise konnten dadurch relativ leicht erkannt werden.

Seit einiger Zeit wird sehr intensiv an der maschinellen Qualitätskontrolle der verschiedenen Datenkollektive (s. Beitrag 4 in diesem Heft) gearbeitet. Man kann damit zwar eine Vereinheitlichung der Überprüfung erreichen, aber auf die in den maschinell ausgedruckten Tabellen enthaltene Problematik muß immer wieder hingewiesen werden (1). Sie sehen äußerlich alle gleich aus und fordern dadurch

manchen Bearbeiter nicht mehr zur notwendigen Kritik heraus. An den Wetterämtern liegen noch die Originaltabellen der Beobachter vor, nicht aber im Zentralamt, da eine "doppelte" Archivierung von Original- und EDV-Tabelle nicht vorgesehen ist. Auch der Benutzer außerhalb des Deutschen Wetterdienstes sieht nur die EDV-Tabelle.

Die gleiche oder eine noch größere Problematik enthält die Bearbeitung von Datenkollektiven auf Magnetband. Viele "Fehler" tauchen erst bei einer Aufbereitung längerer Zeitreihen nach statistischen Gesichtspunkten auf. Neben der systematischen Bearbeitung aller Datenkollektive ist die Zusammenstellung von Zusatzinformationen unerlässlich, nicht nur für dienstinterne Zwecke, sondern vor allem für die immer mehr von Anwendern gewünschte Abgabe von meteorologischen Daten auf Magnetband.

In diesem Beitrag wird versucht, einige mit der Datengewinnung und -prüfung zusammenhängende Probleme ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu analysieren, da sich manche Erkenntnisse erst durch weitere Bearbeitung des Datenmaterials ergeben werden. Dies soll erkennen lassen, welche umfangreichen Vorarbeiten zu leisten sind, bevor das Datenmaterial für die Zwecke der Anwendung verwendet werden kann.

## 2 Probleme bei der Beobachtung und Messung von Daten

Zufällige Fehler können durch eine Qualitätskontrolle weitgehend erkannt und korrigiert werden (1). Systematische Abweichungen machen sich erst nachträglich bei einer statistischen Bearbeitung der Daten eines Stationskollektivs bemerkbar. Handelt es sich um einen systematischen Fehler, wie z.B. um eine ständig falsche Luftdruckreduktion, so kann dies in der entsprechenden Zeitreihe korrigiert werden, also bei jeder Einzelmeldung. Systematische Abweichungen können aber auch durch äußere Einflüsse, wie z.B. Hindernisse im Stationsbereich, entstehen und für den Standort selbst reell sein. Hier kann eine Berücksichtigung erst bei den statistischen Ergebnissen oder bei der Interpretation bzw. Übertragung auf den Raum einsetzen.

### 2.1 Stationseinflüsse

Grundsätzlich sind Beobachtungsstationen dort einzurichten, wo sie für ein größeres Gebiet repräsentativ sein können, d.h. daß die Daten nicht Einflüssen der unmittelbaren Umgebung unterliegen. In der dicht besiedelten Bundesrepublik Deutschland läßt sich dies nur sehr schwer verwirklichen. So müssen die Standorte von hauptamtlichen Stationen des Deutschen Wetterdienstes vielfach nach anderen Kriterien ausgewählt werden als diejenigen von Klimahauptstationen mit nebenamtlichen Beobachtern. Sie erfordern für synoptische Zwecke gute Sichtverhältnisse nach allen Seiten, so daß sie in Stadtgebieten z.T. in Hochhäusern untergebracht wurden. Das hat zur Folge, daß z.B. die Windmessungen in unterschiedlichen Höhen vorgenommen werden. Nach internationaler Empfehlung sollte die Geberhöhe aber 10 m über Grund betragen.

Typische Beispiele hierfür sind die Windmessungen an den Stationen Darmstadt (Geberhöhe 76 m ü. Gr.) und Freiburg i. Br. (Geberhöhe 45 m ü. Gr.). Bei der Bearbeitung der mittleren jährlichen Tagesgänge der Windgeschwindigkeit für den Zeitraum 1969–1974 (2) sind diese beiden Stationen einem Übergangstyp (Abb. 5.1) zugeordnet worden,

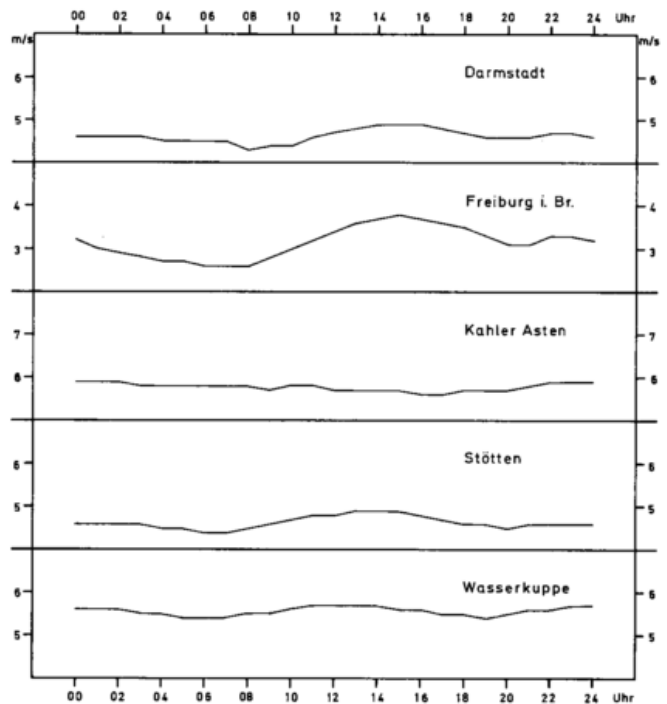


Abb. 5.1: Mittlerer jährlicher Tagesgang der Windgeschwindigkeit (Übergangstyp) Zeitraum: 1969–1974

der sonst nur an den Bergstationen der Mittelgebirge wie z.B. Kahler Asten, Wasserkuppe und Stötten auftritt. Diese Tatsache ist der Windmessung in größerer Höhe über Grund zuzuschreiben; die Daten können daher nicht als repräsentativ für die Randgebiete des Oberrheingrabens bei Darmstadt und Freiburg angesehen werden. Die Messungen sind aber nicht falsch, so daß das Originalmaterial unverändert bleibt.

Bei einem Vergleich dieser Windmessungen mit denjenigen der umliegenden Stationen mit "normalen" Geberhöhen ist eine entsprechende Korrektur anzubringen. Ein Umrechnungsverfahren für die Windgeschwindigkeit wurde von W. BENESCH in (2) angewandt.

In anderen Fällen machen sich Einflüsse der unmittelbaren Umgebung bemerkbar, wobei durchaus auch mit einer allmählichen Veränderung, meistens einer "Verschlechterung" der Lage der Station gerechnet werden muß, z.B. durch Höherwachsen von Bäumen und Büschen oder den Bau von Häusern.

### 2.2 Beobachtereinflüsse

Solange meteorologische Messungen noch nicht automatisch durchgeführt werden, müssen wir mit Beobachtungsmängeln oder Eigenheiten des Beobachters rechnen. Eine Bevorzugung bestimmter Werte, wie z.B. gerader Zahlen bei den Zehntelangaben oder bestimmter Richtungen beim Wind (360 Grad anstatt 350 oder 10 Grad) ist sehr häufig zu erkennen. Trotz Verwendung von Anzeige- oder Registriergeräten werden bei der Bestimmung eines 10-Minuten-Mittels die Hauptwindrichtungen bevorzugt angegeben. Ein typisches Beispiel der synoptischen Winddaten (360-Grad-Skala) wurde bereits 1961 von H. SCHIRMER (3) beschrieben. In Abbildung 5.2 wird die Jahreswindrose von Regensburg für den Zeitraum 1951–1960 wiedergegeben, bei der deutlich eine Vernachlässigung von Zwischenwindrichtungen, z.B. 260 und 280 Grad, erkennbar ist.

Das gleiche läßt sich finden, wenn man die Klimabeobachtungen einer hauptamtlichen Station verwendet. Trotz der nur 16-teiligen Skala im Klimadienst werden bei der Korrelation der Niederschlagshöhe mit der Windrichtung die Richtungen Nordwesten, Westen, Südwesten und Süden gegenüber den Zwischenrichtungen eindeutig überbetont, obwohl an diesen Stationen mehrere Beobachter abwechselnd eingesetzt sind. In Abbildung 5.3a wird ein Beispiel von Stötten für den Zeitraum 1951–1970 gebracht.

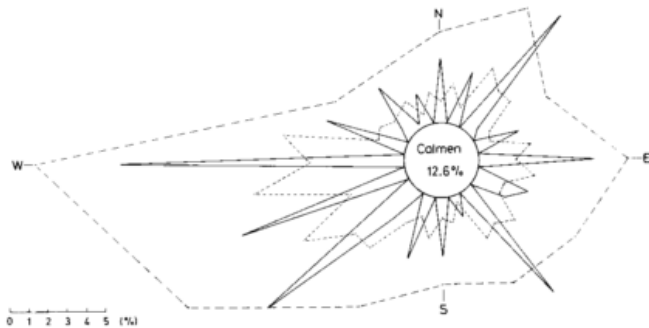


Abb. 5.2: Prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen für das Jahr aus 3 stündlichen synoptischen Beobachtungen in Regensburg, Periode 1951–1960. — ungeglättet 10°-Sektoren, -- geglättet 10°-Sektoren, --- geglättet 30°-Sektoren

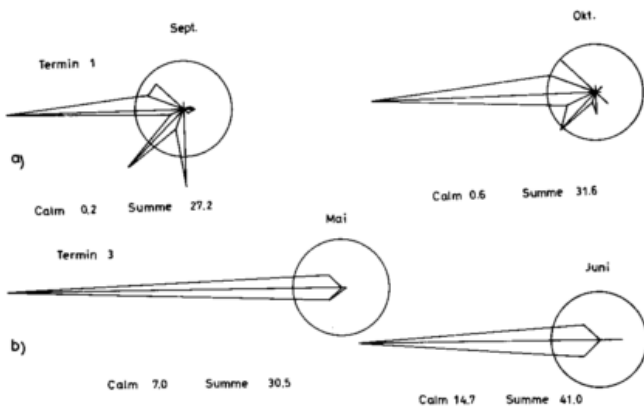


Abb. 5.3: Mittlere Niederschlagshöhe in mm in Abhängigkeit von der Windrichtung.  
a) Stötten, Termin 1, Zeitraum 1951–1970  
b) Jungholz-Kühmoos, Termin 3, Zeitraum 1971–1975.

Erheblich verstärkt kann dieser Effekt an Klimahauptstationen auftreten, an denen wenig geübte ehrenamtliche Beobachter nur Schätzungen der Windrichtung vornehmen. Sehr krasse Beispiele (Abb. 5.3b) wurden bei der Bearbeitung des Gutachtens "Hotzenwald" (4) gefunden.

In früheren Jahren führte man eine Glättung der Häufigkeitswerte aus synoptischen Daten mit Hilfe einer Summenkurve der Häufigkeit (in Prozent aller Fälle) der Windrichtungen in graphischer Form aus (3). Heute wird dieses Korrekturverfahren maschinell durchgeführt: Die Glättung geschieht über dreifach übergreifende Mittel der einzelnen Prozentsummenwerte. Um eine Unterbesetzung mit 2 Werten am Anfang und Ende der "Kurve" zu vermeiden, beginnt die Prozenthäufigkeit mit der Nord-

richtung 36 anstatt mit 01 und endet mit 01 anstatt 36; somit erhält man eine Rundumglättung. Von den durch die Glättung erhaltenen neuen Summenprozenten können Häufigkeitsverteilungen der 36 Windrichtungen in Zehnergrad (Abb. 5.2) und Geschwindigkeiten abgeleitet werden, die nur noch die charakteristischen örtlichen Einflüsse auf die mittleren Windverhältnisse widerspiegeln. Es ist aber zu beachten, daß bei diesem Verfahren bei starken Schwankungen von Grad zu Grad eine Überbetonung der Zwischenrichtungen auftreten kann. Aus diesem Grunde wird vielfach eine Zusammenfassung zu 30-Grad-Sektoren vorgenommen (Abb. 5.2).

Ein weiteres Glättungsverfahren wird im Rahmen der Ausbreitungsklassenstatistik angewendet (s. Beitrag 11 im nächsten Heft). Eine nachträgliche Korrektur sehr fehlerhafter Windrosen (s. Abb. 5.3b) kann dagegen nicht mehr vorgenommen werden; diese Daten sind weitgehend unbrauchbar. Auf weitere Beobachtereinflüsse wird bei der zeitlichen und räumlichen Analyse eingegangen.

### 2.3 Der Einfluß von Beobachteranleitungen

Ein sehr wichtiges Problem bei der Bearbeitung von Daten ergibt sich durch die verschiedenen Meßnetze in der Bundesrepublik Deutschland. Für Unkundige in der klimatologischen Datenverarbeitung ist es sehr schwierig, die vorgegebenen Unterschiede in den Beobachtungssystemen auseinander zu halten, sei es hinsichtlich der Beobachtungsmethodik (z.B. unterschiedlicher Erdbodenzustand bei Synop- und Klimadaten bis 1979) oder der Dimensionierung (z.B. m/s, Knoten oder Beaufort bei der Windgeschwindigkeit). An dieser Stelle soll nicht auf Einzelheiten eingegangen werden, da sie in den entsprechenden Schlüsselvorschriften (5) und Beobachteranleitungen (6) vorliegen. Besonders wichtig erscheint jedoch der Hinweis, daß im Laufe der Jahre viele Änderungen in den Beobachteranleitungen aufgetreten sind, die bei der Bearbeitung von Zeitreihen zu beachten sind. Eine entsprechende Zusammenstellung liegt heute weder für die synoptischen noch für die klimatologischen Daten vor, so daß noch sehr viel Vorarbeit für eine sinnvolle Datenverarbeitung zu leisten ist. Aber diese Aufgabe läßt sich lösen; schwieriger, wenn nicht sogar unlösbar, gestaltet sich das Problem der teilweise von den Beobachtern nicht befolgten Schlüsseländerungen. Hierzu ge-

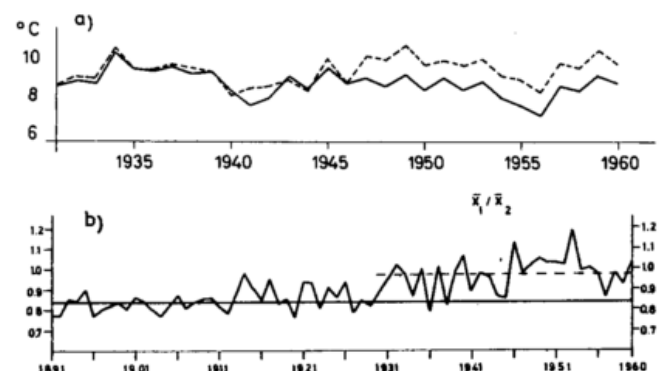


Abb. 5.4: Homogenitätsprüfung der Jahreswerte, Zeitraum 1931–1960

a) Lufttemperatur in °C (— Kaiserslautern  
--- Bergzabern)

b) Niederschlag (Quotient)  $\frac{\text{Herford}}{\text{Werther}}$

hört die 1954 erteilte Anweisung im Klimadienst, daß an den hauptamtlichen Stationen, an denen Windstärke 6 oder 8 erreicht oder überschritten wird, nicht mehr Momentanwerte, sondern 10-Minutenmittelwerte zu benutzen sind. Diese Beobachtungsanweisung wurde nur teilweise befolgt, wie eine Untersuchung von W. TERPITZ (7) zeigt.

Eine Vereinheitlichung ließ sich erst 1971 mit der zusätzlichen Eintragung der maximalen Windspitzen in die Klimatabellen der hauptamtlichen Stationen erreichen. Damit konnte den unterschiedlichen Bedürfnissen der Wetterämter im Norden und Süden des Bundesgebietes Rechnung getragen werden. Bei der statistischen Auswertung der Anzahl der Tage mit einer Windstärke von mindestens 6 oder 8 Beaufort muß man diese Tatsache berücksichtigen.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß auch verschiedene Gerätetypen oder Registrierstreifenpapiere einen erheblichen Einflußfaktor bei der Bearbeitung klimatologischer Statistiken darstellen können. Eine Korrektur ist nur aufgrund von Vergleichen möglich.

### 3 Prüf- und Korrekturverfahren

Alle bisher beschriebenen Einflußfaktoren bzw. Fehlerquellen lassen sich durch die statistische Bearbeitung einer Einzelstation erkennen. Die bisherige Grundlagenarbeit hat aber gezeigt, daß die eigentliche Prüfung erst bei der räumlichen Verarbeitung der Kollektive beginnt; d.h. mehrere oder alle Stationen müssen gleichzeitig betrachtet werden.

#### 3.1 Homogenitätsprüfung

Inhomogenität in einer Beobachtungsreihe kann durch Verlegung der Station, Beobachterwechsel, Auswechslung von Geräten oder Änderungen im Registrierstreifenpapier, Veränderungen in der Umgebung der Station usw. auftreten. Für die Prüfung auf Homogenität werden meistens Summen- oder Mittelwerte eines Elementes aus den einzelnen Jahren herangezogen und mit den entsprechenden Werten einer oder mehrerer benachbarter Stationen ähnlicher Lage verglichen. Als Beispiel ist in Abbildung 5.5 die Methode der Differenzen bei den Jahresmitteln der Lufttemperatur sowie der Quotienten bei den Jahreshöhen des Niederschlags wiedergegeben. Durch Vergleiche mit anderen Stationen mußte die durch das plötzliche Anwachsen der Differenzen erkennbare Inhomogenität bei der Lufttemperatur der Station Kaiserslautern zugeordnet werden, beim Niederschlag war es die Station Herford. Hinsichtlich weiterer Einzelheiten wird auf die Beschreibung der Methodik in (8) verwiesen.

Bei langen Beobachtungsreihen wurde verschiedentlich versucht, Einzelelemente zu homogenisieren (9) (10) (11) (12). Bei der starken Fluktuation des Netzes läßt sich ein solches Verfahren nicht für alle Stationen und Elemente realisieren. Stattdessen werden bei der Bearbeitung der einzelnen Elemente die durch die Inhomogenität entstandenen Teilzeiträume auf einen bestimmten Gesamtzeitraum, z.B. 1931–1960 oder 1951–1970, reduziert (8) (13). Die gleiche Methode ist auch bei kurzen Meßreihen, z.B. von Temporärstationen, anzuwenden.

Bei Häufigkeitsverteilungen ist das Problem ungleich schwieriger. Erste Versuche wurden durch Gegenüberstellung von Gesamtzeitraum (lange homogene Reihe) und Teilzeiträumen (kurze Abschnitte der langen homogenen Reihe und kurze oder inhomogene Reihe) und

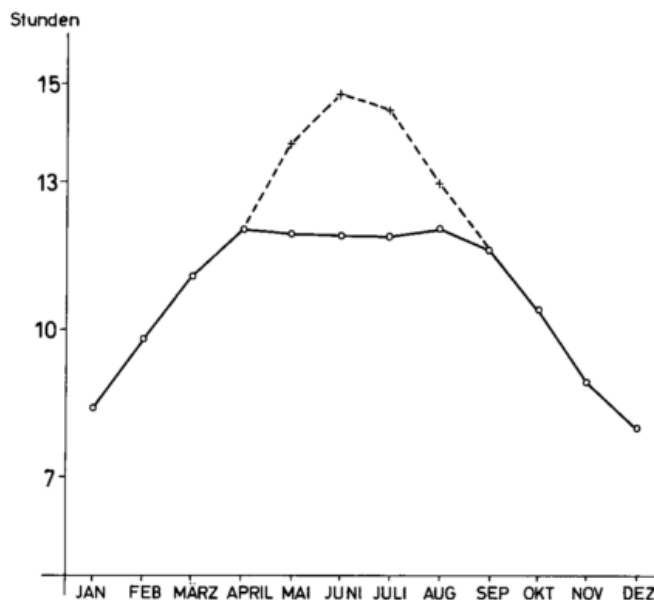


Abb. 5.5: Mittlere tägliche, örtlich mögliche Sonnenscheindauer in Std. für Straubing (— vermessen --- korrigiert)

durch Interpretation der gravierenden Unterschiede gemacht. Ein objektives Reduktionsverfahren ist noch nicht bekannt.

#### 3.2 Räumliche Prüfung

Eine eindeutige Aussage über die Qualität von Beobachtungsdaten einzelner Stationen ist erst durch die räumliche Analyse der einzelnen Elemente oder statistischen Parameter möglich. Selbst eine statistisch wenig gesicherte Größe wie die Anzahl der Tage mit mindestens 10 mm Niederschlag, die auf zeitlich und räumlich stark variierenden Einzelergebnissen beruht, zeigt eine erstaunliche räumliche Einheitlichkeit. Eine fehlerhafte Station fällt beim Vergleich sofort auf.

Schwieriger wird die Analyse, sobald irgendeiner der in Abschnitt 2 genannten Einflußfaktoren eine Rolle spielt. Nimmt man z.B. die Anzahl der Tage mit einer Niederschlagshöhe von mindestens 0.1 mm, so sind die Unterschiede, die durch die Beobachter bei der Erfassung derartig geringer Niederschlagsmengen von Ort zu Ort entstehen, größer als die orographisch vorgegebenen Unterschiede.

Ein typisches Beispiel für eine fehlerhafte räumliche Analyse und entsprechende Fehlinterpretation ist die Bearbeitung der Anzahl der Gewittertage in Hessen (14). Dabei wurden Beobachtungen der Synop-, Klima- und Niederschlagsstationen verwendet. Wenn auch an allen Stationen rund um die Uhr "Augenbeobachtungen" und damit auch Gewitter erfaßt werden sollen, so ist es doch selbstverständlich, daß hauptamtliches Personal, das im Wechseldienst auch nachts arbeitet, mehr Gewitter feststellt als ein nebenamtlicher Beobachter, der tagsüber im allgemeinen einem Beruf nachgeht und nachts schläft. Andererseits wird ein viel im Freien arbeitender ehrenamtlicher Beobachter mehr Naturereignisse beobachten als z.B. ein an ein Haus gebundener Beobachter. Dies trifft auch für die Erfassung des Nebels zu.

In diesem Zusammenhang soll auch auf die räumliche Vergleichbarkeit der gemessenen Sonnenscheindauer einge-

gangen werden. Die von der Esso AG aufgrund der vom Deutschen Wetterdienst abgegebenen Tabellen der mittleren Sonnenscheindauer einzelner Stationen selbständig entworfene Karte (15) zeigt anhand der nicht vertretbaren Linienführung deutlich, daß diese Größe sich kaum zu einer räumlichen Analyse und damit zu einer Prüfung der Werte eignet. Die Sonnenscheindauer eines Ortes ist – neben anderen Faktoren – von einer eventuellen Überhöhung des astronomischen Horizontes durch das Gelände-relief und Abschattung durch Häuser und Bäume in der unmittelbaren Umgebung der Meßstelle abhängig. Eine Horizontvermessung wird erst in neuerer Zeit regelmäßig vorgenommen und dient der Berechnung der relativen oder auch effektiven Sonnenscheindauer, d.h. der gemessenen in Prozent der örtlich möglichen Sonnenscheindauer. Diese eignet sich besser zu einer räumlichen Untersuchung als die gemessene Sonnenscheindauer. Für frühere Jahre kann sie nur durch eine von M. SCHÜEPP (16) näher beschriebene Methode bestimmt werden.

Wie bei jeder meßbaren Größe muß man auch bei der Horizontvermessung mit Fehlern rechnen. Entsprechend den astronomischen Gesetzen stellt die örtlich mögliche Sonnenscheindauer im Jahresgang eine vom Sonnenniedrigststand im Dezember bis zum Sonnenhöchststand im Juni stetig steigende und dann wieder abfallende Kurve dar. In Abbildung 5.4 wird am Beispiel von Straubing eine fehlerhafte Horizontvermessung gezeigt. Sie kann durch eine Neuvermessung oder über die Hüllkurve aller maximal gemessenen Sonnenscheinwerte im Laufe eines vieljährigen Zeitraums nach M. SCHÜEPP (16) korrigiert werden.

Ein vielfach verwendetes Hilfsmittel bei der räumlichen Analyse ist die Betrachtung der Höhenabhängigkeit des jeweiligen Elements (4) (17). Das Tagesmittel der Lufttemperatur z.B. nimmt – über einen Zeitraum von vielen

Jahren betrachtet – um ca. 0,5 °C pro 100 m Höhendifferenz im Gebirgsland ab (Abb. 5.6, gestrichelte Linie). Abweichungen zur positiven oder negativen Seite lassen sich vielfach durch die örtliche Lage der Station erklären. Solche systematischen Abweichungen sind nur im Vergleich mit den Nachbarstationen zu erkennen; es handelt sich aber nicht um Fehler. Sie dürfen also nicht korrigiert werden, sondern müssen als Tatsachen bei der Interpretation von Ergebnissen anhand dieses Datenmaterials Berücksichtigung finden.

#### 4 Schlußbetrachtungen

Mit dem vorliegenden Beitrag wurde versucht, alle Bearbeiter von klimatologischen Daten ganz grob mit der Problematik der Kollektive vertraut zu machen und Wege aufzuzeigen, wie mit diesen noch nicht vollständig aufbereiteten Daten interpretierbare Ergebnisse zu erzielen sind.

Auf der anderen Seite ist es aber auch Zweck dieser Analyse, darauf hinzuweisen, daß die laufende Qualitätskontrolle nur einen ersten Schritt zu verbessertem Datenmaterial darstellt. Ohne die hier geschilderten weiteren Arbeiten kann die Aufbereitung des klimatologischen Datenmaterials nicht als abgeschlossen angesehen werden.

Dazu gehört ferner eine EDV-gerechte Stationsakte, die nicht nur die dienstlichen Arbeiten erleichtert, sondern auch dem Außenstehenden erst ein Verarbeiten der Daten ermöglicht. Erste Vorarbeiten hierzu werden z.Z. im Rahmen der Mitarbeit des Deutschen Wetterdienstes bei der Internationalen Alpinen Datenbank für das Experiment ALPEX sowie beim Schwerpunktprogramm MESOKLIP (18) geleistet.

Das Fernziel ist ferner die Gewinnung einer objektiven Methode zur Bestimmung der Repräsentanz einer Beobachtungsstation hinsichtlich der einzelnen Elemente.

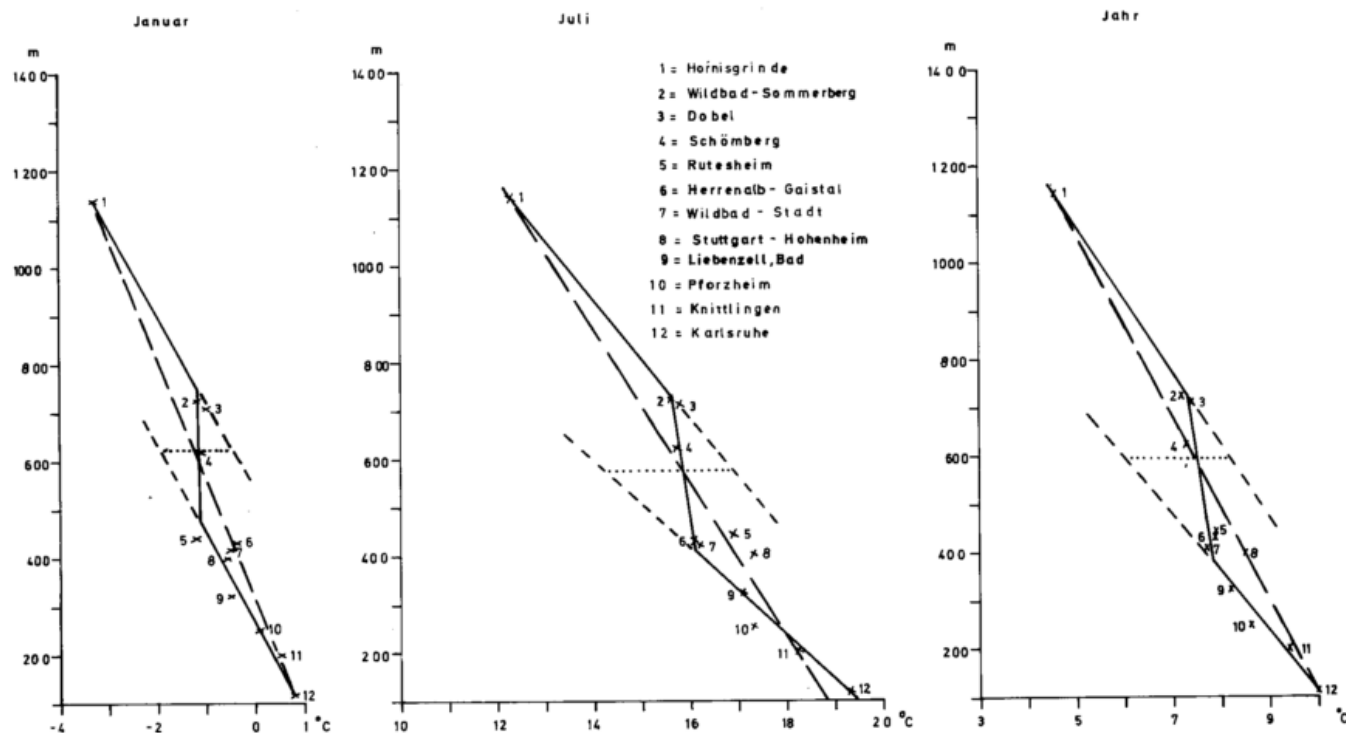


Abb. 5.6: Höhenabhängigkeit des mittleren Tagesmittels der Lufttemperatur (°C) Zeitraum: 1951–1970

## 5 Literatur

- (1) BEFFERT, A.:  
Qualitätskontrolle. "Umgang" mit den klimatologischen Daten. Offenbach a. M. (1979) (unveröffentlicht).
- (2) BENESCH, W.; JURKSCH, G.; DUENSING, G.; ZÖLLNER, R.:  
Die Windverhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland im Hinblick auf die Nutzung der Windkraft. Ber. d. Dt. Wetterd. Nr. 147 (1978).
- (3) SCHIRMER, H.:  
Klima-Windrosen von Dannenberg/Niedersachsen. Mitt. d. Dt. Wetterd. Nr. 27 (1961)
- (4) Deutscher Wetterdienst, Zentralamt:  
Amtliches Gutachten über die klimatischen Verhältnisse im südlichen Schwarzwald und ihre Beeinflussung durch die bestehenden Anlagen und die geplante At-dorfstufe des Hotzenwaldwerkes. Offenbach a. M. (1977) (intern).
- (5) Deutscher Wetterdienst, Zentralamt:  
Vorschriften und Betriebsunterlagen Nr. 2; Wetterschlüssel, 2. Ausg., Offenbach a.M. (1967 ff).
- (6) Deutscher Wetterdienst, Zentralamt:  
Anleitung für die Beobachter an den Klimahauptstationen des Deutschen Wetterdienstes, 8. Aufl., Offenbach a.M. 1980.
- (7) TERPITZ, W.:  
Auszählung der Tage mit Windstärke 6 oder mehr bzw. 8 oder mehr im Bereich des Deutschen Wetterdienstes. Offenbach a.M. (1966) (unveröffentlicht).
- (8) ALISSOW, B. P.; DROSDOW, O. A.; RUBINSTEIN, E. S.:  
Lehrbuch der Klimatologie. Berlin: VEB Dter. Verl. d. Wiss. (1956)
- (9) MOLLWO, H.:  
Klimawerte von Frankfurt am Main 1857–1956. Ber. d. Dt. Wetterd. Nr. 43 (1958).
- (10) GRUNOW, J.; GREBE, H.; HEIGEL, K.:  
Das Observatorium Hohenpeißenberg 1781–1955. Ber. d. Dt. Wetterd. Nr. 36 (1957).
- (11) BAUMGARTNER, A.; MAYER, H.:  
Die Schneedecke in München von Oktober 1887 bis April 1977. Meteorol. Rdsch. 31 (1978) H. 1, S. 6–16.
- (12) PAESLER, M.:  
Die Temperaturmessungen in München 1781–1968. Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. d. Univ. München Nr. 19 (1970).
- (13) SCHIRMER, H.; VENT-SCHMIDT, V.:  
Das Klima der Bundesrepublik Deutschland, Lfg. 1: Mittlere Niederschlagshöhen (mm) für Monate und Jahr, Zeitraum 1931–1960. Offenbach a.M. (1980).
- (14) RUTH, Th.:  
Klimatologische Untersuchung der Gewittertätigkeit in Hessen. Institut f. Meteorol. u. Geophys. d. Univ. Frankfurt a.M. (1979).
- (15) COPITHORNE, W. L.:  
700 Milliarden KWh im Jahr. In: ESSO-Magazin, 26 (1974) Nr. 3.
- (16) SCHÜEPP, M.:  
Berechnung der relativen Sonnenscheindauer als zweckmäßiges Maß für den klimatologischen Vergleich im internationalen Austausch. Entwurf zu einer Anleitung zur Berechnung der relativen Sonnenscheindauer. (Schriftl. Mitt.).
- (17) Deutscher Wetterdienst, Zentralamt:  
Klimagutachten (Teil 1) für den Regionalverband Nordschwarzwald. Offenbach a.M. (1979) (intern).
- (18) WULLBRANDT, H.:  
DFG-Schwerpunktprogramm "Physikalische Grundlagen des Klimas und Klimamodelle". Datenarchiv mesoskaliges Klima – Oberrhein –, Offenbach a.M. (1979) (unveröffentlicht).

# 6

A. GUTSCHE, Offenbach a.M.

## Grundlagen und Bearbeitungen der Aeroklimatologie

### 1 Einleitung

In der Klimatologie genügt es nicht, sich auf die Eigenschaften der Atmosphäre zu beschränken, die der Beobachter oder das Meßinstrument vom Boden aus feststellen können. Der Klimatologe muß die Atmosphäre auch dreidimensional erfassen und benötigt hierzu Daten zuverlässig arbeitender Instrumente, die an Ballonen, Drachen, Flugzeugen oder Raketen die freie Atmosphäre bis in große Höhen durchmessen.

### 2 Überblick über die netzmäßige Gewinnung aerologischer Daten

Bereits um 1930 wurde in Deutschland damit begonnen, für die Zwecke der Wetteranalyse und -vorhersage an meh-

rerer Stationen täglich mindestens einmal Flugzeugaufstiege durchzuführen, bei denen regelmäßig ein Meteorologe mitflog, der zu den Registrierungen von Luftdruck, Lufttemperatur und Luftfeuchte zusätzlich seine Beobachtungen über Dunstschichten, Art, Höhe und Zustand der Wolken sowie Eisansatz notierte. Neben Meßwerten der Flugzeugaufstiege wurden auch diese Notizen in Jahrbüchern publiziert. Statistische Auswertungen solcher von Meteorologen während des Fluges gemachten Aufzeichnungen haben auch heute noch ihren besonderen Wert. Im Laufe der dreißiger Jahre wurde die Radiosondentechnik entwickelt, so daß im deutschen aerologischen Netz ab 1938 allmählich die Flugzeugaufstiege, bei denen zumeist eine Höhe von etwa 5 km erreicht wurde, durch Sondierungen mit Radiosonden an frei fliegenden Ballonen ergänzt bzw. ersetzt wurden. Bei diesem Aufstiegsbetrieb konnten

die Termine, wegen der größeren Unabhängigkeit von den jeweiligen Witterungsbedingungen, bedeutend regelmäßiger eingehalten werden. Nachteilig ist hierbei allerdings die im Vergleich zum Flugzeugaufstieg größere Aufstiegsgeschwindigkeit der Ballone sowie der Fortfall von differenzierten Angaben über die beim Aufstieg angetroffenen Wolken-schichten.

Gegenwärtig werden in der Bundesrepublik Deutschland an den 5 aerologischen Stationen Schleswig, Hannover, Essen, Stuttgart und München zu den Terminen 00 und 12 Uhr GMT Radiosondenaufstiege durchgeführt, die zumeist mindestens 30 km Höhe erreichen und neben Druck, Temperatur- und Feuchtedaten durch Radarmessung vom Boden aus auch Werte von Windrichtung und -geschwindigkeit liefern. Zusätzlich werden zu den Zwischenterminen 06 und 18 Uhr GMT noch sogenannte Pilotballone für Radar-Windmessungen gestartet.

Täglich 4 mal wurden Radiosondenaufstiege im Netz des Deutschen Wetterdienstes nur wenige Jahre hindurch (vor 1955) in München und Berlin-Tempelhof vorgenommen. Seitdem das Meteorologische Institut der Freien Universität Berlin täglich Radiosonden startet, beschränkt sich die aerologische Station des Deutschen Wetterdienstes in Berlin-Tempelhof auf die Durchführung von Radar-Windmessungen.

Die Einzeldaten der aerologischen Stationen werden unmittelbar nach ihrer Gewinnung zunächst für die Wetteranalyse und -vorhersage verwendet. Dieses Datenmaterial wird ferner seit vielen Jahren archiviert und für aeroklimatologische Zwecke verarbeitet; es umfaßt auch die vieljährigen aerologischen Datenreihen der Station Emden, die bis 1973 als 6. Station im aerologischen Netz des Deutschen Wetterdienstes regelmäßig zwei Radiosondenaufstiege täglich durchführte. Erwähnt sei hier noch, daß die aerologische Station Stuttgart erst seit 1957 in Betrieb ist – zuvor wurden stattdessen in Erlangen 2 Aufstiege täglich durchgeführt – und daß die Station Essen seit Sommer 1965 die mehrjährige Aufstiegsreihe von Köln fortsetzt.

### 3 Sammlung und Aufbereitung aerologischer Daten

Obleich die Anzahl der aerologischen Stationen des Deutschen Wetterdienstes im Vergleich zum Netz der Klimastationen und zum synoptischen Netz gering ist, fallen auch von diesen wenigen Stationen im Laufe von Jahrzehnten große Datenmengen an, liefert doch jeder Radiosondenaufstieg für eine Vielzahl von Niveaus Daten der Größen Luftdruck (bzw. geopotentielle Höhe von Druckflächen), Temperatur, Feuchte und Wind. Diese Niveaus sind zu einen feste Druckflächen, zu denen mindestens die international vereinbarten 15 Hauptdruckflächen gehören, zum anderen die in ihrer Höhe und Anzahl von Aufstieg zu Aufstieg wechselnden sog. „Markanten Punkte“. Diese Punkte liegen in Niveaus, an denen sich der vertikale Gradient von Temperatur, Feuchte, Windrichtung oder Windgeschwindigkeit markant ändert. Wegen des Datenumfanges und des Schwierigkeitsgrades bei der klimatologisch-statistischen Verarbeitung der aerologischen Daten werden diese bereits seit 30 Jahren im Deutschen Wetterdienst regelmäßig auf einen technischen Datenträger gebracht.

## 4 Routinemäßige Verarbeitung und Publikation

### 4.1 CLIMAT TEMP

Bereits Jahrzehnte hindurch sind weltweit Monatswerte aerologischer Stationen für Hauptdruckflächen verschlüsselt als CLIMAT-TEMP-Meldungen verbreitet worden; ab 1949 werden diese Daten in „Monthly Climatic Data for the World“, einer Veröffentlichung des National Climatic Center der USA, mit Unterstützung der WMO publiziert und stehen damit für viele wissenschaftliche Arbeiten als Grundlagenmaterial zur Verfügung. Die CLIMAT-TEMP-Meldungen enthielten zunächst nur monatliche Mittelwerte der Höhe, der Lufttemperatur und der Taupunkttemperatur von Hauptdruckflächen bis 200 mbar. Angaben des Windes traten später hinzu. Demzufolge konnten ab 1957 auch der mittlere monatliche Windvektor an Druckstufen und ab 1968 zusätzlich die Beständigkeit des Windes in die genannte Publikation aufgenommen werden. Die Anzahl der in die CLIMAT-TEMP-Meldung einbezogenen Hauptdruckflächen wurde ebenfalls vermehrt, so daß in dieser Art bis 30 mbar bereits vieljährige Reihen von Stationen aller Kontinente verfügbar sind.

Die aerologischen Stationen des Deutschen Wetterdienstes hatten in früheren Jahren Berechnungen von monatlichen CLIMAT-TEMP-Werten für die termingerechte Ausstrahlung im Fernschreibnetz jeweils zu Beginn des Folgemonats selbst durchgeführt. Seit 1972 wird für diese Arbeit die EDV-Anlage des Zentralamtes eingesetzt. Das geschieht auf der Basis der täglich für den synoptischen Dienst übermittelten und laufend auf Magnetbändern gespeicherten aerologischen Daten.

Weil mitunter von einzelnen Tagen Werte ausfallen, gibt es für die Abgabe der CLIMAT-TEMP-Meldung eine Vorschrift darüber, daß für jede zu meldende Druckfläche Einzeldaten einer Mindestanzahl von Tagen des betreffenden Monats vorliegen müssen. Wird diese Anzahl nicht erreicht, unterbleibt die Meldung von mittleren Monatswerten. Hierdurch soll vermieden werden, daß mittlere Werte mit ungenügender Repräsentanz in die CLIMAT-TEMP-Meldung hineingelangen. Der Schlüssel sieht sogar für die Mitteltemperatur und den mittleren Windvektor die Angabe der Anzahl von Tagen vor, die wegen Ausfalls von Werten nicht in die Mittelwertbildung eingehen können.

Zur Bestimmung des Betrages und der Richtung des mittleren Windvektors werden die einzelnen täglichen Vektoren des Windes je Druckfläche in die zonale und meridionale Komponente zerlegt und die Monatssummen dieser beiden Komponenten gemittelt. Aus diesen beiden mittleren Komponenten resultiert unmittelbar der mittlere Windvektor, der auch mittlere Luftversetzung genannt wird. Die Beständigkeit in Prozent des Windes ist der Quotient aus dem Betrag des mittleren monatlichen Windvektors und dem skalaren Monatsmittel der Windgeschwindigkeit. Aus den publizierten Werten der Beständigkeit und des Betrages des mittleren Windvektors kann bei Bedarf das skalare Mittel der Windgeschwindigkeit bestimmt werden. Bemerkt sei noch, daß die CLIMAT-TEMP-Meldung bereits seit vielen Jahren statt der Taupunkttemperatur die Taupunkt-Differenz (Differenz zwischen Luft- und Taupunkttemperatur) enthält.

#### 4.2 Veröffentlichung aerologischer Monatswerte durch den Deutschen Wetterdienst

Ähnlich den CLIMAT-TEMP-Meldungen werden von Schleswig und Stuttgart mittlere Monatswerte auch regelmäßig in der "Klima-Eilinformation" und im "Monatlichen Witterungsbericht" des Deutschen Wetterdienstes publiziert. Hierin sind zusätzlich Mittelwerte für feste Druckstufen bis 20 bzw. 10 mbar enthalten. Im vom Deutschen Wetterdienst herausgegebenen "Deutschen Meteorologischen Jahrbuch" sind, getrennt für 00 und 12 Uhr GMT, jeweils Mittel- und Extremwerte aller aerologischen Stationen des Deutschen Wetterdienstes für die Monate und das Jahr zusammengestellt, von 1964 bis 1971 für feste Höhenstufen bis 25 gpm, ab 1972 für feste Druckstufen bis 30 mbar. In das Jahrbuch wurden auch Mittel- und Extremwerte von Temperatur und Höhe der Tropopause aufgenommen. Als Feuchtgröße wurde für die Publikation die relative Luftfeuchte gewählt; ihre Angabe endet allerdings bei 300 mbar, weil darüber der Wasserdampfgehalt sehr gering und die Meßgenauigkeit verhältnismäßig groß ist. Bezüglich der mittleren Windverhältnisse beschränken sich die Jahrbuch-Tabellen auf die Angabe von skalaren Mittelwerten der Windgeschwindigkeit. Diese sind sowohl für die Termine 00 und 12 Uhr GMT als auch für die Zwischentermine der Pilotballonaufstiege 06 und 18 Uhr GMT publiziert. Nach Zusammenfassung der Meßwerte von 00 und 12 Uhr GMT sind mittlere monatliche Windvektoren sowie der jährliche Gang der vertikalen Verteilung der Zonal- und der Meridional Komponente für Schleswig und Stuttgart bis zur 30-mbar-Fläche graphisch dargestellt, letztere in Isoplethenform. Schließlich enthält das Jahrbuch, für beide Termine getrennt, Isoplethen-Diagramme des Jahresganges des vertikalen Temperaturgradienten in der Troposphäre und der unteren Stratosphäre bis 26 gpm Höhe. Von München ist ein Beispiel hierfür in Abbildung 6.1 gegeben und zwar monatliche Mittelwerte für den Zeitraum 1951–1960 und nur bis zur Höhe von 5 gpm. Deutlich zeigen sich in der planetarischen Grenzschicht große Unterschiede der thermischen Stabilität zwischen Tag und Nacht. Diese Gegensätze sind durchschnittlich im Sommer bis etwa 1500 m Höhe über Grund ausgeprägt; im Winter aber reichen sie, wegen des geringeren Strahlungsgenusses in den Tagesstunden, weniger als halb so hoch hinauf.

#### 5 Aeroklimatologische Statistiken für vieljährige Zeiträume

Für Anwender, die bei langfristigen Planungen aeroklimatologische Angaben benötigen, sind die in den oben genannten Publikationen zusammengestellten Daten zumeist noch nicht ausreichend. Darum wurden, besonders für Planungsvorhaben in der Luftfahrt und im Umweltschutz in großer Mannigfaltigkeit aeroklimatologische Statistiken auf der Basis vieljähriger Messungen der aerologischen Stationen aufgestellt.

##### 5.1 Statistiken für Höhenstufen und Hauptdruckflächen

Beim Deutschen Wetterdienst wurden aus vieljährigen Meßreihen der aerologischen Stationen für feste Höhenstufen bis 25 gpm monatliche Mittelwerte des Luftdrucks, der Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchte und der Windgeschwindigkeit sowie der Zonal- und Meridional Komponente des Windes berechnet, ferner für Hauptdruckflächen Monatsmittel der geopotentiellen Höhe und der relativen Topographie sowie der Lufttemperatur, der Taupunkttemperatur, der relativen Luftfeuchte und der beiden Komponenten des Windes, für Tag und Nacht getrennt. Diese Statistiken enthalten neben den Mittelwerten auch Daten der Standardabweichung sowie Extremwerte. In entsprechender Art liegen ferner Statistiken der Tropopause und der im Hinblick auf die Flugzeugvereisungen wichtigen Nullgrad-Grenze vor.

Für viele Planungsaufgaben des Flugwesens sowie für Untersuchungen über den Transport von Luftbeimengungen ist die Häufigkeit der Richtung des Höhenwindes in Abhängigkeit von seiner Geschwindigkeit ein sehr wichtiger Faktor. Daher wurden in großem Umfang Korrelationstabellen für Windrichtung und -geschwindigkeit an festen Druck- und Höhenstufen für Monate und Jahreszeiten aufgestellt. Ihnen kann die Häufigkeit der Windrichtung in 30-Grad-Sektoren für verschiedene Geschwindigkeitsintervalle bis 24 gpm Höhe entnommen werden. Als Beispiele sind aus diesen Unterlagen in Abbildung 6.2 für Schleswig und Stuttgart Richtungsverteilungen des Windes in den Höhenstufen 2, 10 und 20 gpm dargestellt. Leider nimmt die Repräsentanz solcher Häufigkeitsverteilungen mit der Höhe ab, weil wegen vorzeitigen Abbruchs der Radarmessungen die Anzahl der verfügbaren Meßwerte mit

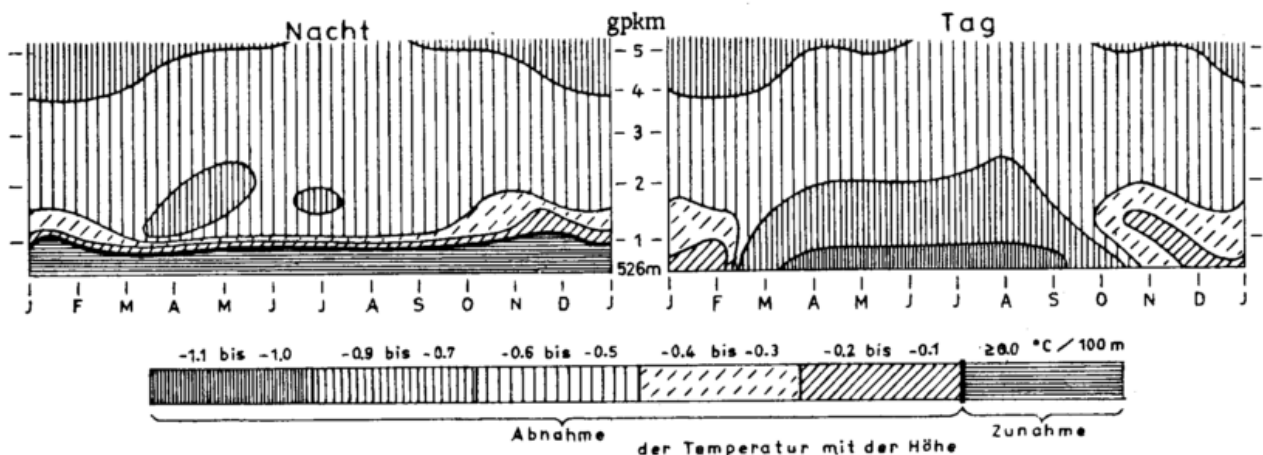


Abb. 6.1: Jährlicher Gang des vertikalen Gradienten der Lufttemperatur nach monatlichen Mittelwerten 1951–1960 in München

zunehmender Höhe geringer wird. In Abbildung 6.2 ist mit N jeweils die Anzahl der für die betreffende Höhe verarbeiteten Windmessungen angegeben; ferner ist die relative Häufigkeit der starken Winde mit Geschwindigkeiten  $v \geq 15$  m/s und der schwachen Winde mit  $v < 3$  m/s vermerkt. Hierunter fallen auch die seltenen sich aus den Radarmessungen (im 1-Minuten-Abstand) ergebenden "Calmen".

Die auffälligste Erscheinung in Abbildung 6.2 ist das Häufigkeitsmaximum östlicher Winde in der Höhenstufe 20 gpkm im Sommer. Die großräumig auftretende Ostströmung stellt sich in diesem Niveau und, noch schärfer ausgeprägt, darüber an den aerologischen Stationen der Bundesrepublik Deutschland Jahr für Jahr ein und dauert im Mittel von Mai bis August; sie erfaßt oberhalb der 50-mbar-Fläche (etwa 21 gpkm) die gesamte Nordhemisphäre.

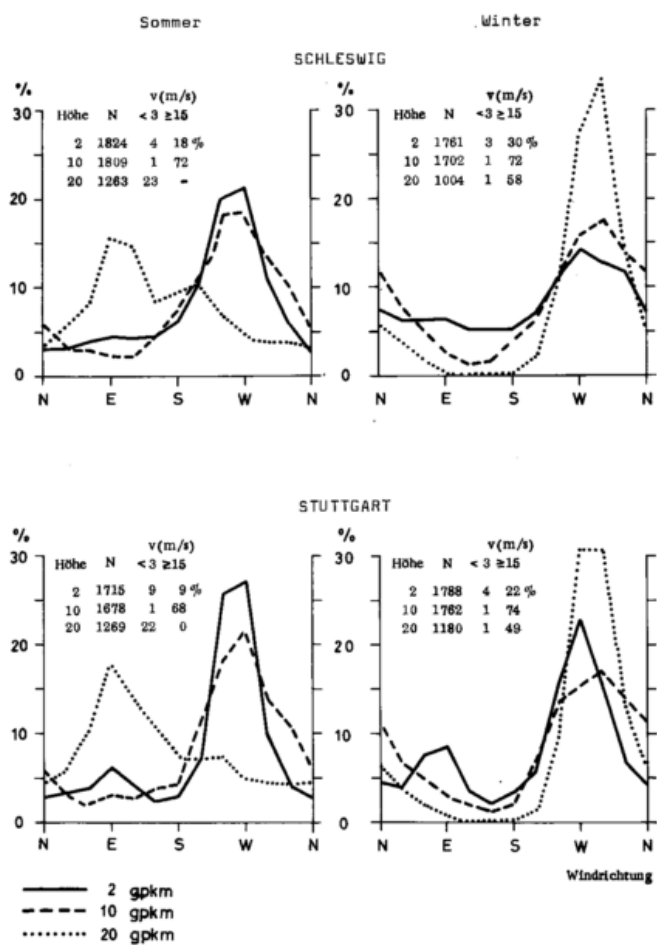


Abb. 6.2: Relative Häufigkeit des Höhenwindes in Prozent nach Messungen um 0 und 12 Uhr GMT, 1961–1970.

### 5.2 Inversionsstatistiken

Schichten der Atmosphäre, in denen die Lufttemperatur mit der Höhe zunimmt, hemmen den Vertikalaustausch und können ihn fast ganz unterbinden. Angaben über die Häufigkeit des Auftretens solcher Inversionsschichten sind darum für viele Fragen der Schadstoffausbreitung und -anreicherung von großer Wichtigkeit, so daß bereits

seit etwa 15 Jahren nach Daten von Flugzeugaufstiegen der dreißiger Jahre und nach Radiosondenmessungen der neueren Zeit beim Deutschen Wetterdienst Inversionsstatistiken verschiedener Art bis 3 km Höhe erstellt worden sind. Bevorzugt wurden die Zeiträume 1957–1966 und 1957–1973 bearbeitet.

Diese Statistiken geben für die aerologischen Stationen des Deutschen Wetterdienstes monatliche, jahreszeitliche und jährliche Häufigkeiten der Unter- und Obergrenze sowie der Mächtigkeit von Inversionen nach Klassen des Temperaturspanns oder des Temperaturgradienten für Tag und Nacht und umfassen auch Windverteilungen nach Richtungs- und Geschwindigkeitsklassen für Intensitätsgruppen von niedrig gelegenen Inversionen.

Solche Windverteilungen können sich in der Ausprägung der Maxima und Minima erheblich von den entsprechenden Gesamtwindverteilungen unterscheiden, wie mit den folgenden zwei Beispielen gezeigt wird. Abbildung 6.3 gibt für München-Riem, Zeitraum 1957–1973, die Richtungsverteilung des Bodenwindes zum Termin 00 Uhr GMT im Winterhalbjahr für alle Tage mit einer unterhalb von 300 m über Grund beginnenden Inversion (a) und gesondert für jene Tage, an denen eine solche Inversion mindestens 200 m mächtig ist und gleichzeitig einen Temperaturanstieg von mindestens  $2.0^\circ\text{C}/100\text{m}$  aufweist (b). Die größte Häufigkeit hat bei a und b nicht mehr der Richtungsektor  $230-250^\circ$  wie bei der entsprechenden Gesamtwindverteilung (c), sondern der Südsektor  $170-190^\circ$ . Hierfür dürften Kaltluftabfluß vom Alpenrand und Südföhn, der sich im Münchener Raum nicht bis zum Boden durchsetzen kann, verantwortlich sein. Bei 96 % aller südlichen Winde um Mitternacht war eine Inversionsuntergrenze unterhalb von 300 m Höhe über Grund festgestellt worden. Zum größten Teil handelt es sich hierbei um Bodeninversionen (90 % aller Südwindfälle).

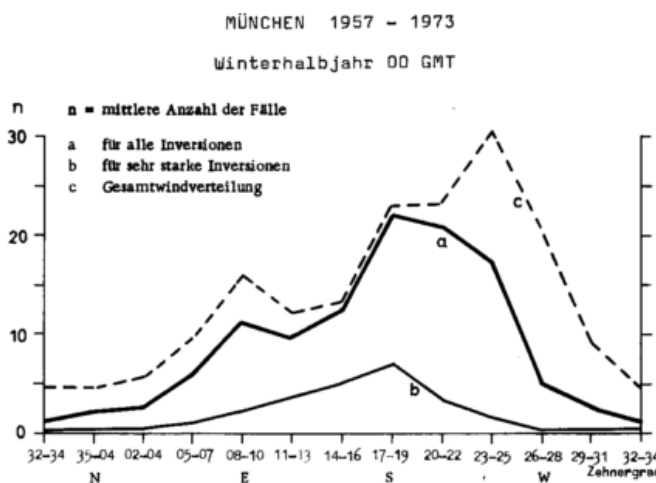


Abb. 6.3: Mittlere Häufigkeit der Windrichtung am Boden bei Inversionen mit Untergrenze unterhalb von 300 m (nach Zählung der 1. Inversion).

Die in Abbildung 6.4 gegebene Häufigkeitsdarstellung der Windgeschwindigkeit bei Inversionen mit Untergrenze unterhalb von 300 m Höhe über Grund am Flughafen Hannover zum 12-Uhr-Termin im Winterhalbjahr läßt die Begünsti-

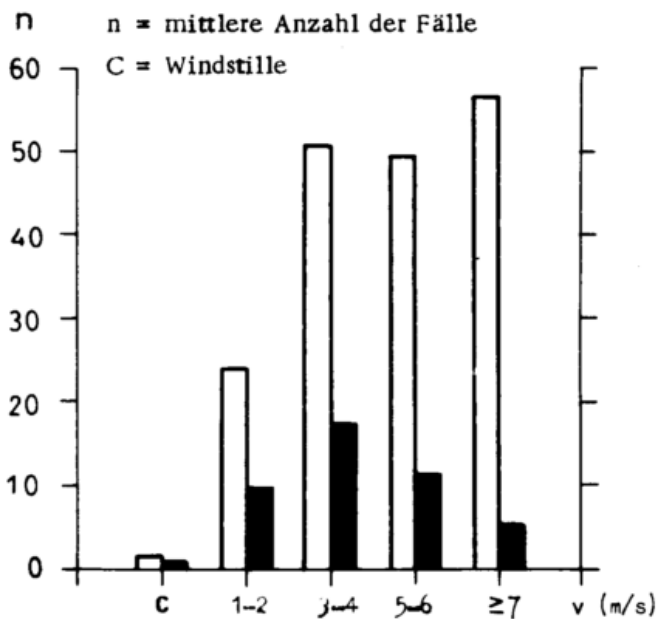


Abb. 6.4: Mittlere Häufigkeit der Windgeschwindigkeit v am Boden bei Inversionen mit Untergrenze unterhalb von 300 m (nach Zählung der 1. Inversion).

gung der Inversionsbildung bei windschwachen Lagen erkennen. In der Gesamtwindverteilung (weiße Säulen) fallen nur 42 % aller Fälle in den Geschwindigkeitsbereich < 5 m/s, die Inversions-Windverteilung (schwarze Säulen) weist hingegen 62 % ihrer Fälle in dieser Klasse auf.

Schließlich sei mit Abbildung 6.5 noch ein Beispiel angeführt, das die mittlere jährliche Häufigkeit der Mächtigkeit von Bodeninversionen, getrennt für 5 Klassen des Temperaturgradienten  $T_g$ , für München im Zeitraum 1957-1966 wiedergibt. Bemerkenswert ist, daß hier bei nächtlichen Inversionen, deren Obergrenze unterhalb von 200 m Höhe über Grund bleibt, die stärksten Gradienten am häufigsten sind. Als bevorzugtes Hektometer-Intervall der Mächtigkeit erweist sich zum 00-Uhr-Termin die Klasse 100-199 m; dabei ist aber zu beachten, daß 45 % aller Bodeninversionen dieses Termins eine größere Dicke haben. Die zum Termin 12 Uhr GMT vorhandenen Bodeninversionen fallen zum weitaus überwiegenden Teil auf den Winter.

### 5.3 Statistik der Mischungsschichthöhe

Die thermische Struktur der bodennahen Schichten weist eine stark ausgeprägte Tagesperiodizität auf. Nächten mit sehr stabiler Schichtung in den untersten Hektometern folgt oft, besonders im Sommerhalbjahr, eine lebhaft konvektive Durchmischung, die gewöhnlich am frühen Nachmittag oder schon um die Mittagszeit ihr Maximum erreicht. Wegen der Wichtigkeit dieses Vertikalaustausches für Untersuchungen über die Schadstoffausbreitung in der

Atmosphäre wurde von G. C. HOLZWORTH (1) der Begriff der "Mischungsschichthöhe" eingeführt. Mit dieser Größe wird angegeben, in welcher Höhe die Obergrenze einer am Boden beginnenden konvektiv durchmischten Schicht liegt. Besonders interessiert der im Laufe des Tages erreichte Maximalwert der Mischungsschichthöhe. In Anlehnung an Arbeiten anderer Autoren wurden tägliche Werte dieser Größe für die aerologischen Stationen des Deutschen Wetterdienstes aus dem Schnittpunkt des mittäglichen vertikalen Temperaturprofils mit der jeweils durch das tägliche Temperaturmaximum am Boden  $T_x$  gegebenen Trockenadiabaten bestimmt. Wenn bei Kaltlufteinbrüchen  $T_x$  dem Vormittag zugeschrieben werden mußte, wurde  $T_x$  für die Berechnung der Mischungsschichthöhe durch einen nach dem Aufstiegstermin aufgetretenen sekundären Höchstwert ersetzt.

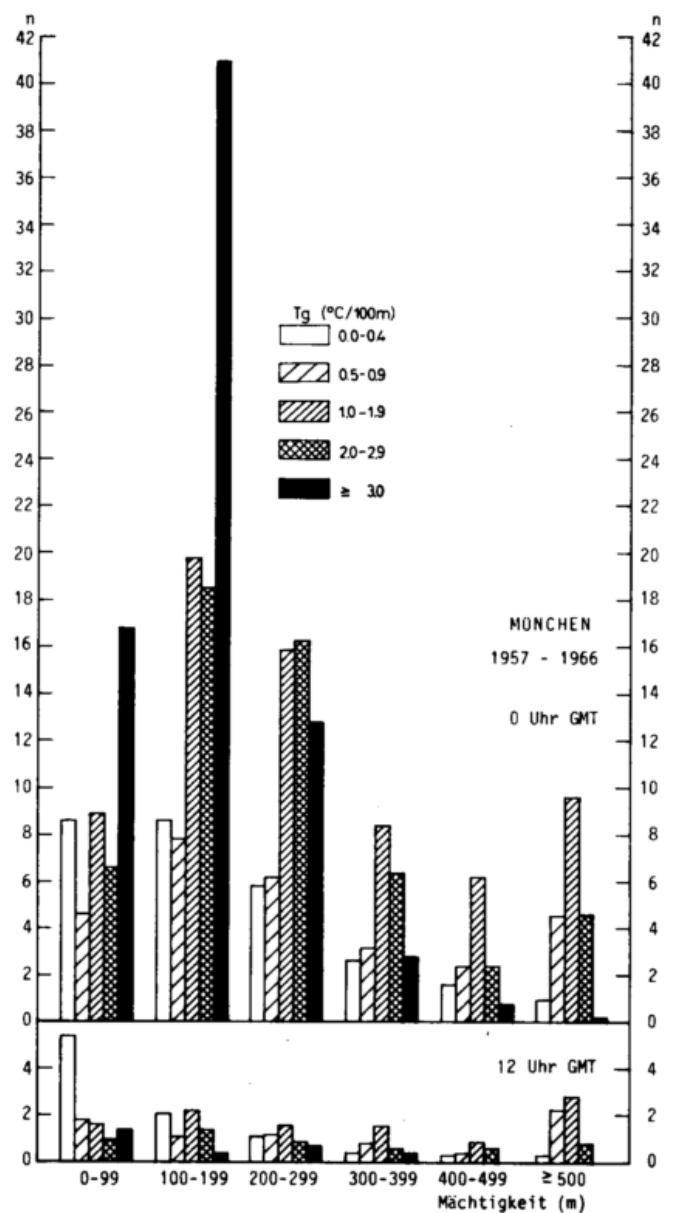


Abb. 6.5: Mittlere jährliche Häufigkeit der Mächtigkeit von Bodeninversionen nach 5 Klassen des vertikalen Temperaturgradienten  $T_g$ ; n = mittlere Anzahl der Fälle.

Aus der für den Zeitraum 1957–1973 vorliegenden Statistik werden als Beispiele in Abbildung 6.6 die Häufigkeitsverteilungen der "maximalen" Mischungsschichthöhe von Emden und München für die meteorologischen Jahreszeiten wiedergegeben. In diese Verteilungen gingen Tage mit Niederschlag zum Termin 12 Uhr GMT oder in den nachfolgenden 3 Stunden nicht ein; ferner schieden Tage mit Temperaturrückgang vom mittäglichen Aufstiegstermin bis zum Nachmittag aus. Diese Verteilungen zeigen sowohl markante Gegensätze an beiden Stationen zwischen den Jahreszeiten, besonders beim Vergleich von Sommer

und Winter, als auch deutliche Unterschiede zwischen der kontinental gelegenen Station München und der stark maritim beeinflussten Station Emden.

#### 5.4 Statistik des vertikalen Temperaturgradienten

Vielfach interessiert in Kreisen der Anwender aeroklimatologischer Statistiken für die planetarische Grenzschicht die Häufigkeit des vertikalen Temperaturgradienten in festen Höhenschichten über Grund. Es ergeben sich natürlich sehr unterschiedliche Häufigkeitsverteilungen dieses Gradienten je nach Tages- und Jahreszeit. Das gilt in besonderem Maße, wenn die betrachtete Schicht dem Erdboden aufliegt. Auch zwischen den in verschiedener landschaftlicher Lage befindlichen aerologischen Stationen der Bundesrepublik Deutschland treten beachtliche Unterschiede in der Häufigkeit des vertikalen Temperaturgradienten  $T_g$  auf. Es ergeben sich z.B. in drei 200-m-Schichten folgende Häufigkeiten (mittlere Anzahl der Fälle) der Gruppe stabiler Gradienten  $T_g \geq 0.0^\circ\text{C}/100\text{ m}$  im Sommer und Winter für den Zeitraum 1957–1973, wobei unter positiven Werten von  $T_g$  Temperaturzunahme mit der Höhe verstanden wird.

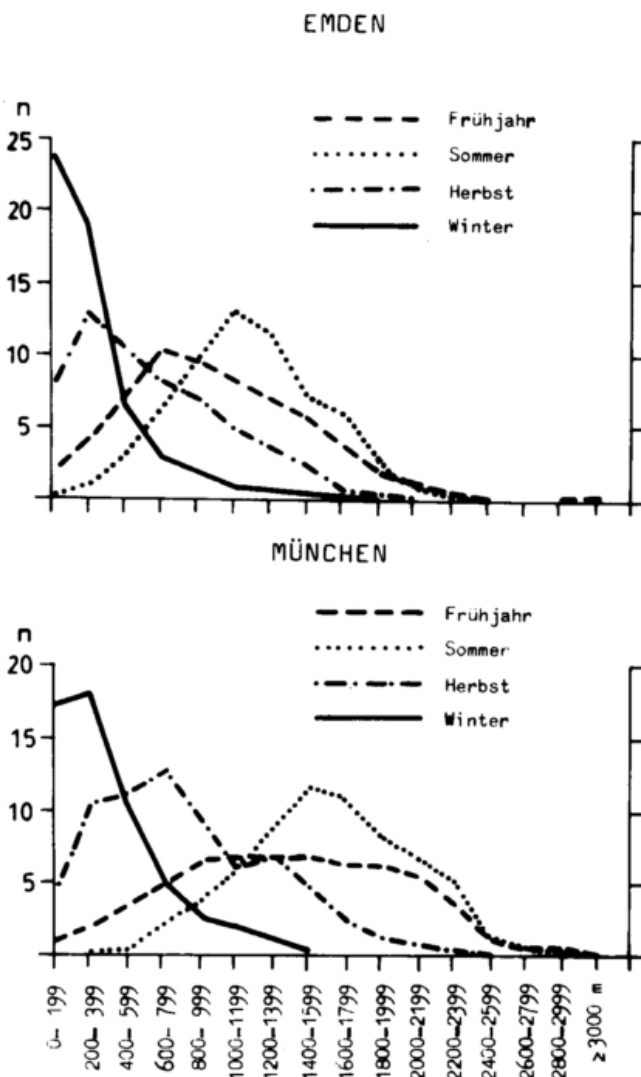


Abb. 6.6: Mittlere Häufigkeit der "maximalen" Mischungsschichthöhe (m) 1957–1973; n = mittlere Anzahl der Fälle.

|                     |           | Sommer |     | Winter |        |
|---------------------|-----------|--------|-----|--------|--------|
| Höhe (m) über Grund |           | 0      | 12  | 0      | 12 GMT |
| Hannover            | 0 – 200   | 59.1   | 0.3 | 31.1   | 10.4   |
|                     | 200 – 400 | 19.6   | 0.7 | 24.2   | 20.4   |
|                     | 400 – 600 | 41.9   | 1.4 | 22.3   | 25.2   |
| München             | 0 – 200   | 65.7   | 0.2 | 47.7   | 22.3   |
|                     | 200 – 400 | 16.9   | 0.2 | 32.9   | 26.9   |
|                     | 400 – 600 | 4.5    | 1.2 | 26.5   | 27.6   |

#### 6 Schlußbemerkung

Das Netz der aerologischen Stationen ist sehr weitmaschig und die Auflösung, mit der sie die Schichtungsverhältnisse in der planetarischen Grenzschicht wiedergeben, relativ grob. Darum werden für spezielle aeroklimatologische Standortuntersuchungen sowie zur Erforschung von Ausbreitungsbedingungen in besonderen Landschaftsräumen aerologische Sondermessungen durchgeführt.

#### Literatur

##### (1) HOLZWORTH, G. C.:

Mixing heights, windspeeds, and potential for urban air pollution throughout the contiguous United States. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Programs, Research Triangle Park, N. C., Publ. No. AP-101 (1972)

## 1 Einleitung

Es ist schwierig und aufwendig, das Klimaelement "Niederschlag" meßtechnisch zu erfassen und statistisch zu beschreiben. Die Niederschlagsintensität kann innerhalb weniger Minuten um mehrere Zehnerpotenzen schwanken. Die räumliche Verteilung eines Schauerniederschlags kann so unterschiedlich sein, daß über wenige Kilometer Entfernung Niederschlagshöhen von 0 bis 100 mm gemessen werden.

Die statistische Variabilität ist ebenfalls sehr groß. So reicht erst eine lange Meßreihe von 30 Jahren aus, um die mittleren monatlichen Niederschlagshöhen an einer Meßstation auf etwa 2% genau zu bestimmen (1).

Im folgenden werden 2 Methoden der statistischen Analyse von Niederschlagsdaten beschrieben:

- 1) Die Dauer- und Höhenlinie der Niederschlagsintensität, eine besondere Art von "Mittelwertklimatologie".
- 2) Die Häufigkeitsanalyse hoher Niederschläge, ein Verfahren aus der Extremwertstatistik.

Beide Verfahren zeigen, wie mit Hilfe mathematischer Modelle sehr große Mengen hydrometeorologischer Daten durch einige wenige statistische Parameter charakterisiert werden und wie es durch Extrapolation gelingt, weitere Informationen zu gewinnen, die durch Messungen nicht oder nur unzureichend belegt sind.

## 2 Dauer- und Höhenlinien der Niederschlagsintensität

In vielen Anwendungsbereichen werden Informationen über die Niederschlagsdauer gebraucht. Dabei ist in den meisten Fällen allerdings nicht die Gesamtdauer des Niederschlags von Bedeutung, sondern die Überschreitungsdauer von bestimmten vorgegebenen Schwellenwerten der Niederschlagsintensität. Der Zusammenhang zwischen Überschreitungsdauer und Intensität kann durch die Dauerlinie der Niederschlagsintensität (Abb. 7.1 a) dargestellt werden.

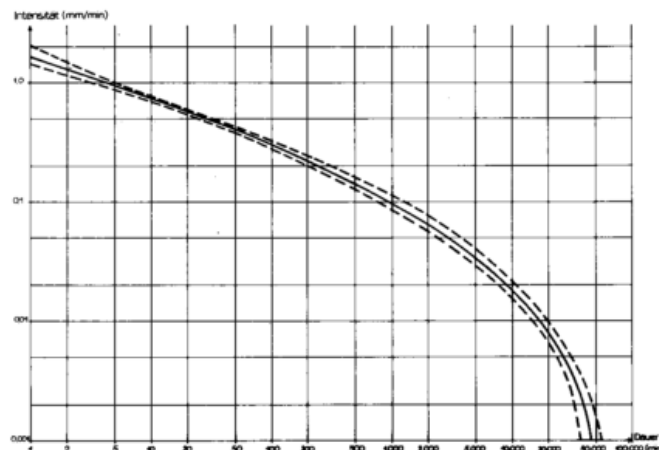


Abb. 7.1 a: Mittlere jährliche Dauerlinie der Niederschlagsintensität für die Station Kassel

Eine ähnliche Beziehung besteht auch zwischen Niederschlagshöhe und -intensität. Sie kann durch die Höhenlinie beschrieben werden (Abb. 7.1 b). In dem Beispiel von Abbildung 7.1 handelt es sich um mittlere jährliche Dauer- und Höhenlinien. In einzelnen, besonders niederschlagsarmen oder niederschlagsreichen Jahren können die Werte um mehr als den Faktor 2 vom Mittelwert abweichen. In manchen Jahren werden sehr hohe Intensitäten (etwa 1 mm/min) überhaupt nicht erreicht. Um die Mittelwerte statistisch abzusichern, benötigt man Daten aus einem Zeitraum von etwa 25 Jahren.

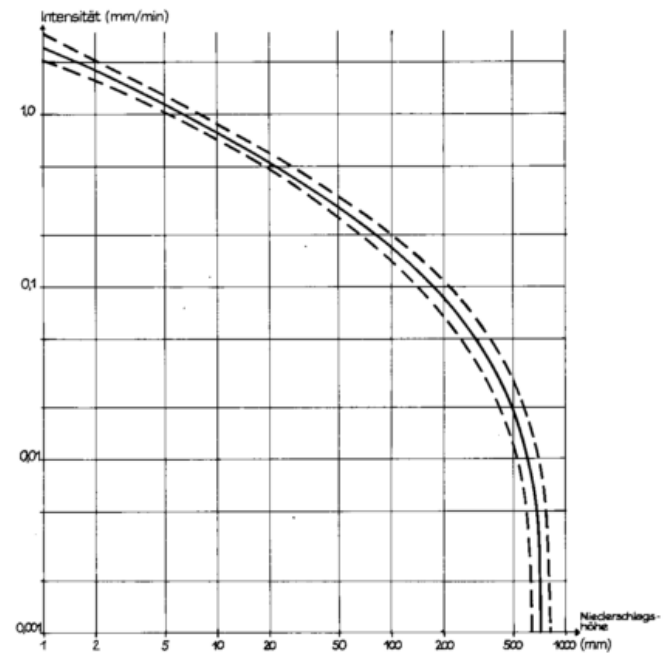


Abb. 7.1 b: Mittlere jährliche Höhenlinie der Niederschlagsintensität für die Station Kassel

### 2.1 Verfahren zur Ermittlung von mittleren jährlichen Dauer- und Höhenlinien

Dauer- und Höhenlinien ermittelt man aus vieljährigen Meßreihen von digitalisierten Niederschlagsregistrierungen. Dieses Verfahren ist allerdings sehr arbeitsaufwendig und ist auf die Orte und Zeiträume beschränkt, für die registrierte Meßwerte vorliegen.

Gestützt auf solche Auswertergebnisse wurde gezeigt (6), daß die mittleren jährlichen Dauer- und Höhenlinien in guter Näherung durch Gauß'sche Summenkurven dargestellt werden können:

$$D(x) = \int_{-\infty}^x dD = \frac{D_0}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx \quad [1]$$

$$R(x) = \int_{-\infty}^x dR = \int_{-\infty}^x I dD$$

Dabei sind  $D(x)$  und  $R(x)$  die Überschreitungsdauer bzw. Niederschlagshöhen für die Bezugswerte  $x$  auf einer logarithmischen Skala  $\log(I/I_b)$  der Intensität  $I$ .  $\sigma$  ist der Streuungsparameter der Gauß'schen Verteilungsfunktion über der logarithmischen Skala, deren Maximum bei  $x = 0$  bzw.  $I = I_b$  liegt.

Diese Summenkurven sind durch 3 Randbedingungen mathematisch festgelegt und können mit einem Iterationsverfahren berechnet werden. Als Randbedingungen dienen die 3 folgenden meteorologischen Größen:

$$R_0 = \int_{-\infty}^{+\infty} dR \quad \text{mittlere jährliche Niederschlagshöhe}$$

$$D_0 = \int_{-\infty}^{+\infty} dD \quad \text{mittlere jährliche Überschreitungsdauer der Intensität } I = 0.0 \text{ mm/min}$$

$$D_{0,63} = \int_{-\infty}^{x_1} dD \quad \text{mittlere jährliche Überschreitungsdauer der Intensität } I = 0,63 \text{ mm/min mit } x_1 = \log(0,63/I_b)$$

Die mittlere jährliche Niederschlagshöhe  $R_0$  erhält man aus einer oder mehreren vieljährigen Meßreihen.

Die Gesamtdauer des Niederschlags  $D_0$  wird aus vieljährigen Reihen von 3-stündlichen synoptischen Wetterbeobachtungen abgeleitet. Aus Niederschlagsregistrierungen kann  $D_0$  nicht ermittelt werden, da die üblichen Registriergeräte kleine Intensitäten nur sehr fehlerhaft erfassen.

Die Überschreitungsdauer  $D_{0,63}$  wird aufgrund von Ergebnissen aus vieljährigen Reihen von Niederschlagsregistrierungen unter Berücksichtigung der klimatischen Gegebenheiten geschätzt. Hierfür verwendbare Registrierungen liegen meist nur aus der warmen Jahreszeit (Mai bis Septem-

ber) vor. Dies reicht allerdings aus, weil so große Intensitäten nur in sommerlichen Starkniederschlägen überschritten werden und somit der für die 5 Monate (Mai bis Sept.) ermittelte Wert von  $D_{0,63}$  dem Jahreswert entspricht.

Abbildung 7.1 zeigt so berechnete Dauer- und Höhenlinien mit den Unsicherheitsgrenzen, die sich aus der Unsicherheit der Eingangsgrößen ergeben.

### 3 Dauer und Überschreitungshäufigkeit hoher Niederschläge

Ein Niederschlagsereignis von bestimmter Dauer wird als hoher Niederschlag bezeichnet, wenn seine Niederschlagshöhe so groß ist, daß sie weniger als etwa 2 mal pro Jahr überschritten wird. Dabei wird über den Intensitätsverlauf oder über die Anzahl der Unterbrechungen während der vorgegebenen Dauer keine Aussage gemacht.

Charakterisiert werden solche Niederschlagsereignisse (in den Ingenieurwissenschaften auch "Berechnungsregen" genannt) durch die 3 Größen Niederschlagshöhe, -dauer und Überschreitungshäufigkeit. Abbildung 7.2 zeigt eine Möglichkeit, den Zusammenhang dieser 3 Größen zu beschreiben. In Abbildung 7.2 a ist die Niederschlagshöhe als Funktion der Überschreitungshäufigkeit mit der Dauer als Parameter aufgetragen, in Abbildung 7.2 b ist sie als Funktion der Dauer mit der Überschreitungshäufigkeit als Parameter dargestellt.

Gestützt auf die Ergebnisse der Auswertung vieljähriger Reihen von Niederschlagsregistrierungen hat H. H. JOHANNSEN (4) (5) gezeigt, daß der Zusammenhang zwischen Niederschlagshöhe und Niederschlagsdauer für einen festen Wert der mittleren jährlichen Überschreitungshäufigkeit durch folgende Beziehung beschrieben wird:

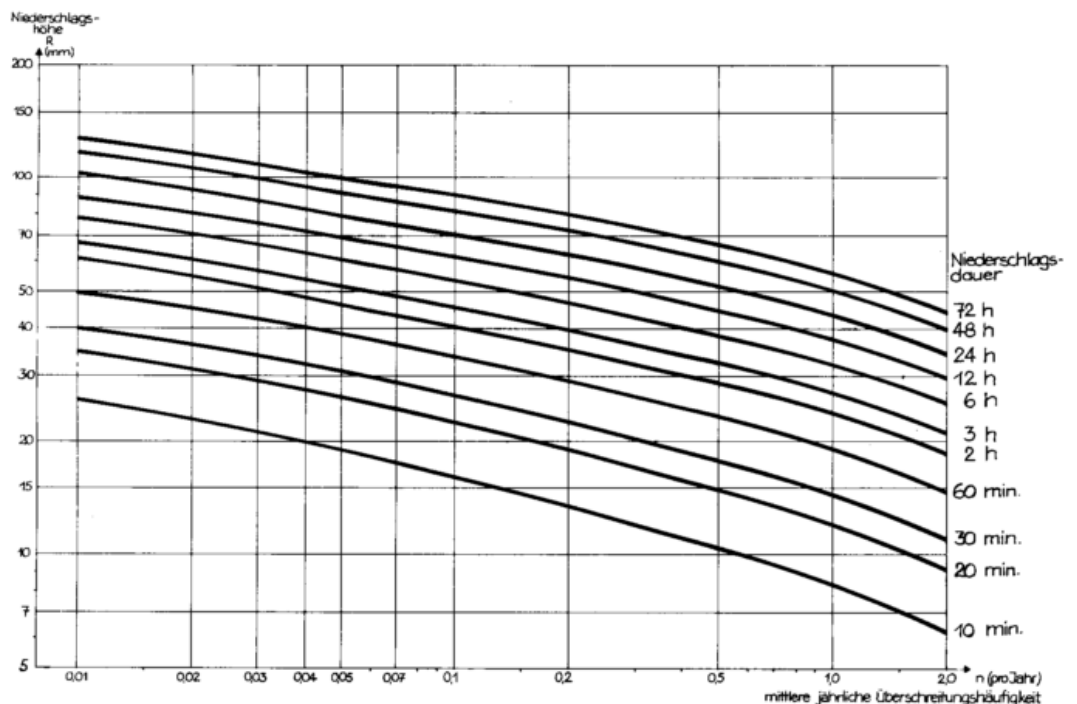


Abb. 7.2 a:  
Niederschlagshöhe als Funktion der Überschreitungshäufigkeit mit der Niederschlagsdauer als Parameter  
Station 1576 Kassel-Wetterwarte

$$R_n(D) = a_n \log(b_n \cdot D + 1) + c \cdot D \quad [2]$$

R = Niederschlagshöhe (mm)

D = Dauer, Wertebereich: 10 min bis 72 h

n = mittl. jährl. Überschreitungshäufigkeit, Wertebereich: 2.0 – 0.01 (pro Jahr)

$a_n, b_n$  = n-abhängige Parameter, (mm) bzw. ( $\text{min}^{-1}$ )

c = mittl. jährl. Niederschlagshöhe/Dauer des Jahres (mm/min)

Die klimatischen Gegebenheiten des Ortes, für den diese Beziehung aufgestellt wird, bestimmen die Parameter  $a_n, b_n$  und die Konstante c.

Um die Abhängigkeit der Niederschlagshöhe von der Überschreitungshäufigkeit darzustellen, gibt es mehrere Verteilungsfunktionen aus der Extremwertstatistik (2) (3). Nur bei Niederschlagsdaten aus der warmen Jahreszeit (Mai bis September) wurde bisher eine Verteilungsfunktion gefunden, die die Niederschlagshöhe als analytische Funktion sowohl der Dauer als auch der Überschreitungshäufigkeit beschreibt (7).

$$R(n, D) = a(n) \cdot (\log(b \cdot D + 1) + c^* \cdot D) \quad [3]$$

$$a(n) = \alpha + \beta \cdot \left(\log \frac{10}{n}\right)^\gamma;$$

$\alpha, \beta, \gamma, c^*$  Konstanten.

Diese Verteilungsfunktion hat die gleiche Form wie die Funktion [2] und hat ähnliche Eigenschaften wie die in der Statistik oft verwendete Doppel exponentialfunktion. Da sie aber für Daten, die auch die Wintermonate erfassen, noch nicht erprobt ist, wird zunächst noch das Verfahren nach Gleichung [2] angewendet. Dazu werden die Niederschlagshöhen für die beiden Dauerwerte  $D_1 = 10$  min und

$D_2 = 72$  h aus Registrier- und Meßreihen bestimmt und extrapoliert. Die Niederschlagshöhen für die Dauerstufen zwischen  $D_1$  und  $D_2$  werden anhand der Funktion [2] interpoliert.

#### 4 Weitere Anwendung statistischer Methoden

Aus der Vielfalt der Anforderungen, die an die statistische Bearbeitung hydrometeorologischer Daten des Deutschen Wetterdienstes gestellt werden, hier einige Beispiele:

##### 4.1 Wind-Niederschlags-Statistik

Viele Anwendungsgebiete brauchen Angaben über die mittleren Verhältnisse von Windgeschwindigkeit und -richtung im Zusammenhang mit Niederschlag. Es ist dann nur ein sehr grober und z.T. systematisch falscher Ansatz, mittlere Verteilungen von Windrichtung und Geschwindigkeit zu verwenden, die nicht nach der Niederschlagsintensität differenziert sind.

Verlässliche Ergebnisse kann nur die statistische Analyse von synchronen, auf demselben Meßfeld vorgenommenen Messungen der beiden Klimaelemente Wind und Niederschlag liefern.

##### 4.2 Häufigkeit und Dauer von niederschlagsarmen und niederschlagsreichen Zeiträumen

Je nach Anwendungsbereich sind die Definitionen der Begriffe "niederschlagsarm" und "niederschlagsreich" verschieden. Gemeinsam ist ihnen aber, daß nicht nur die

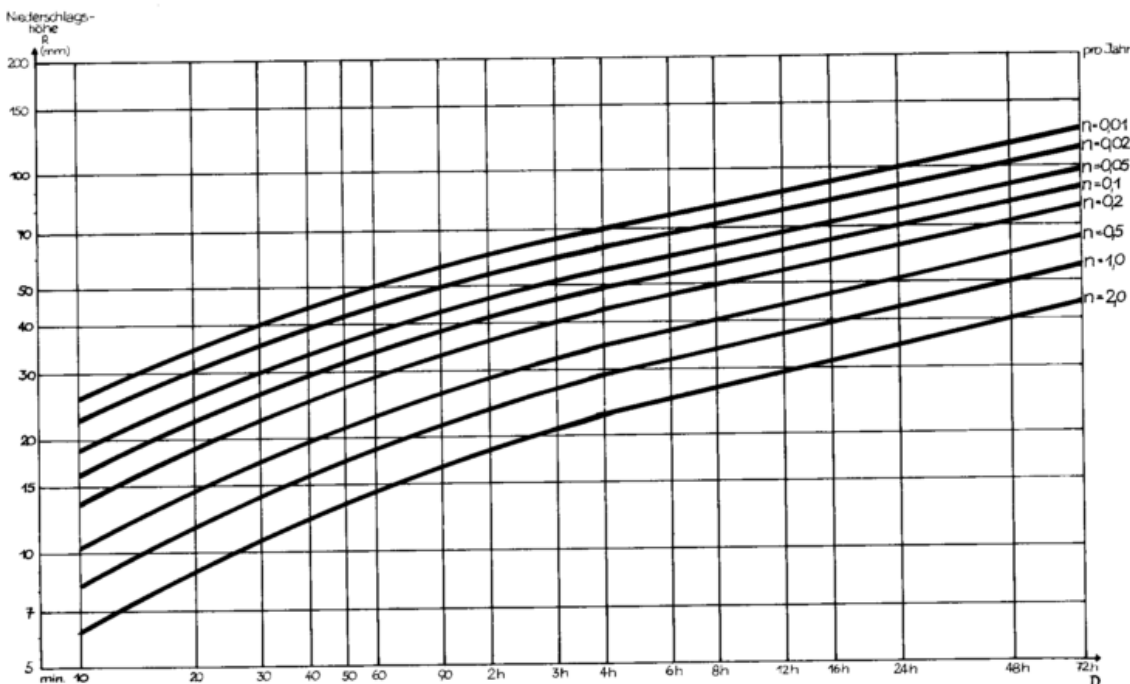


Abb. 7.2b:  
Niederschlags-  
höhe als  
Funktion der  
Niederschlags-  
dauer mit der  
Überschrei-  
tungshäufig-  
keit als  
Parameter  
Station 1576  
Kassel-Wetter-  
warte

Niederschlagshöhe eines einzelnen Tages, sondern auch die Niederschlagshöhe einiger Tage vorher und nachher entscheidend dafür sind, ob der betreffende Tag zu einem niederschlagsreichen Zeitraum hinzugezählt wird.

Durch statistische Bearbeitung einer großen Anzahl vieljähriger Meßreihen von täglichen Niederschlagshöhen soll eine anwendungsorientierte Präsentation der Ergebnisse erarbeitet werden, die auch für räumliche Vergleiche geeignet ist.

#### 4.3 Der "vermutlich maximale Niederschlag"

Um die größte Niederschlagshöhe, die bei vorgegebener Niederschlagsdauer und Gebietsfläche meteorologisch möglich ist, zu finden, gibt es statistische Methoden und deterministische Modelle mit statistisch gewonnenen Eingangsgrößen (8). Das Ergebnis wird als der "vermutlich maximale Niederschlag" bezeichnet. Das Adjektiv "vermutlich" weist darauf hin, daß es sich hier um eine geschätzte Größe handelt, die nur innerhalb eines sehr erheblichen Unsicherheitsbereiches festgelegt werden kann.

#### 4.4 Simulation wahrscheinlicher zeitlicher und räumlicher Niederschlagsverteilungen

Mit dem in Abschnitt 3 beschriebenen Verfahren werden Niederschläge durch die 3 Merkmale Überschreitungshäufigkeit, Dauer und Niederschlagshöhe charakterisiert. Über weitere Eigenschaften solcher "Berechnungsregen" konnte bisher nichts ausgesagt werden. Erst mit Hilfe der Varianzanalyse gelingt es, den zeitlichen Ablauf und die räumliche Verteilung durch weitere statistische Parameter zu erfassen und dadurch Modell-Niederschläge zu simulieren (9).

Solche Untersuchungen erfordern ein sehr umfangreiches Datenmaterial, das dem Deutschen Wetterdienst erst in einigen Jahren nach der Aufbereitung vieler Meßreihen von Niederschlagsregistrierungen vorliegen wird.

#### Literatur

- (1) Deutsche Forschungsgemeinschaft:  
Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland.  
Boppard 1978.
- (2) DRASCHOFF, R.:  
Häufigkeitsanalyse langfristiger Niederschlagsbeobachtungen als Grundlage der Abflußstatistik kleiner Vorfluter. Mitt. Inst. f. Wasserwirtsch., Hydrol. u. landwirtschl. Wasserbau d. TU Hannover H. 24 (1972).
- (3) GUMBEL, E. J.:  
Statistics of extremes. New York 1958.
- (4) JOHANNSEN, H. H.:  
Eine einfache Darstellung der Ergebnisse von Schreiberregennesseraufzeichnungen. Ber. Dt. Wetterd., Nr. 54 (1959) S. 114–118
- (5) JOHANNSEN, H. H.:  
Schauerniederschläge. Wasserwirtschaft H. 1/2 (1970).
- (6) JOHANNSEN, H. H.; KUMM, H.:  
Ermittlung von Dauer- und Höhenlinien der Niederschlagsintensität. Offenbach: Deutscher Wetterdienst 1977.
- (7) JOHANNSEN, H. H.; KUMM, H.:  
Dauer und Überschreitungshäufigkeit hoher Niederschläge für 10 Stationen im nördlichen Hessen. Offenbach: Deutscher Wetterdienst 1977.
- (8) PAULHUS, J. L. H. et al.:  
Manual for estimation of probable maximum preeipitation. WMO-No 332 (1973) = Operational Hydrology Rep. No 1.
- (9) SIEKER, F.:  
Simulation wahrscheinlicher, zeitlicher und örtlicher Niederschlagsverteilungen. Mitt. Inst. f. Wasserwirtsch. Hydrol. u. landwirtsch. Wasserbau d. TU Hannover H. 37 (1976)

# 8

V. VENT-SCHMIDT, Offenbach a.M.

## Analytische und synthetische Klimakarten

### 1 Einleitung

Eines der wichtigsten Probleme in der Meteorologie ist die räumliche Interpolation von punktuell gewonnenen Informationen über den atmosphärischen Zustand. Während in der Synoptik beim Entwurf der Wetterkarten die aktuellen Beobachtungen und Messungen verarbeitet werden, interessiert in der Klimatologie das mittlere Erscheinungsbild, das sich erst bei der Betrachtung eines längeren Zeitraums durch eine entsprechende Analyse der Zeitreihen ergibt. Die Extrapolation der an den Beobachtungsorten gewonnenen Werte auf den Raum zwischen den Stationen setzt ein einheitliches Datenmaterial voraus. Darunter ist neben der Vergleichbarkeit der einzelnen Messungen auch zu verstehen, daß fehlerhafte oder unvollständige Reihen ausgeschieden oder sinnvoll korrigiert werden. Dies erfordert einen großen, zeitraubenden Arbeitsaufwand, und viele Fehler lassen sich erst beim Entwurf der Karten entdecken.

Andererseits muß gewährleistet sein, daß die Werte nicht zu sehr den lokalen Charakter der Station widerspiegeln und damit der Repräsentanzbereich eingeschränkt wird. Eine eindeutige wissenschaftliche Definition für den Begriff "Repräsentanz" gibt es in der Klimatologie nicht, weil der Gültigkeitsbereich von Element zu Element schwankt. Oftmals werden nur Lufttemperatur, Niederschlag und eventuell noch der Wind berücksichtigt. An einer Bergstation sind z.B. die Beobachtungen des Bedeckungsgrades meist für ein weites Gebiet "repräsentativ", während gleichzeitig Messungen der Lufttemperatur extrem lokalen Charakter zeigen.

In der Klimatologie werden der mittlere Zustand sowie die Variation über einen längeren Zeitraum betrachtet. Aus der Definition des Begriffs "Klima" (s. Beitrag 1 in diesem Heft) geht hervor, daß es sich dabei um eine sehr komplexe Größe handelt, weil eine Vielzahl von Elementen und

Faktoren einget. Deshalb gibt es im eigentlichen Sinne keine "Klimakarte", die das Klima selbst darstellt, sondern nur Karten, die die Verteilung eines Klimatelementes oder Aspekte des Klimas enthalten. Dementsprechend unterscheidet man zwischen analytischen und synthetischen Karten (1) (2).

## 2 Analytische Karten

Zunächst beschränkt sich der Klimatologe darauf, die räumliche Verteilung eines Elementes in seinem mittleren Zustand zu entwerfen. Diese Arbeitsweise ist analytisch, deshalb spricht man von *analytischen Klimakarten*. Um die dreidimensionale Struktur zu berücksichtigen, muß der Klimatologe die Höhenschichtlinien beachten und über eine genaue Kenntnis der Lage der Stationen verfügen. Für den Entwurf werden aus den genannten Gründen orohydrographische Karten zugrunde gelegt, in die die Werte eingetragen werden. Als Grundkarte dient die Weltkarte 1:1 Million, je nach Netzdichte wird aber auch ein anderer Maßstab gewählt. Eine einfache Interpolation versagt in fast allen Fällen, weil die Variation der meteorologischen Elemente und ihrer statistischen Kenngrößen mit der Geländehöhe besonders in der Nähe des Erdbodens einen sehr komplexen Zusammenhang aufweist.

Die Arbeitsweise und die Problematik beim Entwurf der Karten soll am Beispiel der mittleren Niederschlagshöhen kurz erläutert werden. In der Veröffentlichungsreihe "Das Klima in der Bundesrepublik Deutschland", Lfg. 1, wird die Methodik ausführlich geschildert (3).

Die Wahl der Grundkarte stellt bereits eine wichtige Vorarbeit dar, weil einmal die Informationsdichte des Ausgangsmaterials, aber auch die Variationsbreite des Elementes zu berücksichtigen sind. Bei einem Netz von ca. 3000 Niederschlagsstationen liegt im Mittel alle 9 km ein Wert vor. In diesem Fall ist eine Darstellung im Maßstab 1:500 000 als sinnvolle obere Grenze anzusehen.

Eine Darstellung der Verteilung in einem großen Maßstab ist nur möglich, wenn durch geeignete Reduktionsverfahren weitere Werte zur Verfügung stehen (4). Die mechanische Vergrößerung einer Karte muß grundsätzlich abgelehnt werden, weil dadurch nur eine höhere Genauigkeit vorge täuscht wird, als sie dem tatsächlichen Informationsgehalt entspricht. Eine Verkleinerung ist durch eine Generalisierung dagegen jederzeit möglich.

Die mittleren Niederschlagshöhen für das Jahr variieren in der Bundesrepublik Deutschland von weniger als 500 mm bis zu mehr als 2500 mm. Der Abstand der Isolinien wird analog zur logarithmischen Höhenabhängigkeit gewählt. Die Verteilung der Niederschlagshöhen ist aber nicht allein von der Geländehöhe abhängig, sondern sowohl von der Häufigkeitsverteilung der niederschlagsbringenden Winde und damit der Streichrichtung der Gebirgszüge, die Luv- und Leegebiete hervorrufen, als auch von anderen niederschlagsbildenden Prozessen, z.B. Konvektivität, Nebelnäsen. Diese Kenntnisse muß sich der Klimatologe aneignen und bei der Linienführung berücksichtigen. Dennoch bleibt ein individueller Spielraum durch die notwendige Generalisierung und durch die Nichtberücksichtigung von Werten, die im Vergleich zu Nachbarstationen Abweichungen zeigen, obwohl eine Überprüfung keine Fehlerhaftigkeit erkennen läßt. Insofern enthält jede Karte auch einen Teil Subjektivität, die durch das Wissen und das Vorstellungsvermögen des Bearbeiters geprägt ist.

Eine Isolinie bzw. ihr Verlauf darf deshalb nicht als eine scharfe Grenze angesehen werden, sie unterliegt vielmehr einer gewissen Bandbreite, die von Element zu Element variiert. Nicht für alle Elemente oder daraus abgeleitete Größen ist eine kartographische Darstellung mit Isolinien möglich.

## 3 Synthetische Karten

Aspekte des Klimas finden in vielen Anwendungsbereichen Berücksichtigung und werden oftmals in unmittelbarem Zusammenhang mit anderen Grundgrößen dargestellt. Dabei entstehen *synthetische Karten*, die nicht mehr die Elemente selbst, sondern entsprechende Kenngrößen und deren Verteilung zeigen. Ein sehr anschauliches Beispiel liefert die Karte "Die bioklimatischen Zonen in der Bundesrepublik Deutschland" (5). In ihr sind Temperaturmessungen, Windangaben, Strahlungswerte und Feuchtedaten zu einem thermischen Wirkungskomplex, bezogen auf den Menschen, verarbeitet worden. Nicht nur der Entwurf und die Gestaltung derartiger Karten sind schwierig, sondern auch ihre Interpretation.

Besonderes Augenmerk muß zur Vermeidung von falschen Schlüssen auf die Definition synthetischer Größen gelegt werden. Einige Beispiele mögen die Problematik erläutern:

Der "Erholungsraum" bzw. der "Erholungswert einer Landschaft" wird durch das individuelle Empfinden geprägt. Je nach Alter reichen die Anforderungen an den Raum von gepflegten Spazierwegen in Parkanlagen über Wanderwege in Waldlandschaften bis hin zu perfekten Sporteinrichtungen für den in unserer modernen Industriegesellschaft propagierten Aktivurlaub. Hinzu kommt eine räumlich-zeitliche Differenzierung in Nah-, Wochenend- und Ferien-erholungsgebiete. Die unterschiedlichen Begriffsbestimmungen werden in (6) ausführlich diskutiert. Zur Objektivierung des Problems müssen möglichst einheitliche Kriterien gefunden werden. Im Bereich des Klimas gewinnen einzelne Elemente besonderen Wert. So werden überwiegend niederschlagsarme und sonnenscheinreiche Gebiete bevorzugt, während gleichzeitig Räume mit Schwülebelastung nicht attraktiv sind. Zur Abgrenzung werden z.B. die räumlichen Verteilungen der "Mittleren Anzahl der heiteren Tage" und der "Mittleren Niederschlagshöhen im hydrologischen Sommerhalbjahr" herangezogen. Kriterien, von welchem Wert ab eine positive Wirkung für die Erholung zu erwarten ist, lassen sich nur subjektiv finden.

Weitere synthetische Größen und Begriffe, die sich inzwischen in vielen ökologischen Studien, aber auch schon in Verordnungen und Gesetzen finden, sind: Naturraumpotential, Regenerationspotential, Ausgleichsraum, klimatologischer Wirkungsraum, Schutzraum, usw. Besondere Bedeutung hat die Ausweisung von lufthygienisch belasteten Gebieten durch das Bundesimmissionsschutzgesetz und die zugehörige Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft) erlangt.

Bei allen diesen Größen spielt das Klima eine wichtige Rolle. Um die für die Planung und Anwendung benötigten synthetischen Karten zu erstellen, gibt es verschiedene Methoden, die in ihrer Schilderung auf die Verarbeitung klimatologischen Datenmaterials beschränkt bleiben sollen.

### 3.1 Superposition

Liegen analytische Karten von einzelnen Elementen im gleichen Maßstab vor, so lassen sich durch Superposition Gebiete angeben, in denen bestimmte Merkmale gleichzeitig erfüllt sind. Dabei ist darauf zu achten, daß die verwendeten Grundkarten annähernd ähnliche Aussagekraft besitzen, d.h. in ihrer Struktur genügend differenziert sind, weil sonst eine geringfügig modifizierte Reproduktion der dominierenden Karte entsteht. Andererseits muß ein inhaltlicher Bezug zu der gewünschten synthetischen Kenngröße vorliegen. Ein Beispiel für eine derartige Arbeitsweise ist in (7) beschrieben. Der Bericht enthält eine Karte, die die bioklimatische Belastung in Hessen, Rheinland-Pfalz und im Saarland durch Superposition der beiden Karten "Mittlere jährliche Windgeschwindigkeit" und "Mittlere jährliche Anzahl der Tage mit einer Lufttemperatur des befeuchteten Thermometers von mindestens 18 °C", die ein Maß für die Schwüle ist, ausweist. Windschwache Gebiete mit einer großen Anzahl von Tagen mit Schwüle gelten als besonders belastend. Es muß darauf hingewiesen werden, daß im Einzelfall nicht vorausgesetzt wird, daß die beiden Kriterien tatsächlich zeitgleich auftreten, sondern es handelt sich nur um die Abgrenzung von Räumen, in denen bestimmte, gesundheitlich belastende Wettersituationen häufig vorkommen.

### 3.2 Komposition durch Rasterverfahren

Je größer der manuelle Aufwand zur Erstellung synthetischer Karten, um so eher ist die Umstellung auf eine elektronische Datenverarbeitung zu erwarten. In vielen Bereichen der Technik liegen inzwischen Datenbanken vor, die über entsprechende Programme auch zu thematischen Karten verarbeitet werden. Dabei treten völlig neue Probleme auf, die auch für den Klimatologen neue Arbeitsmethoden erfordern. In der thematischen Kartographie werden äquidistante Strukturen in der Datenbank vorausgesetzt, um Schnelldrucker und Plotterprogramme einsetzen zu können (8).

Da die Klimastationen ungleichmäßig im Raum verteilt liegen, ist eine einfache Zuordnung zu Gitternetzstrukturen nicht möglich. So wird zunächst der Versuch unternommen, analytische Klimakarten durch Rasterung abzuspeichern, und die so erhaltenen Datenbanken über Plotter wieder in Karten umzusetzen. Je nach Interpolationsverfahren entstehen gegenüber der Originalkarte Verschiebungen und Verzerrungen, weil nur eine begrenzte Anzahl von Rasterpunkten verarbeitet werden kann. Bei der Rasterung werden verschiedene Wege beschritten. Einmal verwendet man Schablonen – an jedem Gitterpunkt wird entweder der tatsächliche Wert aus der Karte abgelesen oder ein Flächenmittel entnommen – zum anderen existieren elektronische Verfahren, bei denen der Isolinenverlauf digitalisiert wird und über mathematische Prozeduren die Gitterpunktswerte berechnet werden.

Nach Rasterung mehrerer analytischer Karten läßt sich anschließend durch Komposition an den Gitterpunkten mittels *Wichtungsfunktionen* ein Feld mit synthetischen Werten erzeugen. Dies hat oftmals den Nachteil, daß von Gitterpunkt zu Gitterpunkt erhebliche Sprünge der Kenngrößen auftreten, die eine Verarbeitung zu Isolienverteilungen verbieten. Ein sehr anschauliches Beispiel einer solchen Arbeitsmethode liegt in der Karte der "Natürlichen Attraktivität der Landschaft für die Erholung" vor (6),

die dabei auftretenden Probleme wurden bei der Definition des Erholungswertes bereits geschildert. Auch beim Deutschen Wetterdienst liegen erste synthetische Karten im Rahmen des Projektes "Abwärme Oberrhein" für das Gebiet des Oberrheingrabens vor, um die durch Abwärme potentiell belasteten Gebiete zu charakterisieren (9).

Die Rastermethode stößt sehr schnell an die Grenze der Anwendung durch die Datenbankprobleme. Für die Bundesrepublik Deutschland werden im 1 km-Raster ca. 250 000 Werte benötigt. Je nach Anzahl der zu verarbeitenden Elemente vervielfachen sich die notwendigen Operationen, so daß selbst Computer mit sehr großer Speicherkapazität schnell überfordert sind.

### 3.3 Regressionsmethode

Wichtigste Grundlage für den Entwurf von Klimakarten ist die Geländehöhe. Für den Einsatz der EDV muß eine orographische Datenbank vorliegen, wie sie z.B. vom Fernmeldetechnischen Zentralamt der Deutschen Bundespost erstellt wurde (10). Für klimatologische Zwecke ist die dort gewählte Auflösung mit einem Rasterabstand von 5 Bogensekunden zu detailliert und kann nur bei regionalen Studien Anwendung finden. Aus diesem Grund wird derzeit beim Deutschen Wetterdienst die Geländehöhe für die Bundesrepublik Deutschland aus topographischen Karten an den Gitterpunkten des Gauß-Krüger-Netzes im 1-km-Raster erfaßt.

Auf dem Weg, synthetische Karten zu zeichnen, wurde zunächst versucht, analytische Karten mit dem Computer zu erstellen.

Untersuchungen der Höhenabhängigkeit von Klimadaten zeigen insbesondere für die Lufttemperatur enge Korrelationen. Deshalb ist für ausgesuchte Testgebiete die Regressionsgerade zwischen Stationshöhe und dem Jahresmittel der Lufttemperatur berechnet worden. Gleichung [1] stellt den funktionalen Zusammenhang dar, der neben dem empirisch gewählten orographischen Gradienten Korrekturglieder für die geographische Breite und die Kontinentalität enthält.

$$T_2 - T_1 =$$

$$0.005 \cdot (H_1 - H_2) - \text{grad NS} \cdot \text{DNS} - \text{grad OW} \cdot \text{DOW} \quad [1]$$

$T_1, T_2$  = mittlere Lufttemperatur in °C

$H_1, H_2$  = Stationshöhe in m

grad NS = Nord-Süd-Gradient (geographische Korrektur) in °C/m

grad OW = Ost-West-Gradient (Kontinentalität) in °C/m

DNS = Breitenkreisentfernung der 2 Stationen in m

DOW = Längengradiententfernung der 2 Stationen in m

0.005 = Konstante (mittlere Höhenabhängigkeit) in °C/m

Die notwendigen Kenntnisse über die Gradienten erhält man, wenn ein genügend großes Kollektiv von Daten nach Gleichung [1] untersucht wird. Für den Zeitraum 1931–1960 stehen die Mittelwerte von 721 Stationen zur Verfügung. Untersucht werden jedoch nur Stationspaare, bei denen das Verhältnis von DNS/DOW entweder größer als 10 oder aber kleiner als 0,1 war. Tabelle 1 enthält die berechneten Gradienten. Sucht man die Stationen heraus, die im Vergleich zu den Nachbarstationen die Bedingungen der Gleichung [1] nur schlecht erfüllen, so stellt man fest, daß es sich dabei um sehr stark durch lokale Einflüsse geprägte Stationen handelt, wie z.B. die Stadtstationen

Hamburg-St. Pauli und Heidelberg, die den Anforderungen an eine repräsentative Beobachtung nicht gerecht werden.

Tab. 1: Horizontale Gradienten ( $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ) der Lufttemperatur Zeitraum 1931–1960

|        | grad NS | grad OW  |
|--------|---------|----------|
| Jahr   | - 0.003 | - 0.002  |
| Januar | - 0.001 | - 0.005  |
| Juli   | - 0.004 | + 0.0004 |

Die Berechnungen zeigen, daß der geographische Gradient (grad NS) im Jahresgang stabil ist, während bei der Kontinentalität ein Kentern beobachtet wird mit einer Temperaturabnahme nach Osten im Winter, aber eine Zunahme im Sommer.

Für ein Testgebiet zwischen  $49^{\circ}\text{N}$  und  $50^{\circ}\text{N}$  sowie  $8^{\circ}\text{E}$  und  $10^{\circ}\text{E}$  wurde über Gleichung [1] ein Feld mit Temperaturwerten im 10-km- und 1-km-Raster berechnet und mit einem Isolinenprogramm in eine Karte umgesetzt. Um einen Vergleich mit der handentworfenen Karte zu ermöglichen, ist der Maßstab 1:1 Mio. beibehalten worden; es ergeben sich allerdings zu den Rändern geringfügige Verzerrungen durch die äquidistanten Abstände in den Plotkarten. Der Isolinenabstand beträgt bei beiden Karten  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Abbildung 8.1 zeigt die Verteilung im 10-km-Raster, bei der die Struktur der Karte sehr generalisiert hervortritt und wichtige Informationen durch das Gitter verloren gehen. So ist der Rheingraben deutlich zu erkennen, während das Neckar- und das Maintal nur durch eine Folge wärmerer Inseln angedeutet werden.

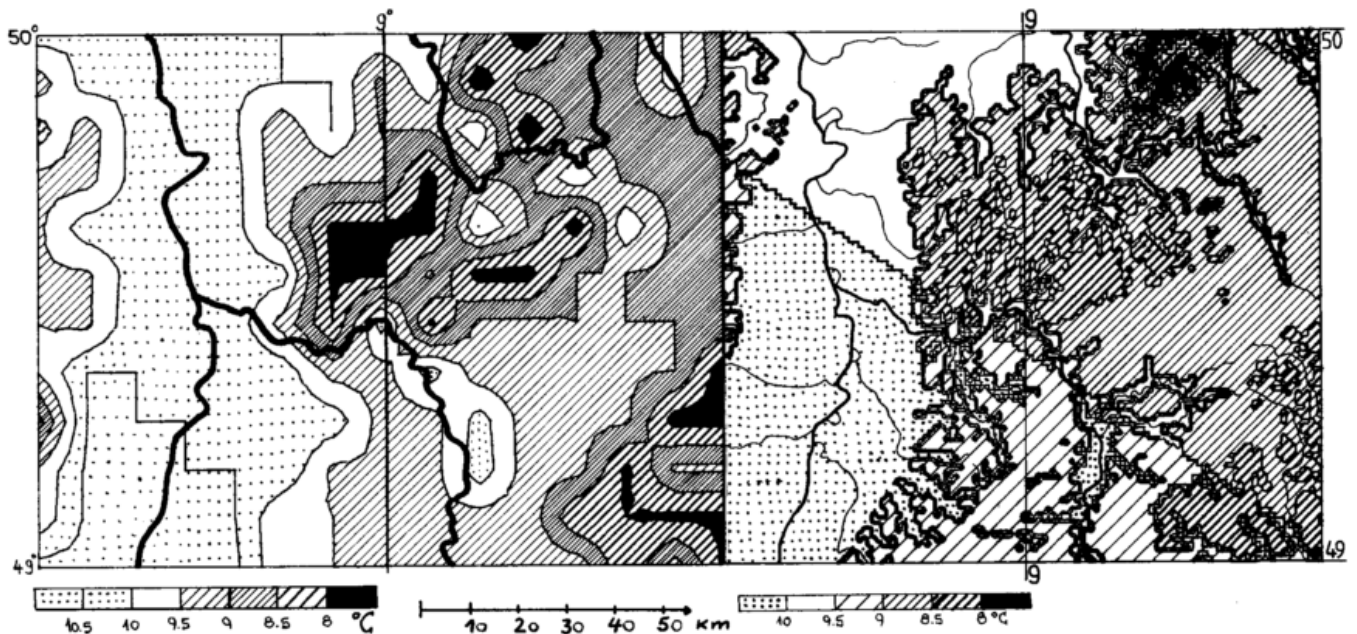


Abb. 8.1: Mittlere Lufttemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) im Jahr (Zeitraum: 1931–1960). Synthetische Berechnung mit einem Höhenraster (Abstand 10 km). Testgebiet:  $49-50^{\circ}\text{N}$ ,  $8-10^{\circ}\text{E}$ , Maßstab 1:1 Mio. (verkleinert).

Abbildung 8.2 zeigt die Verteilung im 1-km-Raster für eine orographische Datenbank, die aus der Weltkarte 1:1 Mio. mit der entsprechenden Höhenabstufung hervorging. Die Karte enthält sehr detaillierte Strukturen, die nur in ganz wenigen kleinen Gebieten die für Isolinenprogramme charakteristischen Ecken und Knotenpunkte aufweisen.

Weitere Studien mit verbesserten Geländedatenbanken sollen folgen. Die Methode kann durch Untersuchungen der Höhenregressionen auch für andere Elemente angewendet werden. Aus der Geländedatenbank lassen sich Aussagen zu mittlerer Hangneigung, Reliefenergie, Luv- und Leegebieten erarbeiten. Die Berücksichtigung dieser Kenngrößen im Zusammenhang mit meteorologischen Daten führt zu synthetischen Karten.

Ein wesentlicher positiver Aspekt bei der Anwendung der Regressionsmethode ist die Objektivität und die Reproduzierbarkeit der Karten. Außerdem erübrigt sich, für jeden Gitterpunkt die gesamte Information zu speichern.

#### 4 Anwendung der Karten

Die Verwendung von Karten ist in allen Bereichen der Technik, Wirtschaft und Planung denkbar. Oftmals fehlt den Interessenten allerdings ein Überblick über das vorhandene Material (11), bzw. es bestehen Diskrepanzen zwischen den möglichen und den gewünschten Aussagen, die sich aus den Karten herleiten lassen. Das Problem der Entscheidungsebene und damit der Informationsdichte läßt sich nur durch eine intensive Beratung der Abnehmer und Anwender durch den Klimatologen lösen. Dabei können die Karten kein alleiniges Hilfsmittel darstellen; sie müssen im Einzelfall immer im Zusammenhang mit dem

Abb. 8.2: Mittlere Lufttemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) im Jahr (Zeitraum: 1931–1960). Synthetische Berechnung mit einem Höhenraster (Abstand: 1 km). Testgebiet:  $49-50^{\circ}\text{N}$ ,  $8-10^{\circ}\text{E}$ , Maßstab 1:1 Mio. (verkleinert).

Grundlagenmaterial und weiteren zusätzlichen statistischen Auswertungen in Form von Graphiken und Tabellen betrachtet werden.

Die enormen Kosten für den Druck der Karten können nur gerechtfertigt werden, wenn die Anwendungsmöglichkeiten breit gefächert sind und eine intensive Zusammenarbeit zwischen dem Deutschen Wetterdienst, den Universitätsinstituten, Bundes- und Landesbehörden und sonstigen Institutionen gewährleistet ist. Beispielhaft mag die in diesem Jahr erscheinende Veröffentlichung "Das Klima von Hessen. Ein Beitrag zur agrarstrukturellen Vorplanung" genannt werden, die in Zusammenarbeit mit dem Hessischen Minister für Landesentwicklung, Umwelt, Landwirtschaft und Forsten entstanden ist (12). In ihr ist neben zahlreichen Klimakarten, Graphiken und Tabellen auch ein ausführlicher Textteil enthalten, der besonderen Wert auf die Anwendungsmöglichkeiten legt.

#### Literatur

- (1) SCHIRMER, H.  
Anwendung klimatologischer Erkenntnisse und Grundlagen für die Raumordnung. Abh. d. Geogr. Inst. d. F.U. Berlin 24 (1976) S. 135–144.
- (2) VENT-SCHMIDT, V.  
Analytische und synthetische Klimakarten. Kartogr. Nachr. H. 4 (1980) S. 137–143.
- (3) SCHIRMER, H.; VENT-SCHMIDT, V.  
Das Klima der Bundesrepublik Deutschland. Lfg. 1: Mittlere Niederschlagshöhen für Monate und Jahr, Zeitraum 1931–1960. Offenbach a.M.: Deutscher Wetterdienst 1979.
- (4) SCHIRMER, H.  
Über die Reduktion von kürzeren Niederschlagsreihen. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 42 (1952) S. 54.
- (5) BECKER, F.  
Bioklimatische Reizstufen für eine Raumbeurteilung zur Erholung. Forsch. u. Sitz.-Ber. Akad. f. Raumforsch. u. Landesplanung 76 (1972).
- (6) MRASS, W. et al.  
Ermittlung von aktuellen und potentiellen Erholungsgebieten in der Bundesrepublik Deutschland. Schr.-R. f. Landschaftspflege u. Naturschutz H. 9 (1974).
- (7) SCHIRMER, H.  
Die klimatische Gliederung des Gebietes der LAG Hessen/Rheinland-Pfalz/Saarland. Forsch. u. Sitz.-Ber. Akad. f. Raumforsch. u. Landesplanung 121 (1978) T. 3.
- (8) Thematische Kartographie und Elektronische Datenverarbeitung. Forsch. u. Sitz.-Ber. Akad. f. Raumforsch. u. Landesplanung 115 (1977).
- (9) SÜSSENGUTH, G.  
Abschlußbericht zum Projekt "Abwärme Oberrhein" für das Umweltbundesamt Berlin. Offenbach a.M. 1979 (Unveröffentlicht).
- (10) SCHMELING, D.  
Das topographische Datenbank- und Verarbeitungssystem TDMS 1100 der Deutschen Bundespost. Darmstadt: Fernmeldetechnisches Zentralamt 1977.
- (11) KALB, M.  
Klimakarten des Deutschen Wetterdienstes für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland. Natur u. Landschaft 54 (1979) H. 7/8, S. 250–253.
- (12) KALB, M.; VENT-SCHMIDT, V.  
Das Klima von Hessen. Ein Beitrag zur agrarstrukturellen Vorplanung. Wiesbaden: Hess. Min. f. Landesentwicklung, Umwelt, Landwirtsch. u. Forsten (1980) (in Vorbereitung).

---

## Aus dem Geophysikalischen Beratungsdienst der Bundeswehr

---

### Beratungsprobleme bei High Speed/Low Level-Flügen

Militärische Flugeinsätze werden zu einem großen Teil in Höhen zwischen 60 und 80 m über Grund und mit hoher Geschwindigkeit (Düsenflug) durchgeführt. Bei diesen High Speed/Low Level-Flügen (HSLLF) treten neue Beratungsprobleme auf, mit denen sich der Geophysikalische Beratungsdienst der Bundeswehr auseinandersetzen muß.

#### 1 Flugmeteorologische Probleme

Die Allwetter-Einsatzfähigkeit moderner militärischer Luftfahrzeuge wird zwar oft beschworen; sie ist jedoch nur eine Legende. Dem Flugzeugbau

ist es zwar gelungen, immer bessere Maschinen zu konstruieren, die auch bei extrem ungünstigen Wetterbedingungen fliegen können. Das hierzu notwendige Überwachungssystem ist jedoch so umfangreich, daß die Besatzung trotz Teil-Automatisierung bis an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit belastet wird. Kommt zur reinen Flugdurchführung ein Kampfauftrag hinzu, bei dem es darauf ankommt, "schneller aufzufassen und sicherer zu reagieren", so ist die Besatzung als Teil des Mensch-Maschine-Systems "überbelastet" und bedarf mehr denn je einer detaillierten Einsatzberatung. Die Gesamtbelastung ist nur dadurch abzu-

bauen, daß die Abhängigkeit von ungünstigen Geofaktoren vermindert wird. Dies ist mit einer sorgsam geophysikalischen Beratung zu erreichen.

Der einsatzbestimmende Faktor ist die Sichtweite. Für Tiefflüge ist dabei der Beratungshinweis auf die meteorologische Sicht oft von geringem Wert. Entscheidend ist die effektive Sichtweite, also die durch die Topographie begrenzte Sicht, die zusätzlich durch natürliches Aerosol oder durch das von schweren Fahrzeugen, Explosionen oder Bränden in die Luft beförderte Aerosol erheblich reduziert werden kann. Die Sichtberatung für HSLLF-Einsätze erfordert neuartige Unterlagen, die zu erarbeiten sind, und die eine Abschätzung der Erfolgs-

aussichten eines Einsatzes ermöglichen. Bei dieser Beratung sind überdies noch Angaben darüber zu fordern, ob die Zielerfassung von den lokalen Kontrastverhältnissen wesentlich beeinflusst werden kann, die sich aus Beleuchtung und Rückstrahleigenschaften des Geländes (Boden, Vegetation, Pflanzenphasen, Schneebedeckung) ergeben.

Für Fragen der Zielortung (RADAR, IR-Geräte) sowie der Kommunikation Luftfahrzeug-Bodenstation sind Aussagen über die Ausbreitungsverhältnisse für elektromagnetische Wellen, insbesondere über die Refraktion und die Lage von Spiegelflächen in der untersten Atmosphäre unbedingt erforderlich; sie ergeben sich aus der vertikalen Temperatur- und Feuchteverteilung.

Weiter ist auf eine sorgfältige Turbulenzberatung zu achten. Eine objektive Vorhersagemethode steht auch hierzu noch aus; sie müßte die Entstehung mechanischer Turbulenz als Folge der Geländerauhigkeit ebenso berücksichtigen wie die Entstehung thermischer Turbulenz und starker Luftdichte-Verminderungen (Leistungsabfall der Maschinen) über Bodenflächen mit geringer Wärmeleitfähigkeit. Zu den "Hazards" in diesem Flugbereich gehören auch niedertroposphärische Windmaxima (Low Level Jets), die derzeit Gegenstand einer ganzen Reihe wissenschaftlicher Untersuchungen sind.

Der Gefahr einer Vereisung kann mit technischen Mitteln wirksam begegnet werden. Der Pilot muß jedoch bei Vereisungsgefahr rechtzeitig die notwendigen Gegenmaßnahmen treffen, weshalb eine Vereisungsberatung und -warnung (gefährdete Bereiche und Flughöhen) für ihn von Nutzen ist.

Auch der erheblichen Materialbeanspruchung beim HSLLF, zum Beispiel der Erosion durch Starkregen, Hagel, aufgewirbelten Sand usw. kann man mit Hinweisen auf entsprechende Bereiche wirksam begegnen.

## 2 Flugsicherheitsproblem Vogelschlag

Im Low Level besteht als zusätzliches Flugsicherheitsrisiko Vogelschlaggefahr. Seit 1962 wurden insgesamt 16 Strahlflugzeuge der Bundes-

wehr durch Vogelschlag zerstört, davon die meisten während des Tieffluges; ferner wurden ca. 1000 Luftfahrzeuge während des Tief- und Reisefluges durch Vogelschlag beschädigt. Im allgemeinen nimmt die Vogelschlaggefahr exponentiell mit der Höhe ab; zu bestimmten Zeiten (Vogelzug) und Wetterlagen ist das Risiko im Low Level aber deutlich erhöht (30 anstelle von 15 Vogelschlägen pro 10.000 Flugstunden). Zu den Aufgaben des Amtes für Wehrgeophysik gehört es, die Fliegenden Verbände vor diesen Zeiten erhöhter Vogelschlaggefahr zu warnen.

## 3 Flugmedizinische Probleme

Schnelle Reaktionsfähigkeit ist eine der wichtigsten Anforderungen an einen HSLLF-Piloten. Technische Finessen können diese Reaktionsfähigkeit fördern, beispielsweise durch bevorzugten Gebrauch akustischer Signale, auf die der Mensch schneller reagiert als auf optische. Dabei ist im Falle optischer Signale eine unterschiedliche Reaktion auf verschiedene Farben ebenso zu beachten wie das Schreckmoment plötzlicher akustischer Signale; langsam ansteigende Tonstärken sind vorteilhafter.

Für den Meteorologen interessanter ist die Beeinträchtigung der menschlichen Reaktionsfähigkeit von geophysikalischen Parametern, vor allem

- vom Gehalt der Luft an Schadstoffen, der in den untersten 100 m der Atmosphäre - besonders bei austauscharmen Wetterlagen - sehr hoch sein kann,
- von den meteorologischen Parametern, welche den individuellen Behaglichkeitswert des Menschen beeinflussen (Luftbewegung, Luftfeuchte, Strahlung und Lufttemperatur),
- und sehr wahrscheinlich von der atmosphärischen Elektrizität, speziell von den an frontale Vorgänge gebundenen Veränderungen des luftelektrischen Feldes.

Beispielsweise entstehen gerade bei "Schönwetter" mit idealen Sichtflugbedingungen in den neuen Luftfahrzeugtypen mit ihrer "optimalen" Cockpit-Verglasung trotz Klimatisierungs-

einrichtungen im bodennahen Bereich oft Temperaturen und Schwülewerte, die eine Einschränkung der Reaktionsfähigkeit des Piloten verursachen. Als Indiz für die Gefährlichkeit dieses Hitzezustresses ist das Ergebnis einer Untersuchung von Flugunfällen der kanadischen und der US Air Force anzusehen, das Pilot Errors im Sommer bei 24 % aller Fälle, im Winter aber nur bei 10 % aller Fälle als Ursache ausweist. Im Projekt Zukunftstechnik Luft wird daher unter Beratung durch Meteorologen der Cockpit-Klimatisierung besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Schließlich sind noch die besonderen Probleme des Konturenfluges anzusprechen, bei dem das Luftfahrzeug ständig einen gleichbleibenden Abstand (etwa 60 m) von der Erdoberfläche einhält, also allen Konturen folgt. Je stärker das Gelände gegliedert, je höher also die "Reliefenergie" ist, desto stärkere Beschleunigungs(g)-Kräfte wirken auf den Piloten ein, desto größer ist seine physiologische Beanspruchung. Das gilt auch hinsichtlich horizontaler Beschleunigungskräfte, wenn HSLLF entlang stark mäandrierender Flußläufe befohlen werden. Empfohlene Flugrouten sollen deshalb nicht nur die bestmöglichen Wetterbedingungen aufweisen, sondern auch eine geringe Reliefenergie, deren quantitative Beträge aus den hypsographischen Kurven (Häufigkeitsverteilungen aller vorkommenden Höhen bestimmter Gebiete) der überflogenen Gebiete zu ermitteln sind.

## 4 Fazit

Die Flugberatung der Zukunft muß für HSLLF neben den rein meteorologischen Aussagen Hinweise auf die Observability (Einschbarkeit des Geländes, Ortungsmöglichkeiten) und auf die Flugsicherheitslage enthalten. Außerdem sind flugmedizinische Gefahren zu berücksichtigen, soweit diese von geowissenschaftlichen Fakten ausgehen.

In Rechenmodelle zur Erstellung von HSLLF-Beratungsunterlagen müssen daher entsprechende Eingaben aus digitalen Geländedatenbanken eingehen.

K. KRAMES, Traben-Trarbach

In Fortsetzung von Heft 3 '80 wird Heft 4 '80 folgende Beiträge enthalten:

### Klima und Planung II

Anwendungen klimatologischer Erkenntnisse

- 9 H. SCHMIDT: Kraftwerke und andere Industrieanlagen
- 10 B. RUDOLF: Simulationsmodelle für Kühlturmfahrten
- 11 H. BARTELS: Klimatologie der Ausbreitungsverhältnisse
- 12 G. JURKSCH: Regenerative Energiequellen
- 13 G. JURKSCH: Stadtplanung
- 14 M. KALB; H. SCHMIDT: Regionalplanung
- 15 G. JENDRITZKY; R. REINKE; H. J. SWANTES: Bioklimatologische Aspekte im Rahmen einer klimagerechten Planung
- 16 H. H. JOHANNSEN: Wasserwirtschaft
- 17 A. GUTSCHE: Über die Versorgung der Luftfahrt mit klimatologischen Unterlagen

### Berichtigungen für Heft 1/2 '80:

Auf S. 9, r. Spalte, 15.–17. Zeile v.o. muß der richtige Text lauten:

Eis-Albedo-Rückkopplung ist positiv, d.h. bei Zunahme der Eis- oder Schneebedeckung nimmt die Albedo zu, was verringertes Energieangebot bedeutet und ...

Auf S. 10, l. Spalte, 16. Zeile v. o.: Abbildung 2.3 b statt 1.3 b

Auf S. 62, l. Spalte unten: Die Habilitation von H. Grassl wurde im Verzeichnis 1979 aufgenommen; sie fand aber bereits 1978 statt.

3. Umschlags.: Die Anschrift von Dr. H. Grassl muß lauten:

Max-Planck-Institut für Meteorologie  
Bundesallee 55  
2000 Hamburg 13

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Met. H. G. Matthäus  
Prof. Dipl.-Met. H. Schirmer  
Dipl.-Met. G. Müller  
Dipl.-Met. M. Goesch  
Dipl.-Met. A. Beffert  
Dr. M. Kalb  
Dr. A. Gutsche  
Dipl.-Phys. H. Kumm  
Dipl.-Met. V. Vent-Schmidt

jeweils:

Deutscher Wetterdienst  
Zentralamt, Abt. Klimatologie  
Frankfurter Straße 135  
6050 Offenbach a. M.

Manuskriptsendungen werden erbeten an:

Deutscher Wetterdienst  
Hauptschriftleitung "promet"  
Frankfurter Straße 135  
6050 Offenbach a. M.