

**Arbeiten zur Rheinischen Landeskunde**  
Herausgegeben vom Geographischen Institut der Universität Bonn  
ISSN 0373-7187

Heft 7

## **Das Bonner Stadtklima**

von

**Hubert Emonds**

1954

Bonn

D A S   B O N N E R   S T A D T K L I M A

mit 35 Abbildungen und 6 Tabellen

von

H u b e r t   E m o n d s

Im Selbstverlag des  
Geographischen Instituts der Universität Bonn  
1954

Gedruckt mit Unterstützung  
der Stadt Bonn

alle Rechte vorbehalten

## V o r w o r t

Als im Jahre 1949 Bonn zur Bundeshauptstadt erhoben wurde, war hier eine sehr starke Bautätigkeit zu erwarten. Nun hatten Bonner Bürger schon immer über eigenartige ungünstige und nicht recht zu fassende Seiten des Klimas von Bonn geklagt ( Z e p p (73); eingeklammerte Zahlen verweisen auf das Literaturverzeichnis). Es lag also die Frage nahe, was denn eigenartig am Bonner Klima sei und ob man für die Anordnung der großen neuen Wohngebiete vom klimatischen Gesichtspunkt aus Ratschläge geben könne?

Wichtig schien auch die allgemeine Überlegung, daß zwei Drittel aller Deutschen in Städten leben, daß aber fast alle Klimastationen absichtlich aus dem Einfluß der Städte herausgerückt und damit für das Klima, in dem alle diese Menschen wohnen, durchaus nicht repräsentativ sind. Es leuchtet also die Notwendigkeit ein, zu fragen, wie die Angaben der Stationen zu Aussagen über das Klima des Lebensraumes so vieler Menschen abgewandelt werden müssen?

Daß diese Probleme auch für die kausalforschende Geographie sehr wichtig sind, braucht kaum betont zu werden, sind doch genauere Lage, Gestalt, Ausbreitungstendenz und innere Gliederung einer Stadt wesentlich mitbestimmt von den gegebenen und zum Teil erst mit ihr gewordenen klimatischen Eigentümlichkeiten. Wenn man dazu bedenkt, daß hier ein ganz eigenartiges wechselseitiges Beeinflussen von Natur und Mensch gegeben ist, so erscheint es nur zu verständlich, daß auf dem Gebiete der Stadtklimatologie neben den Arbeiten von Meteorologen auch mehrere Untersuchungen von Geographen (32,38,39,67,69) angeregt und durchgeführt wurden.

Die angeführten Gründe machten eine genauere Bearbeitung der obigen Fragestellungen sehr wünschenswert. Es wurde ein umfangreiches experimentelles Unterlagenmaterial durch zweijährige Beobachtungen beschafft und nach neuartigen Gesichtspunkten und Methoden bearbeitet. Für die Anregung bin ich Herrn Professor Dr. Hellmut B e r g und Herrn Professor Dr. Carl T r o l l sehr dankbar.

Herr Prof. Dr. Berg gab mir immer wieder wertvolle Ratschläge und ließ mich alle Hilfsmittel seines Meteorologischen Institutes an der Universität Köln benutzen. Herrn Prof. Dr. C. Troll, dem Direktor des Geographischen Institutes der Universität Bonn danke ich für das freundliche Interesse, sowie dafür, daß ich während der meisten Zeit meiner Untersuchungen in seinem Institut arbeiten durfte. Seinem wohlwollenden Bemühen und einer finanziellen Unterstützung durch die Stadt Bonn ist es zu verdanken, daß die Dissertation schon so bald in dieser Reihe erscheinen konnte.

Weiter möchte ich dem Herrn Bundesminister für Wohnungsbau danken für eine finanzielle Zuwendung zur Anschaffung von Geräten und dem Herrn Oberstadtdirektor von Bonn für die freundliche Stellung eines städtischen Kraftwagens zu den notwendigen Meßfahrten. Einigen Freunden und Kollegen danke ich für ihre Hilfe bei den Meßfahrten sowie bei der Ausstattung der Arbeit. Außerdem haben mir einzelne öffentliche und private Stellen, vor allem die Wetterwarte Bonn mit Rat und Tat geholfen. Ihnen und allen, die mir bei der Arbeit ihre Unterstützung geliehen haben, sei herzlich gedankt.

Bonn, im Mai 1954

Hubert Emonds



# I n h a l t

	Seite
V o r w o r t	I
V e r z e i c h n i s d e r A b b i l d u n g e n u n d T a b e l l e n	III
E i n l e i t u n g	1
A <u>Das Makroklima des Raumes von Bonn im Vergleich zu dem benachbarter Räume</u>	3
I Vergleich der üblichen einfachen Klimaelemente	3
1. Sonnenscheindauer	3
2. Temperaturcharakteristika	4
3. Bewölkung und Luftfeuchtigkeit	6
4. Niederschlag	6
5. Nebel- und Gewitterhäufigkeit	7
6. Windverhältnisse	8
II Vergleich von zusammengesetzte Klimagrößen	14
1. Äquivalenttemperatur	16
2. Feuchte Abkühlungsgröße	17
3. Schwüle (nach Dampfdruckdefinition)	19
Zusammenfassung	22
B <u>Das Mesoklima des Raumes von Bonn und speziell der einzelnen Stadtteile im Vergleich unter sich u.m.d.näh.Freilandumgb.</u>	23
I Temperatur- und Feuchtigkeitsuntersuchungen	24
1. Räumliche Temperaturverteilung	25
2. " Feuchtigkeitsverteilung	27
3. " Dampfdruck-Schwüleverteilung	29
II Untersuchungen zur Ventilation der Stadt	29
1. Windbeobachtungen bei Meßfahrten	30
2. Der "Melbtalwind"	30
III Einzeluntersuchungen zum Staub- und Ozongehalt der Stadtluft	32
IV Untersuchung von längeren Meßreihen	33
1. Die Station im Stadtkern	34
2. Temperaturregistrierungen an ausgewählten Punkten	35
3. Eigenartiger Tagesgang des Dampfdruckes im Stadtkern	37
4. Niederschlagsvergrößerung über der Stadt	37
C <u>Quantitativer Anschluß des mesoklimatischen "Stadteffektes" an die makroklimatischen Beobachtungsreihen</u>	39
I 1. Darlegung des statistischen Ansatzes	39
2. Auswahl, Unterteilg.u.Bearbeitg.d.Materials	42
3. Diskussion v.Windrosen d.Klimaelem. $\Delta$ , N, v, p, T	43
II Diskussion der Korrelationskoeffizienten, Regressions- gleichungen und Schwellenwertkonstellationen	44

	Seite
D <u>Deutungen, Begründungen und Folgerungen für die Praxis</u>	51
I Begründende Zusammenfassung der Ergebnisse unter vier Hauptursachenkomplexen	51
II Vorschlag einer klim.Güteeinteilg.d.Bonner Stadtgebietes	52
III Folgerungen für d.Städteplanung insbes.in Bonn	53
Zusammenfassung	59
Summary	60
Literaturverzeichnis	61

V e r z e i c h n i s d e r A b b i l d u n g e n  
u n d T a b e l l e n

Nr.		Anhang
1	Übersichtsplan des Raumes Bonn (Beuel)	Anhang
2	Relief der Bonner Bucht (Blockdiagramm)	"
3	Tages- und Jahresgang der mittleren Sonnenscheindauer	"
4	Isoplethen der Sonnenscheindauer	"
5	Jahresgang der Temperaturcharakteristika	"
6	" von Dampfdruck, relat.Feuchtigkeit und Schwellenwerten der Bewölkung	"
7	" von Bewölkung, Niederschlag, Schwellenwerten des Niederschlags und Gewitterhäufigkeit	"
8	Windhäufigkeit u. -stärke, sowie Windrosen d.Ventilationsgrades	"
9	Räumliche Verteilung des Niederschlags in der weiteren Umgebung Bonns	"
10	Isoplethen des Ventilationsgrades	"
11	Ventilationsgrad sowie Windstruktur	"
12	Modell einer Windablenkung durch das Rheintal, Windstruktur	"
13	Jahresgang der Feuchten Abkühlungsgröße in Bonn und Essen	"
14	Ernte der Süßkirsche in der Rheinprovinz (nach Kessler)	"
15	Temperaturverteilung im Raume Bonn bei Nacht (24 Meßfahrten)	"
16	Temperatur und Wind " " " (18. Meßfahrt)	"
17	" " " " " " (23. " )	"
18	Registrierfolie der 34. Meßfahrt	"
19	Temperaturverteilung im Raume Bonn bei der 34. Meßfahrt	"

Nr.		
20	Relative Feuchtigkeit im Raume Bonn bei der 34. Meßfahrt	Anhang
21	Dampfdruck (Schwüle) " " " " " " " "	"
22	Temperaturverteilung im Raume Bonn bei Tage (9 Meßf. 2000 Werte)	"
23	" " " " " " (9 " 800 Werte)	"
24	Windbeobachtungen am 19. VI. 1951	"
25	Tagesgang d. Temper. an ausgew. Punkten, Jahresmittel, 4 Jahreszeiten	"
26	" " " " " " ,Frühling u. Einzelmonate	"
27	" " " " " " ,Sommer " " "	"
28	" " " " " " ,Herbst " " "	"
29	" " " " " " ,Winter " " "	"
30	" des Dampfdrucks, Niederschlagsverteilung im Stadtgebiet sowie Windhäufigkeit u. -geschw. in Bonn und Wahn	"
31	Windrosen von 5 Wetterelementen in Bonn, Herbst	"
32	" " " " " " , Winter	"
33	" " " " " " , Frühling	"
34	" " " " " " , Sommer	"
35	Vorschlag einer klimatischen Gliederung Bonns	"

Tabelle		Seite
I	Häufigkeit von Schwellenwerten der Äquivalenttemperatur	16
II	" von schwülen Tagen an süddeutschen und einigen nordwestdeutschen Stationen	19/20
III	" von Schwületerminen und Schwületagen an ausgewählten Stationen	21/22
IV	Mittlere Luftfeuchtigkeit in Bonn bei 18 Nacht- und 8 Tagesmeßfahrten	28
V	Statistische Maßzahlen zu einem Kollektiv von Stundenwerten 1951/52	zw. 50 u. 51
VI	Vorschlag einer klimatischen Gliederung des Stadtgebietes von Bonn	56/57



## E i n l e i t u n g

Schon vor langer Zeit erkannte man, daß oft nahe benachbarte Stellen im Gelände sehr wesentliche klimatische Unterschiede aufweisen (J.v. H a n n , 28). Namentlich am Rande einer Stadt ändern sich manche Faktoren fast sprunghaft. Man war deshalb bestrebt, die notwendigerweise spärlich verstreuten Klimastationen, die jeweils für ein sehr großes Gebiet repräsentativ sein sollten, möglichst dem Einfluß der Stadt zu entziehen. Daraus ergibt sich, daß man aus den Daten der Klimastationen über das Klima der Städte zunächst recht wenig entnehmen kann. Selbst Stationen, die innerhalb von großen Städten unterhalten werden, stellte man meist in größeren Grünanlagen auf. Aus diesen Gründen schien eine kontinuierliche Beobachtungsreihe aus einem dicht bebauten Stadtkernviertel sehr wünschenswert; die entsprechende Forderung wurde in der Literatur denn auch schon mehrfach erhoben.

Es bleibt also in Einzelforschungen zu klären, welche Konstellation der Klimaelemente im Stadtkern, am Stadtrand oder in einzelnen Stadtteilen zu erwarten steht, wenn an der Außenstation in Stadtnähe diese und jene Klimawerte beobachtet werden. Demnach geht es um den Anschluß des klimatischen Geschehens im Stadtgebiet an eine Reihe, die irgendwo in der Umgebung aufgezeichnet wird.

Der Problemstellung der Arbeit gemäß mußte die experimentelle Seite, die im Zeitaufwand weitaus am anspruchvollsten war, notwendig auch im Umfang der Darstellung weit überwiegen; so konnte die Darlegung von fremden Meßergebnissen nur qualitativ und kurz und nur in der Auswahl erscheinen, wie sie zum Verständnis der hier gebrachten Ansätze und Ergebnisse unbedingt notwendig schien. Das ist namentlich deshalb ohne großen Schaden möglich, weil eine vorzügliche, qualitativ nahezu erschöpfende Sammelbearbeitung der Probleme um das " S t a d t k l i m a " von Albert K r a t z e r (39) erschienen ist. Auch auf eine stattliche Reihe von anderen Autoren (5,7,24,27,70 und andere) konnte zurückgegriffen werden.

Im ersten Hauptabschnitt (A) sollen die einzelnen verfügbaren Klimaelemente, so wie sie an einer einzigen Stelle des Bonner Raumes, der Wetterwarte des Deutschen Wetterdienstes (künftig abgekürzt Bonn-W), beobachtet wurden, einen V e r g l e i c h zwischen dem Bonner Klima und demjenigen anderer Stationen erlauben. Hierbei lag die besondere Schwierigkeit darin, daß die Bonner Reihen bis auf die für Niederschlag und Sonnenscheindauer erst 4 Jahre lang sind und daß die Verarbeitung dieses Materials erst vorgenommen werden mußte, daß ferner in gleicher Weise die Beobachtungsunterlagen von Friesdorf und Köln ebenso bearbeitet werden mußten, damit diese streng synchronen Reihen den Anschluß ermöglichten und so trotz der Kürze der Periode die verlangten Aussagen mit hinreichender Sicherheit lieferten. Die statistische Sicherung wurde meist durch Unterteilung des Kollektivs vorgenommen; nur bei den partiellen Korrelationskoeffizienten wurde die jeweilige Errechnung des wahrscheinlichen Fehlers und anderer Kriterien als gerechtfertigt angesehen.

Im zweiten und dritten Hauptteil (B,C) wird untersucht, wie einzelne Klimaelemente an anderen Stellen des Bonner Raumes im Vergleich zu der gewählten Basisstation, der Wetterwarte (Punkt 431 in Planquadrat 43 auf Abb. 1) abgewandelt erscheinen. Ziel ist, ein zeitlich und räumlich möglichst lückenloses Bild vom klimatischen Verhalten des Bonner Stadtraumes zu erhalten und darüber hinaus allgemeine Aussagen über diese Abwandlungen der klimatischen Verhältnisse zu machen, die dann den Schluß vom Einzelobjekt (z.B. Stadtrand in Bonn) auf hinreichend analoge Fälle erlauben sollen.

Die Aufgabe wird nun so angefaßt, daß im zweiten Hauptteil gefragt wird, w i e sieht die gleichzeitige Verteilung der wichtigsten Klimaelemente im Bonner Raum aus, w i e g r o ß sind die auftretenden Unterschiede bei einzelnen Stichproben oder an ausgewählten Punkten, allgemein, wie sieht die innere Struktur des Bonner Stadtklimas aus?

Daneben wird dann im dritten Hauptteil als eigenes Problem die Frage behandelt, w a n n bildet sich ein eigenes Stadtklima aus? W o v o n ist ein solches Auftreten abhängig, und w i e g r o ß ist zahlenmäßig der auftretende Unterschied bei gegebener Konstellation der verursachenden Faktoren?

Es sind also getrennt die Fragen nach dem W i e ? und die nach dem W a n n ? und W a r u m ? behandelt.

E c n n liegt an der Stelle, wo der Rhein sein Engtal verläßt und in die trichterförmige Kölner Bucht eintritt, wie das Blockdiagramm in Abbildung 2 zeigt. Die Römer hatten ihr Lager am nördlichen Ende des schmalen Landrückens zwischen dem Rheinufer und dem damals versumpften linksrheinischen Altwasser angelegt, weil über diesen Engpaß der gesamte Verkehr auf der rheinparallelen Straße einherziehen mußte (P h i l i p p s o n, 55). So kommt es, daß die über 5 Meter tiefe Rinne dieses verlandeten Altwassers, die Gumme, heute innerhalb der Stadt liegt. Sie macht sich klimatisch deutlich bemerkbar. Besonders wichtig wird das Vorhandensein der um 100 Meter aufsteigenden bewaldeten Hauptterrassenflächen im Westen und Südwesten der Stadt, sowie der Einschnitt des Melbtales sich erweisen. Rheinlauf, Trichterbucht, Gummegraben und Melbtaleschnitt sind die klimatisch wirksamen morphologischen Momente der Bonner Lage.

# A D A S M A K R O K L I M A D E S R A U M E S V O N B O N N I M V E R G L E I C H Z U D E M B E N A C H B A R T E R R Ä U M E

Im ersten der drei Hauptabschnitte soll untersucht werden, ob das Klima des Bonner Raumes, so wie es in den üblichen Meßdaten erfaßt wird, irgendwelche wesentliche Besonderheiten gegenüber den Klimaten benachbarter Stationen zeigt. Unterlagen wurden dabei herangezogen von den beiden Klimastationen zweiter Ordnung 1. Wetterwarte Bonn, seit 1949, 2. Gärtnerische Versuchsanstalt Friesdorf, seit 1932, 3. weiter von der zweijährigen Reihe der eigenen, später beschriebenen Stadtkernstation Bonn, 4. von der Klimastation 2. Ordnung Köln, Botanischer Garten, Daten vom Meteorologischen Institut der Universität Köln, 5. von der Flugwetterwarte Wahn, durch freundliche Hilfe von Herrn Diplom-Meteorologen K l a u s B r i t z k o w . Daten anderer Stationen wurden aus den Jahrbüchern des Wetterdienstes und der Klimakunde des Deutschen Reiches entnommen. (47,57)

## I V e r g l e i c h d e r ü b l i c h e n e i n f a c h e n K l i - m a e l e m e n t e

### 1. S o n n e n s c h e i n d a u e r

Der Kausalkette gemäß sei zunächst die Strahlung betrachtet. Leider standen nur die qualitativ wenig aufschlußreichen Werte der Sonnenscheinautographen nach C a m p b e l l - S t o k e s zur Verfügung. An der Landwirtschaftlichen Fakultät der Univ. Bonn (Punkt 433 der Abb. 1) wird seit 1918 registriert, an der Wetterwarte seit 1949.

Selbst wenn man die Fehlermöglichkeiten (beim Gerät und beim Auswerten) berücksichtigt, lassen sich aus den Diagrammen der Abbildung 3 doch recht interessante Feststellungen treffen. Die Tageskurve der Sonnenscheindauer liegt bis auf die zwei Stunden von 16 - 18 Uhr zwischen den Kurven von Aachen und Hamburg. Besonders auffallend ist der Unterschied der Kurven des Tagesganges von Bonn und Aachen in den Stunden zwischen 5 und 8 Uhr. Diese Erscheinung geht besonders deutlich aus der Isoplethen-Darstellung der Differenz der Sonnenscheindauer von Bonn und Aachen hervor.

Diese Isoplethendiagramme (Abb. 4) zeigen Linien gleicher wirklicher Sonnenscheindauer beziehungsweise gleicher Differenz der wirklichen Sonnenscheindauer. Die Zahlenangaben sind Mittel der Jahre 1947 bis 1951, sie beziehen sich auf Zweistunden-Intervalle und Monate. Die mit 20 bezifferte Linie im oberen Diagramm besagt also z.B., daß im August (der Jahre 1947/51) zwischen 12 und 14 Uhr mittlerer Ortszeit mehr als 20 und weniger als 22 Stunden Sonnenschein herrschten. Ebenso geht aus dem unteren Diagramm hervor, daß z.B. im September (1947/51) von 13 bis 15 Uhr MOZ in Bonn insgesamt 2 Stunden weniger Sonnenschein registriert wurden als in Aachen.

Über die Zeit unmittelbar nach Sonnenaufgang läßt sich leider nichts Bestimmtes aussagen, da der Horizont des Aachener Autographen dann im Sommerhalbjahr von einem 30 m entfernten Hausgiebel gebildet und so erhöht wurde. Diese Behinderung spielt in der zweiten Stunde nach Sonnenaufgang aber sicher keine Rolle mehr; abends ist der Horizont ganz frei. Trotz der Einschränkung für die erste Zeit nach Sonnenaufgang, die im Diagramm durch Weglassen der Isoplethen angedeutet ist, läßt sich ganz eindeutig die geringere Sonnenscheindauer Aachens am frühen Morgen und späten Nachmittag aus Abbildung 4 entnehmen.

Die frühen Morgenstunden bis etwa 8 Uhr haben im ganzen Jahr in Bonn mehr Sonne als in Aachen, dabei ist der Unterschied von Mai bis Juli be-

sonders groß. Einen Hinweis auf die Ursachen gibt die Tatsache, daß im September 1950, als dieser Effekt besonders deutlich war, Aachen 3 Tage mit Nebel, wahrscheinlich Strahlungs- also auch Frühnebel hatte, Bonn keine; die 7 Uhr-Bewölkung war in diesem Monat im Mittel in Bonn 4,8/10 in Aachen 5,0, während im Jahresmittel Bonn in der Frühe etwa 1 % mehr Bewölkung als Aachen hat.

Hier scheint ein Hinweis darauf zu liegen, daß sich die Frühnebel in Bonn schneller auflösen als in Aachen. Im Zusammenhang mit den Windrosen der beiden Stationen (Abb. 8) und anderen weiter unten behandelten Tatsachen liegt der Gedanke nahe, daß ein großer Fluß (Rhein, Elbe) durch seine talparallelen Winde auch für frühzeitige Auflösung der Frühnebel sorgt, während die Aachener Kessellage mit ihrem sprichwörtlichen Regenreichtum auch zähere Frühnebel aufweist.

Wie die Sonnenscheindifferenz - Isoplethen (Abb. 4) zeigen, hat Bonn in den Mittagsstunden weniger Sonnenschein (bis auf den Januar), was im Hochsommer sicher angenehm empfunden wird; im Frühling ist der Nachmittag in Bonn sonnenscheinreicher als in Aachen, im Herbst der Vormittag. In den Übergangsjahreszeiten und im Hochwinter (Januar), also gerade zu den Zeiten, wo möglichst viel Sonne verlangt wird, steht also Bonn günstiger da als Aachen; an den Früh- und Spätsommernachmittagen ist die geringere Besonnung in Bonn am ausgeprägtesten (- 2 Stunden).

Da Isoplethendiagramme für die Sonnenscheindauer bisher nur sehr selten veröffentlicht und diskutiert wurden, seien einige Bemerkungen dazu, die für Bonn und Aachen ganz ähnlich gelten, mitgeteilt. Nach 12 Uhr gibt es mehr Sonnenschein als vorher, besonders im Winter, Frühjahr, Spätsommer und Herbst (XII.III.IV.VII.VIII.X.). Im Februar und Mai hat der Vormittag mehr Sonnenschein. Das Maximum liegt zwischen 12 und 14 Uhr im Juli bis August. Ein relatives Maximum zeigt der Oktober zwischen 12 und 14 Uhr. Die beiden Minima der Mittagsstunden liegen im November und Februar. Es fällt der steile Anstieg der Sonnenscheinisoplethen am Morgen und Abend - im Gegensatz zu Thermoisoplethen - auf. Besonders markant ist auch der starke Gradient vom Oktober zum November etwa längs der 12 Uhr-Linie, der in Aachen ähnlich, aber weniger ausgeprägt ist. Hier liegt ein weiteres, schönes Charakteristikum des Altweibersommers unseres maritim-kontinentalen Übergangsklimas vor.

Zusammenfassend ergibt der Vergleich der Sonnenscheinregistrierungen also folgendes:

1. Bonn hat im Jahremittel (1881 - 1930) etwa 13 % mehr Sonnenscheindauer als Hamburg, 10 % mehr als Aachen, 10 % mehr als Essen. (Dabei ist jedesmal Hamburg, Aachen, Essen = 100 % gesetzt)
2. Das gilt qualitativ zu allen Jahreszeiten, besonders aber von Mai bis August.
3. Dieses Mehr in Bonn wird hervorgerufen durch viel mehr Sonnenschein in den frühen Morgenstunden und den Abendstunden, um Mittag hat Aachen mehr Sonnenschein.
4. Im Sommer zwischen 19 und 20 Uhr hat Bonn mehr als anderthalbmal soviel Sonnenschein wie Aachen.
5. Weniger Sonnenschein als Aachen hat Bonn vor allem im Früh- und Spätsommer in den Nachmittagsstunden von 13 - 17 Uhr, also zu den Hauptschwülezeiten, wie an anderer Stelle gezeigt wird.

## 2. T e m p e r a t u r c h a r a k t e r i s t i k a

Die Temperaturverhältnisse in Bonn werden im Laufe dieser Arbeit mehrfach unter verschiedenen Gesichtspunkten angefaßt. Hier geht es darum, zu fragen, ob sich im Vergleich der Bonner Basisstation (Wetterwarte: Bonn-W) mit der in Köln (Botanischer Garten) irgendwelche Besonderheiten zeigen. Um die Antwort vorweg zu nehmen: wesentliche Unterschiede sind nicht vorhanden. Das soll bewiesen werden durch Vergleich des Jahresganges der

sämtlichen üblichen Temperaturcharakteristika (Abb. 5) sowie durch Vergleich des Tagesganges der Temperatur im Jahresmittel, zu allen Jahreszeiten und in den Einzelmonaten. (Abb. 25 bis 29) Der Vergleich der drei Kurven für Bonn-Stadtkern,-Stadttrand (Wetterwarte) und Köln zeigt dabei, daß zwischen Bonn-Stadttrand und Köln (Entfernung ca. 30 km) meist geringere Unterschiede bestehen als zwischen Bonn-Stadttrand und -Stadtkern (Entfernung 1,3 km). Trotzdem ist es ganz reizvoll, die kleinen, wirklich bestehenden Unterschiede zu deuten. Da findet sich in Abbildung 5 die Kurve (1) der Differenz der Tagesmittel in Bonn und Köln, die recht kontinuierlich verläuft und zeigt, daß Köln besonders vom frühen Frühjahr bis zum späten Herbst, namentlich aber im Frühsommer überdurchschnittlich wärmer ist als Bonn, im Winter dagegen zwar auch noch wärmer - negativ wird die Differenz Köln-Bonn nie - aber doch weniger als im Mittel ( $0,4^{\circ}\text{C}$ ). Der Jahresgang in Bonn ist also weniger extrem (oder abwechslungsreich), das hat Nachteile, aber auch Vorteile; jedenfalls wünscht man in unseren Breiten für die Städte: Wärmere Winter und weniger heiße Sommer. Auch die mittleren Tagesmaxima (3) und die Vierjahresmittel der Monatsmaxima (2) zeigen diesen günstigeren Verlauf für Bonn: Absolut oder relativ höhere Maxima im Winter, niedrigere im Sommer. Aus den Winterwerten der Kurven (2) und dem Gesamtverlauf der Kurven (6) und (7) geht hervor, daß Bonn hinsichtlich der Temperaturverhältnisse nicht einfach träger oder weniger extrem ist; im Winter liegen die Monatsmaxima vielmehr höher als in Köln! Die Tages- und Monatsminima sind im ganzen Jahre aber tiefer als in Köln! Dabei sind die Minima angenehmerweise im Sommer noch überdurchschnittlich tief. Die Kurven (5) des 7 - Uhr-Termins liegen entsprechend auch am dichtesten beieinander.

Das hier gewonnene Bild wird folgerichtig ergänzt und erweitert bei Betrachtung von Abbildung 25, die den Tagesgang der mittleren Lufttemperatur für die Periode, während der ich die Stadtkernstation in Betrieb hatte, zeigt. Der Unterschied der Stadtkernkurve von der des Stadtrandes wird später zu diskutieren sein, hier geht es um einen Vergleich von Bonn und Köln. In der Jahreskurve zeigt sich, daß Köln ( $0,4^{\circ}\text{C}$ ) wärmer ist als Bonn und zwar zu allen Tagesstunden, besonders von 12 bis 17 Uhr; am geringsten ist der Unterschied nachts, namentlich zwischen 18 und 4 Uhr. Die Tagesschwankung in Köln ist etwas größer als in Bonn. Die bisher getroffenen Feststellungen gelten für alle Jahreszeiten, besonders ausgepägt im Frühjahr und Sommer; im Winter sind die Unterschiede am geringsten. Die nächtliche Ausstrahlung muß nach Ausweis aller Kurven in Bonn stärker sein als in Köln, die Wärmekapazität also geringer, das zeigen auch schön die steileren Formen der e-Funktions-teile der Temperaturkurven etwa nach 19 bis 20 Uhr. Die Tatsache, daß das Maximum in Köln im Mittel und im Frühjahr, Sommer und Herbst eine Stunde vor demjenigen in Bonn liegt, spricht allerdings gegen eine größere Wärmekapazität in Köln. Falls keine Verstrahlung vorliegt, müßte man also von einer geringeren Wärmekapazität am Tage und einer größeren in der Nacht sprechen, oder anders ausgedrückt: Der Untergrund und die Umgebung der Kölner Station nehmen Wärme rascher auf und geben sie langsamer ab. Zusammenfassend läßt sich demnach feststellen:

1. Im Jahresgang der drei Termine und des Tagesmittels der Temperatur zeigen sich keine sehr wesentlichen Unterschiede zwischen Köln und Bonn-W.
2. Im Jahresmittel und zu allen (mittleren!) Tagesstunden aller Jahreszeiten hat Köln eine etwas höhere Temperatur als Bonn-W. (Ausnahme: Sommer 19 bis 20 Uhr).
3. Besonders groß ist der Unterschied jeweils zwischen 10 und 16 Uhr, besonders gering zwischen 18 und 22 Uhr. Nur im Winter sind diese Tatsachen lediglich undeutlich zu bemerken.
4. Maxima und Minima und zwar sowohl Tages- wie Monatsextrema liegen in Bonn-W. im allgemeinen wesentlich tiefer als dem mittleren Temperaturunterschied entspräche. Nur im Winter liegen die Monatsmaxima in Bonn höher als in Köln.

Die Auszählung der Tage mit Erreichen bestimmter *S c h w e l l e n - w e r t e* für die Jahre 1949 - 1952 ist in Abbildung 5,6 und 7 dargestellt. Es lassen sich nur einige Feststellungen treffen, die auch nur deshalb sicher sind, weil es sich um streng parallele Reihen benachbarter Stationen handelt.

1. Bonn-W. hat in allen fraglichen Monaten mehr Frosttage.
2. " " " im Winter und Frühjahr mehr Eistage, im Herbst weniger,
3. " " " mehr sehr kalte Tage (Minimum  $\leq - 10^{\circ}$ ).
4. " " " im Frühjahr etwas mehr Sommertage, im Sommer und Herbst bedeutend weniger.
5. " " " erstaunlicherweise aber stets mehr Tropentage als Köln, doch sind die Zahlen bei 2. 3. und 5. sehr klein und dementsprechend unsicher.

### 3. B e w ö l k u n g u n d L u f t f e u c h t i g k e i t

Der *B e w ö l k u n g s u n t e r s c h i e d* ist unsystematisch und sicher nicht groß, wohl Friesdorf (Rheinnähe) scheint durchweg eine höhere Bewölkung zu haben (Abb. 6 und 7), wenn man systematische Schätzfehler ausschließen darf.

Bonn hat etwas weniger *t r ü b e T a g e* (Abb. 6) und bis auf den Extrem-Monat Oktober in jedem Monat mehr *h e i t e r e* als Köln. Friesdorf hat stets mehr trübe und weniger heitere als Köln und Bonn. Auf die bekannte charakteristische Gestalt der *Häufigkeitskurven* soll in dieser vergleichenden Betrachtung nicht weiter eingegangen werden.

Auch beim Vergleich der Luftfeuchtigkeit in Bonn-W. und Köln stellt man nur sehr geringfügige Unterschiede fest. (Abb. 6) Immerhin dürfte die Systematik der Differenz im *D a m p f d r u c k* wohl auf eine Realität deuten. Bis auf den Mai hat Köln stets einen höheren Dampfdruck als Bonn; im Hochsommer ist die Differenz am größten. Diese Tatsache, die wohl in erster Linie in der schon besprochenen Temperaturdifferenz begründet ist, wird weiter unten bei der Erklärung der häufigeren Schwületage in Köln bedeutsam werden.

Bei der *R e l a t i v e n L u f t f e u c h t i g k e i t* zeigen die Tagesmittel wenig systematische Unterschiede, doch scheint Bonn-W. in der warmen Jahreszeit etwas feuchter zu sein als Köln. Dem widersprechen die Kurven des mittleren Tagesganges der relativen Feuchtigkeit (Abb. 27 und 28), die zeigen, daß Köln in allen untersuchten Zeiträumen im Mittel und auch um 14 Uhr relativ feuchter ist als Bonn. Im Minimum aber ist Bonn im September und Oktober feuchter, wie auch die Kurve des Jahresganges (Abb. 6) zeigt. Man muß dabei berücksichtigen, daß einmal das zum Vergleich zur Verfügung stehende Material recht klein ist, und daß zum anderen die Jahreskurve aus den drei Klimaterminen, die Monatskurven hingegen aus einer kontinuierlichen Registrierung gewonnen wurden.

Zusammenfassend läßt sich hier sagen, daß die Feuchtigkeitsunterschiede sowohl im Dampfdruck als auch in der relativen Feuchtigkeit sehr gering sind und durchaus innerhalb der Größenordnung von lokalklimatischen Differenzen liegen (vergleiche jeweils Bonn-W.-Köln, Bonn-W.-Friesdorf). Festzuhalten wäre, daß Köln bis auf den Oktober immer einen höheren Dampfdruck aufweist als Bonn-W.

### 4. N i e d e r s c h l a g

Die Karte der Mittleren Niederschlagsverteilung 1891 - 1930 (Abb. 8) gibt anhand dieses einen Wetterelementes einen recht guten Eindruck von der allgemeinen klimatischen Situation Bonns. Im Zuge des Rheinlaufes greift das Flachland tief in die Mittelgebirgsschwelle ein und bringt so

eine eigenartige Überlagerung von Flachland- und Mittelgebirgseinflüssen zustande. Der Eifel-Regenschatten, der auf der Düren- Euskirchener Bucht liegt, wird durch das Vorgebirge unterbrochen und greift nur über das flache, hochgelegene Hauptterrassengebiet westlich Bonns bis ins Rheintal vor. Am Osthang des Rheintales aber sieht man wunderschön die Wirkung des Bergischen Landes mit seinen Steigungsregen.

Für die N i e d e r s c h l a g s s u m m e n steht endlich auch einmal eine befriedigend lange Meßreihe zur Verfügung. Abbildung 7 zeigt den Jahresgang der Reihe 1891 - 1950, (48). Er zeigt den Übergangscharakter vom Küsten- zum Festlands-Typ. Neben dem Hauptmaximum der sommerlichen Konvektionsniederschläge ist das herbst-winterliche Maximum der advektiven Niederschläge infolge der dann verstärkten Zyklontätigkeit zwar von Aachen über Köln nach Bonn abklingend aber dennoch deutlich zu bemerken. Die Mittelwerte der Monatsgruppen sowie auch der allgemeine Verlauf der Jahreskurve zeigen, daß insbesondere die advektiven Winterregen in Bonn stark reduziert sind. Bei den sommerlichen Konvektionsregen fällt die Regenschattenwirkung der Eifel und des Vorgebirges eben weg.

Diesen Eindruck erhält man auch aus den Häufigkeitskurven der T a g e m i t R e g e n f ä l l e n über 0,1, 1,0 und 10,0 mm (Abb. 7), die nun leider wieder aus nur vierjährigem Material gewonnen wurden. Man erkennt bei der 0,1 mm-Kurve deutlich die größere und systematische Differenz in den Wintermonaten, das Überschneiden im Frühjahr und Sommer. Bei den starken Regen (10,0 mm-Kurve), die natürlich im Sommer auf Kosten der Schwachregen dominieren, erhält Bonn im Frühsommer besonders viel Niederschlag, was sich auch aus dem Zusammenlaufen der Gesamtniederschlagskurven im Mai ergibt. Bonn scheint also besonders viele starke und mittlere Konvektionsniederschläge zu erhalten.

## 5. N e b e l - u n d G e w i t t e r h ä u f i g k e i t

Die Jahreskurve der N e b e l h ä u f i g k e i t (Abb. 7) überrascht durch ihre ausgeprägten Oktober- und März-maxima, die in merkwürdigem Gegensatz zu dem relativen Bewölkungsminimum im Oktober und der mittleren Bewölkungszahl im März stehen. Köln hat bis auf April und Juni mehr Nebeltage als Bonn-W, während Friesdorf beide weit überragt. Der Stadtraum von Bonn aber liegt zwischen Wetterwarte und Friesdorf. Hier sieht man wieder, welch großen Einfluß die Lokalverhältnisse haben. Dabei ist die Station Friesdorf immerhin noch durch 1,05 km flachen, offenen Geländes vom Rhein getrennt, während sich zwischen Wetterwarte und Rheinlauf 1,9 km Stadtgelände schiebt. Das Zusammenfallen des Nebelmaximums im Oktober mit einem sekundären Bewölkungsminimum erklärt sich wohl durch eine große Anzahl von Strahlungstagen und -nächten mit Morgennebel im Oktober. Auf hohe Strahlungswerte im Oktober deutet ja auch das Sonnenschein-Isoplethendiagramm in Abbildung 4. Diese Vorstellung wird gestützt durch das Maximum der Häufigkeit von heiteren Tagen im Oktober und das gleichzeitige sekundäre Minimum der trüben Tage. (Abb. 6)

Wie bei allen Beobachtungen, die ohne Zuhilfenahme von Instrumenten an gestellt werden, muß man auch bei den G e w i t t e r aufzeichnungen eine Überschätzung der Zuverlässigkeit vermeiden. Immerhin zeigt die Abbildung 7, daß Friesdorf einigermaßen systematisch weniger Gewittertage meldet. Ob man diesen Unterschied in an betracht der Kürze der Reihe schon als gesichert ansehen darf, muß wohl offen bleiben. Es wäre jedoch denkbar, daß die Reliefgestaltung der Bonner Bucht sich dahin auswirkt, daß Gewitter diesen Trichter meiden und nördlich im breiten Rheintal bevorzugt vorbeiziehen bzw. verweilen, wie auch L u f t (45) vermutete. Wenn man an die häufigen stromparallelen vielleicht vom Rhein selbst verursachten Winde, die im nächsten Abschnitt behandelt werden, denkt, liegt die Vermutung nahe, daß es im Bonner Raum weniger oft zur ruhigen Ausbildung von Überhitzungsgebieten mit Thermikschlauch und lokalen Wärmegewittern im Gefolge kommt.

Aus der Gewitterkarte von H e r a t h (30), die die Anzahl der Gewittertage im deutschen Klimanetz zeigt, geht hervor, daß im westlichen Bergischen Land mit durchschnittlich mehr als 30 Gewittertagen im Jahr eins von den Maxima Deutschlands erreicht wird, während die Niederrheinische Bucht mit weniger als 20 Gewittertagen im Jahr ein Minimum bildet, das nur in Schleswig-Holstein und Ostpreußen unterschritten wird und dabei eine breite Fortsetzung über die Osthälfte der Eifel bis zur unteren Mosel erstreckt.

Danach hätte Bonn also ausgesprochen wenig Gewitter zu erwarten, und die oben erwähnte Verringerung der Gewitterhäufigkeit von Bonn nach Friesdorf wäre als eine Wirkung der verstärkten Leelage Friesdorfs, das ja im engeren Teil der Bonner Trichterbucht liegt, anzusehen.

## 6. W i n d v e r h ä l t n i s s e

Schon lange war bekannt, (45, 6), daß namentlich recht eigenartige Windverhältnisse in Bonn herrschen. Es wurde deshalb zu diesem Punkt besonders viel Material sowohl in üblicher Weise, wie auch nach eigenen Überlegungen und besonderen, der Situation angepaßten Methoden bearbeitet. Herangezogen wurden

1. Windbeobachtungen an der Wetterwarte zu den drei Tageterminen seit Errichtung der Station 1949/53.
2. Registrierungen eines F u e s s - Anemographen an der Wetterwarte seit September 1951.
3. Windbeobachtungen in Friesdorf (Station 2. Ordnung).
4. Registrierungen eines Anemographen am Flugplatz Wahner-Heide seit Aufstellung des Gerätes, November 1952.
5. Windbeobachtungen an vielen Stationen aus den Jahrbüchern des Wetterdienstes und aus der Klimakunde des Deutschen Reiches (47/57).

Zunächst fragt es sich, ob die durch S c h ä t z e n gewonnenen Beobachtungen mit den am gleichen Ort durch Auswertung der R e g i - s t r i e r u n g e n erhaltenen genügend übereinstimmen. Neben dem Gegensatz Schätzung - Messung besteht ja auch noch der prinzipielle Unterschied: Momentanwert beim Termin und Stundenmittelwert bei der Auswertung der Registrierung. Die aus diesen beiden Quellen erhaltenen Häufigkeits- und Geschwindigkeitswerte wurden in Skizze 1 der Abbildung 8 dargestellt. Bei den Windgeschwindigkeiten ist die Übereinstimmung der beiden Gesamtmittelwerte (Niveaus) natürlich durch die Darstellung in Prozenten erzielt; in Skizze 2 zeigt die untere Windstärkenrose, daß durchaus eine systematische Verschätzung zu höheren Windstärken vorliegt. Die in m/sec. ausgewerteten Registrierangaben sind natürlich vektoriell von 16 auf 8 Windrichtungen umgerechnet und außerdem nach einer stetigen Beaufortm/sec.-Kurve in Windstärken verwandelt. Interessant ist die Gegenläufigkeit der Differenz zwischen Schätz- und Meßkurven bei Windstärke einerseits und Windhäufigkeit andererseits. Bei den Winden um West wird eine größere Häufigkeit und eine geringere Geschwindigkeit geschätzt, sonst umgekehrt; man kann auch folgern: Schnelle Winde werden häufiger geschätzt. Eine Erklärung dafür wäre folgende: Langsame Winde werden beim Schätzen weniger genau in der Richtung erfaßt, also bei anderen Windrichtungen mitnotiert, damit sinkt natürlich ihre Häufigkeit. Daß geringe Windgeschwindigkeiten zu hoch eingeschätzt werden, ist nur zu plausibel, weil eben Null für Schätzung und Registrierungen eine gemeinsame untere Grenze bildet. Übrigens reduziert sich der Unterschied zwischen Registrierung und Schätzung, wenn man, statt Häufigkeit und Geschwindigkeit einzeln anzugeben, deren Produkt, also den W i n d w e g einführt. Dieses Maß halte ich nach unten angestellten Überlegungen für besonders aufschlußreich und wichtig, was die Belüftung einer Stadt angeht.

Unter Berücksichtigung einer Reihe von Vergleichen ergab sich, daß die **W i n d s t ä r k e** - wenn überhaupt Wind angegeben wird - etwa 7 % zu hoch geschätzt wird, daß aber umgekehrt Calmen rund doppelt so oft geschätzt wie aus der Registrierung entnommen werden. Dabei ist schon die verschiedene Calmendefinition ( $0 \text{ Bft.} = 0 \text{ bis } 0,3 \text{ m/sec.}$ ) bei Terminbeobachtungen und ( $C < 0,1 \text{ m/sec}$ ) bei Registrierungen berücksichtigt. Unterläßt man das nämlich, so scheinen Calmen gar 8-mal häufiger geschätzt als registriert vorzukommen.

Es wurde schon erwähnt, daß mir für die ventilierende Wirksamkeit der Winde aus den einzelnen Richtungen vor allem das Produkt aus Geschwindigkeit und Häufigkeit wichtig scheint. Eine Richtung mit Winden großer Häufigkeit wird nur dann als Hauptventilationsrichtung einer Stadt und damit als bevorzugenswerte Richtung der Straßenführung und anderer, später vorzuschlagender Planungsvorhaben dienen können, wenn ihre Winde auch eine entsprechende Geschwindigkeit entfalten. Es kommt mehr auf den Luftmassentransport aus den Richtungen an, als auf die Häufigkeit allein oder die Geschwindigkeit allein. Da keine genügend langen Reihen der Windgeschwindigkeit in  $\text{m/sec}$  für Bonn und die nahen Vergleichsstationen vorliegen, möchte ich vorschlagen, als "**V e n t i l a t i o n s g r a d**" das Produkt aus Häufigkeit und Windgeschwindigkeit in Beaufortgraden einzuführen. Es handelt sich dabei zweifellos um ein Maß für die Luftversetzung oder auch den Windweg aus den verschiedenen Richtungen. Im Mittel aller Richtungen wird dabei als Gesamtventilationsgrad eines Ortes eine Zahl resultieren, die der mittleren Windgeschwindigkeit dieses Ortes proportional ist, was auch ganz sinnvoll erscheint.

In Skizze 3 auf Abbildung 8 sind die Ventilationswindrosen für verschiedene westdeutsche Städte dargestellt. Für Bonn sind zwei verschiedenen lange Reihen angegeben, die Übereinstimmung ist recht befriedigend. Die Reihen für Köln, Bonn und Friesdorf sind gleichlang und streng parallel, sie fangen erst im August 1949 an, weil erst von da ab Beobachtungen aus Köln wieder vorliegen. Die Reihen für Leverkusen, Aachen und Euskirchen sind wieder unter sich und mit der einen Bonner Reihe streng parallel und gleichlang. Für Aachen ist zum Vergleich gestrichelt auch die Häufigkeitswindrose für dieselbe Periode angegeben, und diejenige für die lange Periode 1881-1925, so daß auch die Repräsentativität der anderen Windrosen für lange Zeiträume abgeschätzt werden kann.

Es zeigt sich, daß die Winde von NW über N, NE, E bis SW für Aachen im **V e n t i l a t i o n s g r a d** sehr stark zurücktreten und in der Stadtbelüftung also eine ganz untergeordnete Rolle spielen. Auch in Bonn-W haben die Winde von N über NE bis E schon wegen ihrer geringen Geschwindigkeit für die Stadtventilation praktisch kaum Bedeutung, wie man aus dem Vergleich der Häufigkeitsrose in Skizze 2 der Abbildung 8 und der Ventilationsrose in Skizze 3 ersieht. Die Rose für Friesdorf dürfte für die südlichen Stadtteile Bonns mit zutreffen und zeigt die große Bevorzugung der rheinparallelen Winde. Auch in Köln und Leverkusen ist diese Tatsache deutlich zu bemerken.

Euskirchen aber liegt frei in der breiten Düren-Jülicher Bucht und mag in etwa die **G r o ß r a u m - W i n d v e r t e i l u n g** verdeutlichen, die auch in Bonn in einiger Höhe herrschen dürfte. Die Windrosen für Schneifel-Forsthaus in der Hohen Eifel und Kleve im freien Niederrheingebiet sehen jedenfalls ganz ähnlich aus. Der Vergleich ergibt für Bonn eine starke Verminderung der Ventilation aus SW und ein überaus starkes Anwachsen derjenigen aus S. Diese für das Stadtklima ganz entscheidenden Tatsachen wurden nun noch weiter untersucht.

Und zwar wurde für das stetig im Jahreslauf sich ändernde stetige Windfeld die Darstellungsmethode der **I s o p l e t h e n** - also der Höhenschicht-karten gewählt. Der oben eingeführte Ventilationsgrad  $V$  wurde dazu als Funktion der beiden Variablen Zeit  $t$  (Jahresablauf) und Windrichtung  $W$  aufgetragen und dann die Funktionsfläche  $V = V(t, W)$  durch

Niveauschnitte  $V = \text{const.}$  dargestellt. Das ist im Prinzip natürlich die gleiche Methode wie die bei den Thermoisoplethen (zu diesen und zu ihrer interessanten Geschichte vergleiche C. T r o l l , 71) und eigentlich bei sämtlichen räumlichen Isolinien auch verwandte. Da nun Isoplethen zunächst nur Linien gleicher Zahlenwerte sind, scheint es gerechtfertigt, hier von Isoplethen des Ventilationsgrades (oder Anemo-rhodo-isoplethen = Windwegisoplethen) zu sprechen. Man muß sich darüber im klaren sein, daß ein solches Diagramm praktisch 12 Windrosen ersetzt und dabei noch die stetigen Übergänge in allen drei vorkommenden Dimensionen anschaulich macht.

In Abbildung 10 sind solche Isoplethendiagramme für den Ventilationsgrad in Bonn und Köln dargestellt. Um die örtlichen Eigentümlichkeiten besser beurteilen zu können, wurde darunter ein Diagramm gesetzt, das eine Mittelbildung von langen Reihen aus Aachen, Kleve und Schneifelforsthaus wiedergibt. Die Häufigkeitsrosen dieser Orte sind einander sehr ähnlich, und die Lage der Stationen läßt hoffen, daß man bei dieser Mittelung ein hinreichend gutes Bild von der Großraumzirkulation unserer Gegend erhält; die örtlichen Eigenarten der einzelnen Stationen gehen ja nur mit  $1/3$  an Gewicht in das Mittel ein.

Nun war es leider nicht möglich, die Ventilationsgrade der einzelnen Stationen zu berechnen, da die Windstärken der langen Reihe nicht veröffentlicht sind (57). Es wurde also in diesem Falle die prozentuale Häufigkeit als Funktion von Zeit und Windrichtung dargestellt. Die Windrose des Ventilationsgrades für Aachen in Abbildung 8, Skizze 3 erlaubt aber den Anschluß der 3 Isoplethendiagramme untereinander, denn sie bringt gleichzeitig Ventilationsgrad und Häufigkeit in streng paralleler Periode zu den beiden ersten Isoplethendiagrammen und außerdem die Häufigkeit in der langen Periode der dritten Isoplethendarstellung.

Aus den Diagrammen (Abb. 10) lassen sich einige wichtige F o l g e r u n g e n ziehen:

1. Die Hauptventilationsrichtung für Bonn ist mit Abstand W; für Köln nahezu gleichmäßig SE und W. Der großräumig weit vorherrschende SW-wind wird in Köln und noch mehr in Bonn stark reduziert. Er wird wahrscheinlich durch das Rheintal bis zu einiger Höhe umgelenkt, wie nachher gezeigt werden soll.
2. Die Richtungen von NNW bis ENE treten in Bonn in allen Monaten bis auf April und Mai ganz zurück; in Köln ist das etwas weniger der Fall, im Diagramm 3 noch weniger. Hier ist vielmehr der SE-wind am schwächsten vertreten und das ist in allen Perioden so, wie die Windrose für Aachen zeigt.
3. Im Großraumwind fällt der Unterschied des Überganges einerseits von SW nach S und andererseits von SW nach W auf: einmal eine abrupte Häufigkeitsabnahme, zum andern eine langsame, gleichmäßige Verringerung. Das hängt wohl auch mit dem Aufbau der Zyklonen zusammen, die in unseren Breiten höchstens kurz vor dem Windsprung an der Warmfront einmal Südwind bringen, meist aber Südwestwind und alle möglichen Zwischenrichtungen von SW über W bis NW. Diagramm 3 lohnte schon eine noch weitergehende Diskussion.

In Köln und Bonn ist von diesem Sachverhalt nichts zu merken. Hier ist im Gegenteil der Übergang von W nach NW schroffer als der von W nach SW, ein Beweis für die starke Auswirkung der Lage und des Lokalklimas der beiden Städte. Der Vergleich zwischen Diagramm 3 und denen für Bonn und Köln soll nicht überspannt werden, es handelt sich ja doch um verschieden lange Reihen und um nur ähnliche Funktionen (Häufigkeit und Ventilationsgrad), wengleich die Windrosen für Bonn und Aachen (Abb. 8, Skizze 2,3) den Anschluß und einen Überblick über die Größe der Fehler erlauben.

Der Vergleich zwischen den streng parallel gewonnen Diagrammen für Bonn und Köln aber läßt sich noch etwas weiter führen, und die hier besonders interessierende Bonner Darstellung kann man auch alleine noch weiter diskutieren.

4. Die Hauptventilationsrichtung wandert im April (wohl unter dem Einfluß von Zyklonen) in Köln von W nach SW, in Bonn gleich nach S bis SSE, das dürfte auf einen stärkeren Einfluß des Rheintales in Bonn zurückzuführen sein.
5. Das Minimum der Ventilation ist in Bonn im Vergleich zu Köln breiter, es wird im Mai in Bonn kaum, in Köln stark unterbrochen.
6. Die starke Reduzierung der Ventilation aus E bis SW während des Frühlommers in Bonn ist in Köln auch vorhanden, aber nicht so ausgeprägt.
7. Gemeinsam sind beiden Orten die Hauptmaxima im Januar im W, im März und Oktober im SE, gemeinsam auch die Minima ganzjährig (bis auf den Mai) von N bis NE, und im Mai bis Juli sowie im Oktober im S bis SW.
8. Für die Ventilation der Stadt Bonn ist es wichtig, daß man während der Hauptschwüleperiode im Juli eine ziemlich einfache Verteilung mit einem Maximum im W und einem Minimum im NE zu erwarten hat, und daß sich gerade um diese Zeit die rheinparallelen SE-winde nur mittelmäßig bemerkbar machen. In Friesdorf dagegen ist auch im Juli das Hauptmaximum vom rheinparallelen Südwind hervorgerufen, wengleich dieser ebenso zu dieser Zeit sein Jahresminimum (im Ventilationsgrad) annimmt.

Alle Kriterien deuten auf eine stark reduzierte Windbewegung in Bonn, so vor allem die Kurven in Abbildung 11 Skizze 5. Danach ist Köln wesentlich besser (13 % im Jahresmittel) ventiliert als der Stadtrand von Bonn an der Wetterwarte. Der Jahresgang der Ventilation in Köln ist außerdem günstiger, da man im Sommer möglichst große, im Winter aber geringe Ventilation wünschen muß. Obwohl der Ventilationsgrad in Friesdorf, der als ein Näherungswert für die Südstadt angesehen werden kann, im Jahresmittel höher liegt als derjenige in Köln, ist er doch im Jahresgang ausgesprochen ungünstig, im Sommer besonders niedrig, im Winter besonders hoch. Interessant ist, daß wohl das Jahresmittel von Köln in das lokalklimatisch bedingte Intervall Bonn-W - Friesdorf fällt, daß aber die Kurven für Bonn und Friesdorf einander weit ähnlicher sind als die von Köln und Bonn.

Wenn auch die bisher angeführten Tatsachen, namentlich der letzterwähnte Vergleich Bonn, Friesdorf, Köln einwandfrei zeigen, daß in Bonn vergleichsweise sehr geringe Luftbewegung herrscht, schien es doch sehr zweckmäßig, sich zu vergewissern, daß auch die Windstruktur in Bonn - d.h. die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten - eine wesentlich andere ist als an den Vergleichsstationen. Dazu mußten in Stichproben vor allem Stationen mit Windschreibern herangezogen werden. Gewählt wurden registrierte Stundenwerte aus Wahn (einer nahe - 20 km - gelegenen Station) und Hamburg (Jahrbuch). Für Bonn war eine Auszählung der Stundenmittel in 6 Stufen für 18 Monate - von der Aufstellung des Anemographen im Juli 1951 bis Ende 1952 - auf der Wetterwarte gemacht worden, sie wurde mir auch liebenswürdigerweise zur Verfügung gestellt und ist im Ergebnis in Abbildung 11 Skizze 1 zu sehen. Das Maximum der Häufigkeit liegt bis auf den Winter im Intervall 1 - 2 m/sec. Im Winter aber gibt es mehr Calmen und merkwürdigerweise etwas weniger Stundenwerte im Intervall 0,1 - 0,9 m/sec.

Natürlich muß man die in der "Strichliste mit ungleichen Intervallen" erhaltenen Zahlen entsprechend der Intervallbreite korrigieren, also z.B. bei der Intervallbreite 0,5 m/sec mit 2 multiplizieren, bei der Intervallbreite 2,0 durch 2 dividieren. Nur so werden sie mit Anzahlen in Intervallen der Breite 1,0 m/sec vergleichbar. Das oben erwähnte Absinken der Häufigkeit im Intervall 0,1 - 0,9 m/sec muß entweder ein subjektiver Fehler bei der Auswertung der Registrierung oder eine Auswirkung der Initialreibungsschwelle des Gerätes sein. So könnten jedenfalls Calmen auf Kosten der kleinsten Geschwindigkeiten bevorzugt auftreten. Die Tatsache, daß diese Erscheinungen nur in der kalten Jahreszeit vorkommen, legt den Gedanken nahe, es handle sich um eine starke Heraufsetzung der immer vorhandenen Reibungsschwelle durch Eindicken des Öles oder durch Eisansatz.

Der Sommer hat die wenigsten ganz kleinen, großen und ganz großen Geschwindigkeiten, überwiegt in den mittleren aber weit. Genau umgekehrt verhält es sich im Winter, der Frühling ist dem Sommer ähnlich, der Herbst dem Winter.

Skizze 2,3 und 4 (Abb. 11) bringen vergleichsweise Häufigkeiten - Verteilungen von je 720 Stundenwerten aus je einem Monat im Frühling, Sommer und Herbst. Das Maximum liegt bei der Vergleichsstation in allen Fällen rechts-verschoben, meist um eine Stufe. Wahn hat im März von 2 m/sec, im November von 3 m/sec an höhere Windgeschwindigkeiten, darunter weniger. Bei Hamburg liegt dieser Überschneidungspunkt zwischen 1 und 3 m/sec, der Unterschied der Häufigkeitskurven ist hier besonders groß. In Skizze 3 und 4 (Abb. 12) ist die Häufigkeitsverteilung im November 1952 (vgl. auch Abb. 11 Skizze 4) nach Windrichtungen aufgeschlüsselt. Diesmal sind nicht prozentuale sondern absolute Häufigkeiten - freilich reduziert auf gleiche Intervalllänge - dargestellt, so daß auch die Mittelwerte (Niveaus) der Kurven eine Aussage enthalten. Namentlich Skizze 4 (Abb. 12) zeigt, daß bis 1,0 m/sec alle Windrichtungen fast gleich häufig sind, oder umgekehrt, daß alle Windrichtungen annähernd absolut gleich viel schwache Winde aufweisen. Mittelstarke Winde kommen vor allem aus E bis SSE sehr selten aus N, und in den starken und sehr starken Winden überwiegt W bis NNW vor E bis SSE schließlich immer stärker.

Zu den Windschwellenwerten gehören auch die Calmen; es wurden daher auch die Windstillen-Aufzeichnungen von Bonn mit denen anderer Stationen verglichen. Selbst wenn man die starke subjektive Komponente beim Schätzen der Windstillen im täglichen Klimadienst berücksichtigt, ist folgende Zusammenstellung doch überraschend:

1949 haben nur 3 von 80 NW-deutschen Stationen mehr als 350 Calmen; Bonn hat mit 390 die meisten.

1950 haben 3 von 80 NW-deutschen Stationen mehr als 350 Calmen; Bonn steht mit 381 an zweiter Stelle.

1950 haben 8 von 113 süddeutschen Stationen (US Zone) mehr Calmen als Bonn mit 381, darunter ist Ulm, Aschaffenburg, Passau und Garmisch-Partenkirchen.

1951 haben 9 von 85 NW-deutschen Stationen 250 und mehr Calmen; Bonn hat 284.

Schließlich seien die Windstillentermine in Bonn noch mit denen der umliegenden Stationen und denen in Essen und Hamburg verglichen:

A n z a h l d e r C a l m e n t e r m i n e

in:	Bonn	Friedsf.	Köln	Leverk.	Eusk.	Rötgen	Aachen	Elsdf.	Essen	Hambg.
1949	390	158	-	26	1	81	14	155	102	117
50	381	126	100	13	1	50	100	127	48	24
51	284	96	103	21	0	-	102	125	25	9

Einen weiteren, exakten Vergleich der registrierten Windgeschwindigkeiten in Bonn und Wahn erlaubt Skizze 5 in Abbildung 12. Leider wurde der Wahner Anemograph, der der nächstgelegene und in sehr weitem Umkreis der einzige ist, der vollkommen frei steht und in etwa für den Großraumwind in Bodennähe (ca. 20 m) repräsentativ sein dürfte, erst im November 1952 in Betrieb genommen. Es ergibt sich für den dargestellten Zeitraum eine um 52 % größere Windgeschwindigkeit in Wahn!

Es sei nun noch kurz der Versuch mitgeteilt, rein statistisch aus streng synchronen Windbeobachtungen in Bonn und in Wahn eine Ablenkung in die Richtung des Rheintales nachzuweisen. Wahn wurde gewählt, weil von dort Auswertungen von Windregistrierungen zur Verfügung standen und außerdem weil Wahn sehr frei und exponiert liegt und daher, wie schon gesagt, hinreichend repräsentativ für den unabgelenkten Großraumwind schien. In Flußnähe wurde der Unterschied zwischen Wolkenzug und Zugrichtung des Rauches der Rheindampfer oft und eindeutig bis zu Werten von 180° (z.B. am 9.8.53) beobachtet. Solch auffällige Ablenkung im Raume

von Köln hat auch B e r g vom Flugzeug aus beobachtet und beschrieben, (6) S.70: "Wie sehr die verschiedene-Rauhigkeit des Untergrunds schwache Luftströmungen ablenken kann, ließ sich gelegentlich an den Rauchfahnen der Fabriken unmittelbar am Rhein verfolgen. Jeder Knick des Stromes ist in einer geänderten Windrichtung oder sogar in einem Umbiegen derselben Rauchfahne zu erkennen."

Es fragte sich aber, ob diese Ablenkung durch das Rheintal auch anhand der Windregistrierungen der Wetterwarte, die immerhin 1,7 km vom Fluß entfernt liegt, noch nachgewiesen werden kann.

In Abbildung 12 ist in Skizze 1 eine Modellvorstellung entwickelt, nach der die Winde, wie sie in der ungestörten Gegend herrschen würden (Wahn), in andere Richtung abgelenkt werden, weil eine Bevorzugung der Richtungen SSE und NNW (Rheintal) vorliegt. Danach würden also (s. Skizze 1) z.B. aus ESE-winden SE- oder SSE-winde, aus SE-winden durch Ablenkung SSE-winde. Hat ein Wind schon sowieso Rheintalrichtung (SSE oder NNW), oder weht er genau senkrecht zu dieser bevorzugten Richtung (also ENE oder WSW), so dürfte er offenbar gar nicht abgelenkt werden. Nach diesen Überlegungen kann man in die gleich zu erklärende Skizze 2 (Abb. 12) eine deduktiv zu fordernde Häufungslinie einzeichnen.

In Skizze 2 sind in der Ordinatenrichtung die ungestörten Winde (Wahn), in der Abszissenrichtung die abgelenkten (Bonn) aufgetragen. Der abgegrenzte Streifen rechts und oben gestattet durch Überlappung einen besseren Überblick. In diesem Diagramm müßten bei ganz gesetzmäßiger Ablenkung die Punkte für die nach obiger Überlegung unabgelenkten SSE, NNW, ENE und WSW-winde genau auf der Diagonalen liegen, was ja bedeutet, daß sie in Wahn und Bonn die gleiche Richtung haben. Alle anderen Winde müßten nach Skizze 1 eine gewisse Ablenkung erfahren; die entsprechenden Punkte müßten also von der Diagonalen abweichen und zwar am meisten für NNE, ESE, SSW und WNW-winde (s. Skizze 1). Die Abweichung darf dabei aber  $90^\circ$  nicht überschreiten. Die in Skizze 2 eingezeichnete Häufungslinie ist unter Berücksichtigung all dieser Überlegungen, also deduktiv aus Skizze 1 gewonnen und Skizze 1 ist ein plausibles Modell, eine rein deduktive Konstruktion. Es fragt sich nur noch, ob die Natur mit diesem Modell hinreichend gut übereinstimmt.

Zur Beantwortung dieser Frage sind in das Diagramm 288 Stundenmittel der registrierten Windrichtungen in Bonn und Wahn aus dem November 1952 (der auch in Bezug auf die Häufigkeitsverteilung der Windschwellenwerte am sorgfältigsten bearbeitet wurde) eingetragen. Bei vollem Zutreffen der Modellvorstellung müßte die Häufungslinie der Beobachtungswerte (-punkte) mit der deduktiv gewonnenen Kurve mindestens in der Lage der Extrema übereinstimmen. Die Übereinstimmung in der Größe der Extrema ist weniger wichtig da sie nur eine Aussage über die Stärke des Ablenkungseffektes macht.

In zwei Quadranten (WSW bis NNW und ENE bis SSE) ist die Übereinstimmung ganz sicher überzufällig (s. Abb. 12), im Quadranten NNW bis ENE ist sie weniger gut; im Quadranten SSE bis WSW liegt keine einwandfreie Übereinstimmung vor. Es ist damit gezeigt, daß für den weitaus größten Teil der Windrose eine gut verständliche, nämlich einer einfachen Modellvorstellung entsprechende Ablenkung durch das Rheintal auch im statistischen Mittel nachgewiesen werden kann.

Abschliessend sollen folgende Punkte festgehalten werden:

1. Die in Bonn geschätzten Windstärken liegen systematisch etwa 7 % über den gleichzeitigen Meßwerten.
2. Umgekehrt werden Calmen ( $\leq 0,3$  m/sec) etwa doppelt so oft geschätzt wie gemessen.
3. Die SW- und die NW-winde (mit großer Geschwindigkeit) werden etwa 2 % zu häufig geschätzt, alle anderen ein wenig (0,3 %) zu selten. Die Übereinstimmung in der Form der Windrosen für Schätz- und Meßwerte ist bei der Windstärke und besonders bei der Windrichtung erstaunlich gut.

4. Der Unterschied wird besonders klein, wenn man das Produkt Häufigkeit mal Windstärke, den " Ventilationsgrad " für die verschiedenen Richtungen ermittelt.
5. In Bonn und Friesdorf ist die großräumig vorherrschende Ventilation aus SW stark reduziert, dafür ist in Bonn diejenige aus W vermehrt, in Friesdorf die aus S (rheinparallel). Die Ventilation aus N bis E ist nahezu bedeutungslos.
6. Die Ventilationsmaxima liegen in Bonn und Köln im Januar, und zwar bei den W-winden und im März sowie Oktober im SE. Das Minimum liegt im N bis NE und erstreckt sich über das ganze Jahr bis auf eine kurze Unterbrechung im Mai.
7. Im Hauptschwülemonat Juli liegt das Ventilationsmaximum in Bonn im W, das Minimum wie immer im NE, in Friesdorf liegt dann das Maximum im S, das Minimum im E.
8. Köln hat im Jahresmittel einen 13 % höheren Ventilationsgrad als Bonn, Friesdorf einen um 17 % höheren. Der Jahresgang des Ventilationsgrades ist in Bonn ungünstiger als in Köln.
9. Die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeitsstufen zeigt, daß der Sommer die wenigsten ganz kleinen, großen und ganz großen Geschwindigkeiten hat, dafür aber in den mittleren weit überwiegt. Der Winter hat eine genau umgekehrte Verteilung, der Frühling ähnelt dem Sommer, der Herbst dem Winter.
10. In Wahn und Hamburg liegt das Maximum der Häufigkeitskurven der Windschwellenwerte jeweils etwa 1 m/sec höher als in Bonn.
11. Bis 1 m/sec sind alle Richtungen annähernd gleich häufig. Mittelstarke Winde kommen vor allem aus Ost bis SSE und W bis NNW, sehr selten aus N. In den starken und sehr starken Winden überwiegt W bis NNW vor E bis SSE schließlich immer stärker.
12. Bonn hat weit mehr Calmenterme als alle umliegenden Stationen und in 3 untersuchten Jahren einmal die meisten Calmenterme von den 80 NW-deutschen Stationen, einmal ist es unter den 9 (von 85) Stationen, die die meisten haben, und einmal unter 11 (von 193 NW- und S-deutschen Stationen) mit den meisten Calmen.
13. Durch Vergleich der registrierten Windgeschwindigkeiten von Bonn und Wahn wurde eine systematisch höhere (im Mittel 52 %) Windgeschwindigkeit in Wahn festgestellt.
14. Mit Hilfe von streng synchronen Windregistrierungen in Bonn und Wahn wurde eine annähernd symmetrische, gesetzmäßige Ablenkung der Winde durch das bei Bonn SSE - NNW streichende Rheintal nachgewiesen. (Vergleiche auch K ö h l e r (38) und W e i s c h e t (73) )

## II V e r g l e i c h v o n z u s a m m e n g e s e t z t e n K l i m a g r ö ß e n

Ein Beitrag zur Untersuchung der S c h w ü l e schien besonders dringlich, da hier von den meisten danach Befragten ein besonders ungünstiges Merkmal des Bonner Klimas vermutet wurde.

Unter den vielen Definitionen und Meßmethoden der Schwüle (-empfindung) wurden die drei ausgewählt, die bei dem vorhandenen Material am umfassendsten zu bearbeiten waren und nach neueren Untersuchungen hinreichend verläßlich schienen.

Die von v. B e z o l d (8) eingeführte Ä q u i v a l e n t t e m p e r a t u r ( $t_{\ddot{a}} = t + 2,5$  s oder nach H a n n - K n o c h (26) für klimatische Zwecke vereinfacht  $t_{\ddot{a}} = t + 2$  e) wurde von K n o c h e (37) als charakteristisch für das Wärmeempfinden angesehen, was J. v. H a n n ablehnte, R o b i t z s c h (60) dann aber wieder bejahte, indem er nachwies, daß die Abkühlungsgröße am feuchten Thermometer eine Funktion der Äquivalenttemperatur ist. K n o c h schließt (36): " Da wir nun den

menschlichen Körper als einen feuchten Körper höherer Temperatur auffassen können, so werden auch Beziehungen zwischen der Äquivalenttemperatur der Körperoberfläche und der Wärmeabgabe zu erwarten sein. Überschläglich berechnet auch R o b i t z s c h die Grenzwerte der Äquivalenttemperatur, die vom normalen Menschen als angenehm empfunden werden. Wenn für die Außenluft z.B. die Äquivalenttemperatur  $37^{\circ}$  überschreitet, so tritt bei ruhendem Körper bei Windstille Schweißabsonderung ein." Die eigentliche Schwülegrenze setzen F. L i n k e (43) und D a l m a d y (17) bei einer Äquivalenttemperatur von  $56^{\circ}$  an. Bei S p a n g e n - b e r g (66) heißt es: " M r o s e fand, anscheinend für seine Person, bei Schwüle im Mittel  $49^{\circ}$  Äquivalenttemperatur ... ". S p a n g e n - b e r g erhält in einer anderen Arbeit (65) für seine Schwülebeobachtungen im Mittel  $t_{\ddot{a}} = 53^{\circ}$ , er nimmt die Äquivalenttemperatur allerdings nur als sehr begrenzt brauchbare Beschreibungsgröße an. Das ist auch nach meinen Beobachtungen richtig. Es ist auch nur zu plausibel, daß ein Schwülemaß, in das die Strahlung nicht eingeht, obwohl die Infrarotstrahlung der umgebenden Körper auch im Schatten sicher sehr wichtig ist, nicht durchgängig zutreffen kann. Immerhin bleibt die Verwendbarkeit eines Stufenwertes von  $t_{\ddot{a}} = 50^{\circ}$ , als erste Näherung einer Schwülegrenze unbestritten, Demgemäß wurde für Bonn, Essen, Wyk und Hamburg ausgezählt, wie oft die Werte  $t_{\ddot{a}} = 50^{\circ}$ ,  $56^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  überschritten und die Werte  $0^{\circ}$  und  $10^{\circ}$  unterschritten werden. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle I und werden später diskutiert.

Als zweites Maß für das Wohlbefinden des menschlichen Körpers wurde die F e u c h t e A b k ü h l u n g s g r ö ß e nach R o b i t z s c h  $A_f = (0,22 + 0,25 \sqrt{2/3}) (123,7 - t_{\ddot{a}})$  in  $\text{mgcal/cm}^2\text{sec}$  herangezogen. In dieses Maß geht explicit die Windgeschwindigkeit ein; implicit - über den Dampfdruck nämlich - wirkte sie ja auch schon in der Äquivalenttemperatur mit. Leider können wegen der Kürze der zur Verfügung stehenden Reihen immer nur Relativaussagen gemacht werden. Auch hier muß Ziel der Stadtklimaforschung bleiben, zu absoluten Angaben zu kommen. Bei der strengen Parallelität der ausgewerteten Reihen sind die relativen Unterschiede der bearbeiteten Stationen aber schon recht zuverlässig zu ermitteln, namentlich wenn eine Unterteilung des Kollektivs in Einzelkollektive ohne Ausnahme die gleichen charakteristischen Züge erkennen läßt. Diese Mehrarbeit darf aber nicht umgangen werden, sie läßt sich durch zweckmäßige Anlage der Auswertlisten leicht reduzieren. Gerade mit diesem Klimamaß ließen sich sehr schöne Einzelheiten beim Vergleich von Bonn und Essen erkennen. Die Diskussion dieser Ergebnisse wird nach der Einführung des dritten herangezogenen Maßes für die Schwüleempfindung folgen.

Und zwar wurde der Gedanke von S c h a r l a u (63) aufgegriffen, als S c h w ü l e g r e n z e die  $14,08 \text{ mm-Dampfdrucklinie}$  zu nehmen, die eine geradezu schlagende Übereinstimmung mit der experimentellen Schwülegrenze nach L a n c a s t e r - R u g e (41,61) zeigt. Im Rahmen dieser Arbeit konnte die reizvolle Aufgabe auch Intensitätsgrade der Schwüle nach den verschiedenen vorgeschlagenen Methoden auszurechnen, nicht angefaßt werden, Einen sicheren Anhalt liefern aber auch schon die Überschreitungshäufigkeiten von mehreren Schwellenwerten sowie Periodenauszählungen.

Die hier benutzte Schwüledefinition besticht durch ihre Einfachheit. Die großen Schwächen muß man sich allerdings auch stets vor Augen halten. Es geht in diese Definition Strahlung und Luftbewegung nicht explicit ein, zweifellos entscheidende Faktoren beim Zustandekommen der Schwüleempfindung. Nur auf dem Umweg über die Lufttemperatur und den Dampfdruck kommt die Strahlung, freilich mit großer Phasenverschiebung, implicit zur Wirkung; es fragt sich nur, ob ausgerechnet in der physiologisch wirksamen Funktion. Auch der Wind geht, wie S c h a r l a u betont, (62,63) in die Definition implicite ein, denn der Dampfdruck in Bodennähe ist eine Funktion der Luftbewegung (4). Der Wind wirkt nun aber nicht nur derart, daß er den Dampfdruck in Bodennähe durch Austausch vermindert, sondern vor allem dadurch, daß er den Wechsel der Luftquanten beschleunigt.

nigt, die in unmittelbarer Hautnähe mit Feuchtigkeit angereichert werden und dabei Verdunstungskälte hinterlassen.

B i d e r u n d T h a m s (9, S.151) stellen kurz fest: "Vielfache experimentelle Untersuchungen haben ergeben, daß der sich in Ruhe in einem Zimmer befindliche Mensch im allgemeinen dessen Schwüle empfindet, wenn der Dampfdruck der Luft  $\geq 14,1$  mm Hg gemessen wurde". B i d e r schreibt an anderer Stelle (10, S.159): "Zur Beurteilung der Wirkung der Feuchtigkeit auf den Menschen wird gelegentlich das physiologische Sättigungsdefizit berechnet, darunter versteht man die Differenz zwischen dem Sättigungsdruck von  $37^{\circ}$  ( $47,1$  mm Hg) und dem vorhandenen Dampfdruck; es gibt ein Maß für die Schwüle der Luft. Nach gewissen Untersuchungen wird Luft mit einem physiologischen Sättigungsdefizit, das kleiner als  $33,0$  mm Hg ist, als schwül empfunden". Auf Grund der oben angeführten Definition, die übrigens auch in zwei neuen Arbeiten von Z i m m e r m a n n (76 u. 77) benutzt wird, wurde eine Auszählung der Schwületermine und Schwületa-ge für Bonn und 9 andere Stationen vorgenommen. Nacheinander sollen nun die Bearbeitungen der Schwüle auf Grund der Äquivalenttemperatur, der Feuchten Abkühlungsgröße und des Dampfdrucks diskutiert werden.

### 1. Äquivalenttemperatur

Bei der Äquivalenttemperatur stand die vierjährige Reihe des Zehntägigen Witterungsberichtes für Nordwestdeutschland zur Verfügung. Für die Jahre 1949 bis 1952 wurde die Anzahl der 7 Uhr und 21 Uhr-Termine sowie diejenige der Tagesmittel festgestellt, die eine Äquivalenttemperatur von  $< 0^{\circ}$ ,  $0^{\circ} - 10^{\circ}$ ,  $50^{\circ} - 55^{\circ}$ ,  $56^{\circ} - 60^{\circ}$  und mehr als  $60^{\circ}$  zeigten.

Die Auszählungen ergaben folgende Häufigkeiten:

T a b e l l e I

Häufigkeit von Terminen ( $7^{00}$ ,  $21^{00}$  und Tagesmitteln M) mit Schwellenwerten der Äquivalenttemperaturen  $t_{\ddot{a}}$  pro Jahr (1949 bis 1952)

in		Hamburg	Wyk/F.	Essen	Bonn
$t_{\ddot{a}} < 0^{\circ}$		12,2	5,8	6,2	6,8
$0^{\circ} \leq t_{\ddot{a}} < 10^{\circ}$	$7^{00}$	66,8	46,2	50,2	50,8
	$21^{00}$	52,5	42,8	42,5	37,8
	M	47,8	36,5	42,2	34,8
$50^{\circ} \leq t_{\ddot{a}} < 56^{\circ}$		9,4	4,4	9,9	23,0
$56^{\circ} \leq t_{\ddot{a}} < 60^{\circ}$		0,3	.	2,7	3,7
im Sommer (1950/52)					
$50^{\circ} \leq t_{\ddot{a}} < 56^{\circ}$	$7^{00}$	6	.	5	13
	( $14^{00}$ )	(16)	(2)	(25)	(39)
	$21^{00}$	5	4	12	20
	M	9	3	14	24
$56^{\circ} \leq t_{\ddot{a}} < 60^{\circ}$	$7^{00}$	.	.	1	2
	( $14^{00}$ )	.	.	(4)	(9)
	$21^{00}$	.	.	4	4
	M	.	.	3	5
im Herbst (1949/52)					
$50^{\circ} \leq t_{\ddot{a}} < 56^{\circ}$	$7^{00}$	.	.	.	.
	( $14^{00}$ )	(11)	(1)	(.)	(3)
	$21^{00}$	4	1	5	3
	M	5	1	2	3
$t_{\ddot{a}} \geq 60^{\circ}$		.	.	.	0,3

Es zeigt sich, daß man die Ergebnisse gesondert für die hohen und niedrigen  $t_{\ddot{a}}$ -Werte betrachten muß. Im Durchschnitt der vier Jahre und in jedem einzelnen Jahr, was für die statistische Sicherung der Folgerungen wichtig ist, hat Bonn mehr als doppelt so viele Tage mit  $t_{\ddot{a}} \geq 50^{\circ}$  als Essen. In den Terminen mit  $t_{\ddot{a}} \geq 56^{\circ}$  liegt Bonn ebenso, wenn auch nicht so weit vor Essen, an der Spitze. Termine mit  $t_{\ddot{a}} \geq 60^{\circ}$  gab es nur in Bonn. Dabei ist der Unterschied zwischen Bonn einerseits und Essen, Wyk und Hamburg andererseits im Sommer besonders groß, im Frühling fast ganz verwischt, im Herbst etwas geringer als im Jahresdurchschnitt. Die Strichlisten wurden so angelegt, daß man auch die Verteilung der  $t_{\ddot{a}}$ -Stufen nicht nur auf die vier Jahreszeiten, sondern auch auf die drei Termine sowie im Tagesmittel entnehmen kann. Wie erwartet, ergab sich ein starkes Überwiegen der Mittagstermine mit  $t_{\ddot{a}} \geq 50^{\circ}$  über die entsprechenden Abendtermine und erst recht über die Morgentermine. Die angegebene Häufigkeit der Mittagstermine mußte dabei aus derjenigen der Morgen- und Abendtermine, sowie aus der Häufigkeit der Tagesmittel errechnet werden, da nur diese drei Werte veröffentlicht wurden. Diese Berechnung ist allerdings nur unter der Voraussetzung möglich, daß die Auszählergebnisse repräsentativ sind. Ein Vergleich der Einzelergebnisse der vier Jahre aber zeigt in jedem Jahre die gleichen charakteristischen Züge, womit die Sicherheit der hier gemachten Aussagen gewährleistet sein dürfte.

Aus der Häufigkeit der einzelnen täglichen Termine mit  $t_{\ddot{a}} \geq 50^{\circ}$  läßt sich entnehmen, daß die Mittagstermine im Sommer in Hamburg besonders stark, nämlich im Verhältnis 3:1, (in Wyk, Essen und Bonn 2:1) über die Abendtermine überwiegen. Die Morgentermine sind in Bonn in einem auffallend hohen Verhältnis häufig notiert. (Bonn 1:3, Essen 1:5 gegen Mittagsterminhäufigkeit). Bei noch höheren Äquivalenttemperaturen verwischt sich der Unterschied zwischen Bonn und Essen, Wyk, Hamburg etwas, ist aber noch deutlich im Verhältnis 12:9:0:1 vorhanden. Eine weitergehende Diskussion scheint bei der Seltenheit dieser hohen Werte fragwürdig, auffallend ist nur, daß bei diesen Beobachtungen die Mittagstermine in Bonn in gewohnter Weise überragen, in Essen gar nicht. Bonn wäre nach diesem Kriterium also mehr als doppelt so oft unangenehm warm wie Essen und Hamburg, etwa 4-mal so oft wie Wyk. Dabei sind vor allem die Vormittage im Verhältnis zu Essen auffallend häufig mit hohen Äquivalenttemperaturen vertreten. Das erinnert an die hohen oben erwähnten Sonnenscheinzahlen am Vormittag in Bonn. Da leider keine regelmäßig veröffentlichten Äquivalenttemperaturen von Stationen, die südlicher liegen als Bonn, zur Verfügung standen, muß der große Unterschied in den Gegensätzen Hamburg- Essen einerseits und Essen - Bonn andererseits als Sicherung dafür dienen, daß nicht nur die südlichere Lage Bonns den Ausschlag gibt. (Siehe hierzu auch Tabelle II)

Die niedrigen Äquivalenttemperaturen haben keine unmittelbare bioklimatisch interessierende Bedeutung, ja trockenes kaltes Wetter wird weniger unangenehm empfunden als feuchtkaltes. Es sei daher nur kurz festgestellt, daß Bonn im Frühling und Winter seltener geringe  $t_{\ddot{a}}$  hat als alle Vergleichsstationen, im Herbst aber höhere  $t_{\ddot{a}}$  als Hamburg und tiefere als Wyk und Essen; im Vergleich mit Hamburg und Wyk dürfte für diese Tatsachen die Temperaturkomponente der Äquivalenttemperatur verantwortlich sein, im Vergleich mit Essen aber scheint die Feuchtigkeitskomponente einen überwiegenden Einfluß auszuüben. Weiter fällt auf, daß bei den niedrigen Äquivalenttemperaturen der 7-Uhr Termin relativ zu den anderen Stationen häufiger kalt ist; der 21-Uhr Termin und das Mittel aber sind seltener kalt, was namentlich durch den Herbst (Nebel) verursacht wird.

## 2. F e u c h t e A b k ü h l u n g s g r ö ß e

Als weiteres Klimakriterium wurden die im Zehntägigen Witterungsbericht (46) veröffentlichten 1359 Tagesmittel der Feuchten Abkühlungsgröße nach

R o b í t z s c h von 1949/52 für Bonn, Hamburg, Wyk, Norderney, Braunlage und Essen vergleichend bearbeitet.

Die Abbildung 13 zeigt einige von den Ergebnissen. Die Aussage, daß Bonn zu allen Jahreszeiten eine sehr viel geringere  $A_f$  als Essen hat, wird durch Skizze 1 statistisch vollkommen gesichert. Von September 1949 bis Dezember 1952 sank die Differenz zwischen Essen und Bonn nie unter 9 % des Maximalwertes, sie lag im Mittel bei 26,1 mgcal/cm<sup>2</sup>sec, also bei 41 % des Mittelwertes von Bonn! Aus Skizze 1 läßt sich noch entnehmen, daß Bonn sein Minimum 2 Monate vor demjenigen von Essen liegen hat, 1951 schon im Mai. Diese Tatsache wird bei der Mittelbildung in Skizze 2 verdeckt. Die Maxima im Januar stimmen bis auf 1951 überein. Es fällt auf, daß die Wintermonatsmittel mehr streuen als die Sommermonatsmittel, die einen deutlich ruhigeren Gang aufweisen. Das ist ein Hinweis auf die Tatsache, daß unsere Winter weit mehr advektiv geformt sind als unsere Sommer. Je nach Ursprung der Luftmassen stehen wir wechselnd unter dem Einfluß von advektiver Wärme und Kälte. Interessant ist, daß die Streuung in der Abkühlungsgröße so stark ist, da man doch annehmen muß, die relativ warmen Wetterlagen mit ihren hohen Windgeschwindigkeiten riefen ähnliche Abkühlungsgrößen hervor wie die kalten Ostlagen, bei denen das Windglied klein bleibt.

Besonders aufschlußreich ist die Differenzfunktion der  $A_f$  in Bonn und Essen. Sie zeigt im Mittel der Jahre 1949/52 einen überraschend stetigen Gang, der ja auch in den Einzeljahren in Skizze 1 schon deutlich zu erkennen war. Danach (Skizze 2) sind die Differenzen in den Monaten April bis September geringer als in den übrigen. Bis auf den Mai stimmt das auch noch in den relativen Differenzen. Das heißt aber, die Form des Bonner Jahresganges ist günstiger als die des Essener, denn in unserem Klima und bei unserer Konstitution wird geringe Abkühlungsgröße im Winter und große im Sommer gewünscht. Schlecht bleibt natürlich, daß die  $A_f$  im ganzen so viel geringer ist als in Essen.

Ähnliche und noch größere Unterschiede zeigten sich auch beim Vergleich zwischen Bonn einerseits und Hamburg, Wyk, Norderney, Braunlage und Essen andererseits. Und zwar wurde ausgezählt, wie oft das abkühlungsschwache Bonn im Tagesmittel der Feuchten Abkühlungsgröße doch noch abkühlungsstärker ist als die erwähnten Orte. Wäre kein reeller Unterschied zu Bonn vorhanden, so müßte offenbar an 50 % aller Tage die  $A_f$  in Bonn höher sein als an einer einzelnen betrachteten Vergleichsstation. An den anderen (50 %) Tagen müßte an der Vergleichsstation die höhere  $A_f$  vorliegen.

Die bei 1359 Tagesmitteln aus den Jahren 1949/52 ermittelten Zahlen lauten nun aber statt dessen folgendermaßen:

Eine höhere  $A_f$  als Bonn hatte: Hamburg in 91,3 % der Fälle, Wyk in 93,5 %, Norderney in 96,6 %, Braunlage in 81,0 % und Essen in 95,1 % der Fälle. Oder umgekehrt, statt an 50 % der Tage war Bonn abkühlungsstärker als Hamburg nur in 8,7 % der Fälle. Für Wyk, Norderney, Braunlage und Essen lauten die entsprechenden Angaben 6,5 %, 3,4 %, 19,0 %, 4,9 %. Diese Zahlen schwanken in den einzelnen Jahren um höchstens  $\pm 7$  %.

Daraus ergibt sich nun mit aller wünschenswerten Deutlichkeit, daß in Bonn im Vergleich zu mindestens diesen 5 Stationen eine eigenartige Konstellation der Elemente Temperatur, Feuchtigkeit und Windgeschwindigkeit, die in  $A_f$  eingehen, vorliegen muß. Aus der Tatsache, daß die Äquivalenttemperatur diese Sonderstellung etwas weniger deutlich zeigt, läßt sich auf einen großen Einfluß des Windgliedes schließen. Der Wind mußte also einer besonders sorgfältigen Untersuchung unterzogen werden. Abschließend läßt sich feststellen, daß - in Unterstützung der Ergebnisse bei der Äquivalenttemperatur - Bonn auch in Bezug auf die Abkühlungsgröße überraschend abkühlungsschwach ist. Im Mittel hat Essen eine 41 % höhere Abkühlungsgröße! Dabei ist der Jahresgang der  $A_f$  in Bonn relativ günstig, da im Mittel der drei Sommermonate die Differenz nur 17,8 mgcal/cm<sup>2</sup>sec im Winter dagegen 30,8 beträgt. Der Herbst ist im Vergleich zu Essen überdurchschnittlich abkühlungsschwach. Bonn ist also im ganzen Jahr sehr " warm ", im Sommer relativ zu Essen weniger als im Winter, im

Herbst mehr als im Frühjahr und Sommer. Ich führe diese Eigenart, die man als *B i n n e n o z e a n i t ä t* bezeichnen könnte, auf die große Wasserfläche des Rheines in nächster Nachbarschaft zurück und werde an drei Stellen im Zusammenhang mit der Windbearbeitung, dem Temperaturgang in unmittelbarer Rheinnähe sowie bei den Korrelationskoeffizienten zwischen den Wetterelementen zu den verschiedenen Windrichtungen darauf zurückkommen.

### 3. S c h w ü l e

(nach der Dampfdruckdefinition)

Als drittes Maß für das menschliche Wärme- und Schwüleempfinden wurde der Wasserdampfdruck herangezogen. Nach der Definition von *B i d e r* und *T h a m s* (9) wurden die Schwületermine und Schwületage ausgezählt für Bonn- Wetterwarte, (Pkt. 431 in Abb. 1, also Stadtrand) Bonn- Stadtkern (Pkt. 344), Friesdorf (Pkt. 671), Wahn, Köln, Aachen, Trier, Marburg, Münster, Hamburg und zwar meist für die Jahre 1947 - 1951 bzw. 1952. Wo nicht alle Jahre zur Verfügung standen, wurde nach der Quotientenmethode angeschlossen. Es wurde also vorausgesetzt, daß die Quotienten der verschiedenen Häufigkeiten an jeweils zwei Orten auch in Jahren, für die keine Beobachtungen vorliegen, gleich bleiben. Erst nach Abschluß meiner Bearbeitung stieß sich auf die Arbeit von *Z i m m e r m a n n* (77), deren Ergebnis aus Tabelle II ersichtlich ist. Sie liefert eine schöne Vergleichs- und Einordnungsmöglichkeit meiner Werte.

T a b e l l e II

Häufigkeit der schwülen Tage.

a u s *Z i m m e r m a n n* (Lit.:77)

S t a t i o n	See- höhe m	Anzahl der schwülen Tage					Summe	Mittlere Zahl der schwü- len Tage
		1947	1948	1949	1950	1951		
Ansbach-Hennenbach	417	12	11	4	14	12	53	10.6
Aschaffenburg	202	18	19	16	24	21	98	19.6
Augsburg-St.Stephan	490	13	12	7	18	7	57	10.4
Bad Kissingen	198	20	12	6	19	22	79	15.8
Bad Nauheim	145	18	19	18	32	26	113	22.6
Bad Tölz	654	8	7	5	7	11	38	7.6
Bad Wildungen	280	13	8	6	7	10	44	8.8
Bamberg-Altenburg	382	9	8	4	10	15	46	9.2
Bamberg-Sternwarte	282	11	16	9	14	18	68	13.6
Bayreuth	341	11	7	3	12	8	41	8.2
Bensheim-Auerbach	120	27	21	23	32	28	131	26.2
Buchen	350	18	15	4	15	18	70	14.0
Dillingen	434	21	10	3	17	18	69	13.8
Ellwangen	439	10	12	3	14	14	53	10.6
Erlangen-Bruck	280	11	14	5	13	16	59	11.8
Finsterau-Ndb.	1004	.	1	.	.	1	2	0.4
Forchheim	116	27	26	19	44	35	151	30.2
Frankfurt/Main	103	21	22	16	25	25	109	21.8
Fürth	311	10	14	3	12	12	51	10.2

aus Zimmermann (Lit.:77)

Station	See-						Summe	Mittlere Zahl der schwülen Tage
	höhe	Anzahl der schwülen Tage						
		m	1947	1948	1949	1950		
Geisenheim	109	16	20	13	21	22	92	18.4
Gießen-Liebigshöhe	185	19	13	4	16	18	70	14.0
Gießen-Versuchsfeld	158	23	18	7	23	21	92	18.4
Großer Falkenstein	1307	.	.	.	.	.	.	.
Heidelberg	112	24	24	11	29	26	114	22.8
Herleshausen	218	17	14	8	13	23	75	15.0
Hof-Hohensaaß	566	2	2	.	2	3	9	1.8
Hohenpeißenberg	977	2	2	1	1	2	8	1.6
Hüll-Ndb.	438	17	12	2	10	9	50	10.0
Kahl am Main	108	19	24	15	24	23	105	21.0
Karlsruhe	115	27	21	14	30	33	125	25.0
Kassel-Harleshausen	198	12	8	7	11	11	49	9.8
Kirchheim und Teck	289	21	21	8	20	28	98	19.6
Kleiner Feldberg(Taunus)	805	5	2	.	4	2	13	2.6
Königstein	402	9	10	5	7	8	39	7.8
Königstuhl b.Heidelberg	561	5	4	2	5	12	28	5.6
Kronburg b.Memmingen	742	7	4	1	4	5	21	4.2
Metten	313	17	14	10	20	27	88	17.6
Mittenwald	914	.	4	3	6	4	17	3.4
München-Bogenhausen	521	11	10	4	12	20	57	11.4
Neustadt a.d.Aisch	307	14	16	9	13	16	68	13.6
Nördlingen	432	7	8	1	11	11	38	7.6
Nürnberg-Buchenbühl	335	7	12	5	13	14	51	10.2
Oberstdorf	810	5	8	2	5	7	27	5.4
Obertaufkirchen	463	23	13	8	8	16	68	13.6
Öhringen	250	19	26	12	28	27	112	22.4
Pforzheim	256	22	20	7	31	30	110	22.0
Puch b.Fürstenfeldbruck	550	12	9	4	8	11	44	8.8
Regensburg	337	27	15	6	23	12	83	16.6
Schenklengsfeld	314	10	8	5	12	9	44	8.8
Silberhütte-Obpf.	832	1	1	.	1	1	4	0.8
Stötten Krs.Göppingen	734	4	4	.	5	4	17	3.4
Waldeck	360	10	8	6	17	11	52	10.4
Wasserkuppe	921	1	1	.	.	.	2	0.4
Weißenburg in Bayern	434	4	8	3	9	11	35	7.0
Zugspitze	2960	.	.	.	.	.	.	.
Summe		697	638	337	771	794	3237	
n = 55							58.8	11.8
Mittel aller Stationen								
Berlin-Dahlem	55	20	11	14	24	35	104	20.8
Zusatz: Emonds								
Bonn-Friesdorf	62	57	48	23	24	26	178	35.6
Aachen	175						89	17.8
Wahn		21	16	10	26	28	101	20.2
Hamburg (Fu)	29						69	13.8

Das vorhandene und schon eingehend bearbeitete Material kann nun in dieser Arbeit nur in den wesentlichsten Zügen angeführt werden. Eine weitergehende Aufschlüsselung ist nach den von Anfang an verwendeten Strichlisten, die nach 5 Parametern in 75 Klassen aufteilen, ohne weiteres möglich und auch vorgesehen.

In Tabelle III sind die Schwületermine, Schwületage und die Anzahl der Tage mit 1,2,3 Schwületerminen für die verschiedenen Beobachtungsperioden zusammengestellt; die eingeklammerten Zahlen sind aus den Strichlisten durch Anschluß mittels Quotienten (siehe oben) gewonnen. Die Kontrolle dieser Methode anhand von Reihen, die alle Perioden überdecken (Friesdorf, Wahn) fiel recht befriedigend aus:

Als zuverlässigste Periode wird natürlich die von 1947 bis 1952 anzusehen sein; und da lassen sich nun folgende Feststellungen treffen: Der Stadtkern von Bonn hat mehr Schwületermine als der Stadtrand, aber viel weniger als das Freiland in den Rheinauen (Friesdorf). Da jedoch im Stadttinnern doppelt so viel Tage mit 3 Schwületerminen wie mit einem und mit zweien vorkommen, am Stadtrand umgekehrt mehr solche mit einem, ist die mittlere Zahl der Schwületage pro Jahr in der Stadt und am Stadtrand gleich. Köln steht mit 27 Schwületagen neben Friesdorf mit 32 an der Spitze. Bonn-Kern, Bonn-Rand, Münster, Trier, und Wahn folgen mit 22,22, 22,23,19; Hamburg, Aachen und Marburg haben mit 14,15,14 die wenigsten Schwületage. Die Unterschiede liegen prozentual in der gleichen Größenordnung wie die eindrucksvolleren Unterschiede in der Abkühlungsgröße. Man muß hierzu berücksichtigen, daß die einfachen Dampfdruckmittelwerte an den genannten Stationen fast gar nicht voneinander abweichen (1949/51 Bonn-W 7,66 mmHg, Friesdorf 7,77, Aachen 7,63). Erst bei den hohen Dampfdruckwerten der Extremlagen zeigt sich also die hier in Frage stehende lokal-klimatische Eigentümlichkeit; bei den Mittelwerten ist sie verwischt.

T a b e l l e III

Zeile I : Zahl der Schwületermine ( $e \geq 14,1$  mmHg) pro Jahr  
 II " " Tage mit einem Schwületermin " "  
 III " " " " 2 Schwületerminen " "  
 IV " " " " 3 " " "  
 V " " Schwületage, d.h. mind. ein Termin mit  $e \geq 14,1$  mmHg

Ort: Periode	B o n n		Köln	Wahn	Aachen	Trier	Marburg	Münster	Hamburg
	-Kern	Friesdf. -Rand							
1949/ 51	I	32	41	36	31	19		29	22
	II	8	12	10	13	8		11	8
	III	6	7	9	7	3		4	4
	IV	4	5	3	1	2		3	2
	V	18	24	22	21	13		18	14
1949/ 52	I	32	37	36	31		29		
	II	8	11	10	11		11		
	III	6	7	9	7		3		
	IV	4	4	3	2		4		
	V	18	22	22	20		18		
1947/ 50	I		63		31			20	
	II		20		8			9	
	III		11		7			4	
	IV		7		3			1	
	V		38		18			14	
1947/ 51	I		60		33	30			21
	II		18		10	9			8
	III		11		7	5			5
	IV		7		3	4			1
	V		36		20	18			14

Ort: Periode	B o n n		Köln	Wahn	Aachen	Trier	Marburg	Münster	Hamburg	
	-Kern	Friesdf. -Rand								
1947/ 52	I	(47) (40)	54	(44)	33	(25)	36	(20)	(35)	(21)
	II	(5) (9)	16	(12)	9	(8)	14	(9)	(13)	(8)
	III	(6) (8)	10	(11)	7	(4)	5	(4)	(5)	(5)
	IV	(11) (5)	6	(4)	3	(3)	4	(11)	(4)	(1)
	V	(22) (22)	32	(27)	19	(15)	23	(14)	(22)	(14)

Wie schon gesagt ist eine weitere Aufschlüsselung des gesamten Materials nach Monaten, Tageszeiten, Intensitätsstufen und Perioden von aufeinander folgenden Schwületagen ohne weiteres möglich und auch geplant. Der Rahmen dieser Arbeit würde dadurch aber gesprengt. Bei der Behandlung des Tagesganges und des Stadt-Land-Effektes beim Dampfdruck wird für Bonn speziell noch einiges festzustellen sein.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß Bonn im Vergleich mit Köln und Friesdorf günstig dasteht, ungünstig dagegen im Vergleich mit Wahn, Aachen und Hamburg besonders aber Marburg. Der Stadtkern hat mehr Schwületage als das rheinnahe Freiland und auch mehr Schwületermine als der rheinferne Stadtrand, was um so erstaunlicher ist, als die Stadt im allgemeinen nach eigenen Unterlagen (siehe Dampfdruck), sowie nach K r a t z e r (39) und K r e m s e r (40) im Mittel trockener ist als das Land. Der Temperatur- und Windeinfluß (Stagnieren) auf den Dampfdruck muß also zumindest in Bonn diese verständliche Trockenheit der Stadt an den Schwületagen überkompensieren. Ein Vergleich mit Stadtkernen, die weniger nahe an einem großen Strom liegen, wäre wünschenswert.

#### Z u s a m m e n f a s s u n g

Um zurückschauend die Ergebnisse des ersten Hauptteiles kurz zu rekapitulieren, seien folgende Punkte herausgestellt.

1. Bonn hat eine etwa 10 % größere Sonnenscheindauer als Hamburg, Aachen und Essen und zwar besonders im Sommer und in den frühen Morgenstunden, sowie in den Abendstunden.

2. Die Temperaturunterschiede zu anderen Stationen sind gering, die Wetterwarte ist im Mittel etwas kühler, der Stadtkern viel wärmer als der Botanische Garten Köln.

3. Was die Schwellenwerttage angeht, so hat die Wetterwarte Bonn im Vergleich zu Köln etwas mehr Eis-, Frost- und Tropentage, etwas weniger Sommertage. An der Wetterwarte Bonn gibt es mehr heitere und weniger trübe Tage als in Köln, in Friesdorf umgekehrt weniger heitere und mehr trübe Tage als in Bonn-W und Köln.

4. Der Dampfdruck ist in Köln ganz wenig größer als in Bonn-W, was der geringen Übertemperatur entsprechen dürfte. In der relativen Feuchtigkeit ist auch kein wesentlicher Unterschied festzustellen.

5. Ebenso liefert ein Vergleich der Bewölkungsbeobachtung in Köln und Bonn keine eindeutige Aussage; der Unterschied Wetterwarte - Friesdorf ist jedenfalls größer. Die höhere Sonnenscheindauer spricht zwar für geringere Bewölkung in Bonn und das gleiche besagen viele Einzelbeobachtungen von Wolkenauflösung bei Westwind, also Abstieg in die Bonner Bucht.

6. Bonn liegt noch im Regen-schatten der Eifel bzw. der Ville und der Höhen südwestlich von Bonn. Das äußert sich natürlich besonders in der Reduzierung der winterlich advektiven Mittel- und Schwachregen. Bei den sommerlich konvektiven Starkregen fällt die Regenschattenwirkung weg, hier ist keine Minderung in Bonn festzustellen.

7. An der Wetterwarte Bonn gibt es weniger Nebeltage als in Köln- Botanischer Garten, in Friesdorf viel mehr. Das Stadtgebiet liegt dazwischen und

linear durch Rechnung eliminiert werden. Bei einer ganzen Reihe von Meßfahrten wurde gleichzeitig zu fast jeder Messung eine Windschätzung mit einem kleinen Fesselballon (Neigung und Richtung) durchgeführt.

## 1. Die räumliche Temperaturverteilung

Zunächst interessiert die mittlere Temperaturverteilung im Stadtgebiet und die Frage, ob die wesentlichen Züge dieser mittleren Verteilung bei den einzelnen Meßfahrten hinreichend deutlich wiederkehren, damit man von einer typischen Verteilung sprechen könne. Dazu wurden die linear korrigierten Meßdaten jeder Einzelfahrt so normiert, daß eine gemeinsame Temperatur, nämlich  $5^{\circ}\text{C}$ , im Stadtkern (bei Punkt 342) resultierte. Es wurden also praktisch die Differenzen zu diesem Fixpunkt gebildet und dann über alle Meßfahrten gemittelt. Abb. 15 bringt die mittlere und typische Temperaturverteilung, wie sie sich aus 24 Nachtmeßfahrten (davon 7 im Frühling, 6 im Sommer, 8 im Herbst und 3 im Winter) unter Verarbeitung von etwa 3 000 Meßwerten ergab. Folgende Punkte sind im Mittel und bei den Einzelmeßfahrten deutlich zu bemerken und können als hinreichend gesichert angesehen werden.

1. Der Stadtkern ist nachts regelmäßig wesentlich wärmer als das Freiland, nämlich im Mittel der Meßfahrten  $2,5$  bis  $3,5^{\circ}$ , im zweijährigen Mittel (aus Registrierungen)  $1,2^{\circ}$ . Besonders die dicht bebauten Wohnviertel der Nord- und Südstadt sind stark überhitzt, obwohl sie näher am Stadtrand liegen, als das Geschäftsviertel im eigentlichen Stadtkern; die Wohnviertel haben nicht die großen Plätze wie der Stadtkern.

2. Abkühlung dringt vor allem aus SW, nämlich aus dem offenen Gelände um die landwirtschaftlichen Institute in den Stadtkern vor. Erstaunlich ist, daß der relativ kleine Hofgartenkomplex selbst im Mittel  $1,2^{\circ}$  kühler ist, als einige kaum hundert Meter entfernte Punkte des Stadtkerns. Kühler ist es vor allem auch am westlichen Grenzsäum der Südstadt, dort nämlich, wo der Abhang der Hauptterrasse (Venusberg mit Kliniken) aus der Rheinniederung etwa 100 m aufsteigt und davor, wo eine langgestreckte Rinne mit dem tiefsten Gebiet Bonns, ein alter Rheinnebenlauf, (die schon erwähnte Gumme) liegt. (Siehe Abb. 1 und 2)

3. Ein späterer Abschnitt wird sich mit dem Melbtalwind beschäftigen, hier sei kurz festgestellt, daß besonders tiefe Temperaturen ( $2,2^{\circ}$  Differenz gegen den Stadtkern im Mittel!) aus der Gegend von Poppelsdorf an die Stadt herangetragen werden. Hier mündet ein Kaltluftsee, der sich Nacht für Nacht im Melbtal zwischen Venusberg und Kreuzberg bildet.

4. Die Höhen über Bonn: Venusberg, Kreuzberg, Ippendorf sind nachts in allen Einzelfällen und im Mittel relativ warm.

5. Über den Vororten und über Beuel bilden sich Wärmeinseln aus.

6. Wirkliche Freilandtemperaturen (hier  $\approx 3^{\circ}$ ) gibt es nur in einem schmalen Streifen zwischen Bonn und Godesberg und auf den Feldern in der NW-Ecke der Karte. Die tiefsten Temperaturen wurden jeweils nordöstlich von Beuel mit  $1,5^{\circ}$  im Mittel gemessen.

Bei einzelnen Meßfahrten war der Gegensatz natürlich wesentlich größer und zwar größer als  $5,0^{\circ}$  bei der 6., 28. und 34. Meßfahrt. Aus anderen Städten werden in Einzelfällen noch größere Temperaturdifferenzen berichtet, so  $7^{\circ}$  von Berg (7) aus Hannover und ebenfalls  $7^{\circ}$  von P e p p l e r (39) aus Karlsruhe.

7. Der Rhein macht sich weniger stark bemerkbar als erwartet. Auf der Brückenmitte sind meist ganz ähnliche Temperaturen anzutreffen wie am Brückenkopf. In einem eigenen Abschnitt, bei der Diskussion von Temperaturregistrierungen am Rheinufer, wird der Einfluß des Stromes noch weiter untersucht.

8. Im Mittel und bei allen Einzelfahrten zeigt sich, daß die Temperaturverteilung und auch diejenige der anderen Elemente jeweils im Stadtgebiet relativ flach, d.h. wenig unterschiedlich, am Stadtrand dagegen

steil abfallend ist. Der Ausdruck " Glocke ", der für die Dunstverteilung in Erinnerung an die Form einer Käseglocke gebildet wurde, scheint mir sehr treffend und auch für Temperatur, Feuchtigkeit, Ventilation, Ozon und Staub brauchbar.

Zur Sicherung aller dieser Tatsachen, die aus der Karte der mittleren Temperaturverteilung hervorgehen, seien noch drei weitere Karten (Abb. 16, 17, 19) angeführt, die die nächtliche Temperaturverteilung bei 3 Einzelmeßfahrten wiedergeben. Zwei davon wurden deshalb gewählt, weil sie gleichzeitig besonders schön das eigene Windsystem der Stadt, den Flurwind zeigen. Aus diesen Karten gehen die oben unter 1. bis 8. genannten Tatsachenkomplexe z.T. noch deutlicher hervor. Sie sollen kurz in derselben Reihenfolge überprüft werden.

1. Die 3 Überwärmungsgebiete: Südstadt, Nordstadt und Stadtkern sind zwar nicht durch Abkühlungsbahnen getrennt wie im Mittel, aber doch aus den Meßdaten deutlich als Schwerpunkte zu erkennen. 2. Die Abkühlung aus Richtung Poppelsdorf ist in Abbildung 17 und 19 klar zu erkennen. Auch die Abkühlung des Hofgartens ist deutlich bemerkbar; in Abbildung 19 sendet dieses Gebiet eine Abkühlungszunge in den Stadtkern vor. Ebenso war der langgestreckte Kaltluftsee am Venusberghang entlang, in der Gumme in allen Fällen eindrucksvoll meßbar. 3. Ganz markant tritt auf allen Karten die Kaltluft im Melbtal mit tieferen Temperaturen als die Freilandluft hervor; auch die hier nicht veröffentlichten Isothermenkarten der übrigen Meßfahrten zeigen, wie gesagt, alle diese Tatsachen. Leider bringt der hier gewählte Kartenausschnitt nicht mehr die südliche Begrenzung des Melb- Kaltluftsees, die wie erwartet mehrfach dort angetroffen wurde, wo die Bachquellen den Taleinschnitt in die Hauptterrassenfläche einzusägen beginnen. 4. Auch in den Einzelkarten sind, wie im Mittel, die Höhen über Bonn deutlich warm, eine erstaunlich regelmäßig angetroffene, vollkommen sichere Tatsache. 5. Auch die Vororte zeigen, soweit sie angefahren wurden, ganz regelmäßig eine Temperaturerhöhung, die annähernd proportional der Größe der Dörfer schien. Auf Ursachen und Folgerungen zu all dem hier Berichteten wird weiter unten eingegangen. 6. Die Temperaturdifferenz Stadt-Freiland ist bei den angeführten drei Beispielen etwas größer als im Mittel der Nachtmeßfahrten. Die Differenz Stadtkern - Melbkaltluft aber beträgt sogar 2,8, 3,5 und 4,5<sup>0</sup> gegenüber 2,2<sup>0</sup> im Mittel aller 24 Nachtmeßfahrten. 7. Der Einfluß des Rheines ist in den hier gezeigten Beispielen geringer als im Mittel; bei der 18. Meßfahrt wurde die rechte Rheinscite nicht mit erfaßt. Es ist jedoch in allen drei Beispielen wie im Mittel im Uferbereich ein deutliches rheinparalleles Drängen der Isothermen festzustellen. Über die wirkliche Größe und den Tagesgang der Abkühlung durch den Strom kann erst die Diskussion der Registrierungen am Ufer (Kinderklinik) Klarheit verschaffen. 8. Auch das Zusammendrängen der Isothermen am Stadtrand ist in allen und den hier gezeigten Fällen deutlich zu bemerken. Hier, wo sich die Bedingungen (Untergrund, Ventilation) am schnellsten ändern, ist auch der Gradient der davon kausal abhängigen Klimaelemente am größten.

Vor der vollständigen Diskussion der Karten Abbildung 16 und 17, die noch einen wichtigen Beitrag zum Ventilationsproblem liefern, soll jetzt das Ergebnis von 9 Tagesmeßfahrten angeführt werden, Abbildung 22.

Wie sich auch bei den Fehlergrenzen der exakten Analyse der Stadt-Land-Temperaturdifferenz in Abschnitt C zeigen wird, ist das klimatische Eigenleben der Stadt am Tage weit weniger einheitlich und ausgeprägt als in der Nacht. So liefern die Tagesmeßfahrten auch nicht den Grad der Sicherheit wie die Nachtmeßfahrten. Trotzdem lassen sich einige im Mittel und in allen Einzelfällen beobachtete Tatsachen herausstellen. Sehr entscheidend ergänzt wird das Bild natürlich weiter unten durch die Diskussion der Registrierungen an den festen Punkten. Die Meßfahrten wurden zur Zeit des Temperaturmaximums also etwa gegen 14 Uhr MOZ durchgeführt; über andere Tageszeiten informieren die eben erwähnten Registrierungen.

1. Die Stadt Bonn ist beim Temperaturmaximum deutlich w ä r m e r als das Freiland, nämlich 0,5 - 1,0<sup>0</sup> im Mittel der neun Meßfahrten.

Aus den zweijährigen Registrierungen folgt für die Stunden von 7 - 18 Uhr eine mittlere Stadt- Landdifferenz von  $0,6^{\circ}$ , allerdings ist hier die Wetterwarte, also der Stadtrand, nicht eigentliches Freiland mit dem Stadtkern verglichen. K r a t z e r (39) berichtet davon, daß viele Städte zur Zeit des Temperaturmaximums einige Zehntel Grad kühler seien als das Freiland. Besonders für München trifft das im Frühling, Sommer und Herbst (1923 - 1926), aber schon nicht mehr im Jahresmittel zu. B e r g (7) fand in Hannover um Mittag keine sicher zu verbürgenden Unterschiede zwischen Stadt und Freiland. Das genauere Verhalten Bonns bringen die weiter unten behandelten Abbildungen 25 - 29.

Das G e s c h ä f t s v i e r t e l ist im Gegensatz zur Nacht deutlich am wärmsten. Die Temperaturverteilung ist flacher als in der Nacht, der Stadtrand ist nicht durch besonders große Gradienten markiert. Eine weitergehende Unterteilung der Stufen durch weitere Isothermen war wegen der größeren Streuung der Meßwerte nicht möglich.

2. Auch am Tage sind die H a u p t a b k ü h l u n g s g e b i e t e der Nacht erkennbar, aber weit weniger wirksam. Nur die Gumme zeigt im Gegensatz zur Nacht kein Abkühlungsgebiet. Am kühleren ist, wohl durch Verdunstungskälte und Schattenwirkung, das feuchte, vegetationsreiche Melbtal.

3. Die waldigen H ö h e n über Bonn sind am Tage kühler als irgendein anderer Punkt des gesamten Untersuchungsgebietes. Es gibt hier allerdings örtlich schwer zu erklärende Überwärmungsgebiete, die jedoch auch noch kühler sind als die Stadt.

4. Der Rhein macht sich stärker bemerkbar als in der Nacht. Auch hier sei auf die Registrierungen verwiesen.

Weitere Feinheiten zur Temperaturverteilung am Tage liefert Abbildung 23. Sie enthält die Mittel aus etwa 800 Werten, während in Abbildung 22 2000 Werte verarbeitet waren. Es handelt sich um eine einfachere Bearbeitungsmethode, die nur die direkten Messungen, keine Interpolationen benutzte; an sich sind auch hier sämtliche 9 Meßfahrten, wenn auch nicht ganz gleichwertig, wie in Abbildung 22, berücksichtigt. Die hier abzulesenden Einzelheiten sind nicht ganz so sicher wie die vorerwähnten; zusätzlich erkennt man:

5. Die drei A b k ü h l u n g s b a h n e n der Nacht ( a) Hofgarten-Bahnhof, b) Institutsviertel Poppelsdorf, c) Reuterstraße - Gumme) scheinen auch bei Tage vorhanden zu sein. Ebenso wirkt jetzt der Park des Poppelsdorfer Schlosses abkühlend, und das gleiche ist vom Parkbereich um die Nervenklinik im Norden zu sagen.

6. Die S ü d - A l t w o h n s t a d t hat wieder ein Überwärmungszentrum wie in der Nacht, und zwar zwischen Poppelsdorfer Allee, Bahnlinie Bonn-Godesberg und Reuterstraße. Besonders warm ist im Stadtkern das Geschäftsviertel um den Friedensplatz, während die engeren Straßen wohl noch länger die tiefere Temperatur vom Morgen halten.

7. Ganz deutlich zeigt Abbildung 23 die größere aufgelösteheit des thermischen Verhaltens der Stadt bei Tage. Die Strahlung überwiegt alle anderen Faktoren weit, und strahlungsmäßig gibt es innerhalb der Stadt Differenzen von der gleichen Größenordnung wie zwischen Stadt und Land.

Nacheinander werden anschließend die Ergebnisse von Untersuchungen über die Luftfeuchtigkeit und Schwüle, die Ventilation, insbesondere den Melbtalwind, den Niederschlag, den Staubgehalt und den Ozongehalt sowie die räumliche Verteilung all dieser Elemente dargelegt.

## 2. Die räumliche Feuchtigkeitsverteilung

Die Luftfeuchtigkeit im Stadtgebiet wurde bei 8 Tages- und 18 Nachtmeßfahrten aufgenommen. Wie bei der Temperatur so wurden auch hier die

in 3-Minuten-Abstand vorgenommenen Psychrometer-Messungen mit Hilfe der Feuchtigkeitsregistrierung des mitgeführten Flugzeugmeteorographen (Abb. 18) interpoliert. Die bei einer solchen Meßfahrt angetroffene Verteilung der relativen Feuchtigkeit und des Dampfdruckes bringen Abbildung 20 und 21. Die Hauptergebnisse der anderen Meßfahrten, die hier nicht so ausführlich dargelegt werden können, wurden so zusammengefaßt, daß die Unterschiede zwischen 10 besonders markanten Punkten und dem Stadtkern als Bezugsbasis aus den einzelnen Isohumidenkarten entnommen und gemittelt in folgender Tabelle zusammengestellt wurden.

T a b e l l e IV

Mittlere Luftfeuchtigkeit in Bonn  
relativ zum Stadtkern

bei 18 N a c h t meßfahrten

Plan-Pkt.	Stadtkern (Bezugs- basis)	Altwohn- stadt-kerne im		Poppels- dorfer Allee	Melbtal- mündung	Gumme	Höhen (Kli- niken)	Ufer oder Brük- ke	Freie Rhein- niedg. im Süd
		Nord.	Süd						
	344	2414	445	3418	536	542	645	250	661
Dampfdr. (mm Hg)	7,2 $\pm$ 0	+1,2	+3,0	+ 0,4	- 2,6	+ 3,4	-1,7	+2,6	- 0,1
Relat.F. (%)	65 $\pm$ 0	-2,3	-1,0	- 1,6	+ 6,1	+ 5,2	-3,2	+0,2	+ 6,0

bei 8 T a g e s meßfahrten

Dampfdr. (mmHg)	7,8 $\pm$ 0	$\pm$ 0,0	+0,4	+ 0,3	+ 0,4	+ 0,3	-0,1	+0,6	+ 0,8
Relat.F. (%)	40 $\pm$ 0	+1,0	+4,0	+ 4,0	+ 4,0	+ 7,0	+4,0	+6,0	+8,0

Wie man sieht, muß man scharf zwischen der Verteilung des Dampfdruckes und derjenigen der relativen Feuchtigkeit unterscheiden. Folgende Tatsachen lassen sich ablesen, sie erhalten ihre statistische Sicherung durch Vergleich mit den Ergebnissen der Einzelmeßfahrten, die meist der typischen, hier gebrachten 34. Fahrt (Abb. 20,21) ähneln.

Es sei hier erlaubt zur Vereinfachung beim D a m p f d r u c k von absoluter Feuchtigkeit im Gegensatz zur relativen Feuchtigkeit zu sprechen, obwohl ja die Absolute Feuchtigkeit schon anders definiert ist.

1. Der Stadtkern ist in der Nacht absolut ein wenig feuchter als das Freiland im Süden der Stadt (letzte Spalte).
2. Viel feuchter sind Gumme (!), Rheinufer, die Kerne der Altwohngebiete im Norden und Süden, sowie auch die Abkühlungsbahn der Poppelsdorfer Allee.
3. Viel trockener sind (nur absolut!) die Höhen über Bonn (Kliniken).

Bei Tage sind nur die Kliniken etwas trockener. Nur für den Tag trifft also die Behauptung bei K r a t z e r, die Stadt sei absolut und relativ wesentlich trockener als das Freiland (39), auch in Bonn zu. Interessant ist, daß die freie Rheinniederung im Süden der Stadt tagsüber absolut feuchter ist, als selbst das Ufer, wie ja schon die große nächtliche Feuchtigkeit der Gumme im Vergleich zum Ufer auffiel.

Das Verhalten der r e l a t i v e n F e u c h t i g k e i t ist einfacher und demjenigen der Temperatur ganz ähnlich, das zeigt schon ein Vergleich der drei verschiedenen Karten zur 34. Meßfahrt (Abb. 19,20,21). Man entnimmt der Tabelle IV und den Abbildungen folgendes:

1. Der Stadtkern ist bei Nacht relativ viel trockener als das Freiland im Süden. Auch Melbtalmündung, Gumme und Rheinufer sind feuchter als der Stadtkern.
2. Die Altwohnviertel zeigen diesen Stadteffekt in der relativen Feuchtig-

keit noch weit stärker als der Stadtkern.

3. Die Höhen über Bonn (Kliniken) haben die geringste relative Feuchtigkeit.

Die Reihenfolge von trocken nach feucht sei noch einmal kurz zusammengestellt:

Bei Nacht absolut (Dampfdruck) trocken - Melbtalmündung, Höhen, Freiland im Süden, Stadtkern, Poppelsdorfer Allee, Altwohngebiete im Norden und Süden, Ufer, Gumme - feucht.  
" " relativ trocken - Höhen, Altwohngebiete im Norden und Süden, Poppelsdorfer Allee, Stadtkern, Ufer, Gumme, Freiland im Süden, Melbtalmündung - feucht.  
Bei Tage absolut trocken - Höhen, Stadtkern, Altwohngebiete im Norden und Süden, Poppelsdorfer Allee, Gumme, Melbtalmündung, Ufer, Freiland im Süden - feucht.  
" " relativ trocken - Stadtkern, Altwohngebiete im Norden und Süden, Poppelsdorfer Allee, Höhen, Melbtalmündung, Ufer, Gumme, Freiland im Süden - feucht.

### 3. Die räumliche Dampfdruck - Schwüleverteilung

Zu Abbildung 21, die die Dampfdruckverteilung bei der 34. Meßfahrt zeigt, sei daran erinnert, daß nach der oben erwähnten Schwüledefinition von S c h a r l a u bzw. L a n c a s t e r (63) die 14,1 mmHg-Dampfdrucklinie eine Schwülegrenze bildet. Schwül sind demnach Gebiete mit höherem Dampfdruck, nicht schwül solche mit niedrigerem. Es handelt sich hier zweifellos um einen extremen Fall, doch ist anzunehmen, daß auch bei weniger kritischen Wetterlagen diejenigen Gebiete zuerst Schwüle zeigen werden, die in diesem Fall besonders hohe Dampfdrucke hatten, während solche Gebiete, die selbst in diesem Fall schwülefrei waren, es auch in der Regel oder jedenfalls häufiger als die anderen sein werden. Folgende Tatsachen, deren Begründung weiter unten versucht werden soll, lassen sich festhalten: B e s o n d e r s s c h w ü l sind

1. der rheinnahe Stadtkern, 2. der Gummezug von Dottendorf über Kessenich mit weiter Erstreckung in die Südalwohnstadt, 3. der Kern von Poppelsdorf, 4. das Altwohngebiet im Norden, 5. eine kleine Zone der Venusberghöhe, 6. der obere Teil des Melbtales, 7. die Kerne von Beuel, Limperich und Graurheindorf sowie 8. einige Stellen im Südosten der Stadt. Weniger schwül ist das ganze übrige Untersuchungsgebiet bis auf folgende n i c h t s c h w ü l e Bereiche:

1. Die Höhen über Bonn, 2. das untere Melbtal, 3. eine zungenförmige Verlängerung des Melbtalverlaufs im Zuge des Poppelsdorfer Schloßparks, sowie der Poppelsdorfer Allee bis zum Hofgarten, 4. das westlich an Bonn grenzende Freilandgebiet bis auf einen etwa 1,5 km breiten Uferstreifen, 5. der alte Friedhof an der Bornheimer Straße.

## II. U n t e r s u c h u n g e n z u r V e n t i l a t i o n d e r S t a d t

Bei der begründenden Betrachtung wird vor allem dem Luftaustausch eine große Rolle zuzumessen sein, hier liegt nach meinem Dafürhalten d e r kritische Punkt sowohl des Stadtklimas im allgemeinen, wie ganz besonders des Bonner Sonderfalles. Wie sich im 3. Hauptabschnitt exakt ergeben wird, ist die Windgeschwindigkeit nachts sehr wesentlich am Zustandekommen der Temperaturdifferenz Stadt-Land beteiligt. Wenn man dazu berücksichtigt, daß keine andere Auswirkung der Stadt so physikalisch einfach, klar und

plausibel ist, wie die der Bremsung und des Erzeugens eines stagnierenden Luftkissens, so sieht man leicht, daß das Ventilationsproblem einer Stadt tatsächlich ein Kardinalpunkt ist. Bei der ebenso wichtigen Bewölkung ist der Stadteinfluß jedenfalls sehr viel komplexer und schwerer überschaubar. Hier wären erst noch eingehende Spezialbearbeitungen erforderlich.

## 1. Windbeobachtungen bei Meßfahrten

Zur Verfügung stehen die Daten von 10 Windmeßfahrten und vielen Einzelbeobachtungen. In allen untersuchten Fällen, wo die an der Wetterwarte gemessene Windgeschwindigkeit unter 3 m/s blieb, konnte in den ersten Nachtstunden, wenn der Temperaturgegensatz Stadt - Land am größten ist, einwandfrei ein eigenes Stadtwindsystem beobachtet werden. Die Abbildungen 16 und 17 bringen zwei Beispiele. In beiden Fällen dürfte der Großraumwind, wie die Wetterkarte zeigt, sehr schwach und zwar am 6.IX, aus S bis SSE, am 15.X. aus NE bis N geweht haben. Es konnten trotzdem entgegengesetzt gerichtete Winde bis zu einer Geschwindigkeit von etwa 2 m/s beobachtet werden!

In Abbildung 16 passen nur ein Windpfeil der relativen Größe 1 am Westrand und einer am Südrand der Stadt nicht in das Schema einer Miniaturzyklone über dem Stadtgebiet. Schön ist das Abströmen der abgekühlten Luft vom Venusberg in Richtung der Hangnormalen zu erkennen, ebenso das Abströmen ins Melbtal. Bei den Windpfeilen am Südostrand der Stadt hat man den Eindruck, als scherten sie linksseitwärts vor dem Komplex der Südaltnachstadt (nördlich der Reuterstraße) aus. Die immer wieder beobachtete Tatsache, daß die Reuterstraße (von Pkt. 551, Planquadrat 55 in Abb. 1 nach WNW) eine markante Änderungszone für verschiedene Klimaelemente bildet, wird hier direkt sinnfällig. 6 übereinstimmende Windbeobachtungen bis zu etwa 3 m/s im Norden der Stadt verbürgen in Abbildung 16 eine dem Gradienten entgegengesetzte Luftströmung zur Stadt hin. Übrigens widerspricht Abbildung 16 der Behauptung, daß auch ein zyklonaler Drall bei Stadtzyklonen zu beobachten sei. Wenn etwas Derartiges der Fall sein sollte, so wird es jedenfalls in Bonn durch die Gelände- und Stromgestalt überkompensiert. Der Fahrer des Wagens, dem die Nachtstunden lang wurden, kommentierte den Flurwind auf seine Weise, indem er meinte, " der Ballon will auch nach Hause ", d.h. ins Stadtinnere.

Auch Abbildung 17 zeigt die meisten eben aufgezeigten Tatsachen: Abströmen der Luft von den Hängen über Bonn und aus dem Melbtal, Einströmen vom Freiland aus Süden und Norden. In einiger Entfernung von der Stadt wird Windstille beobachtet, wie es die Wetterkarte auch erwarten läßt. Damit dürfte der bisher noch umstrittene Flurwind (nachts vom Land zur Stadt) als nachgewiesen angesehen werden. Eine eingehendere Untersuchung fände aber auch hier sicher ein fruchtbares Betätigungsfeld.

## 2. Der Melbtalwind

Mich interessierte ganz besonders ein entscheidendes Phänomen des Bonner Klimas, das ich als "Melbtalwind" bezeichnen möchte. In allen untersuchten Nächten sammelte sich am Talausgang des Melbbachtals vor dem Häuserwall von Poppelsdorf, der das Tal wie eine Staumauer abriegelt, ein Kaltluftsee an. Im Juni ist die Luft hier von 23 Uhr bis 5 Uhr (im Mittel!) etwa 2,5° kälter als im Stadtkern. Bei 2 Meßfahrten betrug der Unterschied sogar 4,8 und 4,3°. Durch die einzige Lücke in der "Staumauer", nämlich die von Süden kommende und ganz Poppelsdorf durchziehende Straße, strömt diese Kaltluft ab, wie ich in einer großen Anzahl von Fällen selbst beobachten konnte. Befragte Anwohner berichteten ausnahmslos gleiche Beobachtungen.

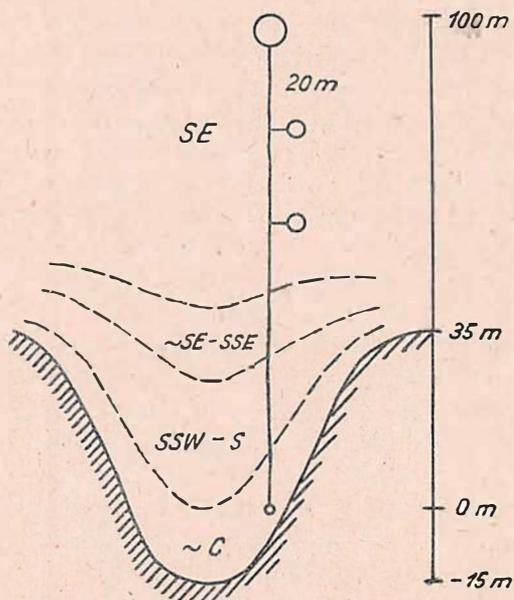
Abbildung 24 zeigt die Windbeobachtungen am 19.VI. 51. Ein bis zum Schwebezustand austarierter Höhenwindmeßballon wurde an langer Schnur mit der Luftströmung fortgetragen und dabei verfolgt. Auf den Höhen über Bonn

setzte schon bald nach 19<sup>30</sup> Uhr (Sonnenuntergang 20<sup>15</sup>) intermittieren- des Abströmen von Luftpaketen in das beschattete Rheintal ein. Durch einen sanften Anstoß konnte der bei diesen und anderen Untersuchungen benutzte Ballon auch in bis zu 4 m Höhe zum Schweben gebracht werden. In dieser Höhe gab es häufig um 180° gedreht strömende Quanten, am Boden nicht. Auf der Hochfläche und an der Hangkante herrschte dauernd Böigkeit, am Hang dagegen und besonders im Melbtal, sowie im Stadtgebiet war die Strömung sehr ruhig und auch richtungsfest. Vor dem Häuserwall von Poppelsdorf war die Luftbewegung namentlich in der Nähe der "Schleuse" (Straße) wieder ziemlich turbulent, wurde dann in der Straße aber ruhig und schneller als bisher. Selbst die Beschleunigung bei Straßenverengungen konnte beobachtet werden, ebenso das Nachlassen und Richtungsschwanken bei Straßenkreuzungen. Immerhin wurde der Ballon die ganze Strecke (etwa 2 km) von der Melbtalmündung bis zur Bahnunterführung in Bonn stetig durchgetragen, ohne daß Führung eigentlich nötig gewesen wäre. Die Geschwindigkeit war im engen Poppelsdorf durchweg etwa 2 bis 2,5 m/s, so daß man bequem mit dem Rade hinterher fahren konnte. Auf der etwa 30 bis 40 m breiten Poppelsdorfer Allee ergab sich die interessante Tatsache, daß auf den beiden seitwärts gelegenen Fahrbahnen eine von der Straßenmitte weggerichtete Komponente der Strömung auftrat, in der Mitte auf dem breiten Rasenstreifen war davon nichts zu merken. Ich nehme an, daß die überhitzten Steinmassen der Häuser eine aufwärts gerichtete Strömung erzeugten und so den Strom nach den Seiten absaugten. Inwieweit dieser Effekt oder auch nur die Verbreiterung des Strömungsbettes für die erhebliche Geschwindigkeitsreduzierung auf 0,5 bis 0,8 m/s verantwortlich ist, läßt sich nur schwer abschätzen.

Weiter interessierte vor allem der Vertikalaufbau des Melbtalwindes. Dazu wurden Fesselballone bei sehr windschwachem Wetter steigen gelassen. Ein typisches Beispiel sei kurz beschrieben. An einem besonders geeigneten Punkt der SE-Ecke des Planquadrates 53 der Abbildung 1, also in der oberen Hälfte des Melbtales, wurde am Westhang ein Gespann von drei Höhenwindballonen dreimal auf- und niedergelassen. Ein Ballon trug die Hauptschnur auf maximal etwa 100 m, die zwei anderen Ballone waren in je 20 m Abstand über jeweils 5 m lange Stichschnuren an der Hauptschnur befestigt. So ließ sich ständig die Windrichtung, -stärke und -struktur in drei Stockwerken beobachten, bei maximaler Höhe also in 100, 80 und 60 m Höhe.

Am 25.IX.51 zwischen 19 und 20 Uhr herrschte an der Wetterwarte SE bis ESE-Wind mit 1,9 m/s, nach der Wetterkarte von 7 Uhr muß der Höhenwind etwa aus SE bis S geweht haben. Ein Wolkenzug war an den 3/10 Ci und Cc im W nicht zu bemerken. Das Beobachtungsprotokoll läßt sich kurz so zusammenfassen: Bei dreimaligem Steigenlassen und Einziehen des Ballongespanns wurden folgende 4 (oder eigentlich 2) Schichten beobachtet: 1. Eine sehr windschwache Schicht vom Boden bis etwa 8 bis 10 m; der noch wenig schnurbelastete erste Ballon stand etwas unruhig aber nahezu senkrecht. 2. Ziemlich ruhiger Übergang in fast stetige Strömung aus SSW bis S von 8 bis 30 m. Diese Bewegung ist wohl als Überlagerung des Höhenwindes aus SE und des Hangwindes (SSW ins Melbtal hinab) anzusehen. 3. Sehr unruhige zum Teil umlaufende Luftpakete, meist aber von SE bis SSE in 30 bis 40 m. 4. Ruhige, stärkere Strömung aus SE von 40 bis 100 m.

Die Richtungsänderung von SSW auf SE in der Höhe konnte mehrfach beim Vertikalbewegen des Gespanns wie auch zur gleichen Zeit an zwei übereinander stehenden Ballons beobachtet werden. Der Standort lag dabei 15 m über der engen Talsohle und etwa 35 m unter der Hangkante, (Hochfläche), wie es nebenstehende Skizze verdeutlicht.



Bei anderen Untersuchungen mit Ballonen in mehreren Stockwerken, so am 16.VI.51, wurde gerade in der unteren Schicht von 1 bis 3 m ein Absinken von Quanten ganz deutlich beobachtet und auch deren Untertemperatur, nämlich bis zu 0,5 °C registriert. Die Quanten brachten im Mittel etwa 10 sec lang die Ballone in eine Schräglage, die schätzungsweise 2 m/s entsprechen mochte, es wäre mithin auf Quanten mit 20 m Horizontalausdehnung zu schließen. Die Vertikalausdehnung schien meist unter 10 m zu liegen.

### III. Einzeluntersuchungen zum Staub- und Ozongehalt der Stadtluft

Eine sehr ungünstige Seite vieler Stadtklimate ist der hohe Staubgehalt. Um auch zu diesem Problem eine Aussage über Bonn zu erhalten, habe ich mit freundlicher Unterstützung durch Herrn Dipl.Ing. Hasenclever vom Staubforschungsinstitut der Deutschen Industrie mit einem Zeiss'schen Konimeter an 6 Stellen der Stadt 50 Staubmessungen durchgeführt. Auch die Auszählerarbeit konnte ich an einem Mikroskop des Staubforschungsinstitutes vornehmen. Die ermittelten Konzentrationen sind, verglichen mit anderen Berichten so gering, daß nur der Konzentrationsunterschied von Stadt und Freiland als hinreichend gesichert anzusehen ist. Und zwar ist das Verhältnis der Staubkonzentrationen von Stadt- und Freilandmeßpunkten etwa 10:6. Immerhin scheint bei dem weitgehenden Fehlen von stauberzeugender Industrie eine sehr geringe Konzentration in Bonn höchst plausibel. Eine eingehende Spezialuntersuchung sollte hier die sehr wünschenswerten Absolutangaben liefern können.

Sehr reizvoll erschien weiter eine Untersuchung über die Ozonkonzentrationen in Stadt und Freiland, zumal da Berichte über derartige Arbeiten noch nicht vorliegen. Die Theorie der Ozonbildung und die Meßmethodik muß hier vorausgesetzt werden; (vgl. die Sammelarbeit "Ozon" 19,25,31,53,54,56 und die Veröffentlichungen von Ungeheuer und Heigel (29,72). Hinreichend gesichert ist jedenfalls, daß alles in Bodennähe angetroffene Ozon aus höheren Luftschichten stammt und daß dessen Reduktion am Erdboden besonders schnell, in der freien Atmosphäre aber nur langsam vor sich geht (nach Wulf u. Deming 74). Infolgedessen ist ein Konzentrationsunterschied auf engem homogenen Raum ein Zeichen dafür, daß die betreffenden Luftquanten unterschiedlich lange in Bodennähe lagern. Damit ergeben Ozonmessungen einen Hinweis auf stärkere oder geringere Ventilation und eben das interessiert hier. Weiter ist nach Curry (16) vom Arangehalt der

Luft weitestgehend das Wohlbefinden des Menschen abhängig. Aran aber ist der Sammelbegriff für alle oxydierenden Bestandteile, die in der Luft vorhanden und mit den üblichen Methoden meßbar sind, und das ist fast ausschließlich Ozon. Immerhin ist es exakter, von Arankonzentrationen zu sprechen, denn die auch von mir benutzte colorimetrische Methode sagt über die Art des Oxydationsmittels, das nachgewiesen wird, nichts aus.

Mit einem Handgerät, wie es im Süddeutschen Wetterdienst entwickelt und dem Meteorologischen Institut der Universität Köln liebenswürdigerweise geliehen wurde, konnten 7 Aranmeßfahrten unternommen werden, die allerdings wegen der längeren Zeitdauer der einzelnen Messungen nur zum Ziel hatten, die Aranverteilung an Strahlungsabenden auf einem Schnitt vom Stadtkern zur Venusberghöhe klarzustellen. Ein Meßfahrtprotokoll, das die Ergebnisse der übrigen Fahrten auch gut zeigt, sei gekürzt angeführt. Die bei der Messung ermittelte Aranzahl ist ein Maß für den Arangehalt, der Absolutbetrag interessiert hier nicht.

21.IV.53, Strahlungstag nach 4-tägiger Schönwetterperiode, morgens 0/10 Bewölkung; bei der Meßfahrt gegen 18<sup>30</sup> 4/10 Ci fil, Sicht 30 km, Wind SE 1 bis 2 m/s, im Rheintal S bis SSE

	Aranzahl		Aranzahl
18 <sup>35</sup> Mitte Poppelsdorf	12	19 <sup>30</sup> Höhe i. Lee d. Klinik	26
18 <sup>48</sup> 1. Viertel d. Hanges	26	19 <sup>40</sup> Mittel d. Abstieges	16
19 <sup>00</sup> 3. " "	30	19 <sup>50</sup> Ortsmitte Poppelsdorf	6
19 <sup>10</sup> Freie Höhe	32	20 <sup>05</sup> Poppelsdf. bis Bahnhof	3
19 <sup>20</sup> Höhe im Lee v. Häusern	26	20 <sup>15</sup> Stadtkern, Punkt 344	3

Man erkennt folgende, auch bei den anderen Meßfahrten, die zum Teil dreimal den obigen Schnitt legten, angetroffenen Tatsachen. Der Tagesgang und überhaupt die Änderung der Arankonzentration ist sehr groß. Dennoch sieht man, daß 1. der Stadtkern 1/10 der Arankonzentration der Höhen über Bonn hat (im Mittel aller Meßfahrten), 2. der Hauptanstieg der Konzentration schon im ersten Viertel des Hanges, also unmittelbar über dem Häusermeer vor sich geht, daß 3. die Mitte von Poppelsdorf immerhin fast doppelt so hohe Konzentrationen wie der Stadtkern aufweist (im Mittel noch etwas mehr).

Bei anderen Fahrten wurde festgestellt, daß schon der Innenhof der Kliniken wieder 20 % weniger Aran hat, als die freiventilierte Hochfläche. Nördlich von Bonn stieg der Arangehalt am 23.V.53 gegen 20 Uhr bei der Fahrt auf die Höhe der Ville von 16 in der Rheinebene auf 28; am 27.III.53 von 5 im Rheintal auf 25 auf der Höhe. Ich halte eine Heranziehung dieses Meßelementes zur Stadtklimauntersuchung für ausgesprochen wichtig und fruchtbar. Man müßte jedoch mit mehreren Geräten an verschiedenen Standorten synchron arbeiten können.

#### IV. U n t e r s u c h u n g v o n l ä n g e r e n M e ß r e i h e n

Es soll nun die Darlegung der Ergebnisse folgen, die an zehn besonders interessierenden Punkten von den dort aufgestellten r e g i s t r i e r e n d e n G e r ä t e n geliefert wurden. Schon oft war in der Literatur beklagt worden, daß alle bisher zur Verfügung stehenden Stadtstationen immer mit der Tendenz lokalisiert worden seien, den Stadteinfluß möglichst weit zu unterdrücken. Das Ziel dieser Beobachtungen war eben makroklimatisch und eine weite Parkumgebung etwa sollte möglichst angenähert Freilandverhältnisse und damit Repräsentativität für ein größeres Gebiet gewährleisten. Meiner rein mesoklimatischen Fragestellung aber konnte nur eine Aufstellung entsprechen, die Gewähr dafür bot, daß der repräsentierte Raum (Stadtkern, Stadtrand, Rheinufer, Melbtal oder die Gumme) auch wirklich voll zur Einwirkung auf das Gerät gelangte. Natürlich mußte Vor-

sicht aufgewendet werden, damit nicht allzu kleinräumige Gebilde, eine Hauswand zum Beispiel, einen überwiegenden Einfluß ausüben.

## 1. Die Station im Stadtkern

Nach langem Suchen wurde im Stadtkern am Windeckplatz eine Englische Hütte in 4 m Entfernung von einer etwa 20 m hohen, langen Hauswand aufgestellt. Im übrigen war der Ort Teil des etwa 1500 m<sup>2</sup> großen Windeckplatzes, der mehrere Straßen in alle Gegenden des Stadtkernes entsendet. Es wurden etwa 600 Vergleichsmessungen jeweils 1. am Gerät in der Hütte, 2. direkt vor der Hütte und 3. auf der Platzmitte vorgenommen. Die 1800 Meßwerte zeigten, daß der Unterschied zwischen Platz und Gerät wechselndes Vorzeichen hatte und selten über 0,5°, im Mittel nicht über 0,2° hinausging, eine Differenz, wie sie bei jeder Hüttenaufstellung in Kauf genommen werden muß. Die Durchmischung der Luft auf dem großen Platz schien also hinreichend gut zu sein, jedenfalls erfaßte man auch in der sicher stark reduzierten Ventilation eben doch typische Stadtkernverhältnisse.

Im folgenden sollen die Kurven des Tagesverlaufes der Temperatur im Stadtkern und - nach jeweils ganz kurzen Standortbeschreibungen - diejenigen an den anderen ausgewählten Stellen diskutiert werden. Die Abbildungen 25 bis 29 zeigen die Meßergebnisse.

Man kann für den Stadtkern unmittelbar folgende Feststellungen treffen:

1. Der Stadtkern ist im Jahresmittel (vom V. 51 bis I. 53) 0,9° wärmer als der Stadtrand bei der Wetterwarte, dies trifft qualitativ ausnahmslos in allen Monaten zu.

2. Diese Differenz ist im Frühling, Sommer und Herbst annähernd gleich groß, im Winter aber um 50 % kleiner.

3. Aus der Kurvenform für den Stadtkern und Stadtrand folgt in allen Einzelfällen und in allen Mittelungen - kurz gesagt - größere "Wärmeträgheit" der Stadt, nämlich für den Stadtkern: a) weniger steiler Anstieg (im Sinusteil der Kurven) am Vormittag, b) weniger steiler Abfall (im e-Funktionsteil der Kurven) in den Abend- und Nachtstunden, c) Verspätung des Minimums und des Maximums. Bei c) bilden Mai und Juni 1951 eine Ausnahme, die sich dadurch erklärt, daß die Registrierung nicht unmittelbar auf dem Windeckplatz, sondern in einer nahen E-W-Straße mit besonders hohen Vormittagstemperaturen gewonnen wurde. Ich bringe die beiden Kurven trotzdem, weil sie während der übrigen Zeit zuverlässig die gleiche Eigenart wie der Windeckplatz, eben wie der Stadtkern, zeigen.

4. Es läßt sich demnach etwa folgender typischer Tagesverlauf der Temperatur am Rande und im Kern der Stadt herauslösen. Vor Sonnenaufgang besteht eine deutliche Temperaturdifferenz. Es setzt dann früher und steiler die Erwärmung des Freilandes ein. Oft überholt sie dabei die Erwärmung der Stadt, so daß am späten Vormittag die Stadt häufig kühler ist als der Stadtrand. Zur Zeit des Maximums aber ist die Stadt wieder durchweg wärmer als der Stadtrand, meist ist dabei das Maximum im Stadttinnern wesentlich breiter ausgebildet. Sobald in den Abendstunden der Ausstrahlungsteil der Kurve (e-Funktion) ansetzt, vergrößert sich die Temperaturdifferenz Stadt-Land beträchtlich; die Abkühlung geht draußen schneller vor sich, die Kurve fällt steiler ab (geringere Wärmekapazität). Von Mitternacht bis zur Wärmedämmerung vollzieht sich der Temperaturabfall in Stadt und Land annähernd parallel.

All diese Feststellungen ergeben sich natürlich besonders klar aus der Temperaturdifferenz-Funktion Stadt-Land selbst, der  $\Delta$ -Funktion, wie ich sie bezeichnen möchte. Sie ist für das Jahr und die einzelnen Jahreszeiten in Abbildung 29 und für einzelne Monate in den Abbildungen 26, 28, 29 zu finden. Stets wiederkehrende Züge sind das Vormittagsminimum und das Abendmaximum, sowie die annähernde Konstanz nach Mitternacht bis zur Wärmedämmerung. Im Frühling und Sommer fällt ein sekundäres Minimum gegen 18 Uhr auf. Gleich danach erfolgt der steile Anstieg von  $\Delta$  durch das Einsetzen der rapiden Abkühlung am Stadtrand.

## 2. Temperaturregistrierungen an ausgewählten Punkten

Ganz ähnliche Züge wie die Stadtkernkurve zeigen auch die Temperaturkurven aus der Altvohnstadt im Norden von Bonn. Von 5 Registriermonaten sind hier als typische Beispiele in Abbildung 26 und 27 die Maikurve am Punkt 3311 (s. Abb. 1 Bornheimer Straße) und die Julikurve für Punkt 2414 (Paulstraße) gezeigt. In der Bornheimer Straße hing das Gerät in 1,70 m Höhe an einer 4 m hohen Nordwand, die einen spärlich bewachsenen kleinen Garten inmitten von hohen Häuserzeilen begrenzte. In der Paulstraße handelte es sich um eine Wiese im Zuge eines etwa 2500 m<sup>2</sup> großen Gartengeländes, das von vier Häuserreihen rings umschlossen ist. Auch hier hing der Thermograph in Reichhöhe und in 2 m Entfernung von einer Schatten spendenden Nordwand. Alle eingesetzten Geräte besaßen dazu einen geeigneten Strahlungsschutz aus spiegelnder Aluminiumfolie, die aber die Ventilation kaum hinderte. Die ständigen Vergleichsmessungen zeigten, daß die Registrierungen hinreichend zuverlässig ausfielen.

Die Temperaturkurven für Mai 1952 (Abb. 26) besagen, daß in der Nordwohnstadt das nächtliche Minimum am höchsten liegt, selbst im Mittel volle 3° höher als in der Kaltluft der Gumme! Das Maximum liegt nur wenig unter demjenigen des Stadtkerns. Von 22 bis 12 Uhr ist dieser Stadtteil wärmer als die Stadtmitte selbst.

Auch in der Paulstraße liegt die Nachttemperatur über derjenigen des Stadtkerns, doch ist hier auch das Maximum noch höher als im Stadtkern, eine Erscheinung, die auch bei Meßfahrten wiederholt beobachtet wurde. Darin äußert sich die Tatsache, daß die Paulstraße mitten im Komplex der Nordstadt liegt, während die Bornheimer Straße schon fast deren Rand bildet. Außerdem liegt in der Nähe der letzteren der Alte Friedhof und der offene Geländezug der Bundesbahn.

Ganz im Gegensatz zu diesen Registrierungen stehen diejenigen, die in einer Neusiedlung am Fuße des Venusberges im Verlauf der Gumme gewonnen wurden (Punkt 5412 in Abb. 1). Hier war das Gerät an einer 3 m hohen Nordwand, die die Gartenveranda eines niedrigen Siedlungshauses begrenzte, aufgehängt. Vor der Veranda breitete sich eine offene Rasenfläche bis zur nächsten, etwa 50 m entfernten zweistöckigen Siedlungszeile.

Die Julikurven in Abbildung 27 zeigen, daß hier die tiefsten Nachttemperaturen im ganzen erfaßten Bonner Raum erreicht werden; ähnliches ergeben die nachher zu besprechenden eigentlichen Gummeregistrierungen. Da die modernen Siedlungszeilen in unmittelbarer Hangnähe senkrecht zu den Isohypsen verlaufen, kann die nächtliche Kaltluft, die von Hang und Berg abfließt, bis weit in die Siedlung eindringen. Da es sich hier um den frühbesonnten westlichen Hangfuß handelt, erwärmt sich die Luft am Vormittag besonders schnell, schneller sogar als im eigentlichen Freiland. Das Maximum aber liegt tiefer als an allen anderen Stellen außer der Wetterwarte und ist früher erreicht als irgendwo anders. Während des ganzen Nachmittags und in der Nacht ist die Gegend wieder am kühllsten.

Die eben besprochene Stelle liegt schon im Verlauf des ehemaligen Altwassers des Rheines, Gumme genannt. Die hier herrschenden Temperaturverhältnisse interessieren deshalb besonders, weil eben hier ganz besondere Gegebenheiten zusammenwirken, nämlich absinkende frische Kaltluft vom Venusberghang, städtisch überwärmte, verbrauchte Luft aus der Südalwohnstadt sowie große Feuchtigkeit vom hohen Grundwasser, das sich in Bombentrichtern bis zu 30 cm unter der Erdoberfläche sammelt. Der strahlungsgeschützte Thermograph hing hier an einem Gartenzaun in einem freien Park-Gartengelände etwa am tiefsten Punkt der Gumme in 1,5 m Höhe (Punkt 5415 in Abb. 1).

Von den 7 hier registrierten Monaten sind 3 in Abbildung 26, 28 und 29 angeführt, besonders typisch ist der Oktober in Abbildung 28. Danach

ist die Gumme selbst im Tagesmittel noch  $0,3^{\circ}$  kühler als der Stadtrand an der Wetterwarte. Nur in den späten Vormittagsstunden ist es hier wärmer als in der Stadt und an der Wetterwarte. Der Ansatz der Erwärmung bei Sonnenaufgang zeigt ähnliche Trägheit wie im Stadtkern, ganz im Gegensatz zur Wetterwarte, wo dann ein ausgeprägter Knick vorliegt. Das Maximum erreicht fast dieselbe Höhe wie an der Wetterwarte, der Temperaturabfall aber setzt früher und steiler ein, wohl eine Folge des Schattenwurfs der Höhen im Westen. Von 14 Uhr bis morgens 7 Uhr ist die Gumme dann kühler als selbst der offene Stadtrand an der Wetterwarte.

Ganz besonders interessierte natürlich der Temperaturverlauf in R h e i n - n ä h e . An der K i n d e r k l i n i k , deren Park mit einer 6 m hohen Mauerstufe an die Uferpromenade grenzt, wurde ein Thermograph so aufgehängt, daß die Luft vom 15 m weit entfernten Strom ungehindert Zutritt hatte. Trotz des sorgfältig angebrachten Strahlungsschutzes möchte ich in diesem einen Falle annehmen, daß in den ganz frühen Vormittagsstunden Strahlungsfehler möglich waren; die geringen Korrekturen bei den vielen Vergleichsmessungen zeigen, daß über Tag und in der Nacht gerade das hier aufgehängte Gerät sehr genau arbeitete. Von den 8 registrierten Monaten sind in Abb. 26, 27 und 29 fünf, nämlich Dezember, Februar, Mai, Juni und Juli dargestellt. Es lassen sich folgende, wohl für das ganze Rheinufer geltende Feststellungen treffen:

1. Bis auf den Februar ist es an der Kinderklinik im Monatsmittel erstaunlich gleichmäßig in allen Monaten etwa  $0,3^{\circ}$  kühler als an der Wetterwarte.
2. In den Nachtstunden ist diese Differenz wesentlich geringer; sie verschwindet im Juli ganz und kehrt sich im Mai sogar um. Dann ist es in der Nacht am Rhein also wärmer als am halboffenen Stadtrand, im Vergleich zur Gumme sogar um rund  $2^{\circ}$  und das im Mittel aller Tage!
3. In den Vormittagsstunden ist es am Rhein im Mai, Juni, und Juli wärmer als im Stadttinnern und an der Wetterwarte, wohl eine Folge der Tatsache, daß die Uferpromenade aus Asphalt und Stein der aufgehenden Sonne ganz unbeschattet ausgesetzt ist. Interessant ist jedenfalls, daß diese starke Erwärmung von der Abkühlung durch den Strom am Vormittag noch nicht kompensiert wird.
4. Von 11 Uhr ab ist das Rheinufer in allen Monaten wesentlich kühler als sämtliche anderen Beobachtungsstellen. Auch das breite Maximum liegt im Mittel etwa  $1^{\circ}$  unter dem der Wetterwarte und  $1,5$  bis  $2,0^{\circ}$  unter dem des Stadttinnern.
5. Beim nachmittäglichen Temperaturabfall und bei dem nächtlichen Ausstrahlung entsprechenden Teil der Kurven zeigt sich, daß am Flußufer eine ebenso große Wärmeträgheit bzw. Wärmekapazität vorliegt wie im Stadttinnern.

Es bleibt noch der Temperaturgang an der Klimastation 2. Ordnung Friesdorf zu diskutieren. Die Hütte steht hier (Punkt 671, Abb. 1) in der ebenen Rheinaue, aber immerhin noch  $1,05$  km vom Strom entfernt. Leider standen nur die Auswertungen von Mai bis Juli 1951 (Abb. 26, 27) zur Verfügung. Es zeigt sich, daß die Ähnlichkeit der Kurven mit denen der Wetterwarte, die  $1,9$  km vom Strom entfernt liegt, größer ist als die Übereinstimmung mit den Rheinuferregistrierungen an der Kinderklinik. Im Mai ist der Unterschied zur Wetterwarte sicher innerhalb der anzusetzenden Fehlergrenze; nur am frühen Morgen zieht die Temperatur in Friesdorf früher und weniger steil an. Im Juni ist dasselbe der Fall, doch ist der Juni während des Tages und in der Nacht in Friesdorf überhaupt deutlich wärmer als an der Wetterwarte. Noch ausgeprägter ist im Juli in Friesdorf eine höhere Temperatur zu beobachten und das im ganzen Tagesverlauf, besonders aber beim früher gelegenen Maximum. Diese Tatsachen zeigen, daß Bonn von den häufigen aus SSE kommenden Winden in den drückenden Sommermonaten wenig oder gar keine Abkühlung zu erwarten hat. Der hohe Dampfdruck dieser mit dem Strom wehenden Winde bewirkt dann die überaus hohe Anzahl der Schwületermine in Friesdorf und in nur wenig schwächerem Maße auch in Bonn.

Im folgenden soll kurz der Tagesgang der relativen Feuchtigkeit im Stadtkern und an der Wetterwarte verglichen werden. In den Abbildungen 27 und 28 finden sich die Kurven für Juli, August, September und Oktober 1952. Die Stadt ist danach in diesen Monaten im Mittel  $3,5$ ;  $2,5$ ;  $3,0$ ;  $3,0$  % also sehr gleichmäßig trockener (4 % vom Durchschnitt) als die Wetterwarte.

Diese Differenz ist nachts gering, mittags und nachmittags bis auf den Juli am größten.

Im Dampfdruck scheint die Stadt nach den in Bonn gewonnenen Unterlagen im Mittel keinen wesentlichen Unterschied gegen den Stadtrand aufzuweisen. Ein geringer, nur 1,5 % betragender Unterschied, der zeitweilig vorliegt und einen kleineren Dampfdruck der Stadt andeutet, ist wohl durch deren höhere Temperatur zu erklären.

### 3. Eigenartiger Tagesgang des Dampfdruckes im Stadtkern

In Zusammenhang mit der im dritten Hauptabschnitt gebrachten Korrelationsrechnung wurden für ein ganzes Jahr die an der Wetterwarte im synoptischer Dienst gemessenen Stundenwerte des Dampfdruckes herausgeschrieben und analysiert. Beim Vergleich mit den Dampfdruckwerten im Stadtkern ergab sich im Mittel, wie schon gesagt, kein großer Unterschied, die Gestalt des Tagesganges jedoch war charakteristisch unterschieden (s. Abb. 30, Skizze 1). Und zwar war die Stadtkurve ausgeglichener und zeigte, daß die Stadt in der Nacht systematisch höhere, am Tage niedrigere Dampfdrucke aufweist. Die beiden bekannten Maxima am Vormittag und Spätnachmittag waren an der Wetterwarte deutlich vorhanden, im Stadtkern hingegen stark abgeschliffen und an einzelnen Tagen, so an 40 % aller Tage im Juli 1952, kaum noch zu erkennen. So entstand durchaus der Eindruck einer einfachen Tagesperiode.

Eine solche Beobachtung ist meines Wissens noch nicht veröffentlicht worden und wäre wohl wert, aufgegriffen und weiter verfolgt zu werden. Damit träte dann zu den beiden bisher bekannten Tagesgangtypen ein dritter, der zwar ebenso wie der Küstentypus eine einfache Tageswelle zeigt, der aber invers zu diesem sein Minimum kurz nach dem Temperaturmaximum liegen hat. (Abb. 30 Skizze 1)

Zur Erklärung könnte man anführen, daß das zur Verdampfung zur Verfügung stehende Wasser in der kanalisierten Steinwüste der Stadt bei steilem Temperaturanstieg nicht genügt, um am Vormittag vor Einsetzen der Hauptkonvektionszeit das gewohnte Maximum hervorzurufen, und daß es in der Nacht wegen der hohen Stadttemperatur nicht zu einem ausgeprägten sekundären Minimum wie auf dem Lande kommt. Die Skizze 1 in Abbildung 30 zeigt den Übergang vom binneländischen Doppelwellentypus, der an der Wetterwarte noch vorhanden ist, zum abgeschliffenen Stadttypus, der in Einzelfällen (Kurve 2,3 und 4) mit einer einfachen Welle, die umgekehrt wie beim Küstentypus verläuft, auftritt.

### 4. Niederschlagsvergrößerung über der Stadt

Mit großem zeitlichen Aufwand wurden weiter die Unterlagen für einen Beitrag zur Niederschlagsverteilung in Stadt und Land gesammelt. Hierzu waren an 5 Stellen des Stadtgebietes eigene Regenmesser aufgestellt, die zusätzlich zu den 2 fremden Beobachtungsstellen im Süden und Westen der Stadt (Friesdorf und Wetterwarte) täglich auf einer 12 km langen Meßroute zwischen 6,30 Uhr und 7,30 abgelesen wurden. In Abbildung 1 sind die Standorte eingetragen. Die Beobachtungsstellen "Verteilerkreis" und "Bornheimer Straße" liegen sehr ähnlich und wurden nur während der Hälfte der Zeit betrieben, d.h. die erstere wurde durch letztere abgelöst. Bei allen Standorten war auf eine repräsentative, vorschriftsmäßige Aufstellung sorgfältig geachtet worden. Auch mutwillige Fälschungen traten (bis auf zwei ärgerliche Einzelfälle an zwei Tagen) ziemlich sicher nicht ein. Die Meßdaten streuten leider noch mehr als schon erwartet

und eine entsprechend zeitraubendere Bearbeitung war leider nicht möglich.

Nur ein wichtiges Ergebnis läßt sich statistisch sichern. Auch in Bonn erhält das Stadtinnere mehr Niederschlag als der Stadtrand und das Freiland. Die statistische Sicherung wurde zunächst mit der mittleren Streuung versucht, dann aber durch vierfache Unterteilung des Gesamtjahreskollektivs in vier Unterkollektive vorgenommen. Alle vier Jahreszeiten zeigen deutlich diesen höheren Niederschlag im Stadtinnern, wie man aus Abbildung 30, Skizze 2 ersieht. Hier sind von links nach rechts in einem stark idealisierten Schnitt die Meßstationen angeordnet, wie sie in der Reihenfolge W, NW, N, Mitte, SW, S und SE der Stadt einander folgen. Die Niederschlagssummen der einzelnen Meßstellen sind jeweils in Prozenten der entsprechenden Summen an der Wetterwarte eingezeichnet.

Damit dürfte zu den positiven und strittigen Beispielen, die K r a t-  
z e r (39) für die Niederschlagsvermehrung in der Stadt anführt, ein weiteres positives hinzugefügt sein, das durch die Vielzahl der Meßstellen auf engem Raum den Mangel der Kürze der Beobachtungsperiode auszugleichen sucht.



bisherigen Schätzungen um einige quantitative, durch Fehlergrenzen gesicherte Aussagen zu ergänzen, war nun mein Ziel. Die Anregung zu dem gewählten Ansatz stammt aus einer Arbeit von Sundborg (70) der im Vorwort Diskussionen mit Prof. Hilding-Köhler, Anders Angström und Prof. Tor Bergeron erwähnt.

Es handelt sich hierbei um den mathematisch einfachsten Ansatz zur Erfassung der zusammengesetzten Funktion, die die Stadt-Land-Temperaturdifferenz als Abhängige von vier Variablen, nämlich Bewölkung N, Windgeschwindigkeit v, Dampfdruck p und Temperatur T darstellt:

$$\Delta = b_0 + b_1 N + b_2 v + b_3 p + b_4 T \quad (1)$$

Es gibt sicher noch mehr Faktoren, die einen Einfluß auf  $\Delta$  ausüben, so vor allem die Strahlung; dazu fehlte aber leider eine verwendbare quantitative Meßreihe in Bonn; immerhin dürfte die Verwendung der Bewölkung N einen gewissen, im Rahmen der hier zu erwartenden Genauigkeit hinreichenden Ersatz bieten. Der funktionale Zusammenhang ist auch sicher nicht in allen Fällen linear, aber die Gerade ist doch jedenfalls die erste Näherung zu jeder Kurve. Durch geeignete Unterteilung des Kollektivs (Tag, Nacht, Jahreszeit) wurde außerdem das jeweils angenäherte Kurvenstück sehr klein gehalten.

Die Koeffizienten  $b_i$  werden mittels Korrelationsrechnung, (s. Conrad-Pollak, Gebellein-Heite und Baur (15,23,3) bestimmt. Die obige sogenannte Regressionsgleichung stellt (Linke, 43) "die bedingte mathematische Erwartung von  $x_0$  (hier  $\Delta$ ) im Sinne der Methode der kleinsten Quadrate besser als jede andere lineare Funktion der  $x_1, x_2, \dots, x_n$  (hier N, v, p, T) dar". Um nun die Regressionskoeffizienten  $b_i$  zu ermitteln, ist es nötig, die 10 einfachen Korrelationskoeffizienten (künftig abgekürzt: Kkfz)

$$r_{xy} = \frac{\sum x_i \cdot y_i}{\sqrt{\sum x_i^2 \sum y_i^2}} \quad (2)$$

zwischen je zwei der fünf Variablen  $\Delta, N, v, p, T$  zu errechnen. Aus diesen werden dann die 18 partiellen Korrelationskoeffizienten 1. Grades

$$r_{xy.z} = \frac{r_{xy} - r_{xz} \cdot r_{yz}}{\sqrt{(1-r_{xz}^2)(1-r_{yz}^2)}} \quad (3)$$

aus diesen diejenigen 2. Grades (nämlich 15) und aus denen dann wieder die 3. Grades (nämlich 7) nach der allgemeinen Formel

$$r_{xy.z\dots n} = \frac{r_{xy.z\dots(n-1)} - r_{xn.y\dots(n-1)} \cdot r_{yn.x\dots(n-1)}}{\sqrt{(1-r_{xn.y\dots(n-1)}^2)(1-r_{yn.x\dots(n-1)}^2)}} \quad (4)$$

errechnet.

Es ist dabei jedesmal rechnerisch der stochastisch - gesetzmäßige Anteil im Zusammenhang zwischen je zwei Faktoren vom aleatorischen (-zufälligen) abgetrennt.

Unter Zugrundelegung dieses gesetzmäßigen Zusammenhangs ist dann bei jedem Kkfz höheren Grades jeweils ein Faktor mehr konstant gesetzt, damit also eine bessere Annäherung an die reine Funktionalbeziehung zwischen den beiden jeweils zuerst genannten Variablen erreicht.

Im Beispiel  $r_{\Delta, N, v}$  ist demnach zuerst der stochastische Zusammenhang zwischen  $\Delta$  und v sowie der zwischen N und v durch  $r_{\Delta, v}$  und  $r_{N, v}$  ermittelt und dann die Abhängigkeit des  $\Delta$  von N dadurch errechnet, daß die Nebenbeziehungen zu v eliminiert wurden. So geht es fortschreitend bis  $r_{\Delta, N, v, p, T}$  den Zu-

sammenhang zwischen  $\Delta$  und  $N$  ausdrückt unter Eliminierung der Zusammenhänge, die mit  $v, p$  und  $T$  noch bestehen, also praktisch unter Konstantsetzen von  $v, p$  und  $T$ .

Die Korrelationskoeffizienten können Werte zwischen  $+1$  und  $-1$  annehmen und drücken dabei aus, daß im Falle  $r = \pm 1$  eine streng lineare, nicht vom Zufall (aleatorisch) gestörte Beziehung zwischen den beiden korrelierten Größenreihen besteht. Im Fall  $r = 0$  ist sicher kein linearer stochastischer Zusammenhang vorhanden. Heißt der Korrelationskoeffizient  $+1$ , so entsprechen großen  $x$  große  $y$ , kleinen  $x$  kleine  $y$ ; bei  $r = -1$  gehören große  $x$  zu kleinen  $y$  und umgekehrt.

Die Korrelationskoeffizienten als solche ergeben schon die gesuchte quantitative Aussage über die Wirksamkeit der Einzelelemente bei Tag und Nacht, in verschiedenen Jahreszeiten und Windrichtungen wie nachher gezeigt wird. Sie erlauben aber weiterhin auch die Ermittlung der gesuchten Regressionskoeffizienten  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  der oben angeführten Gleichung (1. Dazu muß freilich noch die mittlere Abweichung (standard deviation)

$$\sigma_{x.yzws} = \sigma_x \sqrt{(1-r_{xy}^2)(1-r_{xz.y}^2)(1-r_{xw.yz}^2)(1-r_{xs.yzw}^2)} \quad (5)$$

mit

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}} \quad (5a)$$

für jede der 5 Variablen berechnet werden; damit sind dann die Regressionskoeffizienten zu bestimmen als

$$b_{xy.zws} = \frac{\sigma_{x.yzws}}{\sigma_{y.xzws}} \cdot r_{xy.zws} \quad (6)$$

$b_0$  aber wird zum Schluß unter Einsetzen der Mittelwerte aller Variablen mit der erhaltenen Regressionsgleichung berechnet.

Sehr wichtig ist auch noch die statistische Sicherung der Aussagen durch Angabe der jeweiligen Fehlergrenze.  $\Pi o s e m a n n$  (33) weist darauf hin, daß die einfache Berechnung des mittleren wahrscheinlichen Fehlers nach

$$f = \pm 0,6745 \frac{1 - r_{xy}^2}{\sqrt{n-2}} \quad (7)$$

die bisher immer empfohlen wurde (s.  $S u n d b o r g$ ,  $E o n r a d - P o l l a k$ ,  $B a u r$  70,15,3), deshalb ungeeignet ist, weil beim Kkzf keine symmetrische Gaußsche Normalverteilung der streuenden Werte zu erwarten ist, daß vielmehr bei großen und kleinen Kkzf eine Asymmetrie vorliegt, die erst beseitigt werden muß mittels einer von  $R.A. F i s h e r$  (20) angegebenen Transformation auf sogenannte Korrelationsziffern

$$z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} \quad (8)$$

Für diese  $z$ -Werte nun lassen sich ohne weiteres die üblichen

$$\sigma_{z,n} = \frac{1}{\sqrt{n-m}} \quad (9)$$

(mit  $n$  gleich der Anzahl der Werte im Kollektiv und  $m$  gleich der Anzahl der korrelierten und konstantgesetzten Variablen) berechnen. Nach Rück-

transformation von  $\zeta_z$  auf  $\zeta_r$  kann man diese "3  $\zeta$  - Äquivalente" zu jedem  $r$  berechnen und hat dann die Gewähr, daß bei Überschreiten dieser 3  $\zeta$  -Grenze mit 99,73 % Wahrscheinlichkeit eine Fortsetzung der Untersuchung dasselbe Ergebnis liefert, daß also "statistische Sicherheit" für die betreffende Aussage vorliegt. Diese sehr strenge Anforderung aber muß man stellen, um sich vor Enttäuschungen zu bewahren. Bei C o n r a d - P o l l a k ist zwar das Meteorological - Glossary (50) zitiert, das sich mit dreifachem Überschreiten des oben erwähnten (Gleichung 7) wahrscheinlichen Fehlers begnügt und dazu sagt, daß dann die Wahrscheinlichkeit einer Signifikanz 20:1 sei. P e a r s o n (50) aber fordert als Faustregel (rule of thumb), daß der wahrscheinliche Fehler 6-fach überschritten werde. Doch sind alle diese Angaben weniger gut, als die eindeutige Aussage der 3  $\zeta$  -Schranke.

Man kann nun einfach zu jedem  $n$ , also zu jedem Kollektivumfang angeben und tabellieren, wie groß KkFz in diesem Kollektiv sein müssen, damit sie um 3  $\zeta$  von Null verschieden sind und also eine sicher überzufällige Aussage enthalten. Bei H o s e m a n n (33) findet sich eine solche Tabelle der Zufallshöchstwerte des KkFz (3  $\zeta$  - Äquivalente). Sie ist, wie gesagt, entstanden durch Verwandeln des KkFz mit unsymmetrischer Verteilung in Korrelationsziffern  $z$  mit einer Verteilung des mittleren Fehlers, die einer symmetrischen Normalverteilung gleichkommt. Diese Zufallshöchstwerte  $r_{0,n}$  sind zu den KkFz angegeben und, wie sich zeigen wird, auch häufig sehr hoch überschritten.

## 2. A u s w a h l , U n t e r t e i l u n g u n d B e a r b e i - t u n g d e s M a t e r i a l s

Nach diesem Hinweis auf die Bearbeitungsmethode soll vor der Darlegung der Ergebnisse noch auf die Auswahl und Aufarbeitung des statistischen Materials eingegangen werden. Der Vorgänger in der Methode S u n d b o r g (70) hatte 207 Einzelmessungen zu Grunde gelegt und dabei möglichst viele Wetterlagen und alle Jahreszeiten berücksichtigt, dabei allerdings nicht nach Windrichtungen getrennt untersucht. Mir kam es darauf an, eine vollkommen gleichmäßige und willkürfreie Berücksichtigung aller vorkommenden Konstellationen der Wetterelemente zu erzielen. Ich berechnete daher die Stadt-Land-Temperaturdifferenz ( $\Delta$  -Funktion) für die (natürlich statistisch nicht ganz unabhängigen) 8760 Stunden von 12 Monaten 1951/52 aus den Auswertungen der Thermographen an der Wetterwarte und im Stadtkern und schrieb dazu die zugehörigen Windrichtungen, Windgeschwindigkeiten, Bewölkungszahlen, Dampfdrucke und Temperaturen an der Wetterwarte heraus. Da die Windrichtung kaum sinnvoll zahlenmäßig erfaßt und statistisch bearbeitet werden kann, da mich aber gerade nach Windrichtungen differenzierte Aussagen besonders interessierten - S u n d b o r g hatte, wie gesagt, nicht diese Absicht - wurden sie als erstes klassenbildendes Merkmal auf das Kollektiv angewendet; als zweites Merkmal wurde die Jahreszeit genommen und als drittes die Tageszeit. So entstanden die Unterlagen zu den Abbildungen 31, 32, 33 und 34).

Die 16-teilige Windrose der Anemographenauswertung mußte noch auf eine 8-teilige reduziert werden, da sonst die Unterkollektive zu klein geworden wären. Da die mühsame vektorielle Umrechnung sämtlicher 5 Faktoren von 16 auf 8 Richtungen nicht gerechtfertigt schien, wurden die Zwischenrichtungen NNW, NNE usw. jeweils mit den Hauptrichtungen, die ihnen im Zeigersinn folgten, zu einer Klasse z.B. NNW + N vereinigt. Die Windrosen in Abbildung 31 - 34 sind entsprechend um  $\frac{2\pi}{16}$  gedreht.

16

Da die Bewölkungs-(N) und Dampfdruckangaben (p) aus den Stundenwettertern des synoptischen Dienstes stammen und daher nach Weltzeit (GMT), die Temperaturregistrierungen (T) aber nach MOZ-Bonn orientiert sind, mußte die Phasenverschiebung von 31 Minuten dadurch beseitigt werden, daß die

arithmetischen Mittel der T- und  $\Delta$  Werte zweier aufeinanderfolgender Stunden mit den entsprechenden mitten dazwischen liegenden N- und p-Werten zusammengestellt wurden.

Beim Wind, der ja der Richtung und Geschwindigkeit nach als Stundenmittel in MEZ ausgewertet wird, schien eine solche Phasentransformation nicht nötig. Selbst wenn man das Wind-Stundenmittel dem Zeitpunkt  $X^{31} \text{ MEZ} = X^{00} \text{ MOZ} = (X - 1)^{31} \text{ GMT}$  zuschreiben wollte, wäre die dann verbleibende Phasenverschiebung von 31 Minuten gegenüber den anderen ( $\Delta, N, p, T$ ) auf gleichen Zeitpunkt gebrachten Angaben zu rechtfertigen, da ja nicht so sehr die augenblickliche Windrichtung und -stärke als vielmehr diejenige der letzten Stunde etwa wesentlich sein dürfte, wie folgende Tatsache zeigt. Aus einer genauen Bearbeitung eines Kaltlufteinbruches am 17. I. 52, zu der ich 4 Registrierungen im Stadtgebiet heranziehen konnte, ergab sich, daß der mit Windsprung von SW auf WSW verbundene Temperatursturz im Stadttinnern mehr als 20 und weniger als 60 Minuten später erfolgte als an der Wetterwarte.

### 3. Disk u s s i o n v o n W i n d r o s e n d e r E l e m e n t e $\Delta, N, v, p, \text{ u n d } T$

Die oben dargelegte, eigentlich als Vorbereitung der Korrelationsrechnung gedachte Bearbeitung und Unterteilung des Materials lieferte also die Unterlagen zu den Abbildungen 31 bis 34, die eine Reihe neuer Feststellungen ermöglichen und viele schon anders getroffene erhärten: 1. Die Stadt-Land-Temperaturdifferenz  $\Delta$  ist nachts sehr viel größer als tags, aber auch tags in allen Richtungen vorhanden.

2.  $\Delta$  ist im Frühling, Sommer und Herbst annähernd gleichgroß, im Winter viel kleiner.

3.  $\Delta$  ist bei Winden aus SE bis NE besonders groß, bei solchen aus SSW bis NW besonders klein. Das ist umso erstaunlicher, als erstere aus Richtung Stadt kommen und daher an die Wetterwarte Stadtluft herantragen; umso stärker muß also die zugrundeliegende Ursache sein. Die Kkfz werden zeigen, daß vor allem die asymmetrische Verteilung der Windgeschwindigkeit und Bewölkung verantwortlich zu machen ist.

4. Die Bewölkung N (an der Wetterwarte aufgezeichnet) ist nachts kleiner als tags, im Winter kleiner, im Sommer größer als im Frühling und Herbst.

5. N ist bei Winden aus S bis NW größer, bei solchen aus NE bis SE kleiner als im Mittel. Ob darin auch eine Wirkung der Stadt (Aufgleiten auf das Luftkissen) zu sehen ist, bleibt fraglich. Auffällig ist, daß tags die Bewölkung aus östlicher Richtung mehr reduziert ist als nachts, so daß im Frühling und Herbst bei solchen Winden nahezu gleichstarke Bewölkung bei Tag und Nacht resultiert, im Winter gibt es hierbei sogar nachts mehr Bewölkung als tags. Der in Einzelfällen oft beobachtete Vorgang der Wolkenauflösung am Vorgebirgs- und Hauptterrassenrand beim Abstieg der Westwinde muß also weniger wirksam sein, als die Tatsache, daß Winde um West in unserem Klima größere Bewölkung zeigen als Winde um Ost.

6. Die Windgeschwindigkeit v zeigt in allen Jahreszeiten die deutlichste Unsymmetrie von allen Elementen. Bis auf das turbulente Frühjahr sind die Winde aus E bis NW um 50 bis 70 % langsamer als die aus S bis W.

Zweifellos sind die östlichen Winde im allgemeinen langsamer als die westlichen, aber ein sorgfältiger Vergleich zweier Geschwindigkeitswindrosen aus s y n c h r o n e n B e o b a c h t u n g e n i n W a h n u n d B o n n zeigt doch, daß zwar alle Windrichtungen in Bonn-W geringere Geschwindigkeiten aufweisen als in Wahn, daß aber die Bremsung systematisch sehr unterschiedlich ist. (Siehe dazu Abb. 30, Skizze 3). Und zwar ist die Geschwindigkeitsreduzierung der Winde

aus NNW bis SE 20 % größer als die derjenigen aus SSE bis NW, wenn man über diese beiden Gruppen mittelt. Der so geführte Nachweis beruht auf 16 Aussagen von Einzelmittelwerten und zeigt die erhebliche Geschwindigkeitsverminderung durch die Stadt im NE der Wetterwarte. Das wird auch durch viele Einzelbeobachtungen bei Windmeßfahrten, auch bei solchen, die kein ausgeprägtes Flurwindssystem zeigten, gestützt. Nimmt man dazu die Aussagen der partiellen Kkfz über die Einwirkung von  $v$  auf  $\Delta$ , so scheint es nicht abwegig, zu behaupten, daß hier ein bisher nicht genügend gewürdigter und zumindest tagsüber der kausal primäre Grund für die meisten der anderen Stadtklimaefekte liegt.

7.  $v$  ist nachts ausnahmslos kleiner als tags; besonders im Sommer beträgt der Unterschied bis zu 50 %, im Winter ist er gering.

8. Die Wasserdampfdruckrosen sind fast zentralsymmetrisch. Nur im Herbst kommt eine leichte Erhöhung der Feuchtigkeit bei rheinparallelen Winden (aus SSE und NNW) zum Ausdruck. Tags ist  $p$  meist größer als bei Nacht, doch kommen bei den Winden aus Richtung Stadt auch Umkehrungen dieses Sachverhalts vor, dann ist die von der Stadt herkommende Luft also tags besonders trocken.

9. Die Lufttemperatur  $T$  an der Wetterwarte ist namentlich im Winter und Frühling besonders niedrig bei rheinparallelen (S bis SE) Winden, bei E und NE - Winden, also bei Winden von der Stadt her aber am höchsten, im Sommer und Herbst ist diese Tatsache weniger deutlich.

## II Diskussion der Korrelationskoeffizienten, Regressionsgleichungen und Schwellenwertkonstellationen

Da die Hilfsmittel zur noch weitergehenden vollen Auswertung des gesamten Materials nicht zur Verfügung standen, (hier müßte mit Hollerith-Maschine gearbeitet werden), mußte eine Auswahl getroffen werden. Zu jedem der 64 Teilkollektive, die sich bei Unterteilung in 8 Windrichtungen, Tag- Nachtwerte und 4 Jahreszeiten ergeben hatten, gehören nämlich 45 Kkfz niederen Grades und die 5 gesuchten partiellen Kkfz dritten Grades. Ich stand daher vor der Wahl, entweder die Jahreszeiten oder aber die Windrichtungen miteinander zu vergleichen. Im ersten Falle hätte ich eine Auswahl von Stundenwerten aus jeder Jahreszeit treffen müssen und dann auf einen Vergleich der Wirksamkeit der Einzelfaktoren bei den verschiedenen Windrichtungen verzichten müssen, da die Windrichtungs-Kollektive so klein geworden wären, daß die Zufallsschranke nicht überschritten worden wäre.

Da nun die eben diskutierten Abbildungen 31 bis 34 sowie die Registrierungen Abbildung 25 bis 29 schon eine ganze Reihe von Aussagen über das verschiedene Verhalten der angesetzten Faktoren, insbesondere  $\Delta$ ; in den einzelnen Jahreszeiten erlaubten, da aber besonders die unterschiedliche Wirksamkeit der Winde aus den verschiedenen Richtungen interessierte, die ja aus den graphischen Darstellungen nicht so leicht zu folgern war, aus diesen Gründen wählte ich die zweite Möglichkeit, zumal diese Bearbeitungsart meines Wissens noch nirgendwo versucht worden ist.

Damit bei den Winden aus NNW bis E ein genügend großes Kollektiv zustandekam, wurden sie zusammengenommen; ebenso dann auch die entgegengesetzten Richtungen, so daß eine Vierteilung der Windrose entstand:

1. Winde aus Richtung Stadt (NNW bis E), 2. Winde aus dem Rheintal (ESE + SE) 3. Winde aus der Gegenrichtung zur Stadtrichtung (SSE bis W) und 4. Winde aus der Köln- Bonner Bucht ins Rheintal (WNW + NW).

Für die v o l l s t ä n d i g e D i s k u s s i o n wurde der Herbst gewählt, weil er auch noch gewisse Charakteristika von Sommer und Winter

aufweist. Zudem war gerade im Herbst 1951 die Gestalt der Windrosen der verschiedenen Faktoren besonders eindrucksvoll differenziert. Für die Nachtwerte und zwar für 1152 Quintupel wurde die Korrelationsrechnung ganz durchgeführt, für die Tagwerte (1005 Quintupel) wurden nur die jeweils 10 ersten einfachen KkFz ermittelt. Zum Vergleich mit anderen Jahreszeiten wurde dann auch noch der Winter herangezogen, da er in allen Kriterien am deutlichsten unterschieden ist von den anderen 3 Jahreszeiten (s. Abb. 26 bis 34), die unter sich ja weit ähnlicher erscheinen. Und zwar wurden die 422 Nachtwerte der am häufigsten vertretenen beiden Windrichtungen (SE + ESE und NW + WNW) voll bearbeitet, also die 100 KkFz sämtlich berechnet, zu den 317 Tagwerten dieser beiden Richtungen aber wurden wieder nur die 20 einfachen KkFz ermittelt.

Tabelle V bringt diese einfachen und partiellen KkFz, sowie die Mehrfachkorrelationskoeffizienten (deren Definition folgt nachher) und die mittleren Abweichungen (standard deviations), wie auch die Regressionskoeffizienten zu den 8 voll berechneten Regressionsgleichungen.

Die Koeffizienten erlauben nun eine große Anzahl von *S c h l ü s s e n* und quantitativen Bestätigungen von schon Erkanntem oder bisher nur qualitativ Behauptetem. Es soll allerdings noch einmal darauf hingewiesen werden, daß die KkFz zunächst nur die Aussage enthalten: wenn  $x$  groß ist, ist  $y$  im gegebenen Kollektiv groß (oder klein) und das mit größerer oder geringerer Wahrscheinlichkeit, je nach Vorzeichen und Größe des KkFz. Über Kausalbeziehungen ist damit noch nichts bekannt; es wird eine gesetzmäßige Beziehung höchstens sehr wahrscheinlich, wenn der KkFz gewisse oben erwähnte statistische Fehlergrenzen übersteigt. Die Richtung der Kausalbeziehung aber muß immer aus einer zusätzlichen physikalischen Überlegung gefolgert werden, wie ja überhaupt die Korrelationsrechnung nur Wegbereiter und heuristisches Hilfsmittel der Forschung sein kann.

Es muß vor allem noch ein *E i n w a n d* gegen den hier gemachten Ansatz behandelt werden. Wenn wir die Temperatur als Beispiel nehmen, so stört die Tatsache, daß sowohl  $T$  wie  $\Delta$  eine Tagesperiode haben. Wollte man also etwa Tag- und Nachtwerte mit einem einzigen Ansatz erfassen, so würde ganz sicher eine hohe negative Korrelation zwischen  $\Delta$  und  $T$  herauskommen, da  $\Delta$  nachts viel größer als tags und  $T$  umgekehrt tags stets größer als nachts ist. Dies Ergebnis ist aber genau bekannt (z.B. aus Abb. 29), wäre also zwar nicht falsch, wohl aber trivial und würde die gesuchte Antwort auf die Frage, wie  $\Delta$  sich bei länger andauernden Temperaturänderungen verhält, sicher stark überdecken.

Die einfachste Möglichkeit, dieser Schwierigkeit zu begegnen, wäre die, daß man jeweils für jede Tagesstunde gesondert die Korrelationen berechnete. Aber selbst wenn dabei die Windrichtungen als klassenbildendes Merkmal fallen gelassen würden, hätten die entstehenden Kollektive geringeren Umfang, als die nötige statistische Sicherheit verlangt. Eine zweite Möglichkeit wäre die Eliminierung des Tagesganges sämtlicher Elemente durch Subtraktion des mittleren Tagesganges von den Stundenwerten der Einzeltage. Es gibt aber einige Gründe, die es gerechtfertigt erscheinen lassen, zunächst noch darauf zu verzichten.

Vor allem ist wichtig, daß die Tagesperiode von  $\Delta$  ja nicht irgendeinen Grund, etwa eine unfaßbare unphysikalische Ursache hat, sondern ganz sicher eng mit dem Temperaturverlauf verknüpft ist. Dürfte man annehmen, daß das Wirkungsgesetz zwischen  $T$  und  $\Delta$  stets ein und dasselbe ist, gleichgültig ob es sich um kurz- oder langperiodische Vorgänge handelt, so beständen sogar überhaupt keine Bedenken gegen das Heranziehen auch der täglichen Schwankung zur Bestimmung dieses Funktionalzusammenhanges. Aber ob diese Einfachheit der Funktion  $\Delta = \Delta(T)$  vorliegt, läßt sich eben erst ermitteln durch Vergleich der Ergebnisse der hier verwandten Methode mit Ergebnissen, die unter der oben erwähnten Eliminierung des Tagesganges erhalten wurden.

Besonders aber treffen die Bedenken nicht voll zu auf die Nachtzeit, denn die Abbildungen 26 bis 29 zeigen, daß  $\Delta$  während mehr als 75 % der Zeit zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang praktisch konstant ist. Während der übrigen Nachtzeit steigt  $\Delta$  zunächst am Abend an und fällt fast symmetrisch dazu am Morgen wieder ab. Dieser etwa zum Mitternachtszeitpunkt symmetrische Verlauf (s. Abb. 29, besonders Herbst) ergibt aber mit dem nächtlichen Verlauf der Temperatur, der nach einer e-Funktion vor sich geht, keine Korrelation; denn den hohen Abendtemperaturen entsprechen zunächst geringe, dann große  $\Delta$ -Werte, und diese großen Werte halten auch während des weiteren Temperaturabfalls an, am frühen Morgen sind schließlich umgekehrt geringe Temperaturen mit geringen  $\Delta$ -Werten gepaart (s. Abb. 26 bis 29). Immerhin läßt sich diese Abschätzung nicht so genau durchführen, daß man die Bedenken ganz fallen lassen dürfte.

Es bleibt festzuhalten, daß die Korrelation von T und vielleicht auch p mit  $\Delta$  wegen der Tagesperiode nicht voll zuverlässig auch auf langperiodische Schwankungen zu passen braucht. Im Rechenvorgang zur Ermittlung der Regressionsgleichungen sind die zugehörigen KkFz, die auf jeden Fall richtig, wenn auch zum Teil trivial sind, ja doch unumgänglich, sie sollen daher auch mitgeteilt und diskutiert werden. Die beiden Möglichkeiten zur Überprüfung der hier gemachten Voraussetzungen und Fehler sind:

1. Korrelation zwischen  $\Delta$  und T immer zur selben Tagesstunde, eventuell in 3-Stundengruppen, orientiert nach dem Sonnenstand.
2. Eliminierung des Tagesganges, etwa durch Subtraktion des mittleren Tagesganges von  $\Delta$ .

Um dazu hinreichend große Kollektive zu erhalten, müßte man für diese Kontrollen langjährige Reihen aus einer Stadt verwenden, die über Innen- und Außenstation verfügt und von beiden Stundenwerte zu ermitteln gestattet. Die Bearbeitung müßte, wenn irgend möglich, mit Hollerithmaschine erfolgen; für die Stationen 1. Ordnung liegen die synoptischen Stundenwetter ja schon auf Hollerithbogen in Hamburg vor; hierfür dürfte eine Bearbeitung, wie sie hier angewandt bzw. vorgeschlagen wurde, auch über die Kontrollmöglichkeit hinaus fruchtbar sein.

Die Tabelle V zeigt jeweils untereinander  $r_{xy}$ ,  $r_{xyz}$ ,  $r_{xy.zw}$ ;  $r_{xy.zws}$ , in jeder Zeile ist also ein Element mehr konstant gesetzt. Die KkFz, die unter der 3  $\sigma$ -Grenze bleiben, sind durch Schrägstellung gekennzeichnet. Aus der Fülle der Folgerungen seien folgende herausgegriffen:

1. Im Herbst sind die KkFz im allgemeine größer als im Winter.
2. Bei Nachtwerten ergeben sich ebenso größere KkFz als bei Tagwerten.
3. Im Mittel und in allen Einzelrichtungen sind die KkFz zwischen  $\Delta$  und N, v, T im Herbst negativ.
4.  $r_{\Delta p.NvT}$  ist nachts positiv, tags negativ.

Es sollen nun zunächst die KkFz in H e r b s t n ä c h t e n untersucht werden. Die physikalische Begründung bei  $r_{\Delta N}$  und  $r_{\Delta v}$  liegt auf der Hand: Starke Bewölkung vermindert die Ausstrahlung durch intensive Gegenstrahlung, es kommen keine so großen Unterschiede zwischen dem stark strahlenden Freiland und der dunstgeschützten, trägen Stadt zustande. Hohe Windgeschwindigkeit verwischt ebenso die Stadt-Land-Unterschiede, da die Freilandluft nach innen, die Stadtluft nach draußen getragen wird. Bei  $r_{\Delta p}$  ist die Begründung der statistisch gut gesicherten Ergebnisse nicht ganz leicht. Zunächst fällt auf, daß die partiellen KkFz bis zum 2. Grade noch alle negativ sind, also aussagen, daß feuchtes Wetter mit geringen  $\Delta$  verbunden ist. die partiellen KkFz  $r_{\Delta p}$  3. Grades aber sind überraschenderweise bis auf eine nicht gesicherte Ausnahme eindeutig positiv und liegen weit über der Zufallsgrenze. Der Vorzeichenwechsel kommt zustande durch die hohe positive Korrelation von p und T, und die gleichzeitig hohe negative zwischen  $\Delta$  und T, die bei diesem Rechenschritt eliminiert wurden. Es bleibt also die Tatsache, daß bei sonst gleichen Faktoren N, v, T ein hoher Dampfdruck mit einer größeren Temperaturdifferenz einhergeht als ein niedriger. Eine Erklärungsmöglichkeit, die physikalisch sinnvoll scheint, wäre die, daß die Ausstrahlung des Bodens allein von

T und N abhängig und nicht durch den Wasserdampfgehalt der unteren Luftschicht wesentlich reduziert wäre. Dieser Einfluß von T und N ist also bei deren Konstantsetzen schon berücksichtigt und hier kommt die Tatsache zur Auswirkung, daß sich feuchte Luft stärker durch Strahlung abkühlt als trockene. Da die Stadt nun immer etwas geringeren Dampfdruck hat als die Wetterwarte, kommt so die positive Korrelation von  $\Delta$  und p zustande. Dieser Effekt muß also größer sein als der sicher auch vorhandene isolierende Effekt der Gegenstrahlungserhöhung und Wärmeschirmwirkung feuchter Luft über dem strahlenden Boden.

Auch die ausnahmslos negativen  $r_{\Delta T}$  sind weit überzufällig und geben zu denken. Man könnte vielleicht bei hoher Temperatur eine höhere Differenz erwarten, da dann die Strahlungsunterschiede stärker zur Auswirkung kommen. Ein grober Überschlag unter Berücksichtigung der Tatsache, daß man ja mit absoluten Temperaturen rechnen muß, zeigt, daß dieser Effekt sicher leicht überkompensiert werden kann, und zwar durch advektive Kaltluft, wie ich vermute. In Strahlungsnächten ist  $\Delta$  groß, und es wird am Stadtrand leicht heranströmende Kaltluft auftreten, die dann die gleichzeitig auftretenden tiefen Temperaturen mit sich bringt. Es ist ja, wie noch einmal betont werden soll, nichts über den Kausalzusammenhang, der der lediglich konstatierten Parallelität zugrundeliegt, ausgesagt. Ein weiterer Grund liegt sicher in der größeren Wärmeträgheit der Stadt, die aus anderen Tatsachen schon mehrfach gefolgert wurde. Ist nämlich die Stadt wärmeträger, so wird sie in kalten Nächten noch von warmen Tagen her länger ihre Übertemperatur behalten, es wird besonders große  $\Delta$  - Werte geben. Ist sie dann schließlich nach längerer Kälteperiode auch etwas abgekühlt, so werden (advektiv) warme Nächte eine geringe Differenz wenn nicht gar Umkehr im Gefolge haben, und das sagt ja der negative Kkfz  $r_{\Delta T}$  aus. Auch ein Einfluß der oben besprochenen Tatsache, daß  $\Delta$  und T eine Periode haben, kann hier vorliegen.

Um zunächst bei den H e r b s t n ä c h t e n zu bleiben, es lassen sich als Nebenergebnis der langwierigen Korrelationsrechnung noch weitere, besonders durch ihre quantitative Vergleichbarkeit interessante Feststellungen treffen:  $r_{Nv}$  ist in 9 von 10 Fällen positiv und zwar 5 mal überzufällig. In Herbstnächten ist also, wie erwartet, hohe Bewölkung mit hoher Windgeschwindigkeit korreliert.  $r_{Np}$  ist in den höheren Graden meist unter der Zufallsgrenze gelegen. Bei  $r_{NT}$  muß man wohl berücksichtigen, daß  $\Delta$  nicht sinnvoll als unabhängige Variable in Beziehung zu N und T aufgefaßt werden kann, daß also nur v und p konstantgesetzt werden dürfen, da bei Konstantsetzen von  $\Delta$  die komplexen Zusammenhänge zwischen N und T über die gemeinsame abhängige Variable  $\Delta$  mitbeeinflußt werden, während man auf sie doch gerade analysieren wollte. So erkläre ich mir jedenfalls die Tatsache, daß  $r_{NT}$  solange positiv bleibt, wie  $\Delta$  nicht konstantgesetzt ist, danach aber negativ wird. Positives  $r_{NT}$  aber entspricht der häufigen Beobachtung, daß wolkenlose Nächte kalt zu sein pflegen. Der physikalische Zusammenhang ist auch ganz klar, es sind weniger Gegenstrahler da; die nächtliche (Temperatur-) Strahlung der Erde geht unreflektiert und wenig absorbiert in den Weltraum verloren.

Die physikalischen Ursachen für die negativen Werte von  $r_{vp}$  liegen nahe. Die positiven Ausnahmen sind bis auf zwei im Zufallsbereich gelegen. Hier äußert sich die Tatsache, die beim Feuchtigkeitstagesgang eine wesentliche Rolle spielt, daß nämlich erhöhte Luftbewegung die feuchtigkeitsreichere, bodennahe Luft aufwirbelt und trockene aus der Höhe herabschafft, während sich bei Windstille eine Feuchtigkeitsschichtung mit höchsten Konzentrationen am Boden bildet. Die Nebelauflösung durch Wind gehört hierher. Die eben erwähnten Ausnahmen, nämlich die beiden positiven Kkfz bei Winden aus Richtung Stadt sind wohl so zu erklären, daß schwache Winde aus dieser Richtung die trockene Stadtluft mitbringen, daß dagegen starke Winde dann auch gleich

über die Stadt hinweg Luft, die vom Rhein her feucht ist, mit sich führen. Bei den anderen schon besprochenen Kkfz soll die Windrichtungsabhängigkeit nachher gesondert untersucht werden.

Die schönste Bestätigung der Sauberkeit des Ansatzes und der Berechnungen wie auch der Güte der Meßunterlagen liefern die durchweg sehr hohen Kkfz zwischen p und T, die natürlich nichts anderes bedeuten, als ein Maß dafür, wie weit die Magnus'sche Formel, oder vielmehr ein Stück ihrer Kurve,

durch eine Gerade angenähert werden kann, wenn man außerdem noch

$$p = 4,525 \cdot 10^{\frac{7,4475}{234,67 + T}} \text{ mmHg} \quad (10)$$

den Unterschied zwischen Sättigungsdampfdruck P und jeweils vorhandenem Dampfdruck p als zufällige Streuung betrachtet. Bei der Zusammenfassung der 1152 Nachtwertgruppen heißt der Kkfz + 0,89, während die 3  $\sigma$  -Grenze bei  $\pm 0,09$  liegt und der mittlere relative Fehler  $\pm 0,004$  beträgt. Bei diesen Fehlergrenzen ist allerdings vollständige Unabhängigkeit der Meßwerte vorausgesetzt und diese ist sicher nicht ganz gewährleistet. Immerhin bleibt eine wertvolle quantitative Vergleichbarkeit im Rahmen dieser Arbeit und mit anderen, ähnlichen Arbeiten (69,70,15), in denen auch bisher die sehr komplizierte Frage der Anzahl von wirklich unabhängigen Daten in der Meteorologie (s. Bartels, 2) nicht berücksichtigt ist. Die hier vorgenommene Unterteilung des Kollektivs nach Windrichtungen wirkt sich jedenfalls sehr günstig aus, da ja durch den sehr häufigen Wechsel der Windrichtung eine - allerdings nicht zufällige - Zerstückelung des Materials eintritt.

Nun sollen die Ergebnisse der W i n t e r n a c h t w e r t e zum Vergleich herangezogen werden. Zunächst fällt, wie schon bemerkt, auf, daß alle Kkfz durchweg kleiner sind als im Herbst. In den Vorzeichen sind sie im allgemeinen nicht davon verschieden. Die Ausnahmen von dieser Regel lassen sich diskutieren und teilweise erklären.  $r_{\Delta v}$  ist bei SE + ESE überzufällig positiv. Das muß wohl seine Ursache darin haben, daß im Winter die großen Abkühlungen meist advektiv von Osten nach Bonn kommen und dann in die Stadt weniger schnell eindringen, so daß hohe Windgeschwindigkeiten große  $\Delta$  bedingen können, während bei geringen v in Winternächten, bei Hochdruckwetter, die Unterschiede zwischen Stadt und Land nur auf Strahlungsfaktoren beruhen und gering sind.

Bei  $r_{\Delta N}$ ,  $r_{\Delta p}$ ,  $r_{\Delta T}$  tauchen dieselben Vorzeichen auf wie im Herbst. Es gelten also wohl die gleichen Gründe. Auffällig ist nur, daß der Einfluß von N nicht mehr so stark überwiegt, die Strahlung spielt offenbar eine etwas geringere Rolle, was auch auf unsere advektiven Winter hindeuten könnte.

$r_{Nv}$  bleibt in beiden Richtungen unter der Zufallsgrenze.  $r_{Np}$  aber ist bei NW + WNW überzufällig positiv. Große Bewölkung tritt zusammen mit hoher Feuchtigkeit auf.

Eine Überraschung bildet der hohe, an sich sehr plausible positive Kkfz  $r_{NT}$  bei SE. Die  $r_{vp}$  bleiben unter der Zufallsgrenze.  $r_{pT}$  ist z.T. noch größer als im Herbst und bildet auch hier eine Kontrolle für die Richtigkeit von Methode und Rechnung.

Vor der Betrachtung der Tageswertanalyse soll noch der Vergleich der einzelnen Kkfz bei den v e r s c h i e d e n e n W i n d r i c h t u n g e n durchgeführt werden. Dabei sei darauf hingewiesen, daß nur die Winde aus SSE bis W aus Freilandrichtung und zwar z.T. von der Hauptterrasse herunter kommen. In der Gegenrichtung liegt der Stadtkern und die SE + ESE-Winde überwehen die Südstadt, während die NW + WNW-Winde einen Vorort überschritten haben, wenn sie zur Wetterwarte gelangen.

Bei diesem Vergleich sollen übrigens auch die M e h r f a c h k o r r e l a t i o n s k o e f f i z i e n t e n (oder totalen Korrelationskoeffizienten) angegeben werden, die nach der Formel

$$r_{m,x} = \sqrt{1 - (1-r_{xy}^2)(1-r_{xz,y}^2)(1-r_{xw,yz}^2)(1-r_{xs,yzw}^2)} \quad (11)$$

gebildet sind und ausdrücken, in welchem Maße die Variationen von x durch die erfaßten Variationen von y, z, w, s gesetzmäßig bedingt sind und wie weit sie noch aleatorisch, beziehungsweise auf Variationen nicht angesetzter Faktoren zurückzuführen sind. Anhand dieser Mehrfach-KkFz zeigt sich als erstes, daß die T-Variationen besonders gut, die p-Variationen nahezu ebenso gut erfaßt sind. Auch noch gut ist die Erfassung von  $\Delta$  und dann weniger gut die von N und v. Diese beiden Größen sind, das sagt schon eine kurze Überlegung, von nicht in Ansatz gebrachten Faktoren wie Luftdruck, Vertikalbewegung, Feuchtigkeit und Temperatur in der Höhe usw. so stark abhängig, daß der Zusammenhang ihrer Variationen mit den hier angesetzten jeweils 4 Faktoren noch erstaunlich gut ist. Der Mehrfach-KkFz müßte beim Fehlen eines solchen linearen Zusammenhanges ja Null sein!

Die wahrscheinliche Abweichung  $\sigma_{x,yzws}$  ist bei N erwartungsgemäß am größten, infolgedessen wird  $b_{\Delta N}$  trotz des strammsten Zusammenhanges  $r_{\Delta N}$  relativ klein, kleiner als  $b_{\Delta v}$  und  $b_{\Delta T}$ . Groß ist  $\sigma_T$ , kleiner  $\sigma_v$  und  $\sigma_p$ , am kleinsten  $\sigma_{\Delta}$ . Diese Werte sind zu berücksichtigen, wenn man sich über die ausnahmslos nur scheinbaren Diskrepanzen zwischen den Aussagen der KkFz r und denen der Regressionskoeffizienten b (zwischen  $\Delta$  und den anderen Elementen N, v, p, T) wundert.

Nun soll der Vergleich der Wirkksamkeit der Einzelfaktoren in den 4 Windrichtungsgruppen folgen. Die Mehrfach-KkFz sagen aus, daß sämtliche Zusammenhänge bis auf  $r_{m,v}$  bei NNW bis E besonders stramm sind und daß sie bei der Gegenrichtung SSE bis W meist am losesten ausfallen. Diese Tatsachen sowie die Parallelerscheinungen, daß nämlich nahezu alle mittleren Abweichungen, besonders aber die von v und p bei Winden aus Richtung Stadt (NNW bis E) geringer sind als bei den anderen Winden, legen eine höchst plausible Erklärung bzw. Folgerung nahe. Die Trägheit oder ausgleichend verwischende Wirkung der Stadt wirkt sich auf die Winde und alle Wetterelemente der Luftmassen, die die Stadt überstreichen aus. Die Luft, die vom Freiland herkommt, ist in jeder Beziehung variationsreicher, eine sehr wichtige hier quantitativ bestätigte Feststellung.

Auch in den Einzelkoeffizienten zeigen sich bei Winden zur Stadt hin durchweg die kleinsten Werte, hier sind die Zusammenhänge weniger regelmäßig, die Streuung ist größer. Besonders die Bewölkung ist bei Winden aus Richtung Stadt mit  $\Delta$  stramm korreliert. Bei umgekehrt wehenden Winden ist die Korrelation nur lose. Für die übrigen KkFz gilt ähnliches.

Bei den KkFz zu den Tagesbeobachtungen fällt gleich auf, daß die Windgeschwindigkeit auf  $\Delta$  den weitaus stärksten Einfluß vor N, p und besonders T ausübt. Das ist ganz entscheidend für Überlegungen, die eine Verbesserung des Stadtklimas anstreben. Die allgemein geringen KkFz deuten darauf hin, daß bei Tage der hier gemachte Ansatz durchaus nicht genügt, es müßte vor allem die Strahlung, die sicher eine überragende Rolle spielt, besser als nur durch N berücksichtigt werden. Eine Folgerung daraus ist wieder, daß man auch immer mehr auf künstliche, günstige Beeinflussung der Strahlungsqualität einer Stadt hinarbeiten sollte, etwa indem man helle Dachziegel, die im Winter weniger kalt, im Sommer weniger heiß werden, bevorzugt. Bronzefarbene Dächer und silbrige Dachpappen kommen schon immer mehr in Gebrauch und sollten gefördert werden. Interessant ist, daß  $r_{\Delta T}$  erst im 3. Grade positiv wird, wo man doch erwarten sollte, daß hohe Temperaturen, die ja ein Zeichen für starke Einstrahlung sind, auch große Temperaturdifferenzen hervorrufen müßten. Hier spielt sicher die Wärmeträgheit der Stadt, die wir am Tagesgang in Stadt und Freiland so deutlich erkennen, die entscheidende Rolle und bewirkt, daß während der Stunden des Temperaturmaximums die Stadt noch relativ kühl bleibt,  $\Delta$  also nicht groß oder gar negativ wird. Hier müßte der saubere physikalische Ansatz eine erst

zu ermittelnde, wahrscheinlich gleitende Phasenverschiebung der Temperatur einkalkulieren. Die statistische Analyse aber, die hier sehr wohl noch wesentliches beitragen könnte, müßte zumindest eine Unterteilung des Tages in möglichst homogene Einzelstücke vornehmen.

Sehr gut verständlich ist der relativ hohe positive KkFz  $r_{Nv}$ , besonders auch  $r_{Np}$ . In dem negativen  $r_{Nv}$  bei NW + WNW könnte die Wolkenauflösung beim Abstieg am Vorgebirgsrand von Einfluß sein. Im allgemeinen ist zwar die Bewölkung bei Winden aus dieser Richtung besonders hoch, aber das ist bei unserer klimatischen Großraumsituation selbstverständlich und kann durchaus durch den erwähnten Abstiegeffekt gemildert sein.  $r_{NT}$  ist, wie erwartet, stark negativ, bei hoher Bewölkung ist die Temperatur natürlich bei sonst gleichen Bedingungen niedriger.  $r_{vp}$  bleibt tagsüber meist unter der Zufallsgrenze.  $r_{vT}$  wird z.T. deutlich positiv, und das muß ja so sein, da bei hohen Temperaturen die Konvektion stärker ist.  $r_{pT}$  ist fast ebenso stark positiv wie bei Nacht und sichert die Ergebnisse.

Die Mehrfach-KkFz zeigen sehr eindrucksvoll, daß (t a g s ü b e r) der gewählte Ansatz nur für p und T sehr geeignet ist, daß er aber namentlich für  $\Delta$ , auf das es ja ankam, durch einen besseren ersetzt werden muß. Besonders stark fällt auch die Mehrfachkorrelation von v ab gegen die übrigen, wenn man mit den Nachtwerten vergleicht; tagsüber ist die Gesetzmäßigkeit der Luftbewegung anscheinend sehr kompliziert.

An W i n t e r t a g e n sind die KkFz noch kleiner als an Herbsttagen, hier äußert sich auch die Tatsache, daß unsere Winter stark advektiv gestaltet sind und daß zu dieser Jahreszeit die bedingenden und bedingten Faktoren des Klimas in Stadt und Land einander sehr ähnlich sind.

Die R e g r e s s i o n s g l e i c h u n g e n scheinen zunächst weniger klar als die einzelnen partiellen KkFz dritten Grades, und zwar deshalb, weil sie neben der Korrelation zweier Elemente auch noch deren Schwankung in den  $b_{xy}$  mitverarbeiten. Sie lauten für die 4 Windrichtungsgruppen (und für alle Windrichtungen zusammengefaßt) in Herbstnächten:

Bei NNW bis E	$\Delta = 2,74 - 0,21 N - 0,31 v + 0,44 p - 0,34 T$
ESE + SE	$\Delta = 3,68 - 0,18 N - 0,32 v + 0,17 p - 0,22 T$
SSE bis W	$\Delta = 2,37 - 0,17 N - 0,17 v + 0,20 p - 0,15 T$
WNW + NW	$\Delta = 3,26 - 0,11 N - 0,31 v + 0,07 p - 0,10 T$
Insgesamt nachts	$\Delta = 3,05 - 0,18 N - 0,18 v + 0,17 p - 0,18 T$
" tags	$\Delta = 1,72 - 0,03 N - 0,13 v - 0,10 p + 0,03 T$

Dabei ist wegen des komplizierten Rechenvorganges beim Bilden der KkFz natürlich nicht zu erwarten, daß die Gesamtkoeffizienten die Mittelwerte der Koeffizienten in den einzelnen Richtungen sind.

Jedenfalls gilt für die Gleichungen, daß sie zu dem gegebenen Material die besten aller möglichen linearen Gleichungen mit vier Variablen sind, die es gibt. Jede Veränderung der Koeffizienten würde die Gleichungen verschlechtern, die Wirklichkeit weniger gut annähern.

Bei der Diskussion der Gleichungen lassen sich selbstverständlich formal S c h w e l l e n w e r t e angeben, für die  $\Delta$  verschwindet oder bestimmte Stufenwerte annimmt. Dabei wird für alle Komponenten außer der gesuchten der jeweilige Mittelwert eingesetzt und  $\Delta$  z.B. Null gesetzt. Man erhält so für die Herbstnächte das Ergebnis:

$$\Delta = 0^0 \quad , \quad N_{\Delta=0} = 10,2/10 \quad v_{\Delta=0} = 7,63 \text{ m/sec}$$

$$p_{\Delta=0} = -1,13 \text{ mmHg} \quad T_{\Delta=0} = +15,0^0 \text{C}$$

Die Angabe  $N = 10,2$  ist natürlich unsinnig, sie sagt nur aus, daß die Bewölkung alleine  $\Delta$  gar nicht zum Verschwinden bringen kann, wenn die anderen Elemente nicht mit dazu beitragen. Das gleiche gilt wegen des negativen Vorzeichens von  $p_{\Delta=0}$  auch für den Dampfdruck. Sinnvoll werden erst alle Stufenwerte für die Forderung:

$$\Delta = 1,0^0 \quad N_{\Delta=1} = 4,6/10 \quad v_{\Delta=1} = 2,08 \text{ m/sec}$$

$$p_{\Delta=1} = 4,8 \text{ mmHg} \quad T_{\Delta=1} = 9,36^0 \text{C}$$

Bei sonst mittleren Verhältnissen ist also bei den oben angegebenen Werten der Einzelelemente ein  $\Delta = 0$  bzw.  $\Delta = 1$  am wahrscheinlichsten.



## D E U T U N G E N , B E G R Ü N D U N G E N U N D F O L G E R U N - G E N F Ü R D I E P R A X I S

Die Zusammenfassung des zweiten und dritten Hauptabschnittes soll gleichzeitig den Anfang der Schlußbetrachtung bilden. Diese aber hat sich zum Ziel gesetzt, mit dem vorgelegten und vorausgesetzten Material ohne Rücksicht auf die bisherige meßtechnische Reihenfolge und ohne Wiederholung der Einzelbegründungen möglichst geschlossen die Ursachen und Wirkungen aufzuzeigen, die beim Klima der Stadt im allgemeinen und dem von Bonn in besonderen die Hauptrolle spielen. Die hier untersuchten, gefundenen und berichteten Tatsachen werden so in einen größeren Rahmen eingearbeitet und gleichzeitig erklärt, sowie unter sich und mit anderen verknüpft. Dabei wird außerdem eine Unterscheidung der einzelnen Bezirke des Bonner Stadtraumes nach Merkmalen und Methoden vorgeschlagen, die allgemein als Handhabe einer wohnklimatischen Güteeinteilung von Städten und Stadtteilen Verwendung finden könnte.

### I B e g r ü n d e n d e Z u s a m m e n f a s s u n g d e r E r g e b n i s s e u n t e r v i e r H a u p t u r s a c h e n k o m p l e x e n

Aus der Korrelationsrechnung ergab sich als gesicherte Tatsache, daß neben dem großen Einfluß der Bewölkung vor allem die Windgeschwindigkeit eine sehr enge Verknüpfung mit dem Stadtklimaphänomen zeigt. Die entsprechende und höchst plausible qualitative Behauptung war schon lange aufgestellt. Weiter zeigte sich auch die Windrichtung von großer Bedeutung für alle betrachteten Effekte und Zusammenhänge. Nur der Einfluß des Dampfdrucks und damit e i n e Wirkmöglichkeit des Rheines trat im allgemeinen erstaunlich weit zurück. Der Strom wurde zwar an anderer Stelle, bei Extremlagen in Zusammenhang mit der Schwüle, von großer Bedeutung. Bei Tage überwog der Windeinfluß bei weitem alle anderen Faktoren.

Hinzu kommt nun noch die entscheidende Überlegung, daß man eine ganze Reihe von bisher gesondert betrachteten klimatischen Eigenschaften der Stadt aus der reduzierten Windgeschwindigkeit heraus erklären kann. Da dies Problem meines Wissens von dieser Seite noch nicht angefaßt worden ist, möchte ich einen Versuch dazu kurz unternehmen. Es nimmt nicht wunder, daß man gerade bei der Betrachtung des Stadtklimas von B o n n auf diesen Gedanken kommt, da hier merkwürdig große Stadteffekte auftreten, obwohl die bisher immer herausgestrichenen Gründe Luftverschmutzung und kompakte, große Ansammlungen von Steinmassen hier offensichtlich kaum gegeben sind. Wohl aber finden sich hier sehr stark reduzierte Windgeschwindigkeiten und damit liegt der Schluß nahe.

Die Windgeschwindigkeit nimmt mit wachsender Höhe nach einem Exponentialgesetz zu (4). Doch zeigen Untersuchungen in Straßen und Wäldern, daß der Beginn der exponentiellen Zunahme, also die effektive Oberfläche, in solchen Fällen etwa in Dächer- oder Kronenhöhe liegt. Darunter ist die Zunahme der Luftbewegung kaum merkbar und die Geschwindigkeit selbst um Faktoren 2 bis 10 kleiner als in der doppelten Dachhöhe. Es klebt also eine - zwar verwirbelte - L u f t h a u t a n d e r r a u h e n S t a d t o b e r f l ä c h e fest, während der Großraumwind die Stadt in einiger Höhe überstreicht. Aus dieser Tatsache ergeben sich sekundär eine ganze Reihe von Tatsachen. Die stagnierende Luft wird von Öfen, Maschinen, Tieren und Menschen mit Verbrennungsrückständen und Gasen angereichert. Der einmal erzeugte Staub wird immer wieder aufgewirbelt und abgelagert.

Die von den Steinwänden und schwarzen Dächern und Straßen absorbierte sowie die bei den genannten Verbrennungen erzeugte Wärme wird nicht durch kühle Luftquanten aus der Höhe abgeführt. Die einmal gebildeten Nebel werden nur langsam durch trockene Luft aus der Höhe ersetzt, es kommt bevorzugt zu feinem Nieselregen und die saubere ozonreiche Luft der freien Atmosphäre gelangt kaum in die Straßenschluchten der Stadt (1).

Auf die Steinmassen und die sie umgebende "Dunstglocke" stagnierender Luft gleitet der Luftstrom auf, bildet dabei mancherorts etwas mehr Wolken über dem Stadtgebiet (39) und regnet auch in Bonn über der Stadt etwas mehr aus als über dem Freiland.

Ein zweiter Ursachenkomplex wurde schon mehrfach erwähnt. Die vegetationsarme Steinwüste der Stadt hat eine größere strahlungsabsorbierende Oberfläche, die in großen Teilen auch noch schwarz, also besonders absorptionsfähig, und außerdem gut wärmeleitend und damit für Wärme hochkapazitiv ist. Dazu kommt noch die Tatsache, daß über dem Freiland nahezu eine Halbkugel absorbierenden Nachhimmels sich wölbt, während die meisten Oberflächenteile der Stadt nur an geringe Ausschnitte vom freien Himmel ihre Wärmestrahlung abgeben können (Horizontabschirmung). Die durch die Ventilationsreduzierung erst ermöglichte Dunsthaube bewirkt dann den "Treibhauseffekt" der kurz formuliert etwa lautet: Es wird zwar weniger Strahlung hereingelassen, aber noch weniger von der in Wärme übersetzten Energie wieder hinaus. Und da in unseren Breiten die Ausstrahlung während des größten Teiles der Zeit überwiegt, ist der Ausstrahlungsschutz wirksamer als der Einstrahlungsschutz. Die höhere Stadttemperatur und vieles andere, wie die Wärmeträgheit mit allen ihren berichteten Einzelheiten dürfte damit hinreichend geklärt sein.

Neben Ventilationsverminderung und Strahlungsabsorptionsveränderung und den Folgeerscheinungen der beiden Tatsachen sei nun noch ein wichtiger selbständiger Ursachenkomplex erwähnt. Die Stadt ist kanalisiert und vegetationsarm. Die Niederschläge werden schätzungsweise zu 2/3 sofort abgeführt (39). Die Stadt ist daher relativ und absolut trockener als das Freiland.

Wenn man zu diesen drei ursächlich wirksamen Unterschieden zwischen Stadt und Land noch die nicht stadtgebundene Erscheinung des nächtlichen Ansammlens von Kaltluft an orographisch oder durch Bauten gegebenen Stellen hinzunimmt (s.a. 24), so lassen sich mit diesen vier Ursachenkomplexen die in der Arbeit berichteten Tatsachen samt und sonders verstehen. Mit ihrer Hilfe kann man dann auch Abschätzungen darüber machen, wie die Verhältnisse in hinreichend ähnlichen Fällen aussehen dürften.

## II V o r s c h l a g e i n e r k l i m a t i s c h e n G ü t e e i n t e i l u n g d e s B o n n e r S t a d t g e b i e t e s

Als Zusammenfassung und Anwendung der Ergebnisse und Erkenntnisse soll der Vorschlag zu einer klimatischen Güteinteilung, die sich in Tabelle VI findet, kurz begründet werden<sup>+</sup>). Es wurden 5 plausible Gütestufen gewählt und die klimatischen Charakteristika in 4 Stufen, die zueinander relativ sind, angegeben. Absolutangaben sind in dieser knappen Form kaum unterzubringen, sie sind aus den Abbildungen und Karten sowie den graphischen Darstellungen der vorliegenden Arbeit jederzeit zu entnehmen.

Es sei vor allem auch darauf hingewiesen, daß der Begriff "(Wohn-)klimatische Güte" durchaus noch einer eingehenden Untersuchung und Fixierung am besten in Arbeitsgemeinschaft von Medizinern und Klimatologen bedarf. Die hier angewandte Einteilung braucht diesen Gütebegriff nicht notwendig, sie wird im Prinzip von jedem, der Bonn kennt, anerkannt werden müssen. Sinn

+)  
Eine solche Güteinteilung wurde vom Stadtplanungsamt Bonn gewünscht.

dieser Arbeit konnte nur sein, Gebiete gleichen klimatischen Verhaltens zu erkennen und Einzelgebiete in die relativ willkürliche (Güte-)Einteilung einzustufen.

Dem Stadtplaner kommt es darauf an, klimatische Gesichtspunkte z.B. bei der Neuaufstellung des Bauzonenplanes zu berücksichtigen und eine kartographische Darstellung darüber besonders auch als Argument für Planungsvorhaben und Bauverbote zu erhalten. Ich bin mir der Problematik insbesondere bei der Linienführung, die in dieser Karte liegt (Abb. 35, die Planquadrate werden mit Pq abgekürzt), durchaus bewußt, glaube aber, daß man der Entscheidung, die eine solche Grenzziehung verlangt, einfach nicht ausweichen darf und daß es besser ist, wenn nach langer Untersuchung und mit gehöriger Sorgfalt die notwendigen Linien, die ja nichts anderes als Andeutungen von Übergangszonen sein wollen, gezogen werden, als daß die Arbeit ohne die Erledigung dieser gewiß nicht angenehmen Aufgabe abgeschlossen würde. Der Praktiker wäre dann doch gezwungen, die Linien - und sei's auch nur im Geiste - so zu legen, wie er es für richtig und vielleicht im Moment für nützlich hält.

I. Die klimatisch günstigsten Gebiete sind zweifellos die Höhen der Hauptterrassenfläche im Westen über Bonn und die anschliessenden oberen  $2/3$  des Hanges. Hier kann die Windgeschwindigkeit sogar leicht zu hoch werden, wenn nicht sorgfältig auf die Erhaltung einer hinreichenden Vegetation geachtet wird. Auch in drückenden Sommernächten fließt die am Hang gebildete Kaltluft ab und saugt in diesem Gebiet frische Luft aus der Höhe oder aus dem Kottenforst, der sich westlich anschließt, nach. Die Temperaturamplitude (Maximum - Minimum) ist etwas kleiner als an der Wetterwarte. Relative Feuchtigkeit und Dampfdruck sind auf den Höhen bei den Meßfahrten immer niedriger als in der Stadt und im ganzen Tal angetroffen worden. Demnach und nach der Schwülekarte (Abb. 21) ist die Schwülegefährdung hier am geringsten. Außerdem sind die hier gemessenen Staubkonzentrationen unterdurchschnittlich, die Ozonkonzentrationen bei weitem am höchsten. Bodennebel dürften seltener sein. Durch Tonschichten im Untergrund ist der Boden zwar, wie berichtet wird, leicht zu feucht, aber das scheint sich klimatisch kaum auszuwirken.

II. Auch noch recht gut ist das Freiland rings um die Stadt daran. Die Wetterwarte fällt in diese Stufe. Hier ist die Ventilation ausreichend, die Tagesschwankung der Temperatur ist größer als in allen anderen Gebieten. Die Schwülegefährdung ist in Rheinnähe sehr groß (größer als in III, IV und V) in Rheinferne immer noch groß. Die Nebelhäufigkeit ist hier in Rheinnähe am größten, während die Ozonbeträge geringer als in I aber noch groß gegenüber III, IV, V sind. Als Grenzzone des deutlichen Rheineinflusses wurde oft die Bahnlinie Bonn - Godesberg (Pq 55, 66 nach SE) und die Kölner Landstraße (Pq 13 vom Norden der Stadt nach NW) beobachtet.

III. Das Stadtrandgebiet ist schon deutlich benachteiligt. Es zerfällt in mehrere Teile, die meist durch Zonen besserer Ventilation getrennt sind. Die Tagesschwankung der Temperatur ist am Rande der Stadt schon deutlich geringer als im Freiland, da die Dunstglocke das Maximum schon etwas abschwächt und vor allem das Minimum weniger tief ausfallen läßt. Die nächtliche Überwärmung ist aber noch als gering zu bezeichnen. Die Schwülegefährdung ist hier recht unterschiedlich, z.T. überwiegt der Einfluß der höheren Feuchtigkeit, besonders in Rheinnähe gibt es dadurch große Schwülegefährdung; z.T. herrscht aber auch der Einfluß der trockenen Stadt vor, die zwar noch nicht ihre hohen Temperaturen bis hierher erstreckt, so daß eine geringe Schwülegefährdung resultiert. Die Staubkonzentration wächst schon langsam und die Konzentration des Ozons sinkt stark gegenüber den Freilandwerten. In diese Stufe fällt

auch die Melbtalsole (Pq 63,53) und die Mündung des Melbtales vor Poppelsdorf (Pq 53). Hier bewirkt die absinkende Kaltluft, die sich wie ein See vor den Häusern staut, eine starke nächtliche Abkühlung. Gleichzeitig wird hier eine große Feuchtigkeit und häufige Nebelbildung beobachtet. Die nächtliche Schwülegefährdung ist merkwürdig unterschiedlich. Im oberen Teil des Tales ist sie groß wegen der großen Feuchtigkeit, sinkt dann mit fallender Temperatur im Mittelteil stark ab und ist in Poppelsdorf wegen des Zusammenwirkens von hoher Feuchtigkeit der Melbtalluft mit hoher Ortstemperatur wieder sehr groß (Abb. 21).

Auch große Innengebiete von Kessenich und Dottendorf gehören hierher, ferner die Ortsbereiche von Poppelsdorf, Eendenich und Graurheindorf bis auf ihre Kernstücke, die schon wieder deutlich ungünstiger sind.

IV. Das äußere Stadtkerngebiet umschließt die immer wieder hervortretenden drei inneren eigentlichen klimatischen Kerne und bildet außerdem die Exklaven der Ortskerne von Poppelsdorf, Eendenich und Graurheindorf. Hier ist die Ventilation nur noch gering. Die Tagesamplitude der Temperatur ist vor allem in R h e i n n ä h e sehr gering im Vergleich zu allen anderen Gebieten, da das Tagesmaximum unter dem Einfluß des Stromes geringer bleibt als in der Stadtmitte und die Dunsthaube der Stadt ein Minimum bewirkt, das fast ebenso hoch ist wie dasjenige in den eigentlichen Stadtkernen. Die Staubkonzentration ist hier groß und der Ozongehalt gering. Übrigens macht sich deutlich der Einfluß der Poppelsdorfer Allee (Pq 44,34) in einer Einbuchtung bemerkbar und ebenso der Hofgarten (Pq 34 im W), wie ja schon das Institutsviertel nördlich von Poppelsdorf (Pq 43) zusammen mit dem Schloßpark eine deutliche Einbuchtung des Gebietes III und eine Abtrennung des Ortsgebietes von Poppelsdorf bewirkte. Auch die Ventilationsbahn der Reuterstraße (im Süden von Pq 45 - 44) wirkt sich in einer Abtrennung des Kessenicher Gebietes vom Bonner Stadtbereich aus. Die Trennung der Kerne von Kessenich und Dottendorf ist wohl erstens auf den Einfluß des Taleinschnittes unmittelbar nördlich der Kliniken auf dem Venusberg (Pq64) zurückzuführen und zweitens auf die Tatsache, daß Kessenich und Dottendorf städtebaulich noch nicht ganz verwachsen sind.

V. Die ungünstigsten Verhältnisse zeigen alle Unterlagen für drei Kerngebiete: Die N o r d - und S ü d - A l t w o h n s t a d t, wie ich sie bezeichnen möchte und das G e s c h ä f t s v i e r t e l. Hier ist die Ventilation am geringsten, Staub und Abgase werden immer wieder aufgewirbelt und nur schwer abgeführt. Die nächtliche Überwärmung ist hier am größten, das Tagesmaximum dazu noch etwas gekappt, so daß eine geringe Tagesamplitude entsteht. Der Temperaturanstieg am Morgen ist wesentlich verzögert und bewirkt, daß namentlich enge Gassen oft bis in den Nachmittag kühler sind als das Freiland. Die relative Feuchtigkeit ist bei Tag und Nacht geringer als draußen. Der Dampfdruck aber ist abends und nachts deutlich höher, tags etwas niedriger. Zusammen mit den höheren Stadttemperaturen bewirkt diese Tatsache, daß die Stadt fast ebenso viele Schwületermine und auch nicht viel weniger Schwületa-ge hat, als die Rheinniederung draussen. Die Staubkonzentration ist hier am größten, der Ozonbetrag am geringsten. Die Nebelgefährdung fällt wegen der Nähe des Stromes und der großen Zahl von Kondensationskernen, die die Stadtluft enthält, trotz der höheren Temperatur noch groß aus.

### III. F o l g e r u n g e n f ü r d i e S t ä d t e p l a n u n g i n s b e s o n d e r e i n B o n n

Für die Städteplanung im allgemeinen und die in Bonn im besonderen gilt es vor allem auf Freihaltung von orographisch richtig gelegenen Ven-

tilationsbahnen und die Erhaltung von Parkgebieten zu achten. Die senkrecht zu den Hangisohypsen orientierte Streichrichtung der neuen Siedlungsblocks am Fuße des Venusbergs (im NE von Pq 54) erwies sich als sehr nützlich, da die vom Hang abfließende saubere abgekühlte Luft nicht vor einer Häuserwand wie in Poppelsdorf gestaut wird, sondern weit in das Neusiedlungsgebiet an der Reuterstraße eindringen kann. In Bonn ist vor allem darauf zu achten, daß die offenen ehemaligen Stadtbefestigungsgebiete um Theaterstraße, Wilhelmstraße und Bahnhof erhalten und womöglich noch verbunden werden, damit gerade die schwachen Ostwinde auch etwas zur Durchlüftung der Stadt beitragen können. Weiter muß der Reuterstraßenzug im Süden der Stadt breit und offen gehalten werden und immer bessere Abzweigungen in das Stadtinnere erhalten.

Auch an eine Auflockerung des Kernes von Poppelsdorf, die sich für ganz Bonn günstig auswirken würde, müßte weitschauend gedacht werden. Mir scheint sehr wahrscheinlich, daß der Kurfürst sein Schloß an diese Stelle setzte, weil man wohl schon früh beobachtet hatte, daß die an sich thermisch und allgemein phänologisch so begünstigte Bonner Bucht hier durch die allnächtlich einströmende abgekühlte Luft des Melbtales ihre unangenehmen Schwüle-Begleiterscheinungen größtenteils verlor. Heute, wo Poppelsdorf so ausgedehnt und kompakt das Tal absperrt, ist davon leider nur noch wenig, aber immerhin doch noch etwas bis zum Bahnhof von Bonn hin zu merken, wie die ausführliche Schilderung des Melbtalwindes zeigte.

Wenn schon im allgemeinen auf die der Hauptwindrichtung gemäß günstigste Anordnung der Industriebezirke bisher der größte Wert gelegt wurde (39), so ist hier für Bonn ganz besondere Aufmerksamkeit am Platze. Die orographisch bedingte schlechte Ventilierung Bonns - die Hauptwinde gehen darüber hinweg oder daran vorbei - erfordert dringend die Einhaltung einer **I n d u s t r i e g r e n z e** im Norden der Stadt, wie sie in Abbildung 35 eingezeichnet ist. Es sollten Staub und Abgase so wenig wie irgend möglich überhaupt erst ins Stadtgebiet gelangen, da sie doch nur so langsam wieder abgeführt werden. Die baldige Elektrifizierung der Eisenbahn wäre auch unter diesem Gesichtspunkt äußerst wünschenswert.

Die letzten Abschnitte zeigten wohl, daß es bei der Stadtklimafor- schung im allgemeinen und in speziellen Fällen durchaus nicht mit theoretischen Abschätzungen alleine getan ist, daß vielmehr, nach dem heutigen Stand der Dinge, nur ein gewisses Maß an **l a n g w i e r i - g e n e x p e r i m e n t e l l e n U n t e r s u c h u n g e n** den erforderlichen Grad der Sicherheit geben kann. Erst wenn durch genügend viele Einzelbearbeitungen der komplizierte Funktionalzusammenhang der Faktoren des Stadtklimas quantitativ erfaßt ist, wird eine "**K l i m a - t e c h n i k d e s S t ä d t e b a u s**" planend und korrigierend ein Höchstmaß an klimatischer Güte für eine Stadt aus dem gegebenen Rahmen des Makroklimas herausholen können. Dies wäre dann ein Beitrag zur Erhaltung und Förderung von Volksgesundheit und Volksvermögen, den man von der Klimatologie erwarten darf und muß.

T a b e l l e VI

Vorschlag einer klimatischen Gliederung

des Stadtgebietes von B o n n

(s.Karte, Abb. 35)

Relative Wohnklima (Güte-)Stufe	G e b i e t	Klimatische Charakteristika in 4 zueinander relativen Stufen (sehr gut(groß), gut, gering, geringst) in Bezug auf Wind(Ventilation), Temperatur, Feuchtigkeit, Schwüle, Ozon (bzw.Aran), Staub und Nebel.
I	<u>Hauptterrassenhöhe</u> u. die oberen zwei Drittel des Hanges: 1. Venusberg 2. Kreuzberg	Sehr gute Ventilation (Großbraunwind u. Kaltluftabsinken), geringe Tagesamplitude der Temperatur, geringer Dampfdruck u. rel. Feuchtigk., größte Ozonkonzentr., geringste Schwülegefährdung, geringste Staubkonzentr., geringste Nebelgefährdung. Sturmgefährdung möglich (Windschutzpflanzungen!) Vielleicht zeitweilig zu feucht infolge mangelnden Abflusses wegen undurchlässiger Bodenschichten
II	<u>Freiland</u> rings um Bonn  1. in Rheinnähe 2. nicht in Rheinnähe	Gute Ventilation, sehr große Tagesamplitude der Temp., geringste nächtl. Überwärmung, große Ozonkonzentrationen geringe Staubkonzentrationen,  sehr große Feucht., Schwüle- u. Nebelgef. große " " "
III	<u>Stadtrandgebiet</u>  1. in Rheinnähe 2. nicht in Rheinnähe 3. Kessenich 4. Dottendorf 5. Melbtalsole und unteres Drittel des Hanges 6. Poppelsdorf (bis auf den Kern IV) 7. Endenich (bis auf den Kern) 8. Grau-Rheindorf (bis auf den Kern)	Gute Ventilation, große Tagesamplitude der Temperatur, geringe nächtliche Überwärmung, geringe Ozonkonzentrationen, geringe Staubkonzentrationen,  sehr große Feucht., Schwüle- u. Nebelgef. z.T. große, z.T. geringe " " " sonst wie 1. wie 1. wie 2., zusätzlich nächtliche Abkühlg. vom Hang her, große Schwülegefährdung Sehr gute Ventilation, nächtlicher Kaltluftsee, sehr große Feuchtigkeit, sehr große Schwülegefährdung, sonst wie 2. wie 2. große Schwülegefährdung wie 2. geringe Schwülegefährdung wie 1.

T a b e l l e VI

(Fortsetzung)

<p>IV <u>Äußeres Stadtkerngebiet</u> (um V 1.2.3.)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. in Rheinnähe</li> <li>2. westlich der Linie Kaiserstraße (Bahn), Münsterplatz, Wilhelmstr., Rheindorferstr.</li> <li>3. Westwohnstadt zwischen Poppelsdorfer Allee, Beethovenstraße, Colmantstr., Quantiusstr.</li> <li>4. Kern von Poppelsdorf um Sebastianstraße, Kekulestraße</li> <li>5. Kern von Endenich</li> <li>6. Kern von Grau- Rheindorf</li> </ol>	<p>Geringe Ventilation, geringste Tagesamplitude der Temperatur, geringe nächtliche Überwärmung, große Feuchtigkeit, große Schwülegefährdung, sehr geringe Ozonkonzentrationen, große Staubkonzentration, große Nebelgefährdung</p> <p>große Tagesamplitude der Temperatur, " nächtliche Überwärmung, sonst wie 1.</p> <p>wie 2.</p> <p>wie 2.</p> <p>wie 2.</p> <p>wie 1.</p>
<p>V <u>Stadtkerngebiet</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Geschäftsviertel zwischen Münsterplatz, Windeckplatz, Friedrichstraße, Belderberg, Universität</li> <li>2. Nord-Altwohnstadt zwischen Marxstraße, Adolfstraße, Kölnstraße, Wilhelmstraße</li> <li>3. Süd-Altwohnstadt zwischen Bonner Talweg, Kurfürstenstr., Eisenbahnlinie nach Godesberg, Weberstr., Moltkestraße</li> </ol>	<p>Geringste Ventilation, geringe Tagesamplitude der Temperatur, größte nächtliche Überwärmung, große Nebelgefährdung, geringste Ozonkonzentrationen, sehr große Schwülegefährdung, sehr große Staubkonzentration</p> <p>wie 1.</p> <p>Große Staubkonzentrationen sonst wie 1.</p>

## Summary

The present paper gives mainly experimental results to the following 4 problems:

1. Are there any peculiarities in the (macro-)climate of Bonn, compared with other towns, like Cologne, Aachen, Essen, Hamburg ?
2. How is the spatial structure of the (meso-)climate of Bonn ?
3. What is the origin of the phenomenon of urban climate? What is an approximate equation to the physical law which shows the temperature difference between town and open country as a function of the 5 most essential climatic factors ?
4. What practical use for urban planning, especially in Bonn, can be made of the results of the 3 above problems? What would a climatic classification of the wider extended Bonn area look like?

The results of 14 diagrams show that there are no peculiarities in the common climatic elements except for a considerably lower mean wind velocity, and a higher frequency of Calms. Suitable, composed elements show a remarkably small refrigeration factor and a high frequency of sultriness in Bonn.

The way problems Nr. 2 and 3 are investigated represents a typical meso-climatological method. The 34 surveys, necessarily of a test nature, are statistically reduced to the continuous measurements at the basis station near the edge of the town by means of regression equations.

8 maps show the spatial distribution of temperature, humidity and sultriness gained by 34 observation expeditions. Apart from the especially inquired "Melbtal-Wind", the existence of a well marked wind from the open country towards the town at night (Flur-Wind) is proved by 10 wind observation expeditions. 8 further expeditions show the very small concentration of Ozon (Ozone) and the high concentration of dust of the air in the town compared with the open country. Strictly parallel measurements of precipitation at 8 points show very clearly that the town gets more precipitation than the open country.

The results of self-recording instruments (temperature, humidity) which operated for a certain time at 9 selected points, e.g. the centre of the town, the banks of the Rhine, in old and new dwelling quarters, are discussed.

To inquire into problem No. 3 the temperature difference  $\Delta$  between the town and the open country is shown as a function of the amount of cloud  $N$ , wind velocity  $v$ , vapour pressure  $p$ , and temperature  $T$ . By dividing the statistical collective of 2896 Quintuples of these factors into 4 groups of wind directions by day and night it is possible to demonstrate the different effects of each single factor with reference to the different wind directions. The 6 regression equations and the 500 simple, partial and total correlation coefficients are discussed and, as a simple application, some constellations of critical values are given. It appears that during the night mainly  $N, v$ , and  $T$ , and by day predominantly  $v$  are playing a prominent part in the specific climatic life of the town. These facts are confirmed by the discussion of 40 wind-roses of the 5 main elements  $\Delta, N, v, p$ , and  $T$ .

Interpreting the facts so found, four main causes are revealed reduced ventilation, different absorbing qualities for radiation, dryness of the town, and accumulation of cold air at night in places favoured by orography or by unsuitable urban planning. There were districts of the town which stood out homogeneous and characteristic enough to be classified into 5 kinds of dwelling climate. As a result of the whole inquiry advice for urban planning, especially in Bonn, could be suggested.

## Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit bringt in der Hauptsache experimentelle Ergebnisse zu den folgenden vier Fragestellungen: .

1. Zeigt das allgemeine (Makro-)Klima von Bonn wesentliche Besonderheiten im Vergleich zu anderen Stationen (Köln, Aachen, Essen, Hamburg)?
2. Wie sieht die innere, räumliche Struktur des (Meso-)Klimas im weiteren Stadtgebiet von Bonn aus?
3. Wodurch kommt das Stadtklimaphänomen zustande? Wie lautet eine Näherungsgleichung zu dem physikalischen Gesetz, das die Temperaturdifferenz Stadt-Land als Funktion der wesentlichsten fünf Faktoren zeigt?
4. Welche Folgerungen für die Praxis der Städteplanung insbesondere in Bonn lassen sich aus den Ergebnissen der drei vorausgehenden Fragen ableiten? Wie sieht eine klimatische Gliederung des Bonner Raumes aus?

Anhand von 14 graphischen Darstellungen ergibt sich zur ersten Frage, daß Bonn in den üblichen einfachen Klimatelementen keine Besonderheiten aufweist, bis auf eine sehr starke Reduzierung der Windgeschwindigkeit und eine überaus große Häufigkeit von Windstillen. Geeignete zusammengesetzte Meßgrößen ergeben eine außerordentlich geringe Abkühlungsgröße und eine große Schwülehäufigkeit in Bonn.

Mit den Fragen 2. und 3. wird eine typisch mesoklimatologische Methode vorgeschlagen und angewandt; es werden nämlich die notwendig stichprobenhaften 34 Meßfahrten über Regressionsgleichungen an die kontinuierlichen Meßreihen der Basisstation am Stadtrand statistisch angeschlossen. 8 Karten bringen die räumliche Temperatur-, Feuchtigkeits- und Schwüleverteilung, wie sie durch insgesamt 10 Tages- und 24 Nachtmeßfahrten ermittelt wurden. Außer dem genauer untersuchten "Melbtalwind" wird ein deutlicher Flurwind nach Unterlagen von 10 Windmeßfahrten nachgewiesen. 8 weitere Meßfahrten zeigen die sehr geringe Ozon- (Ozon-)Konzentration der Stadtluft und ihren hohen Staubgehalt im Vergleich zur Freilandluft. Aus streng parallelen Regenmessungen an 8 Punkten folgt eine deutliche Niederschlagsvergrößerung im Stadtbereich. Die Ergebnisse von längeren Registrierungen an 9 ausgewählten Punkten der Stadt werden in 11 Abbildungen verglichen.

Zur Erledigung der 3. Fragestellung wird die Temperaturdifferenz Stadt - Land  $\Delta$  dargestellt als Funktion von Bewölkung  $N$ , Windgeschwindigkeit  $v$ , Dampfdruck  $p$  und Temperatur  $T$ . Durch Unterteilung des statistischen Kollektivs von 2896 Quintupeln dieser Faktoren nach vier Windrichtungsgruppen bei Tag und Nacht läßt sich die unterschiedliche Wirksamkeit der Einzelfaktoren bei den verschiedenen Windrichtungen dartun. Die 6 Regressionsgleichungen und die ihr zugehörigen ermittelten 500 einfachen, partiellen und Mehrfach-Korrelationskoeffizienten werden diskutiert und als einfache Anwendungen einige Schwellenwertkonstellationen angegeben. Es zeigt sich, daß nachts vor allem  $N$ ,  $v$  und  $T$ , tags überragend  $v$  an der Gestaltung des klimatischen Eigenlebens der Stadt beteiligt ist. Diese Ergebnisse werden erhärtet durch die Untersuchung von 40 Windrosen der fünf Hauptfaktoren ( $\Delta$ ,  $N, v, p, T$ ).

Bei der Deutung der ermittelten Tatsachen stellten sich vier Hauptursachenkomplexe heraus: Ventilationsreduzierung, unterschiedliche Strahlungsabsorptionsfähigkeit sowie Trockenheit der Stadt und nächtliche Kaltluftansammlung an orographisch oder städtebaulich entsprechend gearteten Stellen. Die bei den Untersuchungen immer wieder beobachteten Teilräume der weiteren Stadt ließen sich, soweit sie mesoklimatisch in sich hinreichend homogen und charakterisierbar waren, in die relativ willkürliche Anzahl von fünf wohnklimatischen (Güte-)Stufen einordnen. Als Folgerungen aus dem gesamten Material konnten Ratschläge für die Städteplanung insbesondere in Bonn abgeleitet werden.

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

Abkürzungen:	AdH	Annalen der Hydrographie
	BBlt	Bioklimatische Beiblätter zur Meteorologischen Zeitschrift
	BdtW	Berichte des deutschen Wetterdienstes in der US-Zone
	GB	Gerlands Beiträge zur Geophysik
	MedMH	Medizin-Meteorologische Hefte
	MZ	Meteorologische Zeitschrift
	PM	Petermanns Mitteilungen
	ZfM	Zeitschrift für Meteorologie

- (1) Albrecht, F., Unters.d.vertikalen Luftzirkulation in der Großstadt. MZ 1931, 48, S.465.
- (2) Bartels, J., Gesetz und Zufall in der Geophysik. Die Naturwiss. 31.Jg. Hft. 37/38, 1943, S. 421-435.
- (3) Baur, F., Rechnerische u. math. statist. Hilfsmittel des Meteorologen. In Linke, Meteorologisches Taschenbuch, Leipzig 1939.
- (4) Berg, H., Allgemeine Meteorologie. Bonn, 1948.
- (5) " Einführung in die Bioklimatologie. Bonn, 1947.
- (6) " Der Einfluß der Großstadt auf Bewölkung, Niederschlag und Wind. BB 10, 1943, S. 65 - 70.
- (7) " und Metzler, H.K., Temperaturmeßfahrten durch das Gebiet der Stadt Hannover. BB 1, 1934, S.111 - 114.
- (8) Bezold, W. v. Einführungsaufsatz Zeitschrift für Luftschiffahrt. S.1.
- (9) Bider, M., Thams, J.C., Die Schwüle meteorologisch betrachtet. Verhandlgn.der Schweizer Naturforschenden Ges. Davos 1950, S.151/152.
- (10) Bider, M. Vom Basler Klima. Wirtsch.u.Verwaltg.4.Hft.1948, S.159
- (11) Böttcher, W., Die Niederschläge im Rheinischen Schiefergebirge. Dissertation Bonn 1941.
- (12) Breuer, E., Das Klima des Niederrheins und seiner Umgebung. Dt.Met.Jahrb. 1916 - 29, Aachen 1930.
- (13) Brinkmann, J., Neue Methode zur Messung kurzwell.Sonnenstrahlung. Diss. Bonn, Strahlentherapie 53, S.424 - 454, 1935.
- (14) Castens, G., Über Tropenklimatologie, Tropenhygiene und den Lettow-Feldzug. AdH Bd. I S.177
- (15) Conrad, A., und Pollak, Methods in Climatology. Cambridge, USA 1950.
- (16) Curry, M., Klimaunterschiede und wetterbedingte Reaktionstypen. MedMH Nr. 5, Hamburg 1951.
- (17) Dalmady, Z.v. Die klim. Berechnung d. Schwüle. Zschr.f.Balnologie, V, S. 409-416.
- (18) Defant, A., Local Circulation. In Comp.of.Meteor.Boston USA 1951,

- (19) Ehmert, A., Über das troposph. Ozon. BdtW 11: Ozon. Kissingen 1949, S. 26.
- (20) Fisher, R.A., Statistical Methods for Research Workers. London 1938
- (21) Flach, E., Über ortsfeste und bewegliche Messungen mit dem Scholz'schen Kernzähler u.d. Zeiss'schen Freiluftkonimeter ZfM 6, IV 1952, S. 97-112.
- (22) Flach und Würfel, Zur Kenntnis d. lufthyg. Eigenschaften Berlins und seiner Randgebiete. Zschr. f. angew. Met.
- (23) Gebelein und Heite, Statistische Urteilsbildung. Berlin 1951.
- (24) Geiger, R., Das Klima der bodennahen Luftschicht. Die Wissensch. Bd. 78 Brschw. 1942.
- (25) Götz, F.W.P. Ozonbetrag und Wetter. BdtW Nr. 11, 1949.
- (26) Hann - Knoch, Handbuch d. Klimatologie, 4. Aufl. Stuttgt. 1932, (S. 56).
- (27) Hann - Süring, Lehrbuch der Meteorologie. 5. Auflg.
- (28) Hann, J., Die Untersch. d. met. Elemente in der Stadt Paris und außerhalb derselben. MZ 12, 1895, S. 37/38.
- (29) Heigel, K., Meßmethoden des bodennahen Ozons und ihre Verwendungen in der Praxis. Mitt. d. dt. Wetterd. i. d. US-Zone 14, Kissingen 1952.
- (30) Herath, Gewitterkarte von Deutschland. In: Israel, H., Das Gewitter. Ergebnisse u. Probleme d. mod. Gewitterforschg.
- (31) Hölper, O., Überblick über die Ozonarbeiten beim Arbeitskreis Meteorologie. BdtW Nr. 11, 1949.
- (32) Holm, K.F. Klimat. Unters. i. Stadtgebiet Flensburg. Diss. Kiel 1949.
- (33) Hosemann, H., Die Grundlagen der statistischen Methoden für Medeziner und Biologen. Stuttgart 1949.
- (34) Kämpfert, W., Stadtklimaänderungen an der meteorol. Station Trier. Wiss. Arb. d. met. Dienstes i. frz. Bes.-geb. 2, S. 32-36, 1950.
- (35) Kessler, O., Zur Phänologie des Rheinlandes, Wiss. Abh. d. Reichsamt. f. Wetterd. Bd. IV/3, 1938.
- (36) Knoch in Hann-Knoch, siehe (26).
- (37) Knoche, W., Über d. räuml. u. zeitl. Verteilung d. Wärmegehaltes der unteren Luftschicht. Arch. d. Dt. Seew. 1905, Bd. 28 u. MZ 1907 S. 433 - 444.
- (38) Köhler, H., Köln, nat. Grundlg. d. Werdens e. Großstadt. Diss. Köln 1941.
- (39) Kratzer, A., Das Stadtklima. Die Wissenschaft. Bd. 90 Brschw. 1937.
- (40) Kremser, V., Der Einfl. d. Großstädte auf die Luftfeuchtigkeit. MZ 25, 1909, S. 259 - 265.
- (41) Lancaster, A., De la manière d'utiliser les observations hygrometriques. V. Congr. intern. d'Hydr., Clim., Liège 1898 Vgl. J. v. Hann, Hdb. d. Klimat. Bd. I 1911, S. 48.

- (42) Lettau, H., Atmosph. Turbulenz, Michigan 1944, S. 145, S. 25.
- (43) Linke, F., Die phys. Faktoren des Klimas. Hdb. d. norm. u. path. Physiologie Bd. 17, S. 409.
- (44) " Meteorol. Taschenbuch. Leipzig 1939.
- (45) Luft, R., Das Klima von Bonn-Beuel. Das Wetter 1938, S. 155, 191, 234.
- (46) Met. Amt f. NW-Deutschland 1. Monatl. Witterungsbericht  
2. Zehntägiger " f. NW-Deutschland.
- (47) " " " " Meteorol. Jahrb. 1945 - 1951.
- (48) " " " " Niederschläge 1896-1950, Hamburg 1952.
- (49) Meinardus, W., Die Äquivalenttemperatur und ihre jährliche Periode in graphischer Darstellung, PM 1935, S. 323 ff.
- (50) Meteorological Glossary. H.M. Stationery Office, Ldn. 1939, S. p. 54.
- (51) Missenard, A., Klima und Lebensrhythmus, 1949.
- (52) Mörikofer, W., Zur Klimatologie der Abkühlungsgröße in den Badeorten Baden und Bad Ragaz. Sonderdr.: Aus d. Phys.-Met. Observ. Davos.
- (53) Morgen A., Ozonometrie i. met. Dienst. ZfM, Bd. 5, 1951, S. 71 - 73.
- (54) Moser, Ozon und Wetterlage. BdtW Nr. 11, 1949, S. 28.
- (55) Philippson, A., Die Stadt Bonn. Ihre Lage u. räuml. Entwickl. g. Bonn 1947.
- (56) Regener, V. H., Messungen d. Ozongehalts d. Luft in Bodennähe. MZ 55, 1938, S. 459.
- (57) Reichsamt für Wetterdienst, Klimakd. d. Deutschen Reiches, Bln. 1938.
- (58) Robitzsch, M., Beiträge zur Behandlung klimatischer Fragen auf physikalischer Grundlage. AdH 1931, S. 73.
- (59) " Abkühlungsgröße, Katathermometer u. Äquivalenttemperatur. GB 1930, S. 194 - 209.
- (60) " Äquivalenttemp. u. Äquiv. thermometer. MZ 1928.
- (61) Ruge, H. Das Verhalten d. Lufttemp. u. Luftfeucht. auf einem modernen Kreuzer i. d. Tropen. Veröff. Mar. San. Wes. Hft, 22, 1932.
- (62) Scharlau, K., Die Schwüle als meßbare Größe BB 10, 19, 1943.
- (63) " Zur Einführung eines Schwülemaßstabes und Abgrenzung v. Schwüle zonen d. Isohygrothermen. Erdkunde Bd. IV (1950), S. 188 - 201.
- (64) Scholz, J., Vereinfachter Bau eines Kernzählers. MZ 1932. Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1931, 51, S. 505-522.
- (65) Spangenberg, W. W. Meteorol. Beobachtg. an schwülen Tagen. ZfM 1950 Hft. 1, 2, S. 8 - 16.
- (66) Spangenberg, W. W. Über Ursachen der Schwüleempfindung. Zeitschr. f. angew. Meteorol. Bd. 1, Sept. 1951.

- (67) Sperk, M. Das Klima der Stadt Nürnberg im Gegensatz zum Klima ihrer näh.Umgbg. Diss.(ungedr.)Erlangen 1943 Besprechg.ind.Met.Rdsch. 1,62, 1947.
- (68) Steinhauser, F., Ergebnisse u. Aufgaben stadtklimat. Untersuchg. in Wien. Wetter u. Leben, Jg. 3, Hft. 5-7.
- (69) Sundborg, A., Local Climatological Studies of the Temperature Conditions in an Urban Area. Tellus 1950.
- (70) Sundborg, A., Climatological Studies in Uppsala, (with special regard to the temperature conditions in an urban area). Geographica, Uppsala 1951.
- (71) Troll, C., Thermische Klimatypen der Erde. PM 1943.
- (72) Ungeheuer, H., Die Beziehungen des bodennahen Ozons (Aran) zu den Wetterfaktoren MedMII 5,53, (1951).  
" Erste Ergebnisse der Aranmessungen in Bad Tölz BdtW Nr. 12, 221 (1950).
- (73) Weischet, W., Die Baumneigung als Hilfsmittel z. geogr. Best. d. klimat. Windverhältnisse. Erdkunde 1951, S. 221.
- (74) Wulf und Deming, Zitat in Götz, F., Der Stand des Ozonproblems. BdtW Nr. 11: Ozon, Kissingen 1949.
- (75) Zepp, B. A., Vergleichende klimat. Unters. über d. Häufigkeit d. Atemwege-Erkrankungen in Bonn, Bad Ems und Bad Kreuznach, Med.-Diss. Bonn, 1940.
- (76) Zimmermann, G., Tagesgang und Andauer der Schwüle nach stündlichen Auswertungen in Potsdam. BdtW Nr. 42, S. 25 ff.
- (77) " Die Komponenten der Schwülehäufigkeit in Süddeutschland. BdtW Nr. 38, S. 278 ff.

# Übersichtsplan Raum Bonn (Beuel). Abb.1

Stadtrand Park, Wald Isohyse — 60—  
 ● Feste Regenmeßstelle ● Feste Temperaturmeßstelle  
 ● Feste Reg. u. Temp.-Meßst. ○ Meßpunkt bei Meßfahrten

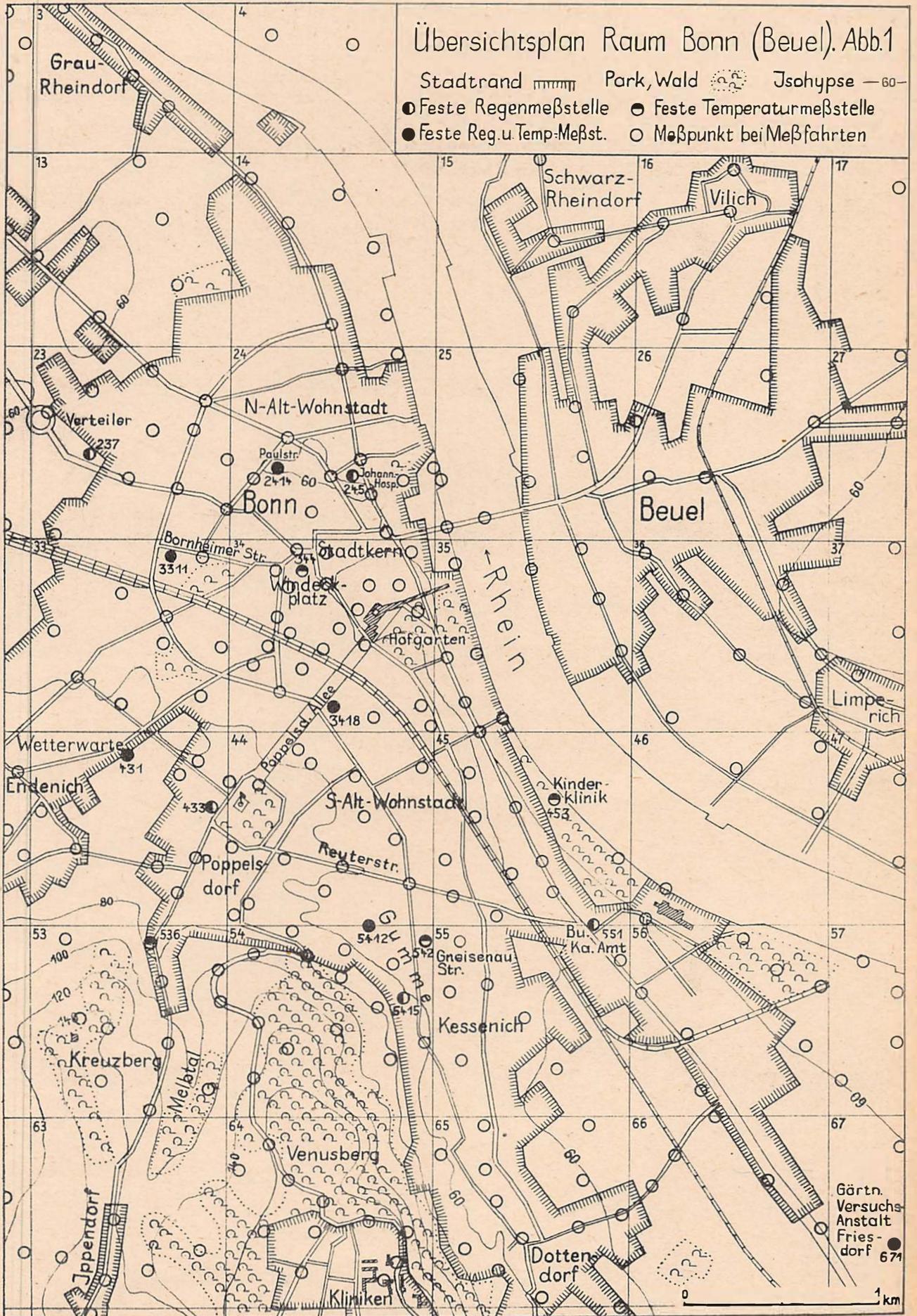
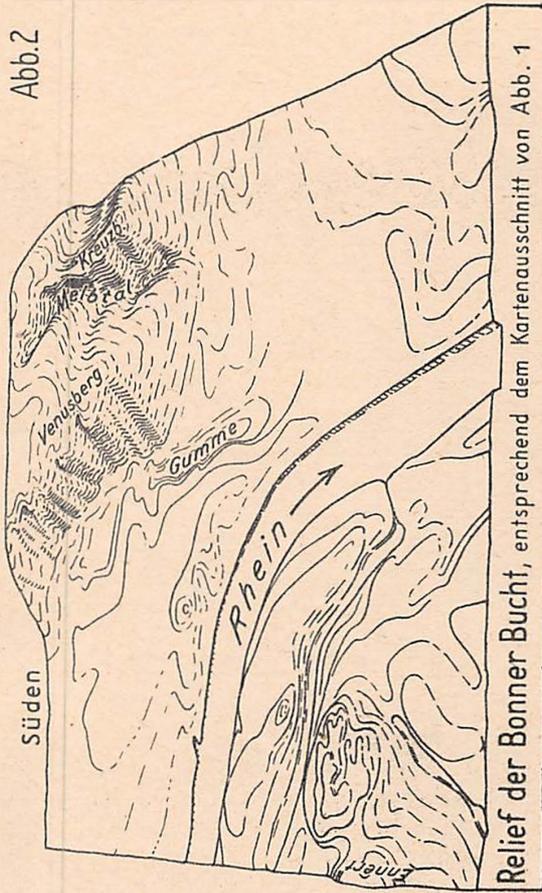


Abb.2



Relief der Bonner Bucht, entsprechend dem Kartenausschnitt von Abb. 1

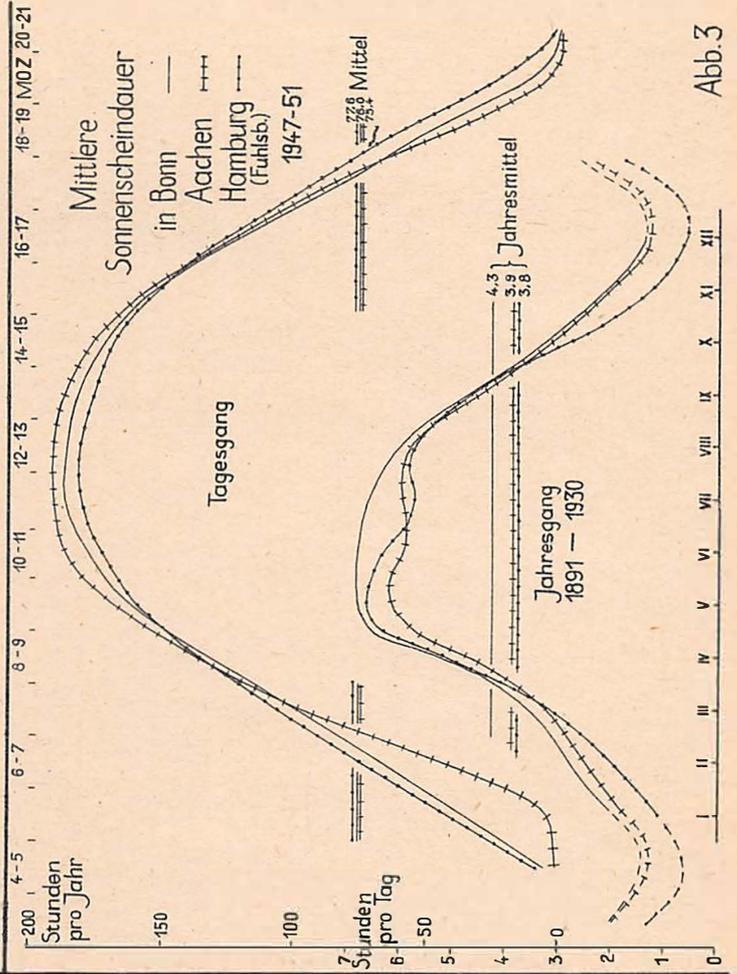


Abb.3

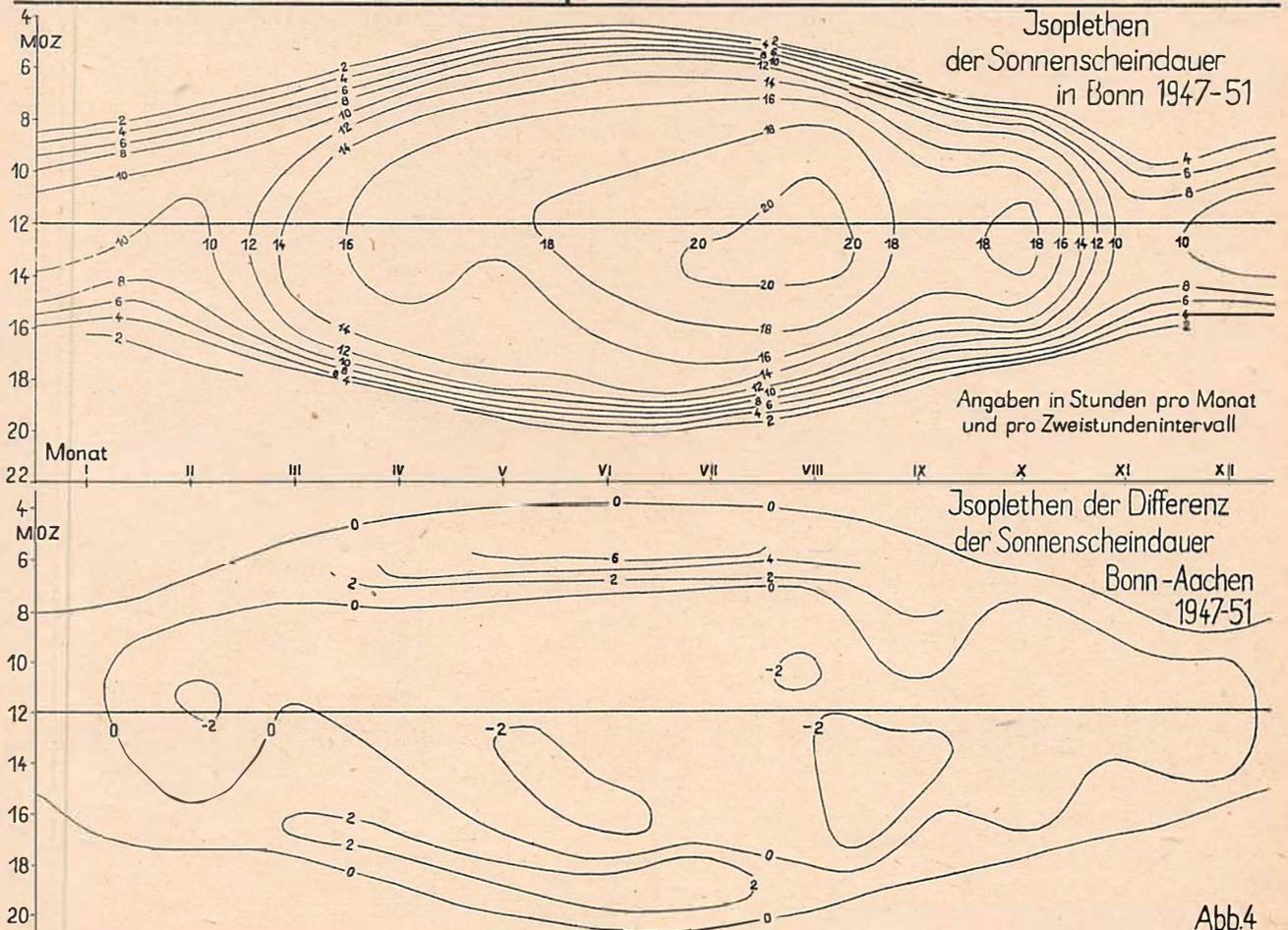


Abb.4



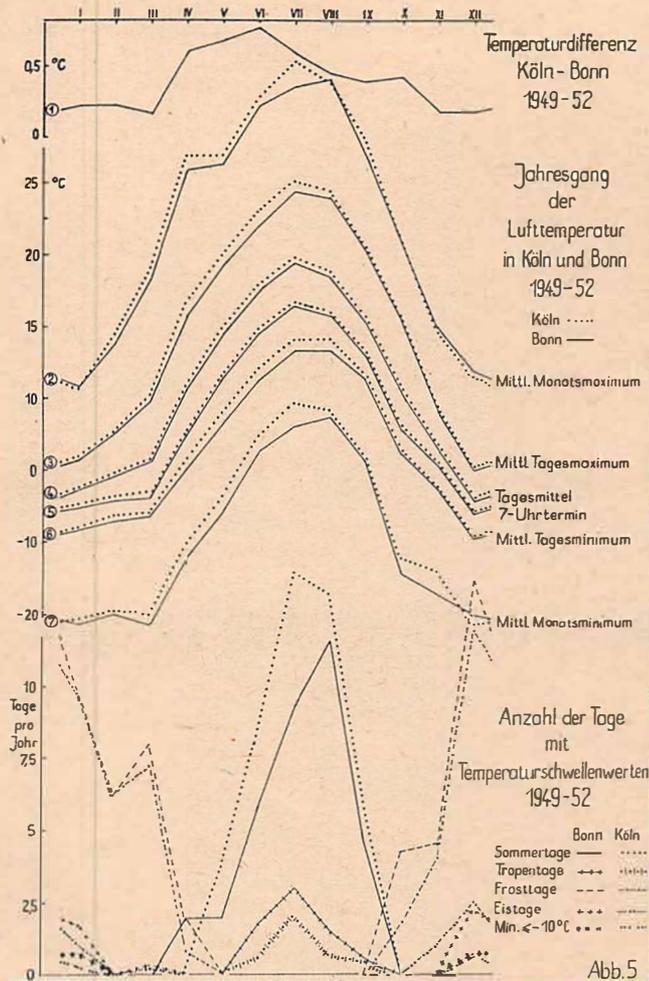


Abb. 5

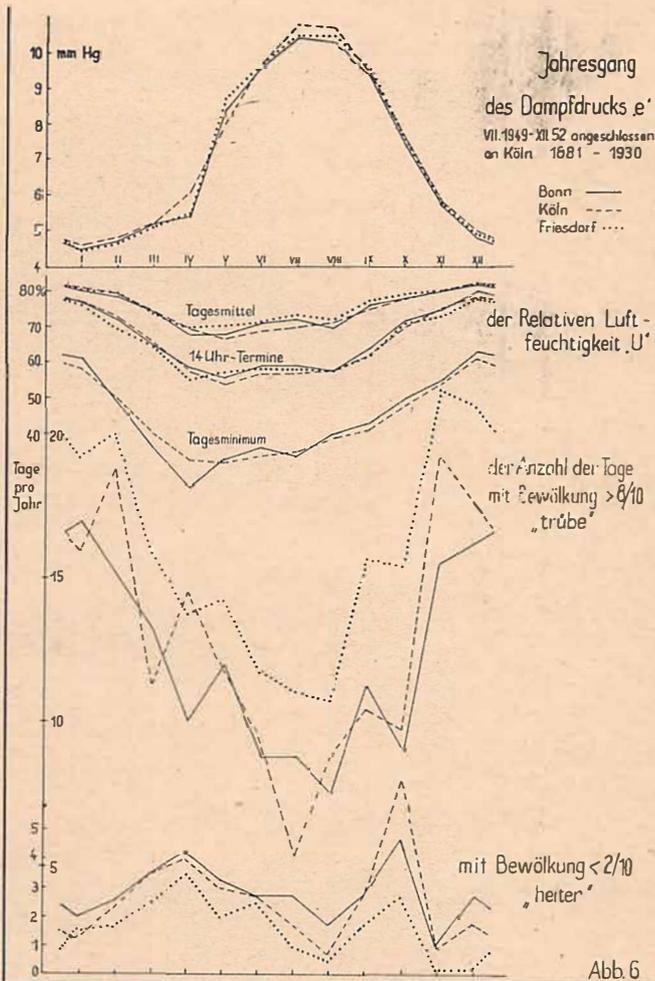


Abb. 6

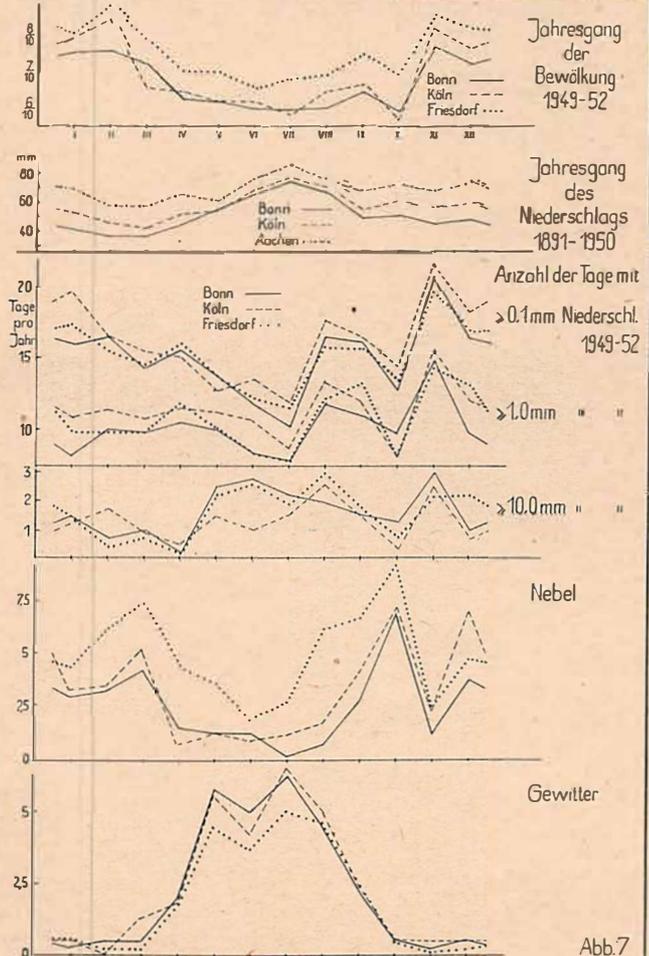


Abb. 7

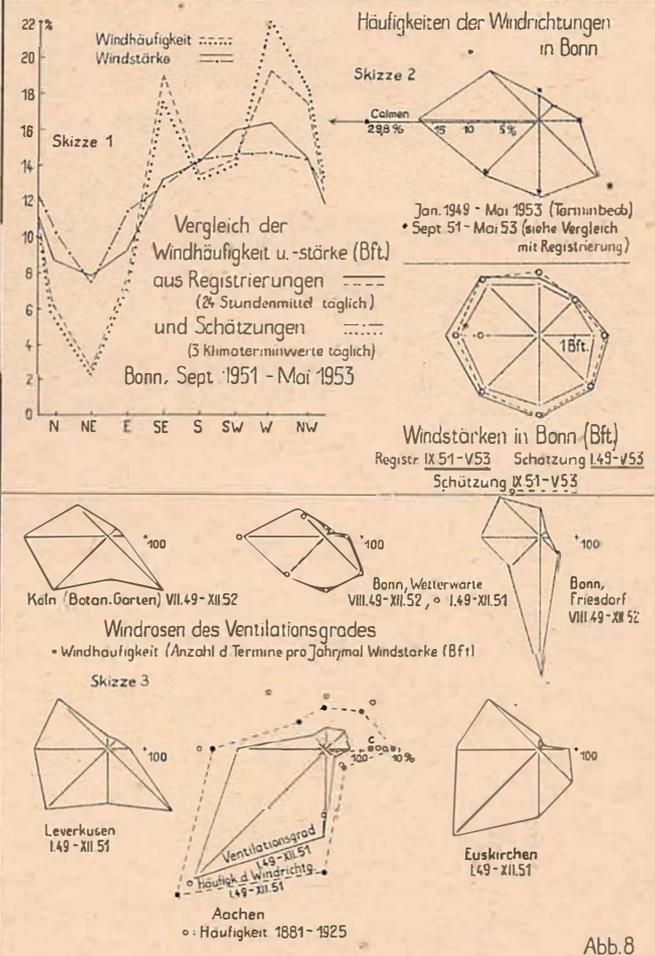
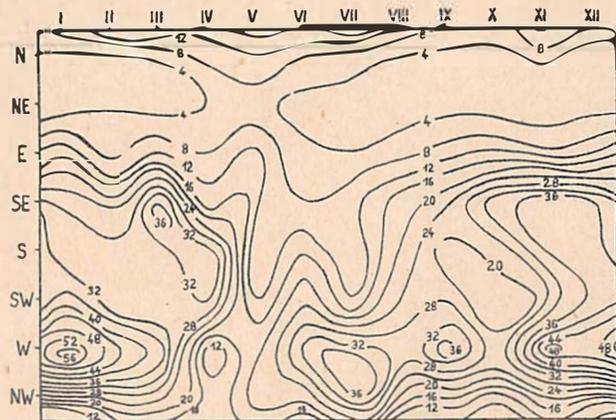


Abb. 8

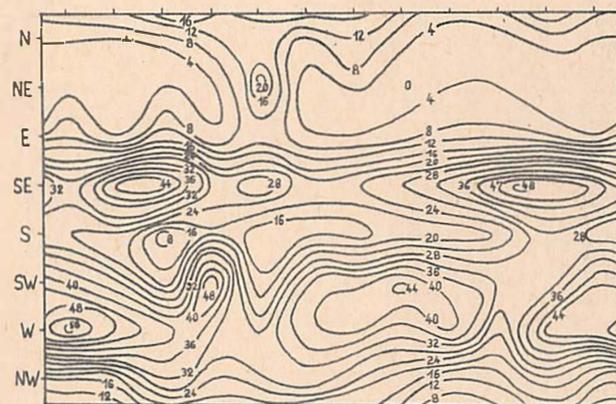




Isoplethen  
des  
Ventilationsgrades  
= Häufigkeit (Termine pr. Monat)  
mal Windstärke (Beaufort)

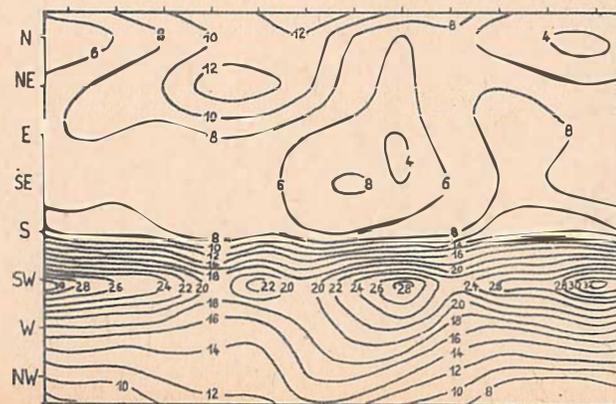
Mittel von 3 Jahren  
VIII. 1949 - XII. 1952

Bonn



(Wie oben)

Köln

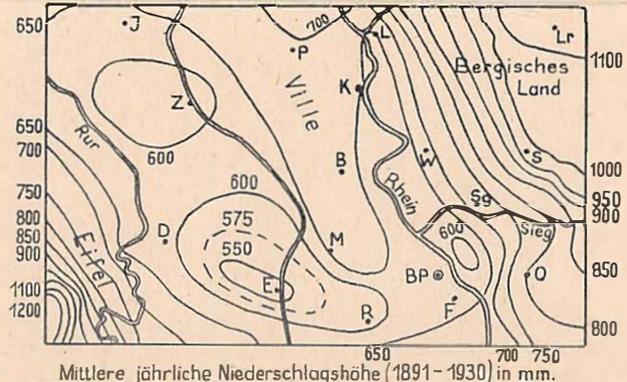


Isoplethen  
der  
Windhäufigkeit (%)  
gemittelt für

Aachen  
Kleve  
Schneifelforsthaus  
(1881 - 1925)  
in % pro Monat

Abb. 10

Ausschnitt der Karte des Reichsamtes für Wetterdienst



- BP Bonn-Poppelsdorf
- B Brühl
- D Drove
- E Euskirchen
- F Friesdorf
- J Jackerath
- K Köln
- L Leverkusen
- Lr Lindlar
- M Metternich
- O Oberpleis
- P Pulheim
- R Rheinbach
- S Seelscheid
- Sg Siegburg
- W Wahn
- Z Zieverich

Abb. 9

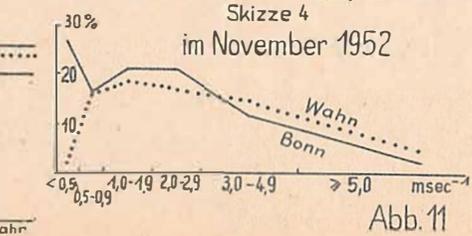
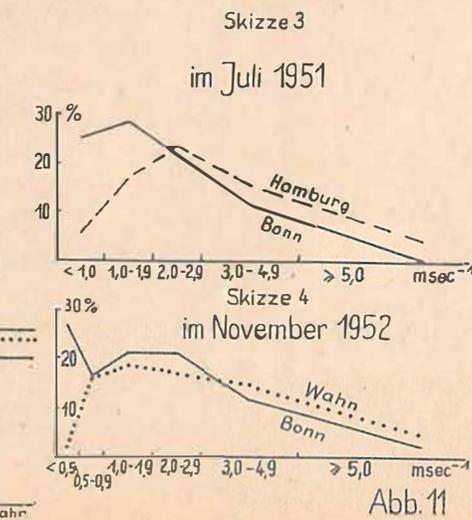
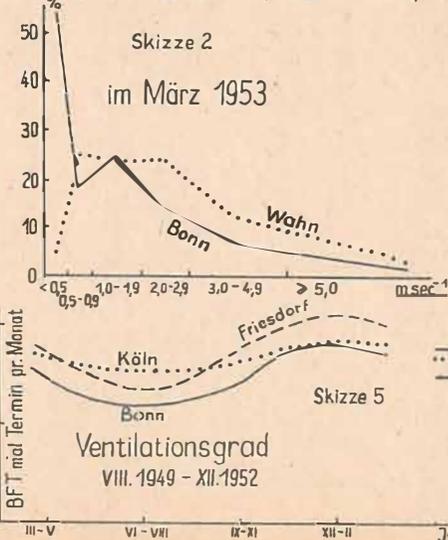
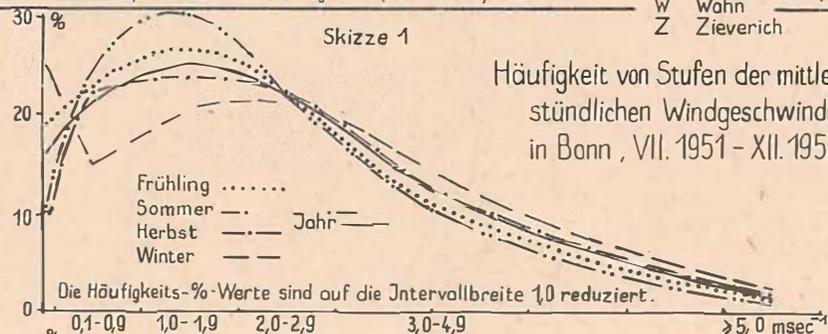
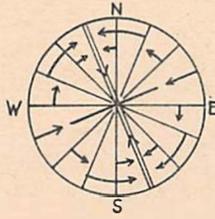
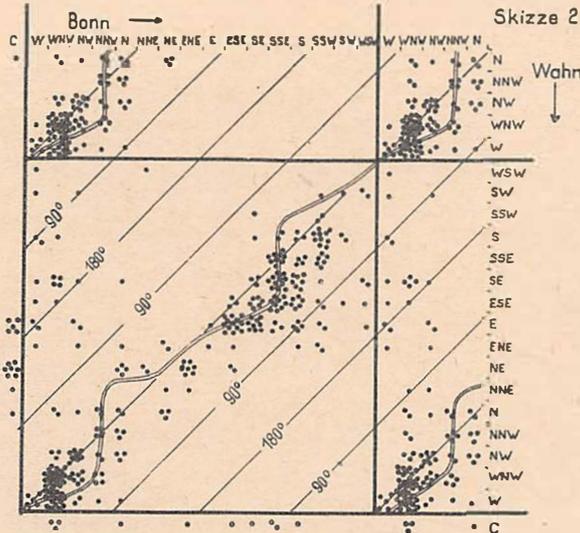


Abb. 11

Skizze 1

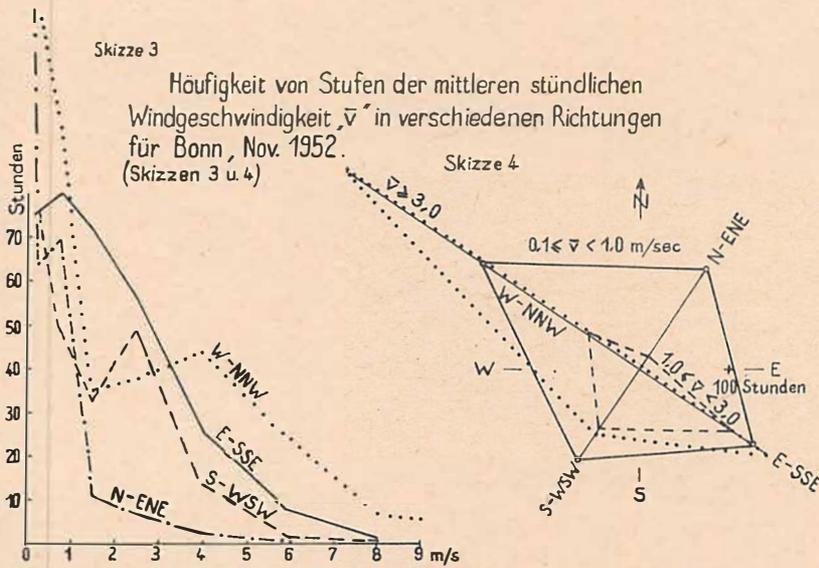


Modell einer gesetzmäßig symmetrischen Ablenkung von Winden in ein SSE-NNW-Tal.



Gleichzeitige Windrichtungen in Bonn und Wahn (288 Stunden im Nov.52)

Die eingezeichnete (konstruierte!) Kurve ist die theoretisch zu fordernde Häufungslinie bei streng symmetrisch-gesetzmäßiger Ablenkung durch das SSE-NNW verlaufende Rheintal, für den Fall also, daß das Modell von Skizze 1 der Natur entspricht.



Mittlere monatliche Windgeschwindigkeit

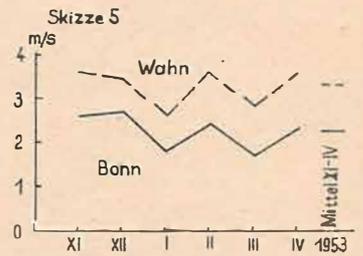


Abb. 12

Monatsmittel der feuchten Abkühlungsgröße  $A_f$  (nach Robitzsch's Definition) in Bonn und Essen

Jahresgang von  $A_f$  1949-52

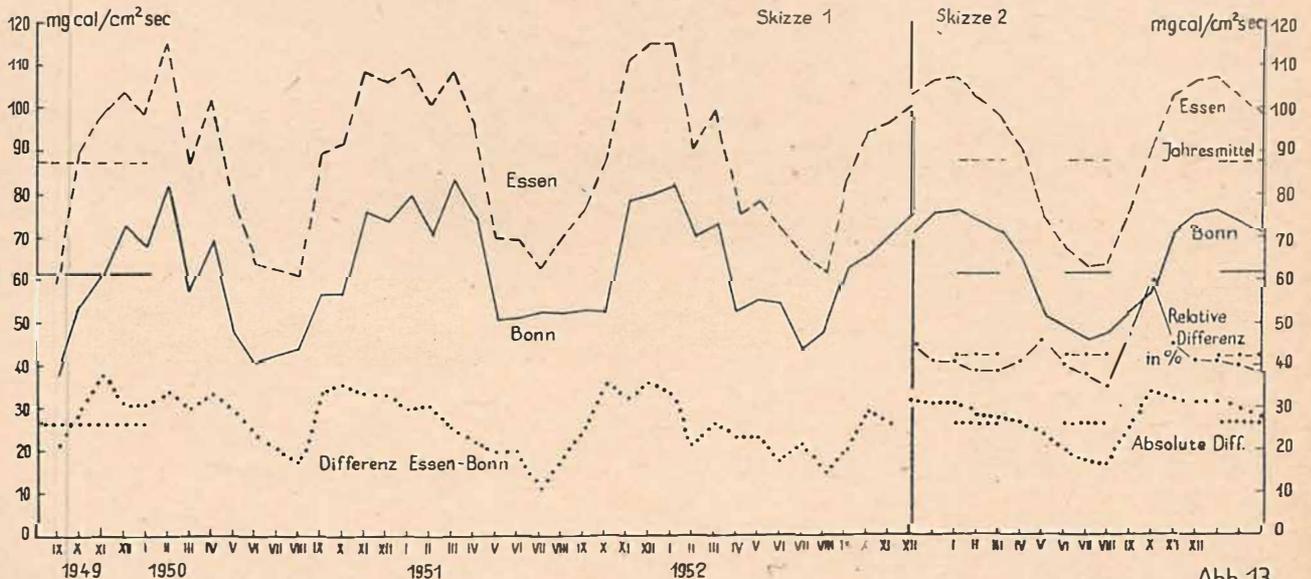
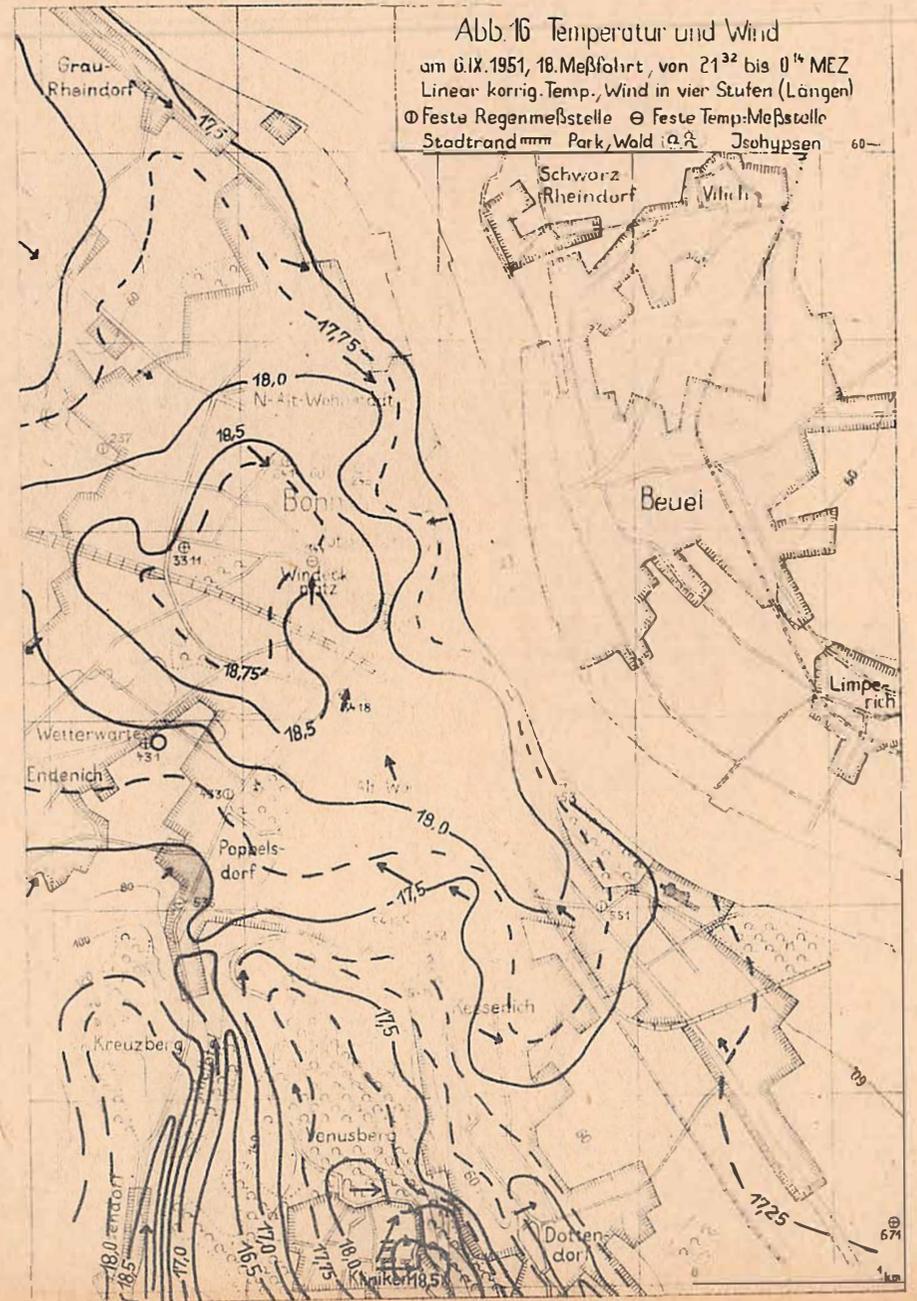
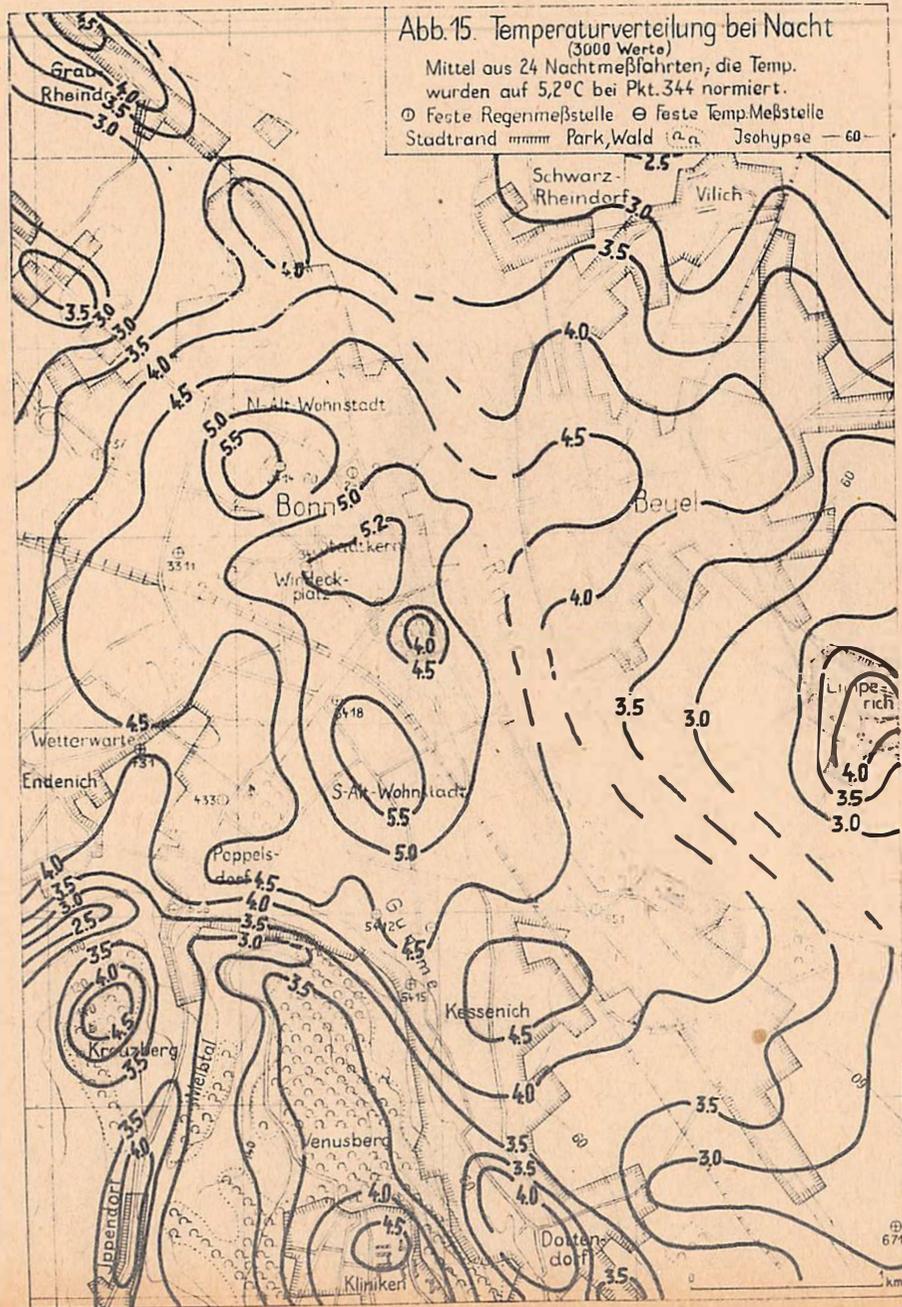


Abb. 13



Ausschnitt aus Karte 9 zu Kessler (Lit.35)

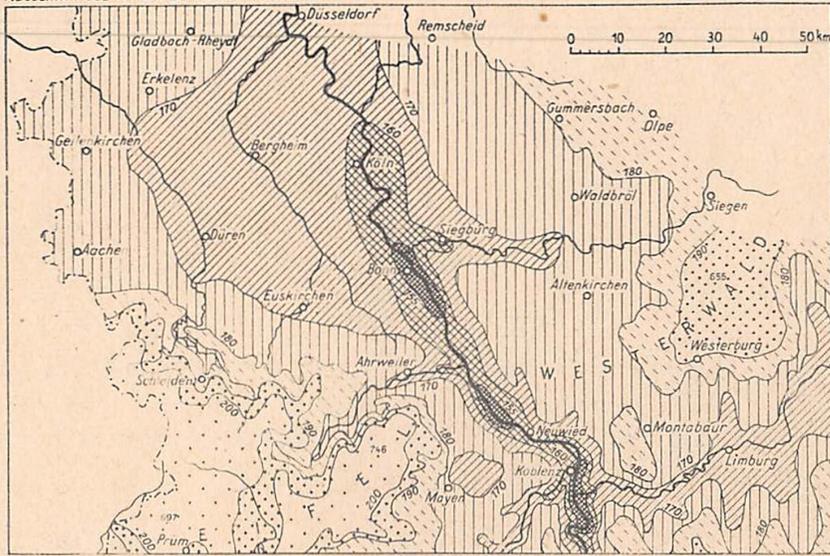


Abb.14

SÜSSKIRSCH

Zeitpunkt des Beginns der Ernte 1934

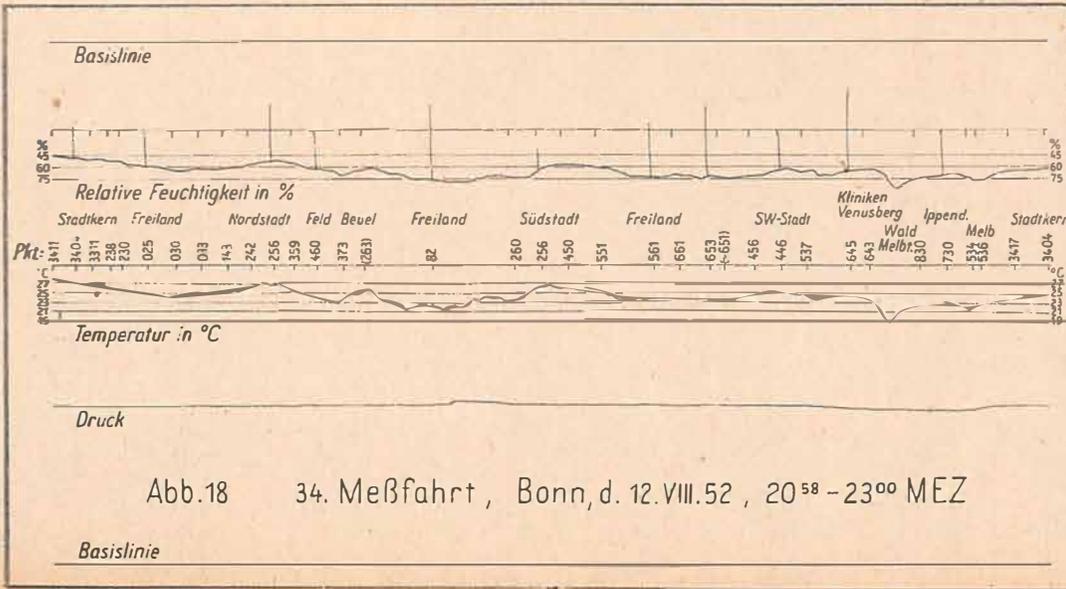
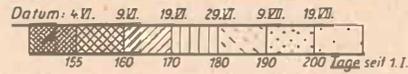
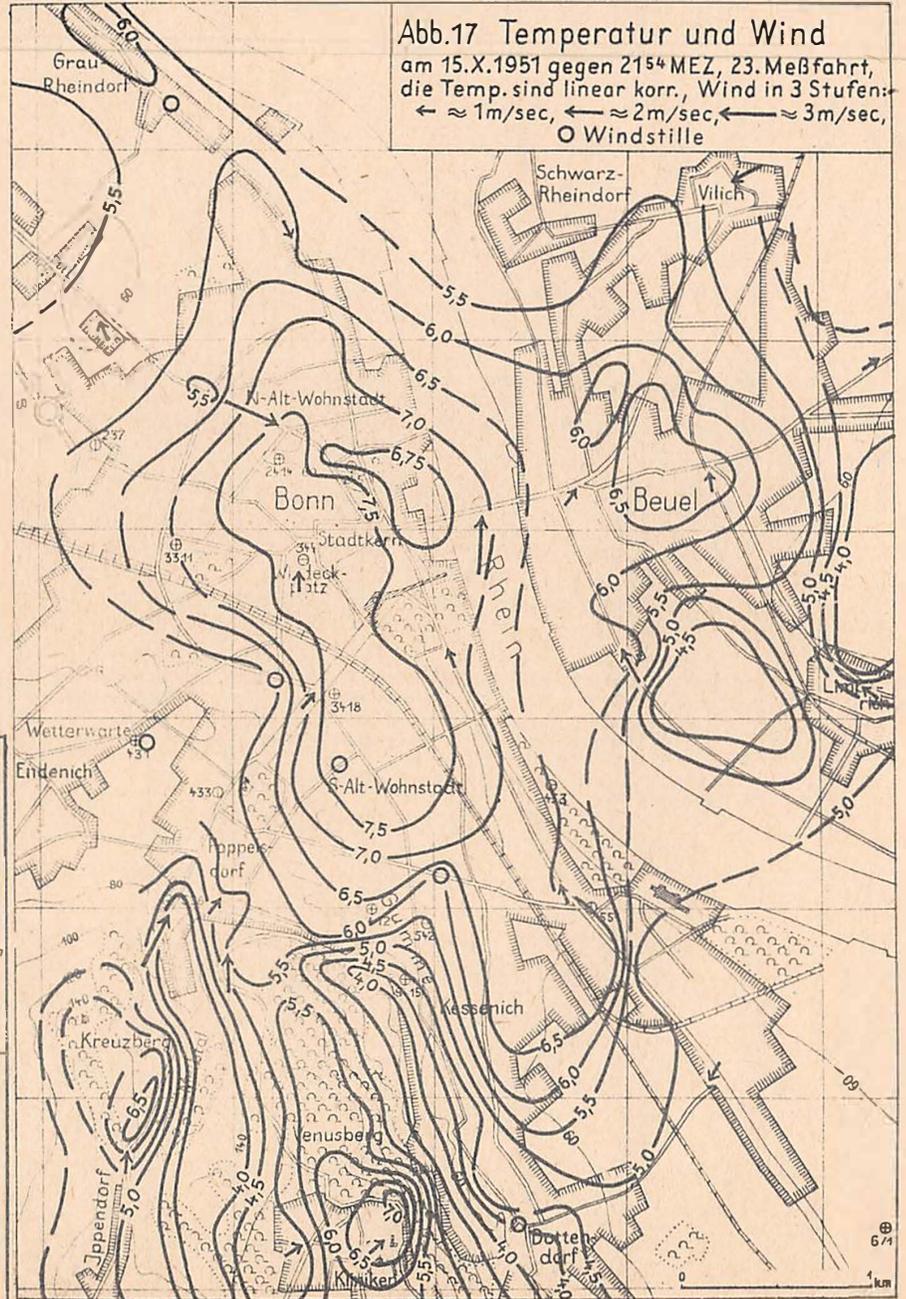


Abb.18 34. Meßfahrt, Bonn, d. 12. VIII. 52, 20<sup>58</sup> - 23<sup>00</sup> MEZ



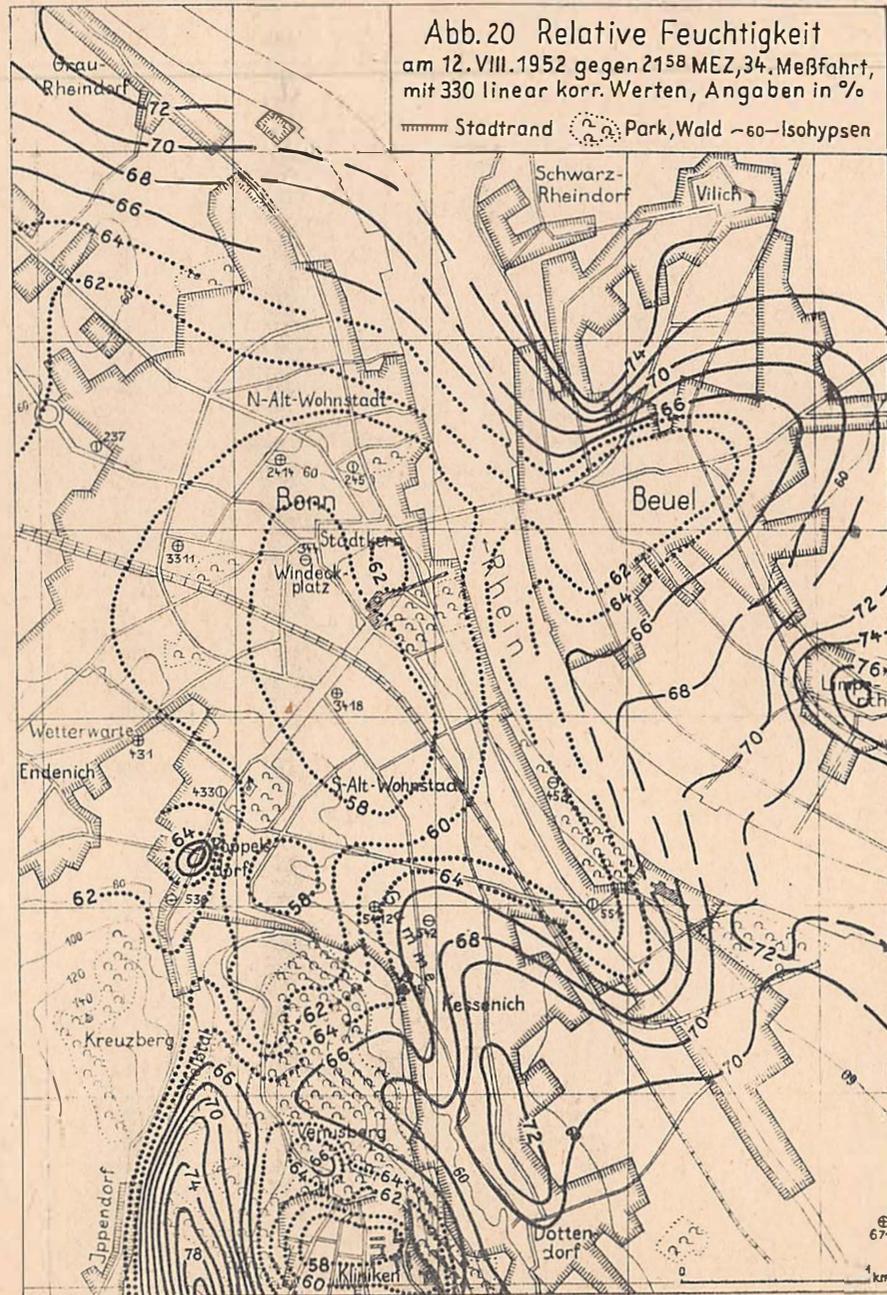
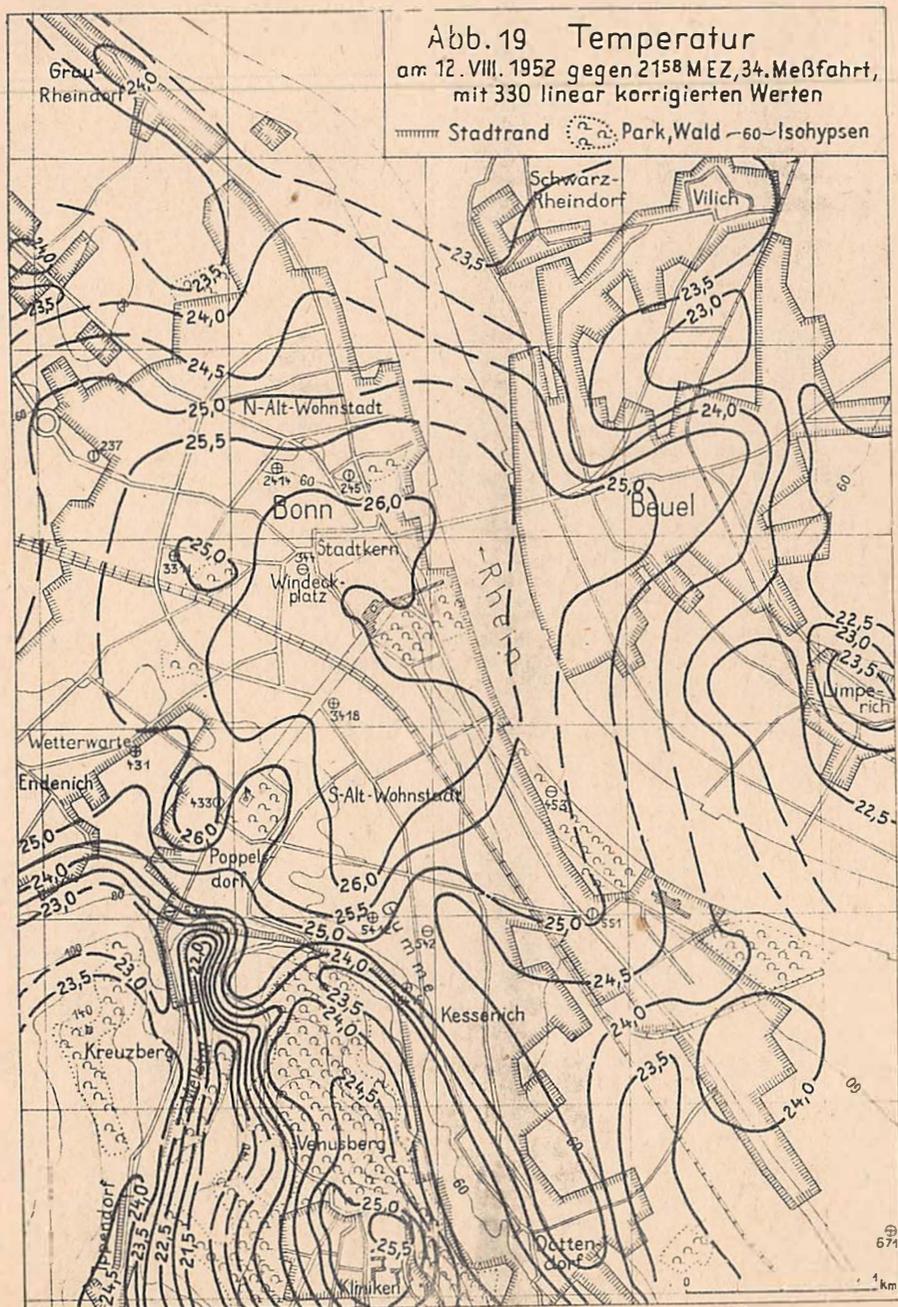


Abb.21 Dampfdruck (Schwüle)  
 am 12. VIII. 1952 gegen 21<sup>58</sup> MEZ, 34. Meßfahrt  
 mit 330 linear korr. Werten, Angaben in mmHg  
 14,1 mmHg ist Schwülegrenze (s. Text)  
 sehr schwüle Gebiete sind schraffiert

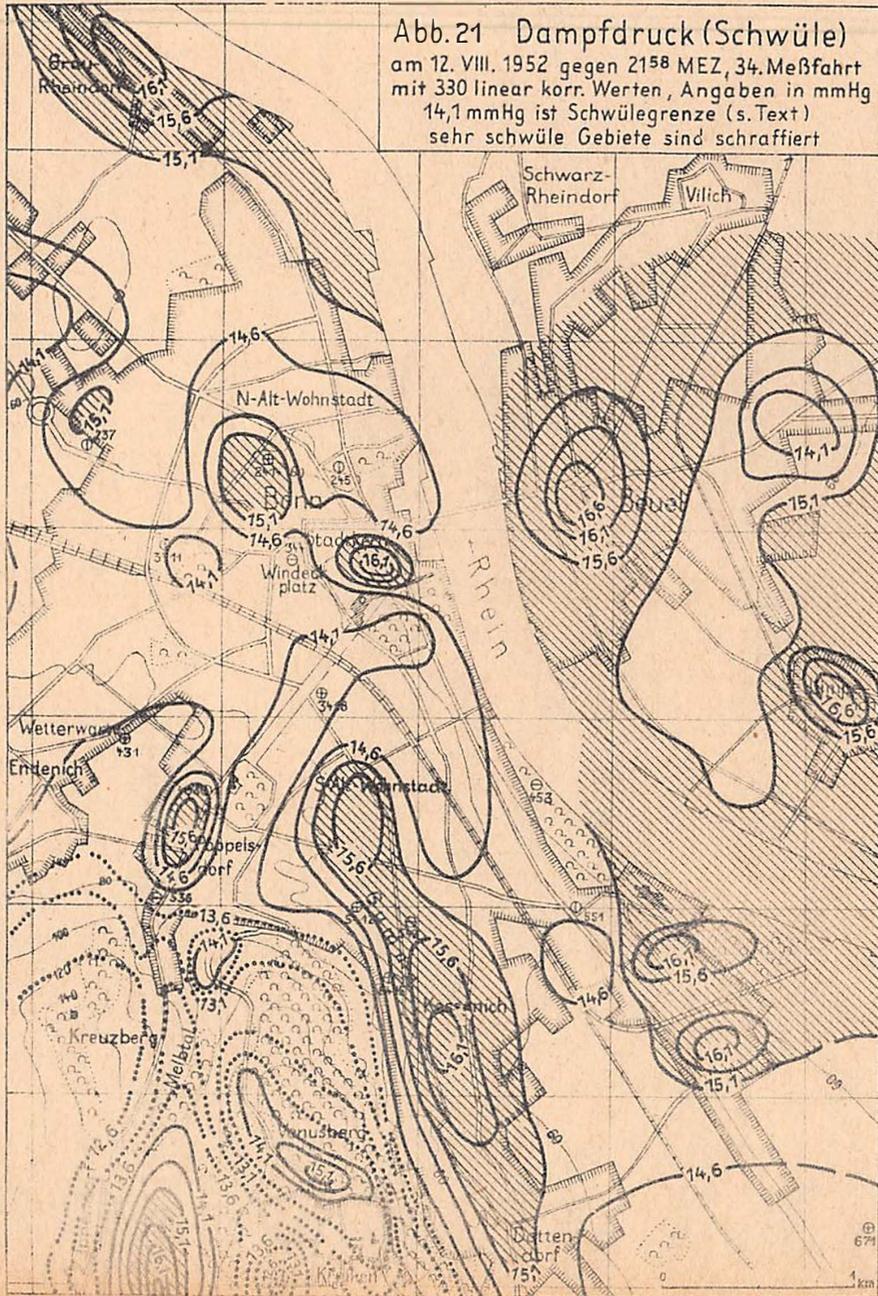
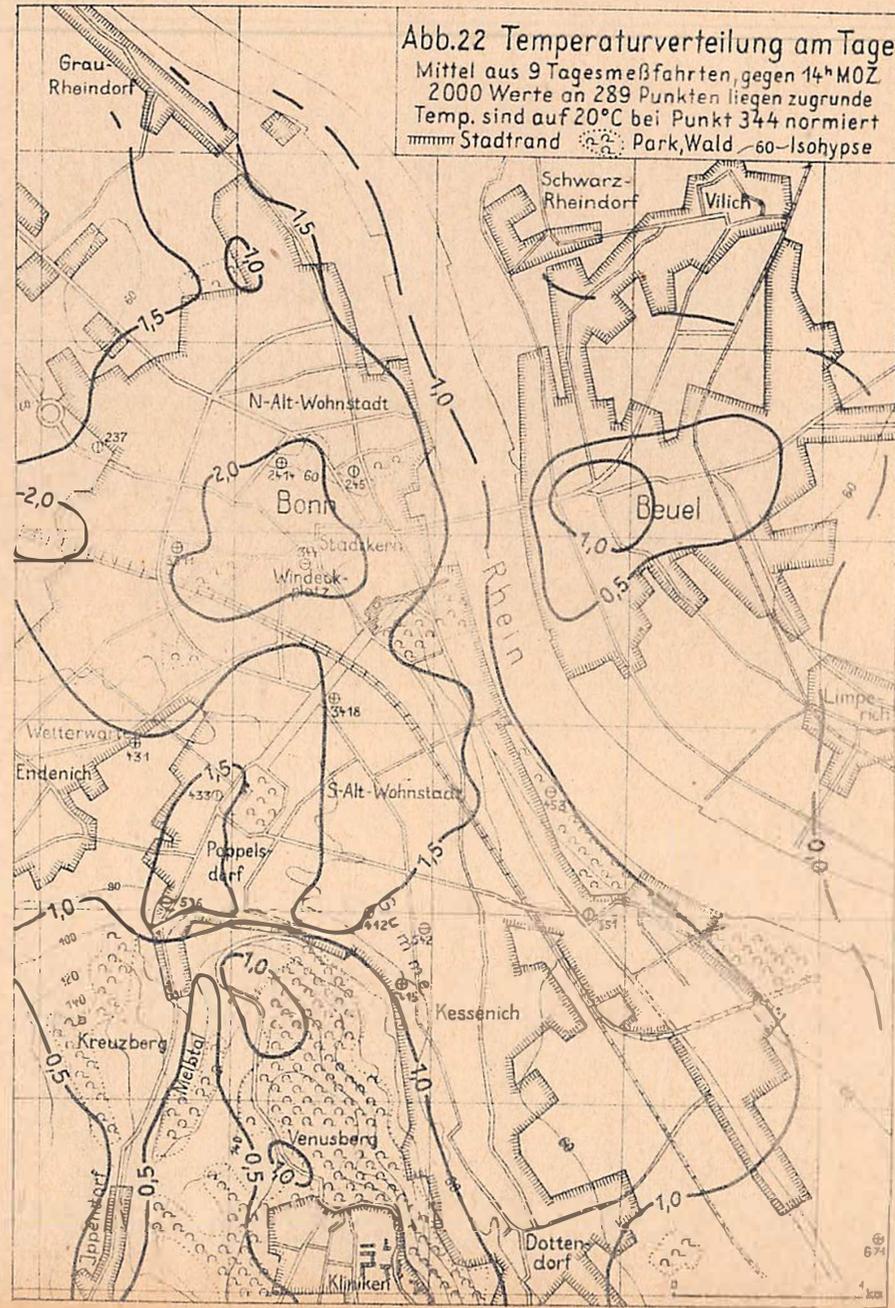
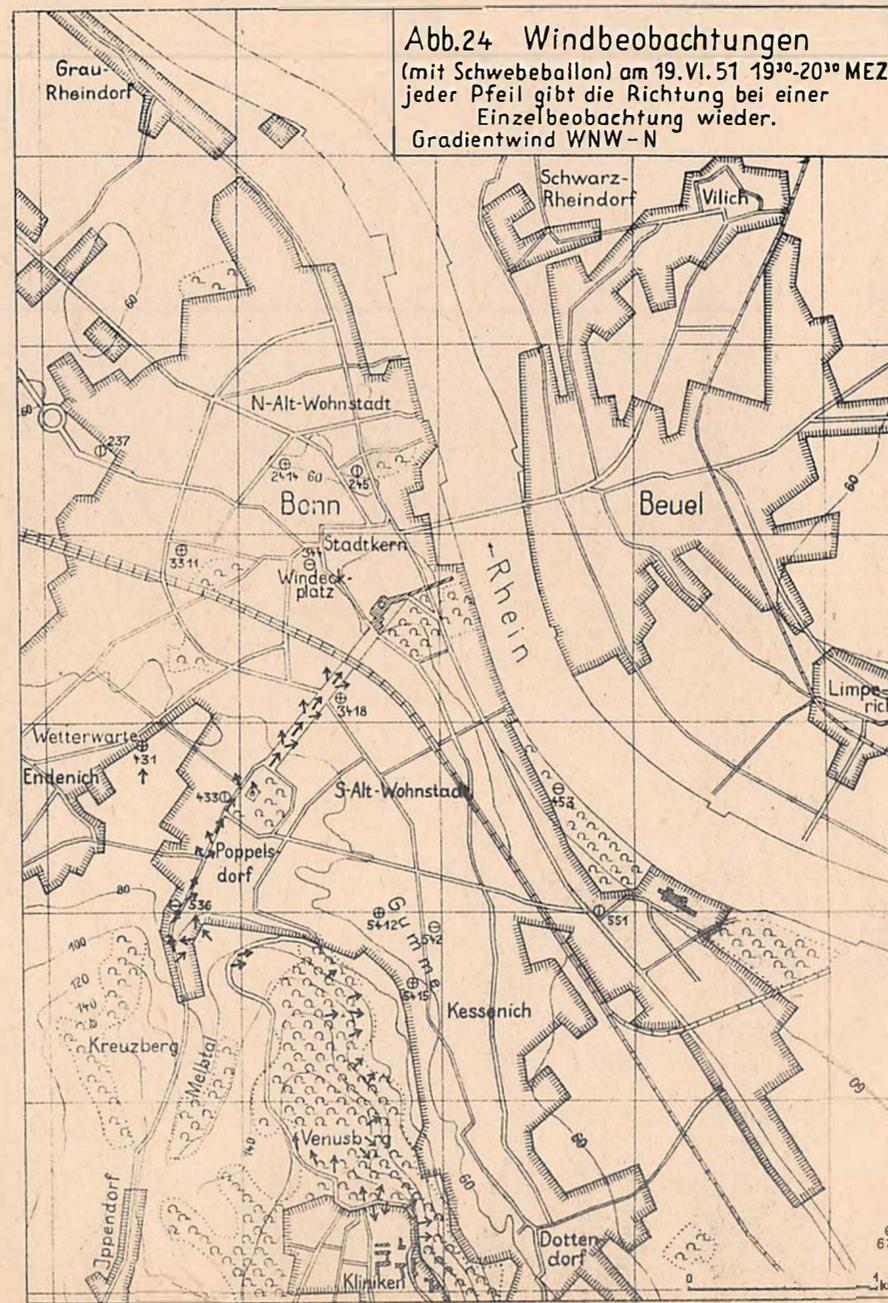
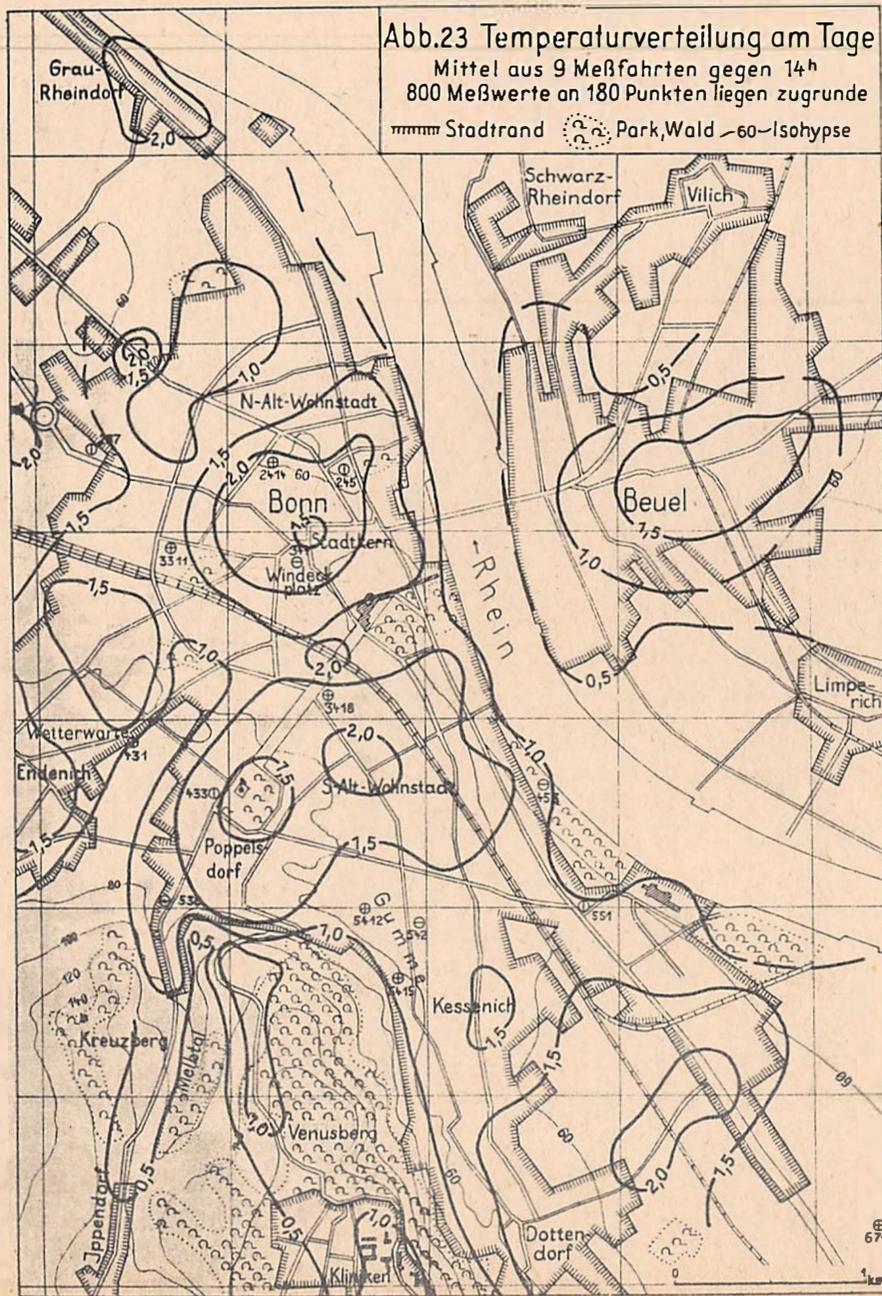
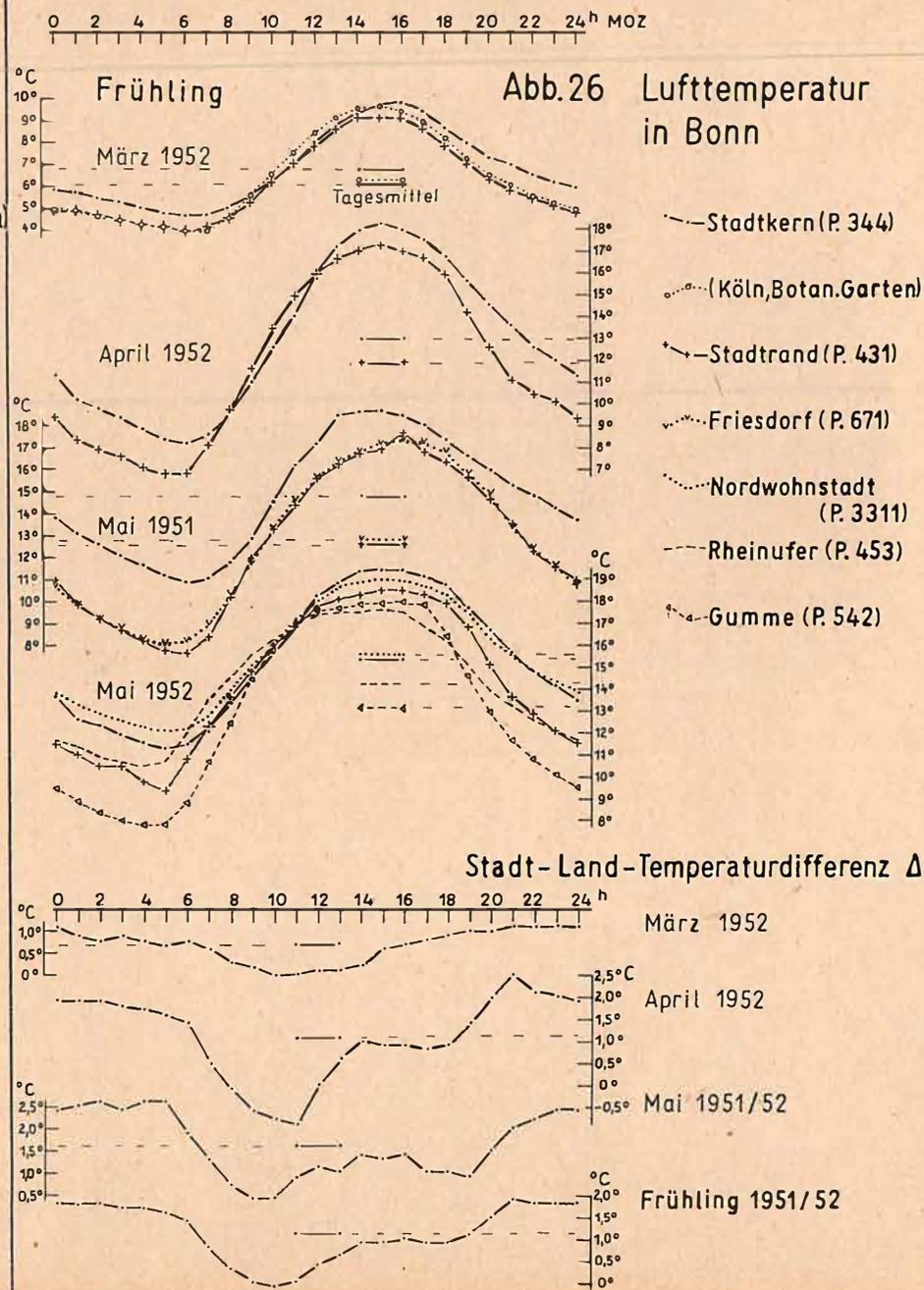
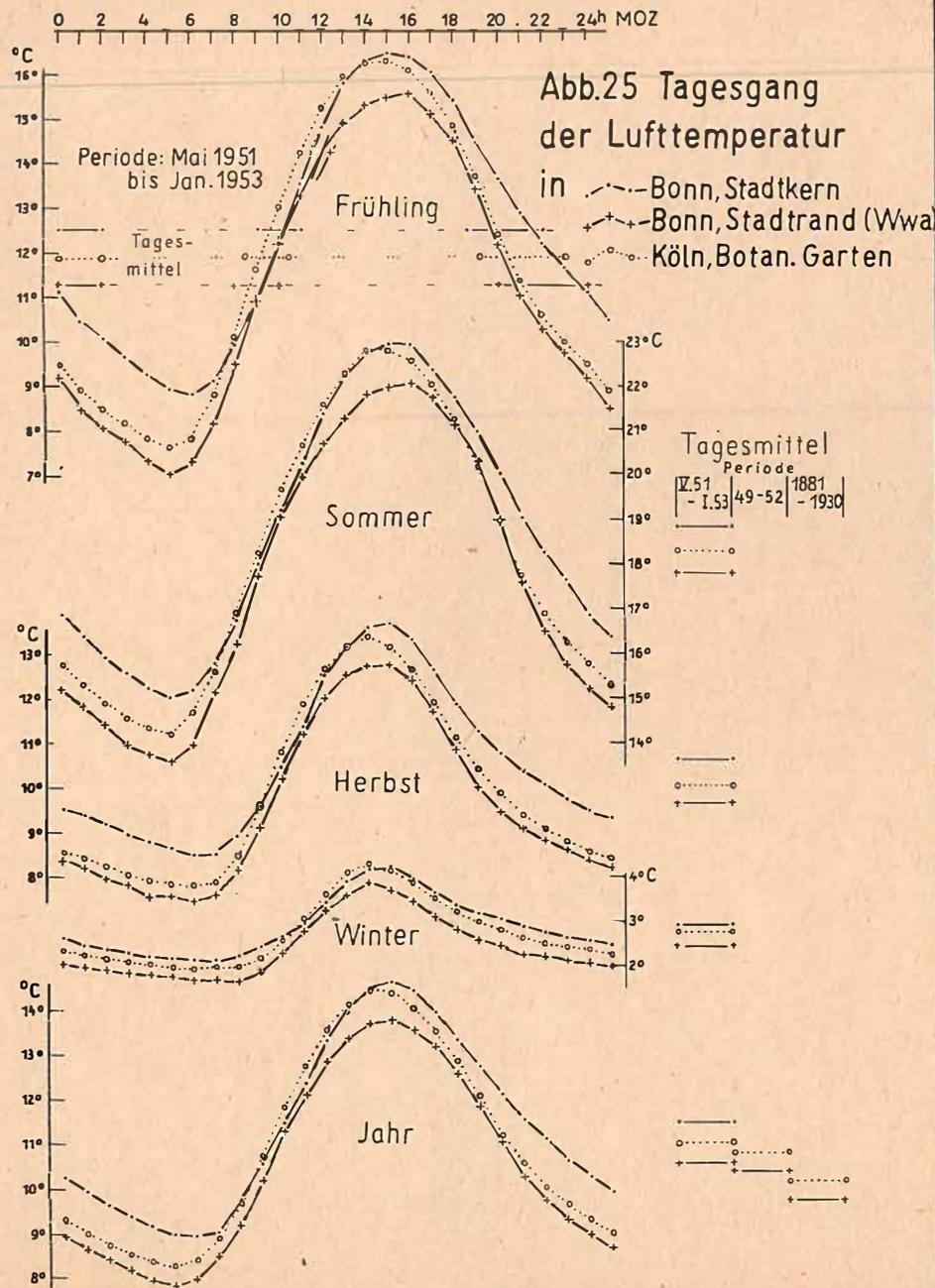


Abb.22 Temperaturverteilung am Tage  
 Mittel aus 9 Tagesmeßfahrten, gegen 14<sup>h</sup> MOZ  
 2000 Werte an 289 Punkten liegen zugrunde  
 Temp. sind auf 20°C bei Punkt 344 normiert  
 ——— Stadtrand    Park, Wald    60-Isohypse

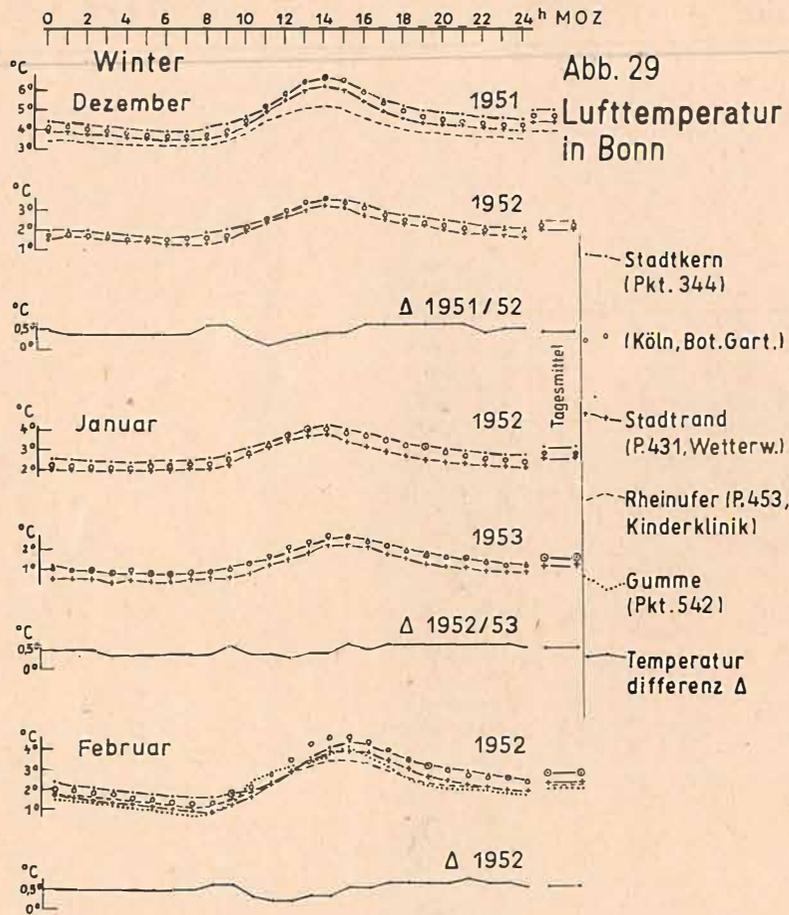












Stadt-Land-Temperaturdifferenz Δ

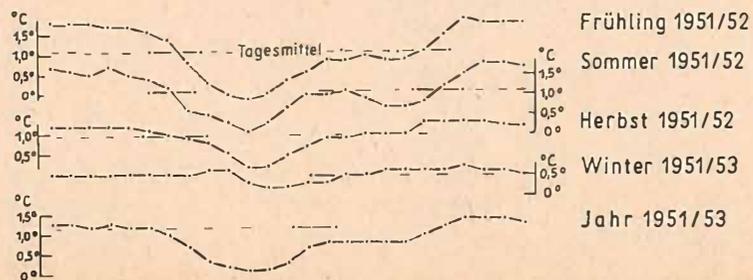
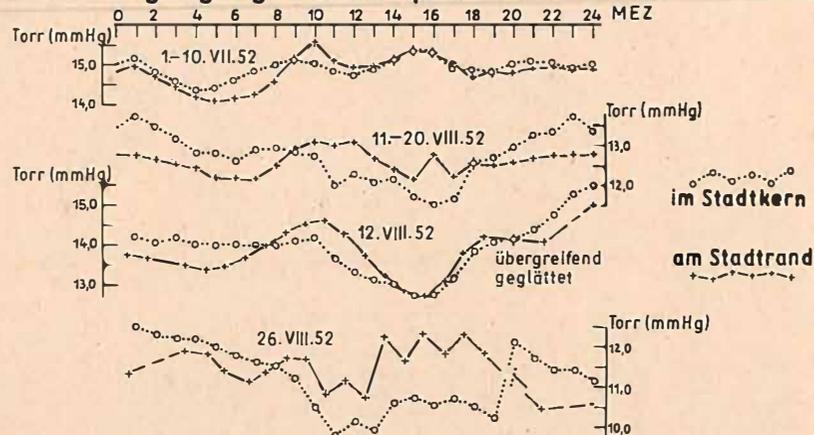
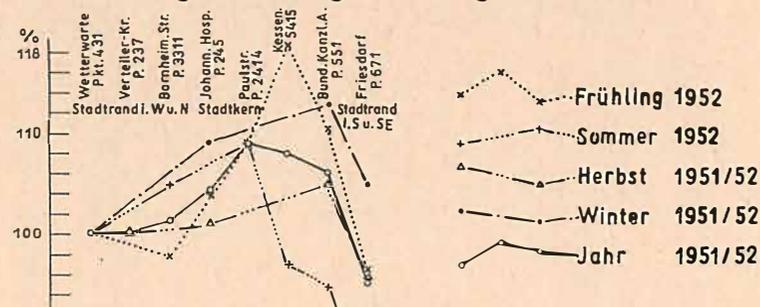


Abb. 30

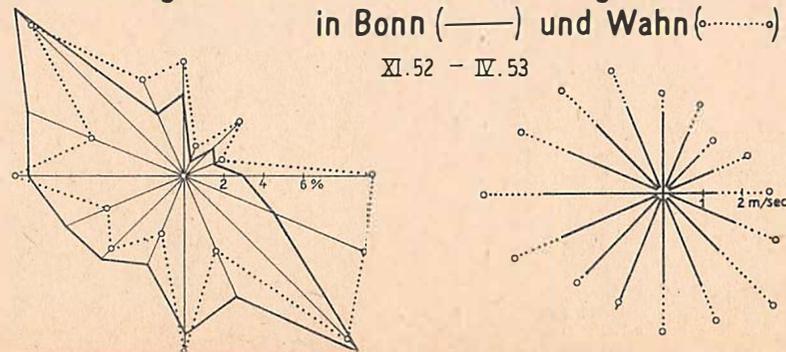
Skizze 1 Tagesgang des Dampfdrucks in Bonn



Skizze 2 Niederschlagsverteilung im Stadtgebiet von Bonn



Skizze 3 Häufigkeit und mittlere Geschwindigkeit der Winde in Bonn (—) und Wahn (.....)



# Windrosen verschiedener Wetterelemente in Bonn (Wetterwarte)

$\Delta$  Temperaturdifferenz Stadtkern-Stadtrand,  $n$  Windhäufigkeit,  $V$  Windgeschwindigkeit,  $p$  Dampfdruck,  $N$  Bewölkung,  $T_w$  Temperatur (an der Wetterwarte)

----- tags  
 \_\_\_\_\_ nachts

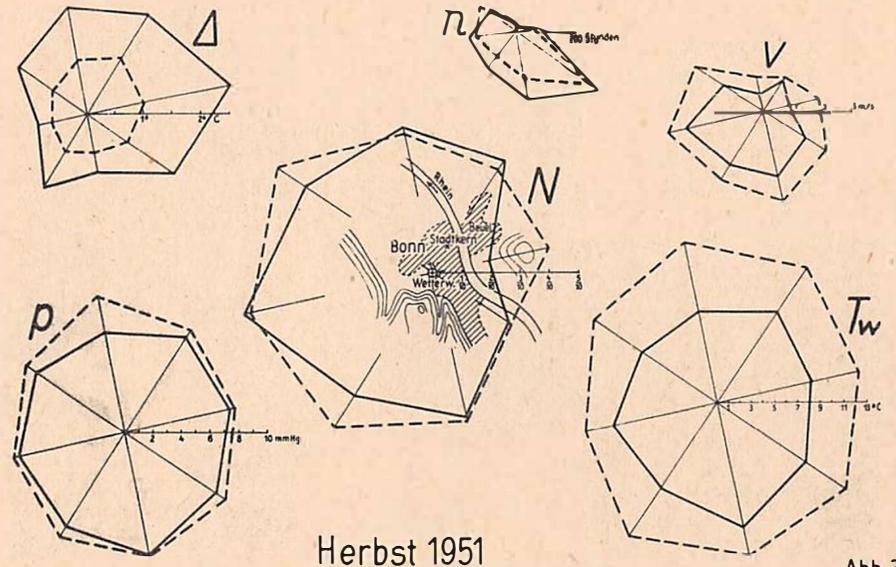


Abb.31

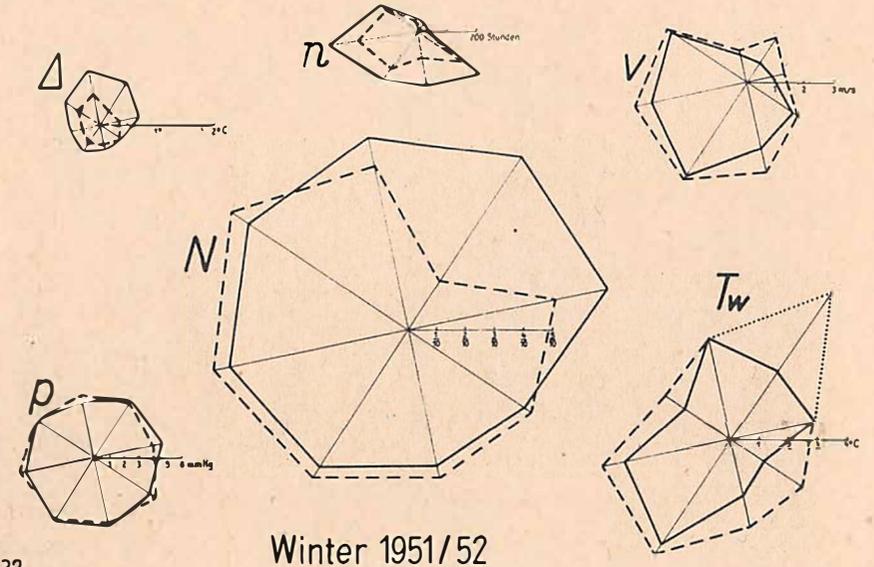


Abb.32

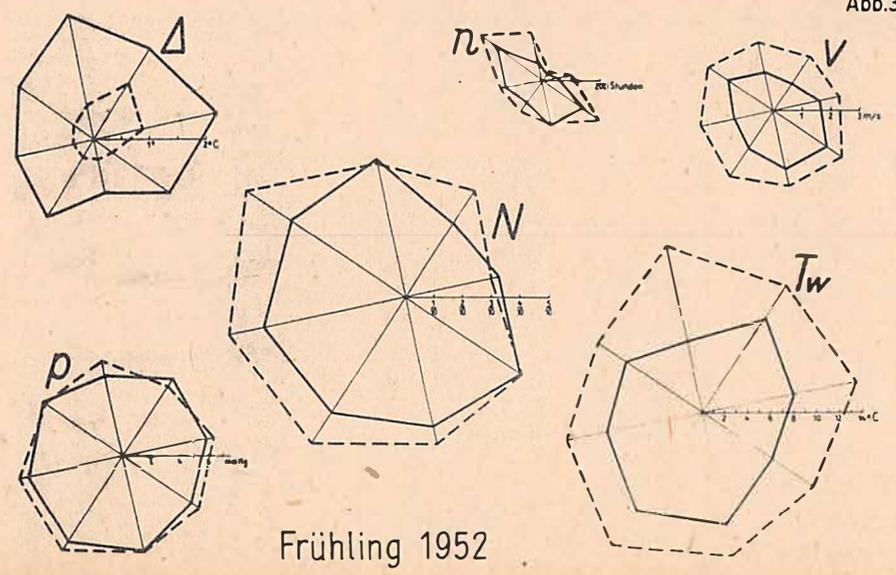


Abb.33

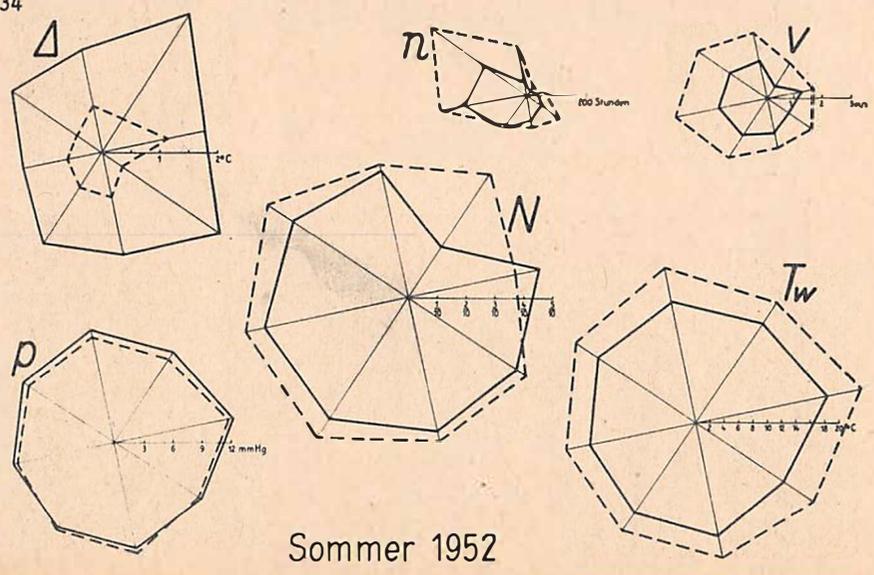
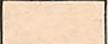


Abb.34

Abb.35 Klimatische Gliederung Bonns in 5 Gütestufen, siehe hierzu Text und Tabelle VI

(I)		wohnklimatisch sehr gut (relativ!)
(II)		" gut (rheinfertn / rheinnah)
(III)		" mittelmäßig
(IV)		" schlecht
(V)		" sehr schlecht

