

Berichte
des
Deutschen Wetterdienstes

Nr. 107
(Band 15)

DK 551.501.45:551.582

**Häufigkeitsverteilungen klimatologischer
Größen**

**(Temperatur, Wind, Niederschlag und Zirkumglobalstrahlung)
am Beispiel von Frankfurt a. M.
und dessen näherer und weiterer Umgebung**

von

HEINZ WACHTER
(mit 10 Tabellen und 37 Abbildungen im Text)

Offenbach a. M. 1968
Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

Inhalt

	Seite
Zusammenfassung	3
Abstract	3
Vorwort	3
1. Temperatur	4
1.1. Häufigkeitsverteilungen des Tagesminimums, -mittels und -maximums der Lufttemperatur	4
1.2. Die Temperatur-Abweichungen	15
1.3. Die interdiurnen Änderungen	15
1.4. Abweichungssummen	18
1.5. Die Korrelation Abweichung-Änderung	22
2. Wind	22
2.1. Häufigkeitsverteilungen des Windvektors	24
2.2. Zeitlicher Gang des Windes	24
2.3. Der Wind in der freien Atmosphäre über dem Rhein-Main-Gebiet	26
2.4. Die vektorielle Veränderlichkeit des Windes	26
3. Niederschlag	28
3.1. Der Niederschlag in einem sehr großen Gebiet	28
3.2. Der Niederschlag in einem kleinen Gebiet	28
3.3. Zusammenhänge der Niederschlagswahrscheinlichkeit für Gebiete	29
4. Zirkumglobalstrahlung	33
Literatur	35

Anschrift des Verfassers:

Dr. H. Wachter, Universitätsinstitut für Meteorologie und Geophysik der Universität
Frankfurt, 6 Frankfurt a. M. 1, Feldbergstraße 47.

Zusammenfassung

Einige ausgewählte klimatische Elemente werden in ihren Häufigkeitsverteilungen dargestellt. Die Beobachtungen, auf denen die Auswertungen beruhen, stammen von Frankfurt am Main (hauptsächlich Lufttemperatur, 1870 — 1960, und Bodenwinde, 1951 — 1957), von Wiesbaden (Werte aus der freien Atmosphäre, 1951 — 1957), von den synoptischen Stationen des Deutschen Wetterdienstes (Niederschläge, 1951 — 1960), und von einem Kurort unweit Frankfurt, Bad Soden am Taunus (Tagessummen der Zirkumglobalstrahlung, 1953 — 1965).

Über die charakteristischen Werte der Lufttemperatur (Tagesminimum, -mittel, und -maximum) hinaus werden die Abweichungen dieser Werte von ihren klimatologischen Mitteln untersucht; Zeitintegrale dieser Abweichungen (Abweichungssummen) weisen L-förmige Verteilungen auf, die sich im Laufe der Jahreszeiten etwas ändern. Die interdiurnen Änderungen der charakteristischen Temperaturen korrelieren mit ihren vorausgegangenen Abweichungen, auch wiederum in jahreszeitlich bestimmter Weise.

Die Vektoreigenschaft des Windes verlangt zweidimensionale Häufigkeitsdarstellungen, die sich für den Bodenwind an einer Stelle wie Frankfurt a. M. als recht kompliziert erweisen. Für die Höhenwinde ergeben sich jedoch ab 700 mb normale, elliptische Verteilungen. Die vektoriellen Änderungen der Winde in der freien Atmosphäre weisen kreisförmige Verteilungen auf.

Die Niederschlagsaktivität zu einem gegebenen Zeitpunkt kann quantitativ gekennzeichnet werden durch die Anzahl derjenigen Beobachtungsstationen, die für die gleiche Zeit Niederschlag melden. Die Häufigkeitsverteilung solchen „gleichzeitigen Niederschlags“ ist binomial für sehr große, beobachtete Gebiete, aber U-förmig für kleine; der Unterschied wird aus synoptischen Gründen erklärt.

Die Zirkumglobalstrahlung wird mit dem Kugelpyranometer nach BELLANI gemessen. Vergleicht man die Bad Sodener Ergebnisse mit denen anderer Stationen, so zeigt sich vor allem der Einfluß der Höhe auf Betrag und Jahresgang der täglichen Zirkumglobalstrahlungssummen.

Abstract

Several selected climatic elements are presented by means of their frequency distributions. The observation data, upon which the evaluations are founded, are those of Frankfurt am Main (mainly air temperature, 1870 — 1960, and surface winds, 1951 — 1957), of Wiesbaden (upper air data, 1951 — 1957), of the synoptic network of the Deutscher Wetterdienst (precipitation, 1951 — 1960), and of a health resort not far from Frankfurt, Bad Soden am Taunus (daily radiation sums, 1953 — 1965).

In addition to the characteristic values of air temperature (daily minimum, mean, and maximum), the deviations of these values from their climatological means are considered; time integrals of the deviations (deviation sums) show L-shaped distributions, slightly varying through the seasons. The interdiurnal changes of the characteristic temperatures correlate with their preceding deviations, again in a seasonally defined manner.

The vector quality of the wind requires twodimensional frequency distributions which are rather complicate for the surface wind in a location like Frankfurt a. M. However, normal elliptical distributions result for the 700 mb and higher level winds. The vectorial changes of upper air winds show circular distributions.

Precipitation activity at a certain moment can be quantitatively characterized by the number of stations in a given network, reporting precipitation at the same time. The frequency distribution of such events of „concurrant precipitation“ is binomial for large observation areas, U-shaped for small observation areas; the difference is explained by synoptic reasons.

The so-called circumglobal radiation (where „circumglobal“ refers to the point of observation) ist measured by the BELLANI type ball pyranometer. The Bad Soden results, if compared to those of other stations, reveal the influence of station elevation upon amount and yearly trend of the daily radiation sums.

Vorwort

In dem vorliegenden Bericht werden für einige meteorologische Elemente Häufigkeitsverteilungen ihrer Werte dargeboten.

Je nach der Richtung, in die das vorzugsweise Interesse des Lesers geht, schließt sich die Arbeit an verschiedene Vorgänger an:

a) Soweit es das Klima von Frankfurt a. M. betrifft, ergänzt sie dessen letzte Darstellung von H. MOLLWO (23) durch ausführliche Häufigkeitsverteilungen derjenigen Größen, deren Beobachtungen bisher nur durch mittlere und extreme Werte beschrieben wurden.

b) Hinsichtlich der Lufttemperatur stellt sie eine Erweiterung der von R. REIDAT (27) für das Bauwesen gebotenen Unterlagen dar, durch Hinzunahme der in (27) nicht enthaltenen Station Frankfurt a. M.

c) In der Frage der interdiurnen Veränderlichkeit der Temperatur wird die Arbeit von O. FREYBE (11) aus

dem Jahre 1919 durch die hier gebotenen Häufigkeitsverteilungen der interdiurnen Änderung der Tagesextreme und des Tagesmittels weitergeführt.

Mit der klimatologisch-statistischen Darstellung des Windes greift die vorliegende Arbeit über das Stadtgebiet von Frankfurt a. M. hinaus, wenn man in der freien Atmosphäre die von der Radiosondenstation Wiesbaden-Erbenheim beobachteten Höhenwinde als für das Rhein-Main-Gebiet repräsentativ nimmt.

Der neuartigen Darstellung der Niederschlagsverhältnisse, bei der aus synoptischen Meldungen eine quantitative Aussage über ein Gebiet gewonnen wird, liegen Beobachtungen der synoptischen Stationen des Deutschen Wetterdienstes in der ganzen Bundesrepublik zugrunde.

Die Beobachtungen der Zirkumglobalstrahlung, an denen sich eine Besonderheit im Jahresgang der Verteilungen zeigt, entstammen dem Kurort Bad Soden am Taunus.

1. Temperatur

Nach den frühen Bearbeitungen um die Jahrhundertwende (ZIEGLER und KÖNIG (43), HEIDEPRIM (14)) wurde die Reihe der Frankfurter Temperaturmessungen in jüngerer Zeit noch zweimal ausgewertet, wobei Hermann WACHTER (42) über 80 Jahre (1857—1936), H. MOLLWO (23) über 100 Jahre (1857—1956) von Beobachtungen verfügte. Auf der Zeitspanne von 1851 bis 1930 beruhende Werte finden sich in der „Klimakunde des Deutschen Reiches“ (16). In den genannten Arbeiten sind Mittelwerte der klimatologisch interessierenden Größen berechnet, sowie die extremen, vorgekommenen Fälle und zugehörigen Meßwerte angegeben. Häufigkeitsverteilungen charakteristischer Temperaturen (Tagesminimum, -mittel, -maximum) hat R. REIDAT (27) für 10 deutsche Stationen bearbeitet; Frankfurt a. M. befindet sich nicht darunter. Vereinzelt findet man solche Häufigkeitsverteilungen auch in sonstiger Literatur (siehe z. B. RIETSCHEL-RAISS (28)).

Seitdem der Deutsche Wetterdienst die Beobachtungsergebnisse der wichtigeren Stationen auf Lochkarten archiviert, ist es möglich, umfangreiche Beobachtungsreihen auf maschinellem Wege auszuzählen. Auf diese Weise wurden nunmehr auch für die Klimastation Frankfurt a. M.-Stadt vollständige Häufigkeitsverteilungen der beobachteten Temperaturen gewonnen, und zwar ausgehend von den auf Lochkarten vorhandenen Meßergebnissen aus den Jahren 1870 bis 1960. Diese Datenkarten wurden nach dem Zweiten Weltkrieg gelocht; nachdem der Wetterdienst durch den Krieg mancherlei eigene Klimaunterlagen eingebüßt hatte, mußte dabei auf verschiedenartige Aufzeichnungen zurückgegriffen werden, wie zum Beispiel auf beim Meteorologisch-Geophysikalischen Institut der Universität Frankfurt a. M. noch vorhandene Unterlagen, auf ältere Jahrbücher des Physikalischen Vereins Frankfurt a. M., usw. Es sei ausdrücklich erwähnt, daß die Lochkartendaten nicht in der von Hermann WACHTER (42) diskutierten und angewandten Weise homogenisiert sind.

Bearbeitet wurden das Tagesminimum, Tagesmittel und Tagesmaximum der Lufttemperatur, die interdiurnen Änderungen dieser drei charakteristischen Temperaturen, sowie eine aus den Temperaturbeobachtungen abgeleitete Größe, die im Weiteren noch näher zu schildern sein wird. Im allgemeinen werden die Verteilungen für die einzelnen Monate getrennt angegeben. Entsprechend dem zeitlichen Umfang des Ausgangsmaterials liegen jeder Monatsverteilung rund $91 \cdot 30 = 2730$ Werte zugrunde; der genaue, maximale mögliche Umfang der Stichproben ($91 \cdot 30; 91 \cdot 31; 91 \cdot 28 +$ Schalttage) wird nicht immer ganz erreicht, weil durch Kriegereignisse oder andere Störungen vereinzelt Beobachtungen ausgefallen sind. Soweit Verteilungen für die meteorologischen Jahreszeiten angegeben werden, beruhen diese entsprechend auf jeweils über 8000 Werten. Was hieraus für die statistische Sicherheit der mitgeteilten Verteilungen zu folgern ist, wird nach der Darstellung der Ergebnisse diskutiert.

1.1. Häufigkeitsverteilungen des Tagesminimums, -mittels und -maximums der Lufttemperatur

Die Verteilungen wurden, nach Monaten getrennt, in 1° -Klassen ausgezählt, die jeweils von $x,0$ bis $x,9^\circ$ reichen, also je 10 Zehntelgrad-Stufen umfassen. Da gemäß den Regeln klimatologischer Auswertung auch der Wert $-0,0^\circ$ als Abrundungsergebnis vorkommt, sind die dem Nullpunkt der Celsiusskala benachbarten Klassen wie folgt begrenzt: $-1,9$ bis $-1,0$; $-0,9$ bis $-0,0$; $+0,0$ bis $+0,9$; $1,0$ bis $1,9$; usw. Aus den Zählergebnissen wurden die relativen Häufigkeiten für jede 1° -Klasse berechnet und diese zu den Häufigkeitssummen akkumuliert; beim Vergleich verschiedener Verteilungen bietet die Darstellungsweise in Häufigkeitssummen den Vor-

teil, daß sie von der Klasseneinteilung weitgehend unabhängig ist. Für die graphische Wiedergabe wird das Wahrscheinlichkeitsnetz bevorzugt; dieses käuflich erhältliche Netzpapier ist so angelegt, daß die Häufigkeitssummen GAUSS'scher Normalverteilungen darin Geraden ergeben, so daß sich unmittelbar aus dem Anblick ein Urteil über die Art der beobachteten Verteilungen gewinnen läßt.

Es mag hier interessieren, in welcher Weise sich bestimmte Abweichungen von der normalen, GAUSS'schen Verteilung im Wahrscheinlichkeitsnetz ausprägen. Eine Durchbiegung, eventuell als Knick erscheinend, der Häufigkeitssummenkurve deutet auf Schiefe der Verteilung hin; der steileren Stelle kommt die größere Häufigkeitsdichte zu. Ein S-förmiger Verlauf weist auf Kurtosis (Exzeß) hin.

In der beschriebenen Weise dargestellt, zeigen die Abbildungen 1, 2 und 3 die Verteilungen der Häufigkeitssummen für das Tagesminimum, Tagesmittel und Tagesmaximum der Lufttemperatur in Frankfurt a. M., wobei jeweils links die sechs „aufsteigenden“, rechts die sechs „absteigenden“ Monate wiedergegeben sind. Um eine quantitative Benutzung der dargestellten Ergebnisse zu erleichtern, wurden für einige bestimmte Werte der Häufigkeitssummen die zugehörigen Temperaturen (Abszisse, als Merkmalsgrenzwert) graphisch bestimmt und in den Tabellen 1 a, b und c angegeben. Zum Vergleich mit den von REIDAT (27) bearbeiteten Temperaturverteilungen anderer Stationen ist eine tabellarische Darstellung (Tab. 2, 3, 4) beigelegt, die der Form der REIDAT'schen Aufstellungen entspricht und lediglich die relativen Häufigkeiten nicht in Tagen pro (variabler) Monatslänge, sondern in Prozenten enthält.

Die Kurven der Abbildungen 1 bis 3 zeigen, daß die monatlichen Temperaturverteilungen sich nur in wenigen Monaten einer GAUSS'schen Normalverteilung wenigstens nähern. Es gibt graphische (DAEVES und BECKEL (5)) und rechnerische (ESSENWANGER (7)) Verfahren, die es erlauben, solche komplizierteren Verteilungen in Unterverteilungen GAUSS'scher Art zu zerlegen, aus denen sie — wenn die beobachtete Größe dies physikalisch rechtfertigt — zusammengesetzt gedacht werden können. Für die hier vorliegenden Verteilungen der Tagesminimumtemperatur von Frankfurt a. M. hat FIEDLER (9) eine solche Analyse auf Unterverteilungen ausgeführt und diese meteorologisch zu deuten unternommen. Es zeigte sich dabei, daß eine einfache Identifikation der Unterverteilungen mit bestimmten Luftmassen nicht möglich ist; diese Auffassung, die die Übereinstimmung einiger Temperatur-Mittelwerte der Unterverteilungen mit Mitteltemperaturen der Luftmassen nahelegt, wird durch die unterschiedlichen Jahresgänge (der Unterverteilungen und der Luftmassen) doch ausgeschlossen.

Der Jahresgang der drei charakteristischen Temperaturen des Tages geht aus den Abbildungen 4, 5 und 6 hervor. In diesen sind, aus den monatlichen Häufigkeitsverteilungen bestimmt, diejenigen Bereiche durch verschiedene Schattierungen gekennzeichnet, innerhalb deren $\frac{2}{3}$, $\frac{9}{10}$ und $\frac{49}{50}$ aller in den Jahren 1870 bis 1960 vorgekommenen Werte liegen — und zwar so, daß zu beiden Seiten jeweils die Hälfte der restlichen Prozente verbleibt; die beiden zentralen Terzile entsprechen im Falle einer GAUSS'schen Normalverteilung dem Bereich der einfachen Streuung.

Für manche Anwendungen, beispielsweise im Bauwesen, interessieren die Jahresverteilungen; sie sind, für alle drei charakteristischen Temperaturen gemeinsam, in den Abbildungen 7 a und b dargestellt, wobei Abbildung 7 a diese Verteilungen in dem hier bevorzugten Wahrscheinlichkeitsnetz zeigt, Abbildung 7 b hingegen in linearer Darstellung. Zur genaueren Benutzung sind in Tabelle 5 wiederum einige Zahlenwerte beigegeben.

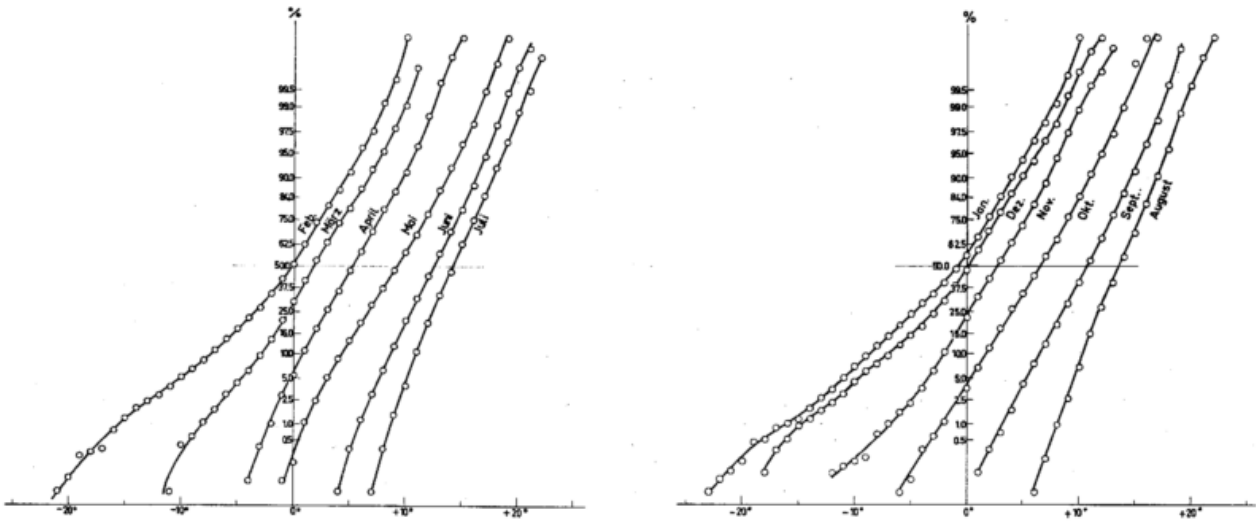


Abb. 1

Monatliche Häufigkeitsverteilungen des Tagesminimums der Lufttemperatur in Frankfurt a. M. nach den Beobachtungen von 1870 bis 1960; links für die Monate Februar bis Juli, rechts für die Monate August bis Januar.

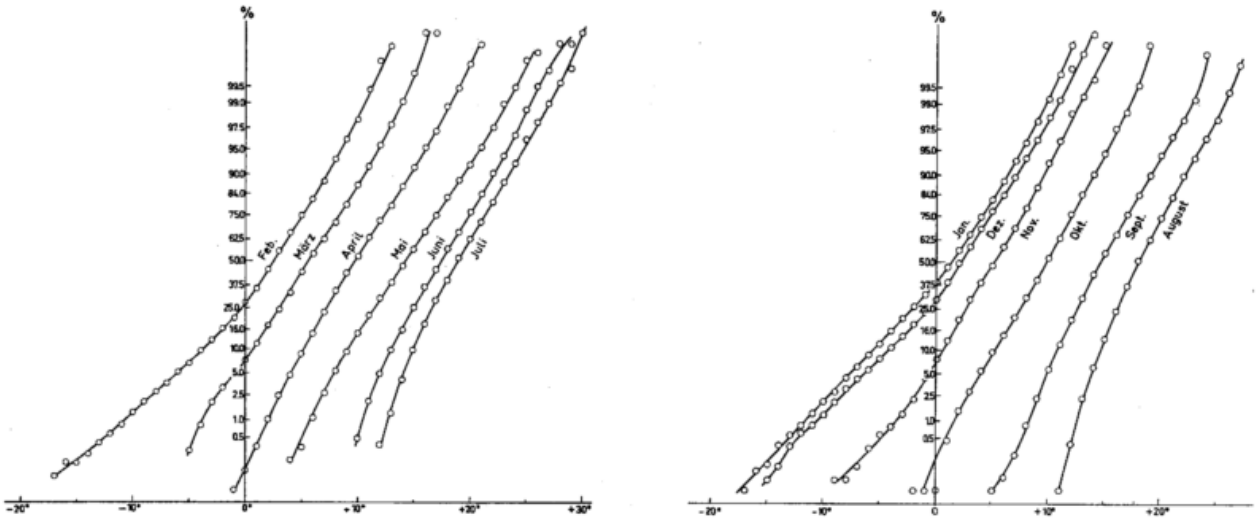


Abb. 2

Monatliche Häufigkeitsverteilungen des Tagesmittels der Lufttemperatur in Frankfurt a. M. nach den Beobachtungen von 1870 bis 1960; links für die Monate Februar bis Juli; rechts für die Monate August bis Januar.

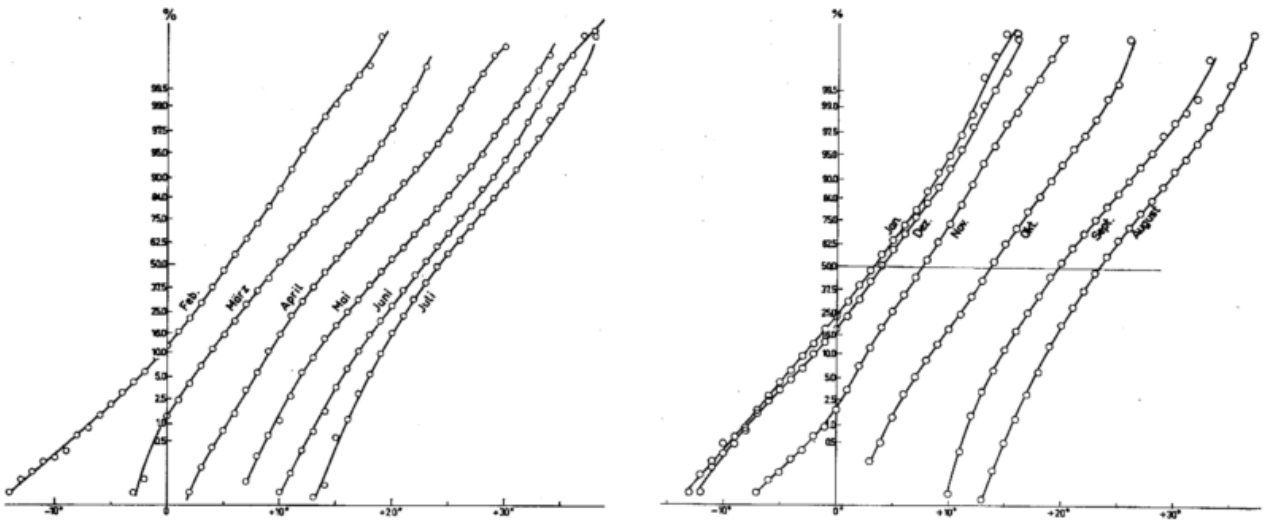


Abb. 3

Monatliche Häufigkeitsverteilungen des Tagesmaximums der Lufttemperatur in Frankfurt a. M. nach den Beobachtungen von 1870 bis 1960; links für die Monate Februar bis Juli, rechts für die Monate August bis Januar.

Tab. 1

Verlauf der monatlichen Häufigkeitssummenkurven für das Tagesminimum, -mittel und -maximum der Lufttemperatur in Frankfurt a. M. Kopfzeile: % Summenhäufigkeit bis zu der in der Tabelle genannten Temperatur; Temperaturangaben in ° C.

a) Maximum																		
	0,5	1	2,5	5	10	16	25	37,5	50	62,5	75	84	90	95	97,5	99	99,5%	
Dez.	-9,0	-7,8	-5,7	-3,9	-1,9	-0,4	+1,1	2,6	4,0	5,4	6,9	8,3	9,5	10,8	11,9	13,1	13,9	
Jan.	-9,3	-8,0	-6,2	-4,6	-2,8	-1,4	+0,2	1,8	3,3	4,7	6,3	7,7	8,7	10,0	11,0	12,1	12,7	
Febr.	-8,6	-6,8	-4,4	-2,4	-0,5	+0,9	+2,4	4,0	5,4	6,7	8,3	9,6	10,6	11,9	13,1	14,6	15,9	
März	-1	-0,4	+1,0	+2,3	+3,8	5,1	6,5	8,2	9,8	11,5	13,3	15,0	16,5	18,4	19,8	21,2	22,0	
Apr.	+4,4	+5,3	6,7	7,8	9,0	10,1	11,3	12,9	14,6	16,3	18,2	20,0	21,5	23,4	24,8	26,2	27,0	
Mai	8,8	9,6	10,8	11,9	13,3	14,5	16,0	17,9	19,6	21,3	23,2	24,8	26,2	28,0	29,4	31,0	32,0	
Juni	12,5	13,2	14,5	15,6	17,0	18,2	19,6	21,3	22,8	24,3	26,0	27,6	29,0	30,5	31,6	32,9	33,8	
Juli	15,3	15,9	17,0	17,9	19,1	20,0	21,2	22,7	24,2	25,7	27,5	29,1	30,5	32,2	33,6	35,0	36,0	
Aug.	15,0	15,6	16,6	17,6	18,7	19,6	20,6	22,0	23,3	24,7	26,5	28,0	29,4	31,2	32,5	33,9	34,8	
Sept.	11,2	11,8	12,7	13,6	14,8	15,8	17,0	18,4	19,7	21,2	23,0	24,6	26,0	27,9	29,4	31,0	31,9	
Okt.	+3,9	+4,6	5,8	7,0	8,4	9,6	11,0	12,4	13,7	15,0	16,5	17,8	19,0	20,7	22,1	23,6	24,5	
Nov.	-2,3	-1,0	+0,5	+1,6	2,7	3,6	4,8	6,3	7,6	8,9	10,2	11,3	12,2	13,5	14,7	16,1	17,1	

b) Mittel																		
	0,5	1	2,5	5	10	16	25	37,5	50	62,5	75	84	90	95	97,5	99	99,5%	
Dez.	-12,3	-10,5	-8,3	-6,4	-4,2	-2,5	-0,7	+0,9	2,2	3,4	4,8	6,0	7,1	8,4	9,5	10,8	11,5	
Jan.	-13,0	-11,6	-9,5	-7,6	-5,6	-4,0	-2,1	-0,2	+1,3	2,7	4,0	5,3	6,3	7,6	8,6	9,7	10,4	
Febr.	-12,4	-10,7	-8,2	-6,0	-3,8	-2,1	-0,3	+1,3	2,5	3,7	5,0	6,3	7,3	8,5	9,5	10,6	11,3	
März	-4,5	-3,8	-2,5	-1,0	+0,6	+1,8	+3,0	4,4	5,6	6,9	8,4	9,6	10,7	11,9	12,9	14,0	14,7	
Apr.	+1,3	+2,0	+3,1	+4,1	5,2	6,1	7,2	8,5	9,7	11,0	12,4	13,6	14,7	16,0	17,1	18,3	19,1	
Mai	5,1	5,9	6,9	7,9	9,2	10,2	11,5	13,0	14,3	15,6	17,0	18,3	19,4	20,9	22,0	23,3	24,0	
Juni	10,0	10,4	11,2	12,0	13,0	13,9	15,0	16,3	17,5	18,6	19,9	21,1	22,1	23,4	24,4	25,5	26,1	
Juli	12,3	12,8	13,5	14,1	15,0	15,7	16,7	17,8	18,9	20,0	21,3	22,5	23,5	24,8	25,9	27,1	27,9	
Aug.	12,1	12,5	13,2	13,9	14,6	15,3	16,1	17,0	18,0	19,0	20,1	21,1	22,0	23,4	24,5	25,6	26,2	
Sept.	7,7	8,3	9,1	9,8	10,8	11,6	12,5	13,6	14,6	15,7	16,9	18,0	19,0	20,3	21,5	22,7	23,3	
Okt.	+0,8	+1,6	+2,8	+3,9	5,3	6,3	7,5	8,7	9,8	10,9	12,0	13,0	14,0	15,2	16,2	17,2	17,9	
Nov.	-4,9	-3,6	-1,9	-0,7	+0,5	+1,5	2,6	3,9	5,2	6,4	7,6	8,7	9,5	10,6	11,6	12,7	13,5	

c) Minimum																		
	0,5	1	2,5	5	10	16	25	37,5	50	62,5	75	84	90	95	97,5	99	99,5%	
Dez.	-16,2	-14,8	-11,7	-9,7	-6,9	-4,9	-2,9	-1,2	+0,2	1,3	2,6	3,7	4,9	6,4	7,5	8,7	9,4	
Jan.	-18,3	-16,0	-13,2	-11,0	-8,7	-6,8	-4,7	-2,5	-0,8	+0,6	1,9	3,0	4,0	5,3	6,5	7,7	8,4	
Febr.	-17,0	-15,5	-12,7	-10,0	-7,4	-5,4	-3,5	-1,6	-0,1	+1,0	2,2	3,5	4,6	5,9	6,9	8,0	8,6	
März	-9,2	-8,1	-6,3	-4,6	-2,9	-1,6	-0,5	+0,7	+1,8	2,9	4,2	5,5	6,6	7,9	8,9	9,9	10,4	
Apr.	-2,7	-2,1	-1,2	-0,3	+0,9	+1,8	+2,9	4,2	5,2	6,3	7,5	8,7	9,7	10,7	11,5	12,3	12,8	
Mai	+0,4	+1,0	+2,0	+3,0	4,4	5,5	6,7	8,0	9,2	10,4	11,7	12,7	13,6	14,7	15,6	16,5	17,1	
Juni	5,3	5,9	6,8	7,6	8,6	9,5	10,4	11,5	12,5	13,4	14,5	15,4	16,2	17,1	17,9	18,7	19,2	
Juli	8,3	8,7	9,4	10,1	10,9	11,6	12,4	13,4	14,2	15,0	16,0	16,9	17,7	18,6	19,3	20,2	20,8	
Aug.	7,6	8,1	8,9	9,6	10,4	11,0	11,7	12,7	13,6	14,6	15,5	16,2	16,9	17,8	18,5	19,2	19,8	
Sept.	+2,5	+3,2	+4,3	5,4	6,6	7,5	8,6	9,7	10,7	11,7	12,8	13,8	14,7	15,7	16,5	17,3	17,9	
Okt.	-3,1	-2,2	-0,9	+0,3	+1,7	+2,8	3,9	5,3	6,5	7,7	8,9	9,9	10,8	12,0	12,9	14,0	14,6	
Nov.	-8,1	-6,7	-4,8	-3,4	-2,0	-1,0	+0,3	1,6	2,7	3,9	5,2	6,3	7,2	8,2	9,0	10,1	10,9	

Tab. 2

Häufigkeit des täglichen Minimums der Lufttemperatur (° C).
(Prozent der Fälle)

Frankfurt a. M. 1870 — 1960.

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
23,0 bis 23,9° C													
22,0 ... 22,9							0,1	0,0					0,01
21,0 ... 21,9						0,1	0,4	0,1					0,04
20,0 ... 20,9						0,1	0,7	0,3					0,09
19,0 ... 19,9					0,0	0,4	2,3	0,8	0,1				0,31
18,0 ... 18,9					0,1	1,4	4,1	3,2	0,3				0,76
17,0 ... 17,9					0,4	3,5	7,6	5,0	1,2	0,0			1,48
16,0 ... 16,9					1,4	6,4	9,8	8,9	2,2	0			2,39
15,0 ... 15,9				0,0	1,9	8,4	12,5	13,0	4,4	0,1			3,37
14,0 ... 14,9				0,1	3,9	10,6	15,7	13,1	6,1	0,9			4,19
13,0 ... 13,9				0,3	5,8	11,9	13,9	15,0	7,9	1,5	0,1		4,69
12,0 ... 12,9				1,0	8,9	12,8	13,1	13,2	11,8	2,5	0,2	0,0	5,29
11,0 ... 11,9			0,2	2,6	10,1	13,2	9,7	11,1	12,6	4,0	0,2	0,0	5,31
10,0 ... 10,9	0,0	0,0	0,8	4,5	9,6	10,2	6,1	9,3	12,6	6,2	0,7	0,1	5,01
9,0 ... 9,9	0,2	0,3	1,2	5,3	10,7	9,0	2,6	4,4	11,2	8,3	1,4	0,4	4,58
8,0 ... 8,9	0,6	0,5	2,5	6,4	10,2	5,8	1,1	1,7	9,9	11,1	3,3	1,3	4,53
7,0 ... 7,9	0,9	1,6	3,4	10,0	9,0	3,3	0,3	0,7	6,8	9,4	5,3	1,4	4,34
6,0 ... 6,9	1,5	1,8	5,0	11,0	7,9	1,8	0,0	0,2	5,1	11,5	7,0	2,8	4,63
5,0 ... 5,9	2,7	4,2	7,1	11,4	6,3	0,8		0,0	3,6	10,0	9,4	3,4	4,91
4,0 ... 4,9	3,8	4,9	7,5	12,2	5,2	0,3			2,5	7,8	9,1	5,0	4,85
3,0 ... 3,9	5,6	5,4	8,9	9,3	3,5	0,0			1,0	8,6	10,0	7,2	4,95
2,0 ... 2,9	8,3	7,6	10,5	8,1	2,7				0,4	6,3	10,3	8,6	5,23
1,0 ... 1,9	9,7	11,6	11,5	7,1	1,3				0,2	4,7	10,2	10,5	5,58
0,0 ... 0,9	10,6	11,2	12,0	5,2	0,9				0,1	3,3	9,9	11,8	5,43
−0,0 ... −0,9	7,7	8,8	8,1	2,6	0,1					1,3	6,8	8,9	3,70
−1,0 ... −1,9	7,9	7,9	7,4	1,9	0,1					1,4	5,7	7,9	3,35
−2,0 ... −2,9	6,4	7,3	4,6	0,6						0,5	4,2	6,4	2,50
−3,0 ... −3,9	5,0	4,6	3,2	0,3						0,3	2,5	5,4	1,77
−4,0 ... −4,9	4,9	4,4	1,7	0,1						0,3	1,5	3,3	1,35
−5,0 ... −5,9	5,0	3,7	1,4							0,0	0,6	3,3	1,17
−6,0 ... −6,9	3,8	3,4	1,2							0,0	0,6	2,5	0,96
−7,0 ... −7,9	3,1	2,6	0,7								0,4	2,0	0,73
−8,0 ... −8,9	2,8	1,9	0,5								0,5	1,6	0,59
−9,0 ... −9,9	2,3	1,2	0,2								0,0	1,7	0,45
−10,0 ... −10,9	2,2	1,4	0,4								0,0	1,4	0,44
−11,0 ... −11,9	1,5	1,0	0,0								0,0	0,8	0,28
−12,0 ... −12,9	0,9	0,6									0,1	0,6	0,18
−13,0 ... −13,9	0,8	0,4										0,5	0,15
−14,0 ... −14,9	0,6	0,6										0,3	0,12
−15,0 ... −15,9	0,3	0,5										0,4	0,09
−16,0 ... −16,9	0,1	0,4										0,2	0,07
−17,0 ... −17,9	0,4	0,0										0,2	0,05
−18,0 ... −18,9	0,0	0,0										0,1	0,02
−19,0 ... −19,9	0,3	0,2											0,04
−20,0 ... −20,9	0,1	0,0											0,01
−21,0 ... −21,9	0,0												0,01
−22,0 ... −22,9	0,0												0,00
−23,0 ... −23,9	0,0												0,00
Zahl der Beobachtungen:	2819	2570	2790	2700	2790	2728	2821	2821	2730	2821	2722	2809	33121

Das Häufigkeitsmaximum jedes Monats ist fett gedruckt.

Zum Vergleich:

Mittlere Tagesminima der Lufttemperatur (° C) nach MOLLWO (23)
Frankfurt a. M. 1857 — 1956

−1,8 −0,9 1,6 5,2 9,1 12,5 14,3 13,7 10,7 6,3 2,4 −0,6

Tab. 3

Häufigkeit des Tagesmittels der Lufttemperatur (° C)
(Prozent der Fälle)

Frankfurt a. M. 1870 — 1960.

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
30,0 bis 30,9° C							0,0						0,00
29,0 ... 29,9						0,1	0,2						0,02
28,0 ... 28,9						0,0	0,2						0,02
27,0 ... 27,9						0,2	0,6	0,2					0,08
26,0 ... 26,9					0,1	0,3	1,1	0,4					0,16
25,0 ... 25,9					0,0	0,8	1,7	1,2					0,32
24,0 ... 24,9					0,4	1,9	3,8	1,7	0,1				0,65
23,0 ... 23,9					0,5	2,9	4,7	2,9	0,7				0,98
22,0 ... 22,9					1,4	3,8	7,1	3,9	1,0				1,44
21,0 ... 21,9				0,1	2,3	6,3	8,4	6,7	1,5				2,11
20,0 ... 20,9				0,1	3,0	7,8	9,3	8,9	2,6				2,64
19,0 ... 19,9				0,4	4,1	9,6	11,3	11,6	4,1	0,1			3,43
18,0 ... 18,9				0,6	5,3	9,9	12,2	11,8	6,2	0,4			3,87
17,0 ... 17,9			0,0	1,7	8,0	10,9	10,7	14,3	7,9	0,9			4,52
16,0 ... 16,9			0,0	2,1	8,4	9,8	10,6	12,4	10,7	1,1			4,59
15,0 ... 15,9			0,2	3,5	9,8	10,5	8,4	10,8	10,3	3,0	0,1		4,72
14,0 ... 14,9			0,7	5,0	9,5	9,3	5,6	7,1	12,1	4,3	0,3	0,0	4,49
13,0 ... 13,9		0,1	1,4	7,3	9,1	6,3	2,8	3,9	12,7	6,2	0,4	0,1	4,18
12,0 ... 12,9	0,1	0,1	2,2	7,1	8,4	4,8	0,9	1,8	10,1	8,3	0,7	0,1	3,72
11,0 ... 11,9	0,2	0,4	3,8	8,8	7,9	2,8	0,4	0,4	8,4	11,9	2,4	0,6	4,00
10,0 ... 10,9	0,5	1,3	4,8	10,6	7,1	1,5		0,0	5,9	11,7	3,4	0,8	4,00
9,0 ... 9,9	1,1	1,8	6,9	9,3	5,5	0,5			3,5	12,1	6,2	1,9	4,07
8,0 ... 8,9	2,0	3,0	8,4	9,6	3,9				1,4	9,5	8,0	2,7	4,05
7,0 ... 7,9	2,7	5,3	8,7	10,4	2,7				0,6	9,4	9,2	4,3	4,45
6,0 ... 6,9	5,1	6,0	8,7	8,6	1,5				0,2	6,6	10,3	5,5	4,36
5,0 ... 5,9	6,1	7,2	10,2	6,0	0,8				0,0	5,2	11,0	6,5	4,42
4,0 ... 4,9	7,4	8,6	11,0	4,1	0,1				0,0	3,8	9,6	8,5	4,42
3,0 ... 3,9	9,0	10,5	8,4	2,3	0,2					2,7	9,0	10,1	4,36
2,0 ... 2,9	9,1	10,4	6,9	1,4						1,4	9,1	9,4	3,97
1,0 ... 1,9	9,5	10,3	6,0	0,7						1,0	7,7	11,2	3,86
0,0 ... 0,9	8,5	7,4	4,3	0,2						0,4	4,9	8,8	2,87
−0,0 ... −0,9	6,7	6,8	2,4	0,1						0,0	3,2	5,9	2,09
−1,0 ... −1,9	5,9	4,4	1,9	0,0						0,0	2,2	5,2	1,64
−2,0 ... −2,9	5,1	3,8	1,2							0,0	0,9	4,3	1,28
−3,0 ... −3,9	5,0	3,0	1,1								0,5	3,5	1,08
−4,0 ... −4,9	4,3	2,7	0,5								0,2	2,6	0,86
−5,0 ... −5,9	2,9	1,7	0,3								0,3	2,3	0,62
−6,0 ... −6,9	2,7	1,6									0,2	1,4	0,48
−7,0 ... −7,9	1,7	0,8									0,1	1,1	0,31
−8,0 ... −8,9	1,6	0,8									0,0	1,2	0,30
−9,0 ... −9,9	0,8	0,6									0,1	0,7	0,18
−10,0 ... −10,9	0,7	0,5										0,4	0,14
−11,0 ... −11,9	0,5	0,2										0,2	0,08
−12,0 ... −12,9	0,3	0,2										0,3	0,06
−13,0 ... −13,9	0,2	0,2										0,2	0,05
−14,0 ... −14,9	0,2	0,1										0,1	0,03
−15,0 ... −15,9	0,0	0,0										0,1	0,01
−16,0 ... −16,9	0,1	0,1											0,01
−17,0 ... −17,9	0,0	0,1											0,01
−18,0 ... −18,9													
−19,0 ... −19,9													
Zahl der Beobachtungen:	2821	2570	2790	2700	2790	2730	2821	2821	2730	2821	2730	2821	33145

Das Häufigkeitsmaximum jedes Monats ist fett gedruckt.

Zum Vergleich:

Mittlere Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur (° C) nach MOLLWO (23)
Frankfurt a. M. 1857 — 1956

0,6 2,0 5,5 10,0 14,5 17,8* 19,3 18,4 15,0 9,7 4,9 1,6 9,9

* Vermutlich mit einem Fehler behaftet; der richtige Wert dürfte 17,5 sein.

Tab. 4

Häufigkeit des täglichen Maximums der Lufttemperatur (° C)
(Prozent der Fälle)

Frankfurt a. M. 1870 — 1960.

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
39,0 bis 39,9° C						0,0	0,0						0,01
38,0 ... 38,9						0	0,2	0,0					0,02
37,0 ... 37,9						0,1	0,3	0,1					0,04
36,0 ... 36,9						0,1	0,5	0,2					0,06
35,0 ... 35,9													
34,0 ... 34,9					0,1	0,2	0,8	0,6	0,1				0,15
33,0 ... 33,9					0,1	0,6	1,5	0,9	0,2				0,28
32,0 ... 32,9					0,3	0,9	2,1	1,5	0,3				0,43
31,0 ... 31,9					0,5	1,8	2,9	2,1	0,5				0,64
30,0 ... 30,9			0,1	0,8	2,6	3,9	2,3	0,6					0,85
29,0 ... 29,9			0,0	1,2	3,8	4,4	4,0	1,0					1,18
28,0 ... 28,9			0,2	2,2	3,5	5,8	4,3	1,9					1,48
27,0 ... 27,9			0,3	2,4	5,6	6,7	5,2	2,3					1,87
26,0 ... 26,9			0,6	2,6	5,6	7,0	6,5	3,2	0,0				2,12
25,0 ... 25,9			1,3	5,3	7,4	7,6	7,0	3,8	0,3				2,73
24,0 ... 24,9				1,4	5,0	7,5	7,3	9,1	4,8	0,3			2,95
23,0 ... 23,9			0,2	1,5	6,0	8,3	9,2	8,9	5,5	0,9			3,38
22,0 ... 22,9			0,3	2,6	6,5	7,8	8,2	10,1	7,2	1,2			3,66
21,0 ... 21,9			0,5	3,5	7,1	8,2	8,4	8,7	7,6	1,4			3,88
20,0 ... 20,9			1,3	4,4	6,6	8,3	7,4	8,2	8,2	2,6	0,0		3,92
19,0 ... 19,9		0,0	1,4	4,9	7,0	6,8	6,2	7,8	8,4	3,6	0,1		3,85
18,0 ... 18,9		0,1	2,2	5,2	7,8	5,7	4,3	6,3	10,1	4,9	0,2		3,89
17,0 ... 17,9		0,1	2,5	6,2	7,4	5,0	2,5	3,1	8,5	5,8	0,2		3,44
16,0 ... 16,9	0,0	0,2	3,2	6,8	6,1	4,0	1,7	1,8	8,2	7,4	0,7	0,0	3,34
15,0 ... 15,9	0	0,4	3,7	7,4	6,0	2,7	0,6	0,8	6,5	8,7	0,6	0,2	3,13
14,0 ... 14,9	0,1	0,6	5,3	8,2	5,1	1,9	0,5	0,4	5,0	10,1	2,0	0,3	3,29
13,0 ... 13,9	0,2	1,0	6,0	8,0	5,2	0,9	0,0	0,1	2,9	10,6	2,6	0,4	3,15
12,0 ... 12,9	1,0	2,1	6,8	7,3	3,2	0,4	0,0	0,0	1,8	8,4	5,0	1,1	3,09
11,0 ... 11,9	1,4	3,6	6,7	7,2	2,8	0,2			1,1	8,9	6,7	2,3	3,42
10,0 ... 10,9	2,4	4,9	8,4	7,5	1,5	0,1			0,3	6,7	8,6	3,1	3,62
9,0 ... 9,9	3,2	6,6	9,1	5,3	0,5	0,0			0,0	5,5	9,4	4,6	3,69
8,0 ... 8,9	5,1	7,8	6,9	4,5	0,4					4,4	10,2	5,4	3,71
7,0 ... 7,9	6,7	8,1	7,8	2,3	0,2					3,2	9,8	6,0	3,67
6,0 ... 6,9	7,1	8,9	6,9	1,9	0,1					2,1	9,4	8,4	3,72
5,0 ... 5,9	8,0	9,1	5,6	0,7						1,6	8,5	8,5	3,50
4,0 ... 4,9	8,0	9,4	4,6	0,4						0,9	7,2	9,0	3,28
3,0 ... 3,9	9,0	7,7	3,8	0,2						0,3	7,4	9,0	3,12
2,0 ... 2,9	8,4	7,4	2,8	0,1						0,2	4,5	9,7	2,76
1,0 ... 1,9	8,4	5,4	1,7	0,0							3,6	8,2	2,28
0,0 ... 0,9	7,4	4,8	1,0								1,7	5,7	1,72
-0,0 ... -0,9	5,5	3,2	0,9								0,8	4,6	1,24
-1,0 ... -1,9	5,2	2,9	0,4								0,3	3,7	1,03
-2,0 ... -2,9	3,7	1,8	0,0								0,3	3,2	0,75
-3,0 ... -3,9	3,0	1,1	0,0								0,1	1,9	0,50
-4,0 ... -4,9	1,9	1,0									0,1	1,3	0,35
-5,0 ... -5,9	1,6	0,6									0,0	1,1	0,27
-6,0 ... -6,9	1,0	0,5									0,0	0,8	0,20
-7,0 ... -7,9	0,8	0,2									0,0	0,8	0,15
-8,0 ... -8,9	0,3	0,3										0,4	0,08
-9,0 ... -9,9	0,1	0,1										0,1	0,03
-10,0 ... -10,9	0,3	0,0										0,1	0,04
-11,0 ... -11,9	0,1	0,1										0,1	0,02
-12,0 ... -12,9	0,1	0,0										0	0,01
-13,0 ... -13,9		0,0										0,0	0,01
-14,0 ... -14,9		0,0											0,00
Zahl der Beobachtungen:	2821	2570	2790	2700	2790	2730	2821	2821	2730	2820	2730	2819	33142

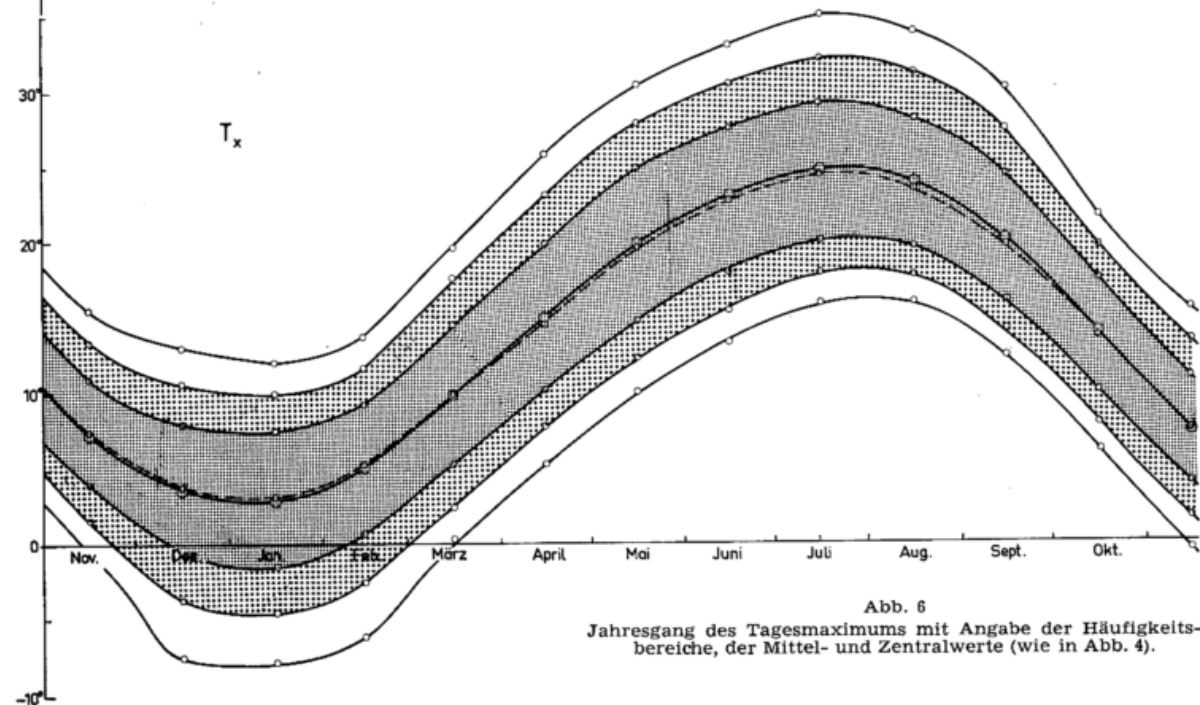
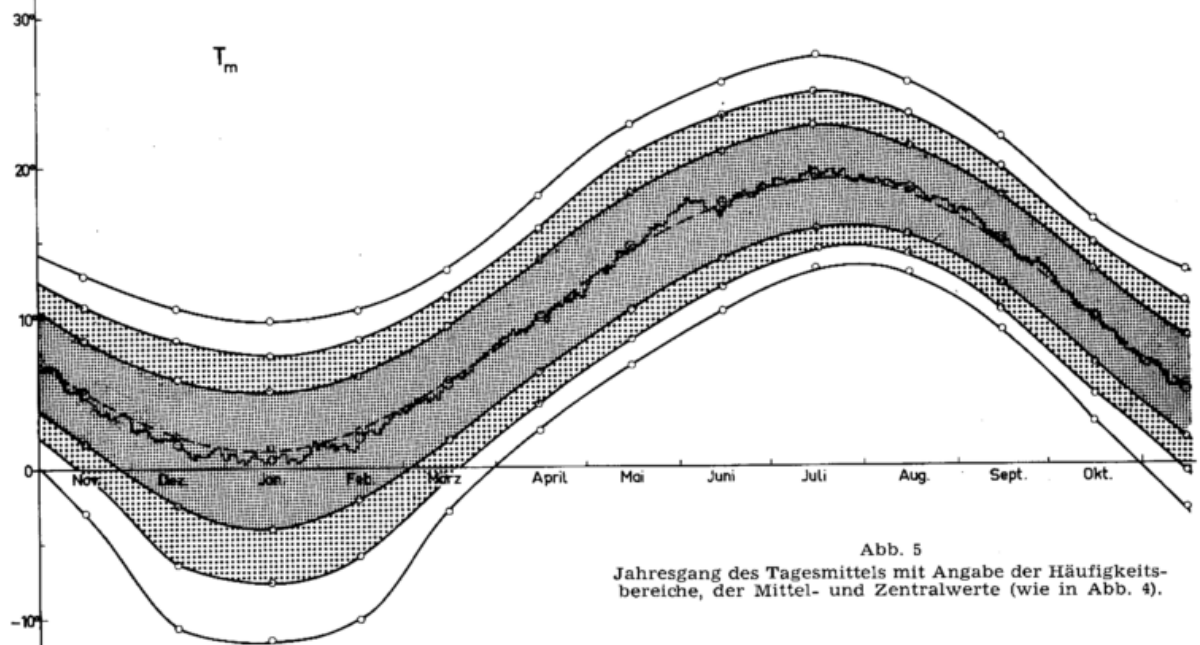
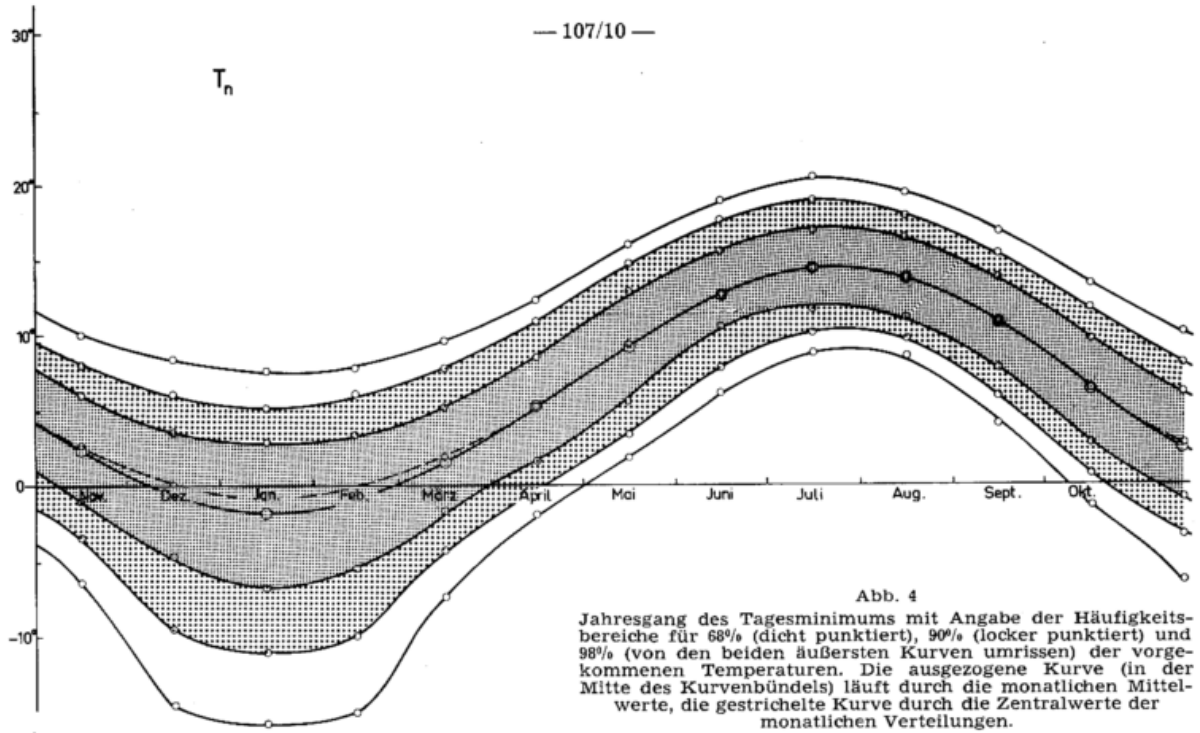
Das Häufigkeitsmaximum jedes Monats ist fett gedruckt.

Zum Vergleich:

Mittlere Tagesmaxima der Lufttemperatur (° C) nach MOLLWO (23)

Frankfurt a. M. 1857 — 1956

2,9 5,1 9,8 14,9 19,9 23,0 24,7 23,9 20,2 13,8 7,3 3,6



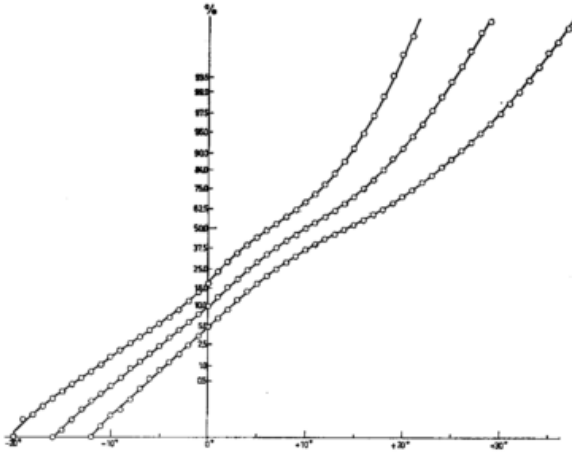


Abb. 7a

Häufigkeitsverteilungen der Lufttemperatur in Frankfurt a. M. nach den Beobachtungen von 1870 bis 1960, als Häufigkeitssummen für das ganze Jahr dargestellt im Wahrscheinlichkeitsnetz. Linke Kurve: Tagesminimum; mittlere Kurve: Tagesmittel; rechte Kurve: Tagesmaximum.

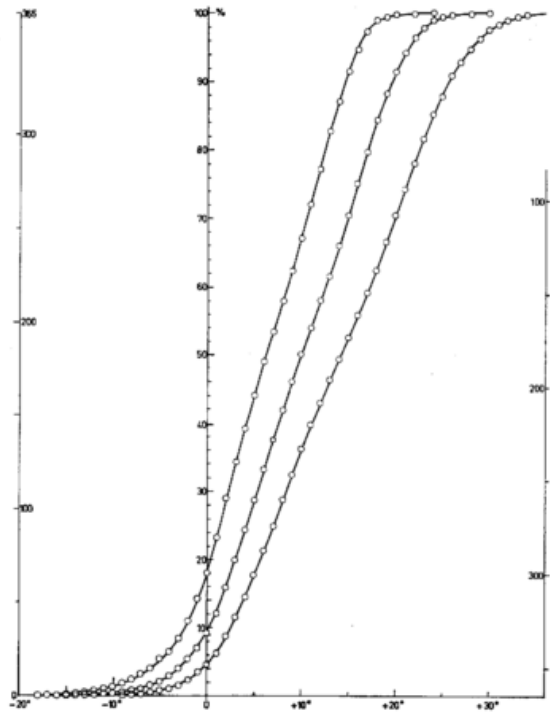


Abb. 7b

Häufigkeitsverteilungen der Lufttemperatur in Frankfurt a. M. nach den Beobachtungen von 1870 bis 1960, als Häufigkeitssummen für das ganze Jahr dargestellt in linearer Prozentteilung. Die links und rechts befindlichen Ordinatenteilungen erlauben abzulesen, an wieviel Tagen eines Jahres eine bestimmte Temperatur (Abszissenwert) über- oder unterschritten wird. Linke Kurve: Tagesminimum; mittlere Kurve: Tagesmittel; rechte Kurve: Tagesmaximum

Tab. 5

Häufigkeitssummen charakteristischer Temperaturen
(Tagesminimum, Tagesmittel, Tagesmaximum)
in Frankfurt a. M.
für das ganze Jahr.

(Nach den Beobachtungen 1870 — 1960.)

Häufigkeits- summe	Tages- minimum	Tages- mittel	Tages- maximum
Prozent	°C	°C	°C
99,5	18,9	25,3	33,2
99,0	18,3	24,4	32,0
97,5	17,1	22,8	30,0
95	16,0	21,4	28,1
90	14,6	19,5	25,7
84	13,3	17,9	23,6
75	11,6	16,0	21,2
62,5	9,0	13,2	18,0
50	6,2	10,0	14,2
37,5	3,7	7,0	10,4
25	1,3	4,2	7,0
16	-0,5	2,0	4,4
10	-2,4	0,3	2,5
5	-5,3	-2,4	0,2
2,5	-8,0	-4,7	-1,9
1,0	-11,0	-7,6	-4,5
0,5	-13,4	-9,4	-6,2

Es erhebt sich die Frage der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der mitgeteilten Ergebnisse. Die statistische Genauigkeit hängt von der Anzahl der zugrunde liegenden Beobachtungen ab. Da die monatlichen Verteilungen, wie schon gesagt, auf je rund 2700 Messungen beruhen, beträgt $\sqrt{N} = 52$ und damit der mittlere Fehler eines Mittelwertes aus den 2700 Messungen ungefähr $1/50$ der Streuung; der mittlere Fehler der Streuung selbst — wenn man diese näherungsweise gleich der einer Normalverteilung nimmt — gemäß $\sqrt{2N}$ ungefähr $1/75$ der Streuung. Diese Angaben kennzeichnen aber lediglich die Genauigkeit der statistischen Maßzahlen, des (hier nicht verwendeten) Mittelwertes und der Streuung.

Welche Schlüsse aus einer vollständigen Häufigkeitsverteilung gezogen werden können, ist eine andere Frage, die etwas weitergehende Überlegungen erfordert. Wollen wir aus den vorhandenen Beobachtungen auf die zu erwartende Häufigkeitsverteilung der Temperaturen in einer zukünftigen Zeitspanne schließen, so setzt dies zunächst einmal voraus, daß keine Klimaänderung stattfindet, daß also eine gemeinsame Grundgesamtheit der Temperaturwerte existiert, aus der die vergangene und die zukünftige Verteilung voneinander unabhängige Stichproben darstellen. Unter dieser Voraussetzung bedeutet das Erwarten einer bestimmten, zukünftigen Verteilung einen statistischen „Transponierungsschluß“ nach GEBELEIN (12). Die Genauigkeit, mit der auf die (zukünftigen) Häufigkeiten in den einzelnen Klassen der Verteilung geschlossen werden kann, hängt wieder vom Umfang, also von der Länge der Zeitspanne ab, auf deren Temperaturverteilung wir schließen wollen. Die Ausgangsstichprobe, nämlich die zugrunde liegende, klimatologische Beobachtungsreihe, möge aus insgesamt m Elementen (beobachteten Werten) bestehen, und wir wollen auf eine zukünftige Stichprobe aus insgesamt n Elementen schließen, wobei beide Stichproben in je k Klassen eingeteilt seien; die beobachteten, relativen Häufigkeiten in den einzelnen Klassen seien genannt $p_i = m_i/m$.

Für die relativen Häufigkeiten in den einzelnen Klassen der Stichprobe, auf die geschlossen werden soll, ergeben sich dann

die Erwartungswerte
$$p_i^* = \frac{m_i + 1}{m + k} \approx p_i$$

mit den Varianzen (der Erwartungswerte!)

$$s^2 = \frac{m + n + k}{n(m + k + 1)} \cdot p_i^* (1 - p_i^*)$$

und dementsprechend den Streuungen

$$s = \sqrt{\frac{m + n + k}{n(m + k + 1)} \cdot p_i^* (1 - p_i^*)}$$

Es sei daran erinnert, daß in dem einfachen Streubereich um den Erwartungswert, also zwischen $p_i - s$ und $p_i + s$, zwei Drittel der bei beliebigen Stichproben aus der gleichen Grundgesamtheit möglichen relativen Häufigkeiten für die betreffende Klasse liegen.

Nach der angeführten Gleichung von GEBELEIN, die den Streubereich der Klassenhäufigkeiten beschreibt, ist der Schluß am genauesten, wenn wir auf eine Stichprobe von gleichem Umfang, also eine Zeitspanne von gleicher Länge wie die der Beobachtungen schließen; als umgekehrt extremer Fall leuchtet von vornherein ein, daß man nicht für ein einzelnes Jahr eine wohlbestimmte Verteilung erwarten kann. Für einen Schluß von den beobachteten 91 Jahren auf eine zukünftige Zeitspanne von 10 Jahren zeigt Abbildung 8 am Beispiel der Dezember-Verteilung der täglichen Tiefsttemperatur die mittleren Fehler bei dem Transponierungsschluß, und zwar sowohl für die einzelnen Klassenhäufigkeiten, als auch in ihrer Auswirkung auf die Häufigkeitssummen.

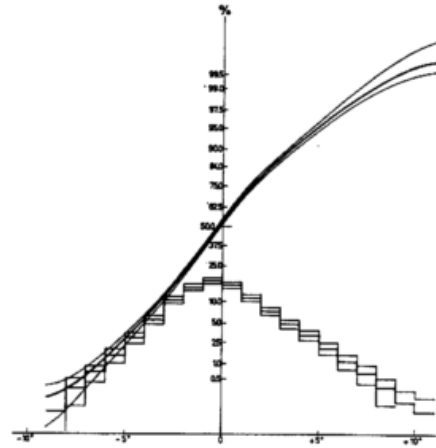


Abb. 8
Einfacher Streubereich der Häufigkeitsklassen beim Transponierungsschluß (nach GEBELEIN; siehe Text!) von 91 auf 10 Jahre, am Beispiel des Tagesminimums der Lufttemperatur im Dezember. Bezifferung in °C.

Eine statistische Kenngröße der Temperaturverteilungen wurde von MOHR (21) für die freie Atmosphäre in der Umgebung von Frankfurt a. M. bearbeitet. Er berechnete nach 8 Jahren Aufstiegen der Radiosondestation Wiesbaden-Erbenheim die Streuung (standard deviation) der Lufttemperatur in diesem Gebiet für verschiedene Höhen, wie auch in ihrem Jahres- und Tagesgang. Als zusammenfassende Darstellung seiner Ergebnisse sei hier Abbildung 9 wiedergegeben. Bei einem Vergleich beachte man, daß die Streuungen nach MOHR sich auf Terminbeobachtungen beziehen, während die hier vorgelegten Häufigkeitsverteilungen für das Tagesmaximum und -minimum gelten; offensichtlich streuen besonders im Winter die Terminwerte weniger als die Extremwerte.

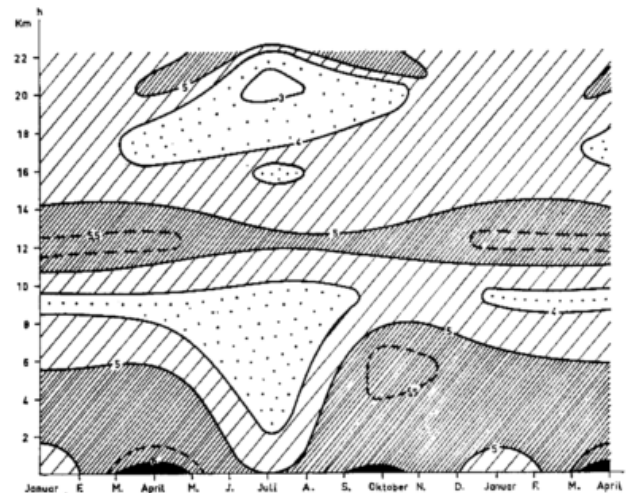


Abb. 9
Jahresgang der Streuung (standard deviation) der Lufttemperatur im Höhengchnitt durch die freie Atmosphäre nach MOHR (siehe Text), gewonnen aus den Radiosondenaufstiegen von 1949 bis 1956 der Station Wiesbaden-Erbenheim.

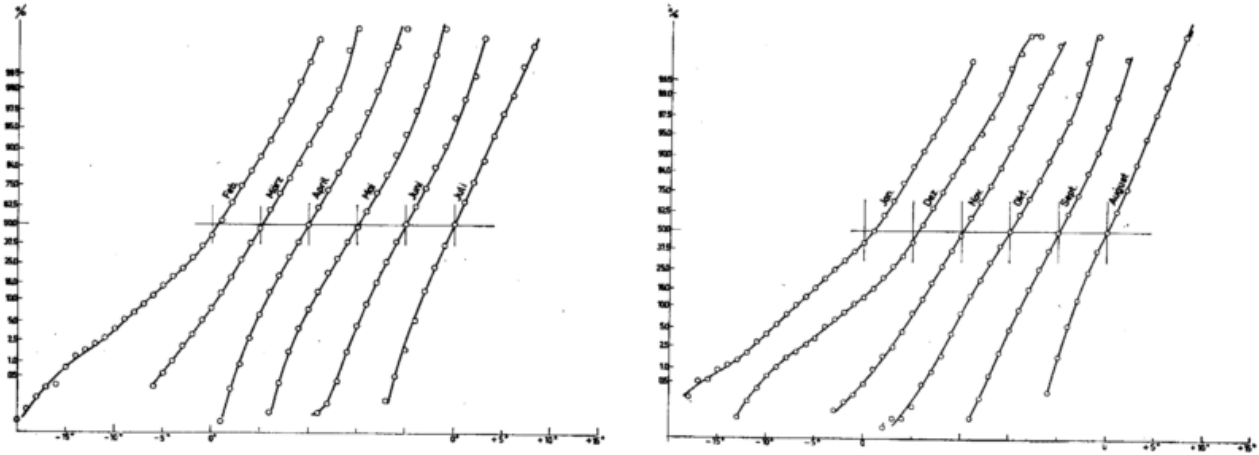


Abb. 10

Monatliche Häufigkeitsverteilungen der Abweichung des Tagesminimums der Lufttemperatur von seinem hundertjährigen Mittelwert für jeden Kalendertag; links für die Monate Februar bis Juli, rechts für die Monate August bis Januar. (Frankfurt a. M. 1870 — 1960).

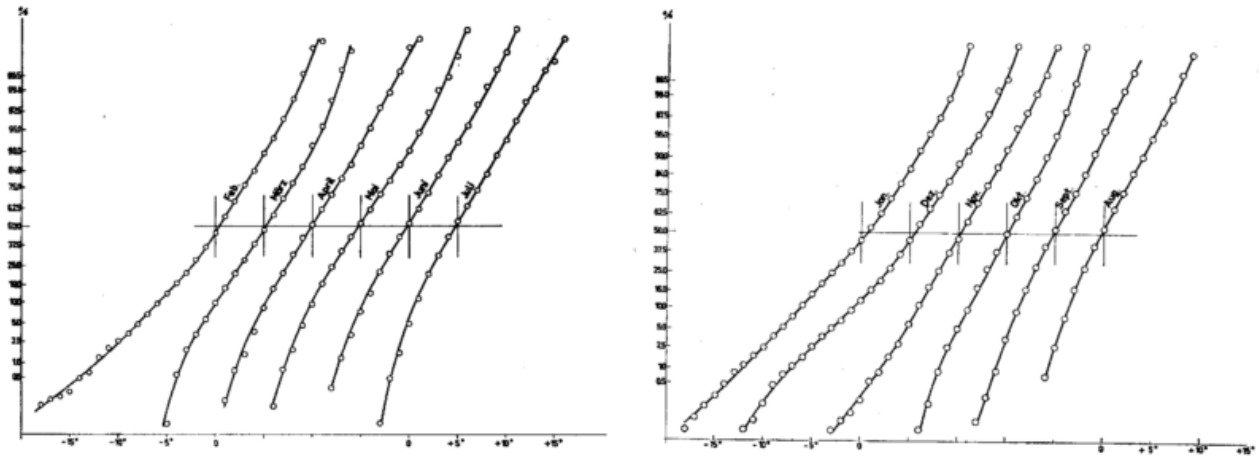


Abb. 11

Monatliche Häufigkeitsverteilungen der Abweichung des Tagesmittels der Lufttemperatur von seinem hundertjährigen Mittelwert für jeden Kalendertag; links für die Monate Februar bis Juli, rechts für die Monate August bis Januar. (Frankfurt a. M. 1870 — 1960).

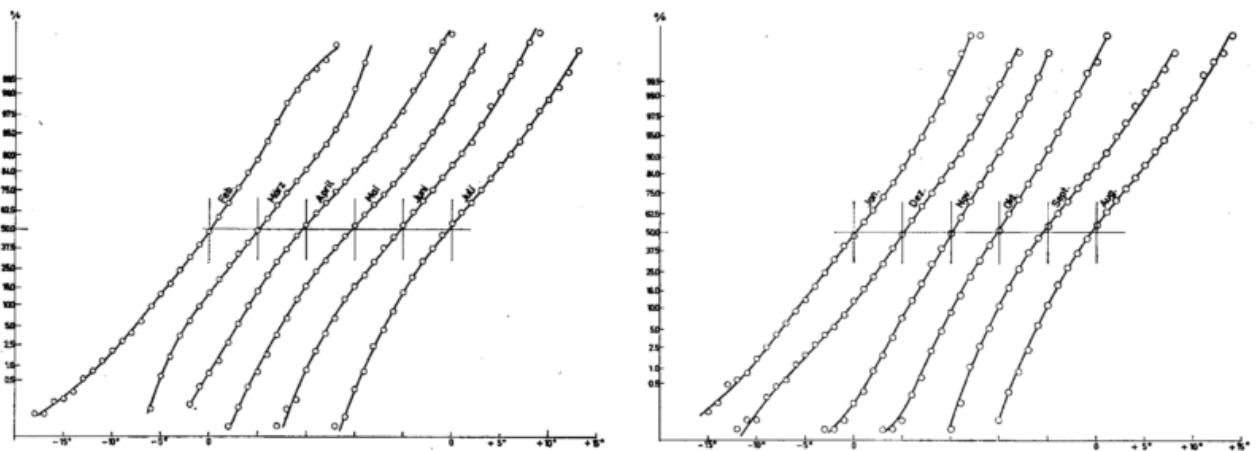


Abb. 12

Monatliche Häufigkeitsverteilungen der Abweichung des Tagesmaximums der Lufttemperatur von seinem hundertjährigen Mittelwert für jeden Kalendertag; links für die Monate Februar bis Juli, rechts für die Monate August bis Januar. (Frankfurt a. M. 1870 — 1960).

Tab. 6

Verlauf der monatlichen Häufigkeitssummenkurven für die Abweichungen vom 100-jährigen Mittelwert des Tagesminimums, -mittels und -maximums an den einzelnen Kalendertagen. Kopfzeile: % Summenhäufigkeit bis zu der in der Tabelle genannten Temperaturabweichung; Temperaturabweichungen in ° C.

a) Abweichung für T _x																	
	0,5	1	2,5	5	10	16	25	37,5	50	62,5	75	84	90	95	97,5	99	99,5%
Dez.	-12,5	-11,1	-9,2	-7,4	-5,4	-4,1	-2,6	-1,2	+0,2	1,5	3,0	4,4	5,6	7,0	8,2	9,4	10,2
Jan.	-12,1	-10,7	-9,0	-7,5	-5,7	-4,4	-2,9	-1,3	+0,2	1,7	3,3	4,6	5,7	7,0	8,0	9,1	9,9
Febr.	-13,0	-11,3	-9,2	-7,6	-5,8	-4,4	-2,8	-1,3	+0,1	+1,4	2,9	4,2	5,3	6,5	7,4	8,6	9,8
März	-10,1	-9,5	-8,4	-7,4	-5,9	-4,5	-3,0	-1,4	+0,1	+1,6	3,2	4,7	6,1	7,8	9,0	9,8	10,4
April	-10,5	-9,6	-8,3	-7,1	-5,8	-4,8	-3,5	-2,0	-0,4	+1,3	3,1	4,9	6,5	8,2	9,5	10,9	11,8
Mai	-10,6	-9,9	-8,7	-7,6	-6,3	-5,2	-3,8	-2,0	-0,3	+1,5	3,4	5,0	6,2	8,0	9,2	10,5	11,4
Juni	-10,5	-9,8	-8,7	-7,6	-6,4	-5,0	-3,5	-1,9	-0,3	+1,3	3,0	4,5	5,9	7,5	8,7	10,0	10,9
Juli	-9,5	-8,9	-7,9	-6,9	-5,7	-4,7	-3,5	-2,0	-0,3	+1,2	3,0	4,5	5,9	7,5	8,8	10,3	11,3
Aug.	-8,6	-8,0	-7,1	-6,2	-5,2	-4,3	-3,2	-1,9	-0,5	+0,9	2,7	4,2	5,6	7,3	8,6	10,0	11,0
Sept.	-8,5	-7,9	-7,0	-6,1	-5,1	-4,2	-3,2	-1,9	-0,5	+0,9	2,6	4,2	5,6	7,2	8,5	10,0	11,0
Okt.	-8,4	-7,7	-6,8	-5,9	-4,8	-3,8	-2,7	-1,4	-0,2	+1,0	2,4	3,6	4,6	5,8	6,8	7,9	8,7
Nov.	-8,7	-7,8	-6,7	-5,7	-4,4	-3,4	-2,3	-1,1	+0,1	1,2	2,5	3,6	4,6	6,0	6,9	8,1	8,8
b) Abweichung für T _m																	
	0,5	1	2,5	5	10	16	25	37,5	50	62,5	75	84	90	95	97,5	99	99,5%
Dez.	-13,5	-12,2	-10,0	-8,0	-5,8	-4,1	-2,4	-0,8	+0,5	1,7	3,0	4,3	5,4	6,9	7,9	9,0	9,6
Jan.	-13,6	-12,1	-10,0	-8,2	-6,2	-4,7	-2,9	-1,0	+0,7	2,0	3,4	4,5	5,6	6,9	8,0	9,2	9,8
Febr.	-14,0	-12,1	-9,8	-7,9	-5,8	-4,1	-2,4	-0,8	+0,4	1,6	2,9	4,1	5,2	6,5	7,5	8,5	9,1
März	-8,9	-8,4	-7,3	-6,2	-4,8	-3,7	-2,4	-1,0	+0,2	1,4	2,8	3,9	4,9	5,9	6,6	7,5	8,0
Apr.	-8,1	-7,6	-6,7	-5,9	-4,8	-3,7	-2,6	-1,2	-0,1	+1,2	2,4	3,6	4,6	5,8	6,8	8,0	8,8
Mai	-8,1	-7,7	-6,9	-6,0	-5,0	-4,1	-2,9	-1,5	-0,2	+1,1	2,5	3,7	4,9	6,2	7,2	8,2	8,9
Juni	-7,7	-7,2	-6,4	-5,7	-4,7	-3,8	-2,6	-1,4	-0,2	+1,0	2,2	3,4	4,5	5,8	6,8	8,0	8,8
Juli	-6,9	-6,4	-5,8	-5,1	-4,3	-3,6	-2,6	-1,4	-0,3	+0,9	2,1	3,3	4,3	5,5	6,6	7,9	8,8
Aug.	-6,1	-5,7	-5,1	-4,5	-3,7	-3,1	-2,3	-1,3	-0,3	+0,7	1,8	2,8	3,7	4,9	5,9	7,0	7,7
Sept.	-6,5	-6,0	-5,3	-4,7	-3,8	-3,1	-2,3	-1,3	-0,2	+0,8	2,0	2,9	3,7	4,8	5,6	6,7	7,4
Okt.	-7,5	-6,9	-6,0	-5,1	-3,9	-3,0	-2,1	-1,0	0,0	+1,1	2,2	3,1	4,0	4,9	5,7	6,5	7,0
Nov.	-9,0	-7,9	-6,5	-5,3	-4,1	-3,2	-2,1	-0,9	+0,2	1,3	2,5	3,6	4,5	5,8	6,8	7,8	8,5
c) Abweichung für T _n																	
	0,5	1	2,5	5	10	16	25	37,5	50	62,5	75	84	90	95	97,5	99	99,5%
Dez.	-15,4	-14,0	-11,3	-8,9	-6,1	-4,1	-2,2	-0,6	+0,6	1,7	3,0	4,2	5,3	6,7	7,8	9,0	9,7
Jan.	-16,5	-14,0	-11,3	-9,3	-7,0	-5,0	-3,0	-0,7	+1,0	2,3	3,6	4,7	5,7	7,0	8,1	9,4	10,1
Febr.	-15,9	-14,2	-11,2	-9,1	-6,6	-4,6	-2,6	-1,7	+0,7	1,8	3,1	4,3	5,4	7,0	7,6	8,7	9,4
März	-10,2	-9,0	-7,3	-5,9	-4,4	-3,3	-2,2	-1,0	+0,2	1,3	2,5	3,6	4,6	6,2	6,9	8,0	8,5
Apr.	-7,6	-7,1	-6,2	-5,4	-4,4	-3,5	-2,4	-1,1	0,0	+1,0	2,2	3,3	4,3	5,7	6,2	7,1	7,7
Mai	-7,8	-7,3	-6,5	-5,7	-4,5	-3,5	-2,3	-1,0	+0,1	1,2	2,4	3,7	4,4	5,6	6,1	6,9	7,4
Juni	-7,0	-6,5	-5,6	-4,8	-3,9	-3,0	-2,1	-1,0	0,0	+1,0	2,1	3,0	3,9	5,0	5,5	6,3	6,8
Juli	-6,0	-5,6	-4,8	-4,2	-3,4	-2,7	-1,8	-0,9	-0,1	+0,8	1,7	2,6	3,3	4,6	5,1	6,1	6,7
Aug.	-5,7	-5,3	-4,7	-4,1	-3,3	-2,7	-1,9	-1,0	0,0	+0,9	1,8	2,6	3,3	4,1	4,8	5,7	6,2
Sept.	-7,3	-6,7	-5,8	-4,9	-3,9	-3,0	-2,0	-1,0	0,0	+1,0	2,1	3,0	3,8	4,6	5,3	6,0	6,5
Okt.	-8,7	-7,8	-6,7	-5,7	-4,6	-3,6	-2,4	-1,1	0,0	+1,2	2,3	3,3	4,2	5,3	6,2	7,0	7,5
Nov.	-10,0	-8,8	-7,1	-5,8	-4,5	-3,4	-2,2	-1,0	+0,2	1,4	2,6	3,7	4,6	5,6	6,5	7,6	8,3

1.2. Die Temperatur-Abweichungen

Für manche Anwendungen erweist es sich als vorteilhaft, nicht unmittelbar eine charakteristische Temperatur selbst (Tagesminimum, -maximum, -mittel) zu betrachten, sondern die Abweichung eben dieser Temperatur von ihrem langjährigen Mittelwert für den betreffenden Kalendertag; solche Häufigkeitsverteilungen erlauben dann, einen bestimmten Tag als im Bereich des Gewöhnlichen liegend oder etwa ungewöhnlich kalt oder ungewöhnlich warm zu kennzeichnen (WACHTER (38, 39)). In der Bearbeitung des Frankfurter Klimas von MOLLWO (23) sind hundertjährige Mittelwerte für das Tagesmittel der Lufttemperatur angegeben; für das Tagesmaximum und Tagesminimum wurden die langjährigen Mittelwerte für die einzelnen Tage durch graphische Interpolation zwischen den von MOLLWO angegebenen, entsprechenden Monatsmitteln gewonnen. Die Häufigkeitsverteilungen der drei charakteristischen Temperatur-Abweichungen (Tagesminimum, -mittel, -maximum) sind in den Tabellen 6 a, b und c mitgeteilt; eine graphische Darstellung bieten die Ab-

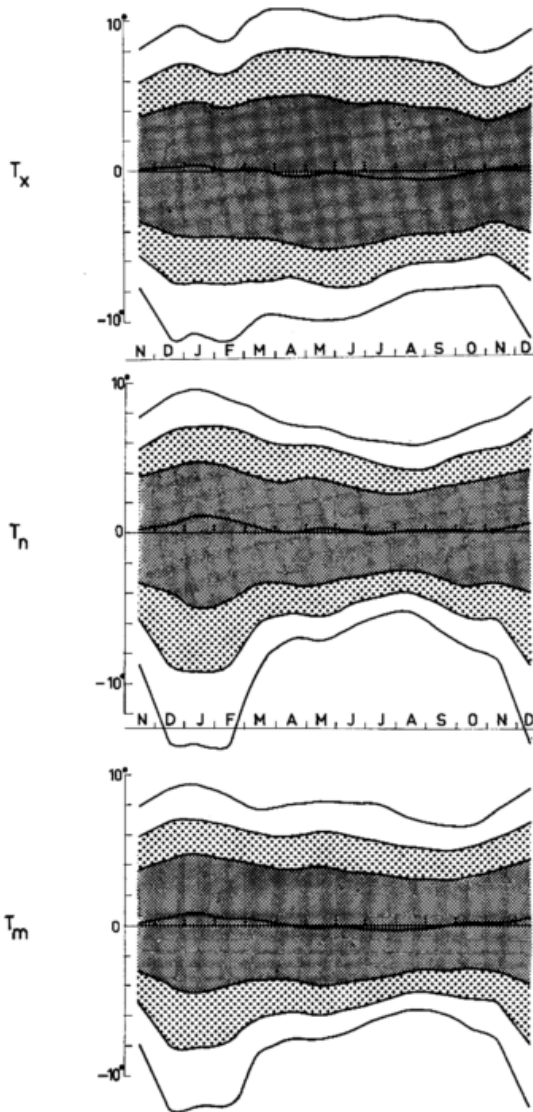


Abb. 13

Jahresgang ausgewählter Häufigkeitsbereiche (68% dicht punktiert; 90% locker punktiert; 98% von den beiden äußersten Kurven umrissen) der Tagestemperaturen in Frankfurt a. M.; oben Tagesmaximum T_x , Mitte Tagesminimum T_n , unten Tagesmittel T_m . Die sich um die Abszissenachse schlängelnde Kurve gibt den Verlauf des Zentralwertes (Mittelwertes) der Monatsverteilungen an.

bildungen 10, 11 und 12. Es zeigt sich, daß selbst in den Übergangsjahreszeiten Frühling und Herbst, in denen die Temperatur im Laufe eines Monats um etwa 3 bis 4° zu oder abnimmt, die Verteilungen der Abweichungen sich in ihrem Verlauf nur kaum merklich von denen der betreffenden Temperaturen selbst unterscheiden, ein Umstand, dessen mathematisch-statistische Gründe in (39) genauer dargelegt sind.

Am markantesten zeigen sich die Unterschiede der Abweichungsverteilungen im Laufe des Jahres, wenn man den Gang ausgewählter Streubereiche in der Weise darstellt, wie es in Abbildung 13 geschehen ist; hierbei tritt außer dem Unterschied zwischen Mittelwert und Mittenwert auch die winterliche Asymmetrie besonders deutlich hervor.

Die Schiefe der winterlichen Temperaturverteilungen führt dazu, daß sich auch die Abweichungsverteilungen für die Monate Dezember, Januar und Februar im Wahrscheinlichkeitsnetz als geknickte Kurven mit zwei annähernd geraden Teilen darbieten. Nimmt man den unteren, geraden Ast bis zur Häufigkeitssumme von 50%, so kann man seine Steigung durch die Temperaturspanne bemessen, die dem Terzil von 16 bis 50% entspricht. Bei den Tagesminima zeigt diese „Quasistreuung“ (der Werte in der unteren Hälfte ihrer Häufigkeitsverteilung) einen mit dem „Kontinentalitätsmaß“ nach DINIES (6) weitgehend übereinstimmenden Jahresgang (Abb. 14).

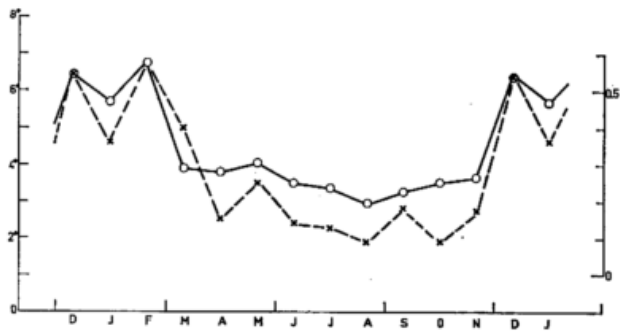


Abb. 14

Zur Abweichung des Tagesminimums der Lufttemperatur in Frankfurt a. M. von seinem hundertjährigen Mittelwert für jeden Kalendertag; Vergleich des 34%-Bereiches unterhalb des Zentralwertes mit dem Kontinentalitätsmaß nach DINIES (siehe Text) im Jahresgang.

1.3. Die interdiurnen Änderungen

Auch die Änderungen der drei charakteristischen Temperaturen (Tagesminimum, -mittel und -maximum) wurden maschinell ausgezählt, um ihre vollständigen Häufigkeitsverteilungen zu gewinnen. Nachdem in der älteren Literatur der Ausdruck der „interdiurnen Änderung“ viel diskutiert wurde, sei ausdrücklich vermerkt, daß er hier nicht auf eine genau 24stündige Zeitspanne bezogen wird, sondern die Änderung des betreffenden, charakteristischen Wertes von einem Tage zum nächsten damit gemeint ist. Die Verteilungen dieser interdiurnen Änderungen ändern sich im Laufe des Jahres in geringerem Maß als die der Temperaturen selbst. Deshalb wurden die Änderungsverteilungen zwar monatsweise ausgezählt, in den mitgeteilten Darstellungen (Tabellen und Abbildungen) jedoch für die meteorologischen Jahreszeiten zusammengefaßt. Die graphische Darstellung in den Abbildungen 15 a und b wird zur genaueren Wiedergabe ergänzt durch Tabelle 7 (a, b und c), in der die Änderungswerte für bestimmte Prozente der Summenhäufigkeit angegeben sind.

Tab. 7

Verlauf der jahreszeitlichen Häufigkeitssummenkurven für die interdiurnen Änderungen des Tagesmaximums, -mittels und -minimums der Lufttemperatur. Kopfzeile: %/ Summenhäufigkeit bis zu dem in der Tabelle genannten Änderungsbetrag; Temperaturänderungen in ° C.

		a) Interdiurne Änderung des Tagesmaximums																
		0,5	1	2,5	5	10	16	25	37,5	50	62,5	75	84	90	95	97,5	99	99,5%
Frühling		-9,5	-8,4	-7,1	-5,6	-4,2	-3,1	-1,9	-0,6	+0,4	+1,3	2,3	3,2	4,2	5,3	6,3	7,5	8,5
Sommer		-9,6	-8,6	-7,1	-5,8	-4,4	-3,2	-1,9	-0,7	+0,3	+1,2	2,2	3,1	3,8	4,8	5,7	6,7	7,5
Herbst		-7,9	-7,0	-5,7	-4,7	-3,6	-2,7	-1,7	-0,8	-0,1	+0,7	1,5	2,3	3,0	4,0	4,9	6,1	7,0
Winter		-7,3	-6,4	-5,2	-4,1	-3,1	-2,3	-1,6	-0,8	-0,1	+0,7	1,6	2,5	3,3	4,5	5,5	6,9	7,9
		b) Interdiurne Änderung des Tagesmittels																
		0,5	1	2,5	5	10	16	25	37,5	50	62,5	75	84	90	95	97,5	99	99,5%
Frühling		-7,2	-6,2	-4,9	-3,8	-2,8	-2,0	-1,2	-0,4	+0,3	+0,9	1,7	2,3	2,9	3,6	4,3	5,1	5,7
Sommer		-6,7	-5,9	-4,8	-3,8	-2,8	-2,1	-1,3	-0,5	+0,2	+0,8	1,5	2,1	2,6	3,2	3,8	4,4	4,9
Herbst		-5,7	-5,0	-4,1	-3,4	-2,6	-2,0	-1,4	-0,7	-0,1	+0,4	+1,1	1,7	2,2	3,1	3,8	4,6	5,3
Winter		-6,6	-5,8	-4,7	-3,8	-2,8	-2,2	-1,5	-0,7	-0,1	+0,6	1,4	2,2	3,0	4,1	5,1	6,4	7,4
		c) Interdiurne Änderung des Tagesminimums																
		0,5	1	2,5	5	10	16	25	37,5	50	62,5	75	84	90	95	97,5	99	99,5%
Frühling		-5,7	-5,3	-4,6	-4,0	-3,1	-2,4	-1,6	-0,7	0,0	+0,8	1,8	2,7	3,5	4,6	5,5	6,6	7,3
Sommer		-5,7	-5,2	-4,4	-3,7	-2,9	-2,2	-1,5	-0,7	0,0	+0,7	1,5	2,3	3,0	3,9	4,6	5,5	6,2
Herbst		-6,1	-5,5	-4,7	-4,1	-3,3	-2,6	-1,8	-1,0	-0,2	+0,6	1,5	2,4	3,2	4,2	5,1	6,1	6,7
Winter		-7,1	-6,3	-5,1	-4,1	-3,1	-2,4	-1,7	-0,9	-0,2	+0,5	1,5	2,5	3,5	4,8	6,0	7,6	8,8

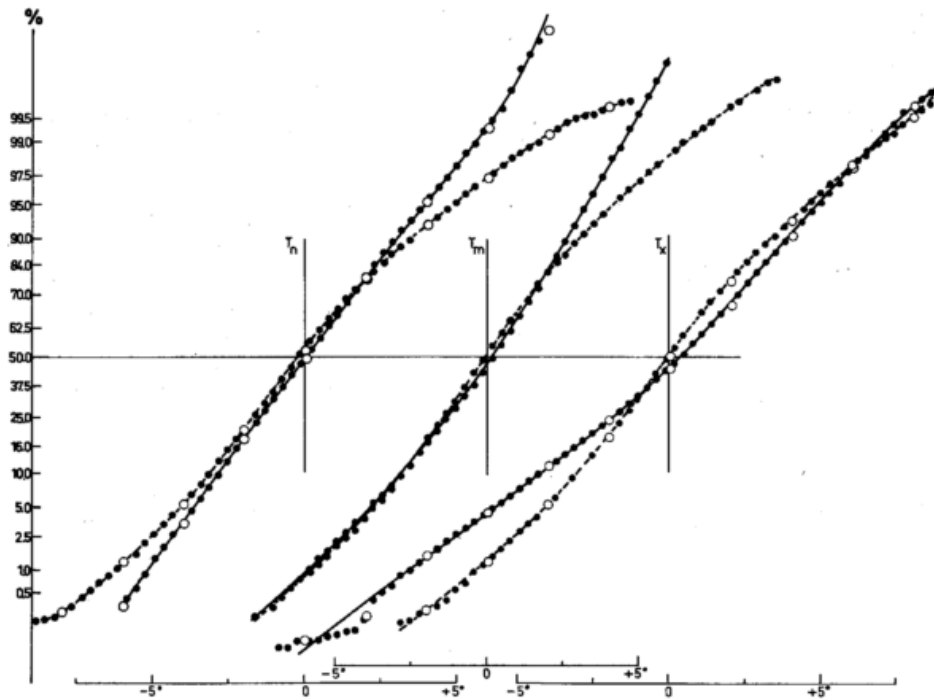


Abb. 15a

Jahreszeitliche Häufigkeitsverteilungen der Änderungen von Tag zu Tag (interdiurnen Differenzen) des Tagesminimums, Tagesmittels und Tagesmaximums der Lufttemperatur in Frankfurt a. M.; ausgezogene Kurven: im Sommer, gestrichelte Kurven: im Winter.

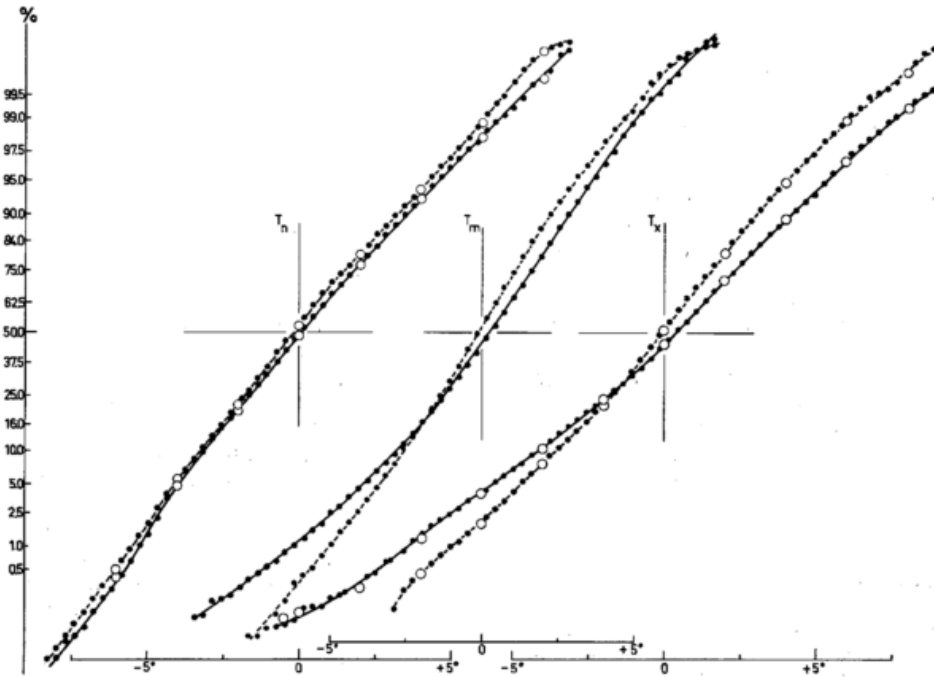


Abb. 15b

Jahreszeitliche Häufigkeitsverteilungen der Änderungen von Tag zu Tag (interdiurnen Differenzen) des Tagesminimums, Tagesmittels und Tagesmaximums der Lufttemperatur in Frankfurt a. M.; ausgezogene Kurven: im Frühling, gestrichelte Kurven: im Herbst.

Über die Genauigkeit der statistischen Schlüsse, die aus den Angaben gezogen werden können, gilt wiederum das gleiche, wie es gegen Ende des vorangegangenen Abschnittes 1.2. gesagt wurde; zur Veranschaulichung ist in Abbildung 16 der Streubereich des Transponierungsschlusses von 91 auf 10 Jahre für einen Beispielfall (interdiurne Änderung des Minimums im Winter) graphisch dargestellt.

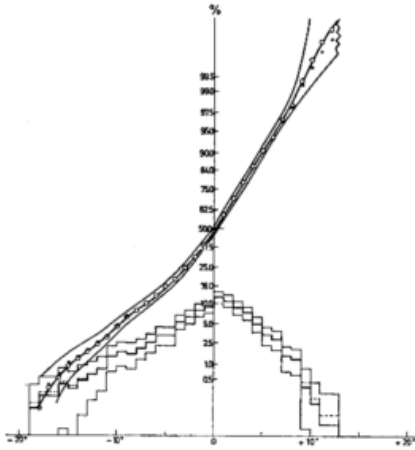


Abb. 16
Einfacher Streubereich der Häufigkeitsklassen beim Transponierungsschluß (nach GEBELEIN; siehe Text!) von 91 auf 10 Jahre, am Beispiel der interdiurnen Änderung des Tagesminimums der Lufttemperatur im Winter.

Für die Umgebung von Frankfurt a. M. (das Gebiet der seinerzeitigen preußischen Provinz Hessen-Nassau) hat FREYBE (11) die interdiurnen Änderungen, vorwiegend von 1887 bis 1906 bearbeitet, die für das Tagesmittel mit den hier gewonnenen Werten in einigen Punkten verglichen werden können. Dabei ist zu bedenken, daß FREYBE die „Veränderlichkeit“, das heißt die absoluten Beträge der hier mitsamt ihrem Vorzeichen betrachteten Änderungen untersucht hat; er gibt diejenigen prozentualen Häufigkeiten an, mit denen bestimmte absolute Änderungsbeträge überschritten werden (z. B. $\geq 4^\circ$, $\geq 6^\circ$). Zu einem Vergleich müssen also einerseits in den hier vorliegenden Tabellen die (beispielsweise) oberhalb $+4^\circ$ und unterhalb -4° liegenden Häufigkeitsanteile zusammengezählt werden, andererseits in den FREYBEschen Tabellen die Monatsangaben zu Jahreszeitenwerten zusammengefaßt werden; dieses ist in Tabelle 8 geschehen. Es wird keine präzise Übereinstimmung erreicht, was aus zwei Gründen verständlich ist: zum einen dem statistischen Grund, daß FREYBE nur ein Material geringeren Umfangs zur Verfügung stand, zum anderen aber auch dem klimatologischen Grund, daß hier Werte aus dem Stadtgebiet von Frankfurt a. M. mit Mittelwerten des ganzen Gebietes von Hessen-Nassau verglichen wurden. Schon FREYBE selbst wies auf die geringere Veränderlichkeit in Frankfurt a. M. hin.

1.4. Abweichungssummen

Im Abschnitt 1.2. wurden die Abweichungen der charakteristischen Temperaturen (Tagesminimum, -mittel, -maximum) von den langjährigen Mittelwerten (des Minimums, des Mittels, des Maximums) für den einzelnen Kalendertag besprochen. Addiert man diese Abweichungen für jeweils solche Zeitspannen, in denen die Abweichungen das gleiche Vorzeichen behalten, so gewinnt man in den so gebildeten Temperatursummen ein

Maß, mit dem sich Wärme- und Kälteperioden quantitativ kennzeichnen lassen. Derartige Abweichungssummen sind also analog den bekannten Kältesummen (der Unterschreitung des Gefrierpunkts) oder Heizgradtagen (der Unterschreitung einer bestimmten Mindestaußentemperatur) gebildet, hier jedoch nicht gegenüber einem konstanten Wert (wie im Vergleichsfall dem Gefrierpunkt oder der Mindestaußentemperatur), sondern gegenüber dem langjährigen Mittelwert, der dem einzelnen Kalendertag als Erwartungswert der betreffenden charakteristischen Temperatur zukommt.

Während sich in den konventionellen Kältesummen, wie sie für Frankfurt a. M. von MOLLWO (23) errechnet wurden (vgl. Abb. 17), kein einfaches, charakteristisches Verteilungsgesetz finden ließ, erweisen sich die soeben beschriebenen Abweichungssummen als in einer ganz bestimmten Weise verteilt (WACHTER (34)). Ihre Häufigkeitsdichte folgt weitgehend einer Hyperbel, so daß sich die Summenhäufigkeit im halblogarithmischen Koordinatensystem als Gerade darstellen läßt. Wegen des endlichen Umfangs der ausgezählten Menge gilt dieser Verlauf nicht unbeschränkt, vielmehr biegt die zunächst gerade Häufigkeitssummenkurve gegen den 100% -Wert ab, weil es einen historisch größten Wert in der endlichen Stichprobe gibt.

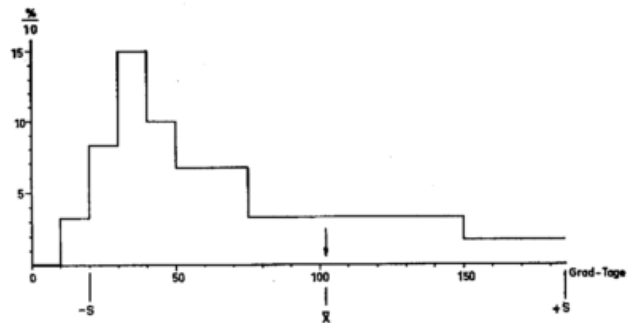


Abb. 17
Häufigkeitsverteilung der winterlichen Kältesummen für Frankfurt a. M. nach MOLLWO, mit Mittelwert und Streuung.

Im einzelnen lassen die Abbildungen 18 bis 21 für die verschiedenen meteorologischen Jahreszeiten Folgendes erkennen. Im Sommer und Winter ergeben sich Unterschiede zwischen den positiven und den negativen Abweichungssummen (Wärme- und Kälteperioden), im Frühling unterscheiden sich die Abweichungsverteilungen für die drei charakteristischen Temperaturen merklich; wie weit die Unterschiede den Streubereich beim Transponierungsschluß überschreiten, zeigt die Abbildung 22. Im Herbst (Abb. 21) verschwinden die genannten Unterschiede, und es bildet sich in der Summe aller Beobachtungen (positive und negative Abweichungssummen des Tagesminimums, -mittels und -maximums zusammengefaßt) am vollkommensten der besagte Verlauf der Häufigkeitssummenkurve aus.

Zusätzlich sind in den Abbildungen 18 bis 21 mit den gestrichelten Kurven die Häufigkeitsverteilungen der Periodenlängen (Überschreitungs- u. Unterschreitungs-dauern) angegeben.

Die Werte beider Größen für ausgewählte Häufigkeitssummen gehen aus Tabelle 9 hervor.

Tab. 8

Vergleich für das Tagesmaximum, Tagesmittel und Tagesminimum der in ausgewählten Änderungsstufen auftretenden Summenhäufigkeit (in %) der interdiurnen Änderung in Frankfurt am Main mit den für die ehemalige Provinz Hessen-Nassau geltenden Werten von FREYBE (11).

a) Interdiurne Änderung des Maximums.

		Frühling				Sommer				Herbst				Winter			
		≥ 2°	≥ 4°	≥ 6°	≥ 8°	≥ 2°	≥ 4°	≥ 6°	≥ 8°	≥ 2°	≥ 4°	≥ 6°	≥ 8°	≥ 2°	≥ 4°	≥ 6°	≥ 8°
nach Wachter	Pos. Änd.	28	10,8	3,2	0,7	27	9,0	2,0	0,3	19	5,0	1,1	0,2	20	6,8	1,8	0,5
	Neg. Änd.	24	10,8	4,2	1,4	24	11,7	4,6	1,5	22	7,9	2,1	0,5	20	5,5	1,4	0,3
	Zusammen	52	21,6	7,4	2,1	51	20,7	6,6	1,8	41	12,9	3,2	0,7	40	12,3	3,2	0,8
nach Freybe	nach Monaten	März:	17,3	5,4	—	Juni:	23,6	8,1	—	Sept.:	13,8	3,2	—	Dez.:	12,7	3,6	—
		April:	21,8	6,3	—	Juli:	22,2	7,6	—	Okt.:	11,2	2,5	—	Jan.:	13,3	3,8	—
		Mai:	26,6	10,1	—	Aug.:	18,7	4,7	—	Nov.:	12,6	2,6	—	Febr.:	11,7	3,1	—
	Jahreszeiten- mittel		21,9	7,3			21,5	6,8			12,5	2,8			12,6	3,5	

b) Interdiurne Änderung des Mittels.

		Frühling				Sommer				Herbst				Winter			
		≥ 2°	≥ 4°	≥ 6°	≥ 8°	≥ 2°	≥ 4°	≥ 6°	≥ 8°	≥ 2°	≥ 4°	≥ 6°	≥ 8°	≥ 2°	≥ 4°	≥ 6°	≥ 8°
nach Wachter	Pos. Änd.	20	3,5	0,4	0,03	17	1,9	0,05	—	12	2,0	0,2	0,1	18	5,1	1,4	0,3
	Neg. Änd.	16	4,5	1,2	0,3	16	4,4	0,9	0,16	16	2,8	0,3	0,02	17	4,1	0,9	0,16
	Zusammen	36	8,0	1,6	0,3	33	6,3	1,0	0,16	28	4,8	0,5	0,1	35	9,2	2,3	0,5
nach Freybe	nach Monaten	März:	10,0	2,4	—	Juni:	9,9	2,0	—	Sept.:	5,4	0,8	—	Dez.:	12,0	2,9	—
		April:	9,1	1,6	—	Juli:	8,6	1,6	—	Okt.:	7,5	0,9	—	Jan.:	13,4	4,1	—
		Mai:	11,2	2,2	—	Aug.:	6,5	0,8	—	Nov.:	8,0	1,3	—	Febr.:	10,2	2,4	—
	Jahreszeiten- mittel		10,1	2,1			8,3	1,5			7,0	1,0			11,9	3,1	

c) Interdiurne Änderung des Minimums.

		Frühling				Sommer				Herbst				Winter			
		≥ 2°	≥ 4°	≥ 6°	≥ 8°	≥ 2°	≥ 4°	≥ 6°	≥ 8°	≥ 2°	≥ 4°	≥ 6°	≥ 8°	≥ 2°	≥ 4°	≥ 6°	≥ 8°
nach Wachter	Pos. Änd.	23	7,4	1,6	0,3	19	4,4	0,6	0	20	6,0	1,1	0,1	20	7,7	2,5	0,8
	Neg. Änd.	20	4,8	0,3	0,02	19	3,6	0,3	0	23	5,6	0,5	0,03	21	5,4	1,2	0,3
	Zusammen	43	12,2	1,9	0,3	38	8,0	0,9	0	43	11,6	1,6	0,1	41	13,1	3,7	1,1
nach Freybe	nach Monaten	März:	16,9	5,4	—	Juni:	15,6	3,6	—	Sept.:	16,6	4,2	—	Dez.:	17,5	5,5	—
		April:	17,4	3,8	—	Juli:	14,3	3,2	—	Okt.:	16,4	4,4	—	Jan.:	19,7	7,5	—
		Mai:	18,2	4,7	—	Aug.:	14,6	4,1	—	Nov.:	14,6	4,0	—	Febr.:	19,0	6,8	—
	Jahreszeiten- mittel		17,5	4,6			14,8	3,6			15,9	4,2			18,7	6,6	

Alle Angaben in %.

Tab. 9

Werte der Periodensummen (in Grad-Tagen; Tabellenteil a) und der Periodenlängen (in Tagen; Tabellenteil b) für die Häufigkeitssummen von $\frac{2}{3}$ (68^{0/0}) und $\frac{19}{20}$ (95^{0/0}). Im Frühling sind Tagesminimum, -mittel und -maximum unterschieden, im Sommer und Winter die negativen und die positiven Abweichungen, im Herbst alle Abweichungen zusammengefaßt.

Abweichungs-Perioden

a) Periodensummen

	Frühling			Sommer	Herbst	Winter	
	Min.	Mittel	Max.				
$\frac{2}{3}$ bleiben unter	9,4	14,2	15,5	pos. Abw.: 9,2 neg. Abw.: 10,8	10,8	pos. Abw.: 18,5 neg. Abw.: 13,7	Periodensummen in Grad-Tagen
$\frac{19}{20}$ bleiben unter	41	59	64	pos. Abw.: 45 neg. Abw.: 45	50	pos. Abw.: 88 neg. Abw.: 84	

b) Periodenlängen

	Frühling			Sommer	Herbst	Winter	
	Min.	Mittel	Max.				
$\frac{2}{3}$ bleiben unter	4,5	6,0	5,2	pos. Abw.: 4,5 neg. Abw.: 5,0	5,1	pos. Abw.: 7,0 neg. Abw.: 5,8	Periodenlängen in Tagen
$\frac{19}{20}$ bleiben unter	12,5	13,5	15,5	pos. Abw.: 12,0 neg. Abw.: 13,0	15,0	pos. Abw.: 21,5 neg. Abw.: 17,5	

Tab. 10

Korrelation der Temperatur-Abweichungen und -Änderungen.

Die Streuungen (standard deviations) und die Längen der Halbachsen der wahrscheinlichen Fehlerellipsen sind in °C zu verstehen, die Varianzen dementsprechend in Grad².

	Frühling		Sommer		Herbst		Winter	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Statist. Kenngrößen:								
a) Abweichung:								
Varianz s^2	11,21	21,37	6,99	18,76	10,50	13,57	22,82	18,78
Streuung s	3,35	4,62	2,64	4,33	3,24	3,68	4,78	4,33
b) Änderung:								
Varianz s^2	6,71	11,00	5,19	10,44	6,26	7,00	7,55	6,87
Streuung s	2,59	3,32	2,28	3,23	2,50	2,65	2,75	2,62
Kovarianz s_{xy}	3,35	5,50	2,60	5,21	3,13	3,50	3,76	3,43
Korr. Koeff. r	0,39	0,36	0,43	0,37	0,39	0,36	0,29	0,30
r^2	0,15	0,13	0,19	0,14	0,15	0,13	0,08	0,09
$1 - r^2$	0,85	0,87	0,81	0,86	0,85	0,87	0,92	0,91
Anzahl der Beobachtungen	8280	8280	8371	8371	8281	8281	8210	8210
Kenngrößen der wahrscheinl. Fehlerellipsen								
Neigungswinkel:								
$\text{tg } 2\Psi$	1,49	1,06	2,88	1,25	1,48	1,07	0,49	0,58
Winkel Ψ	28°	23,5°	35,5°	25,8°	28°	23,5°	13°	15°
große Halbachse a	4,30	5,74	3,50	5,43	4,11	4,58	5,74	5,23
kleine Halbachse b	2,61	3,46	2,15	3,34	2,53	2,76	3,08	2,87

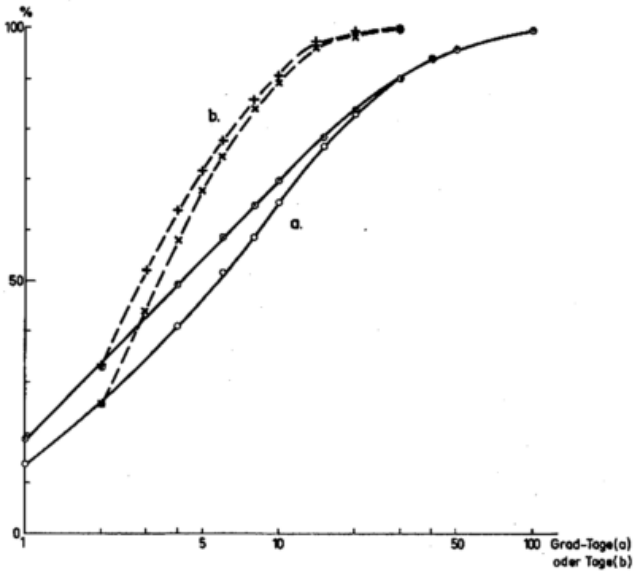


Abb. 18

Jahreszeitliche Häufigkeitsverteilungen der Abweichungssummen (ausgezogene Kurven) und der Periodenlängen (gestrichelte Kurven) im Sommer. Tagesminimum, Tagesmittel und Tagesmaximum der Lufttemperatur zusammengenommen. Wärmep perioden (positive Abweichungssummen): ausgefüllte Kreise und senkrechte Kreuzchen; Kälteperioden (negative Abweichungssummen): offene Kreise und schräge Kreuzchen. Abszisse in Grad-Tagen und in Tagen logarithmisch, Ordinate (Häufigkeitssummen) linear.

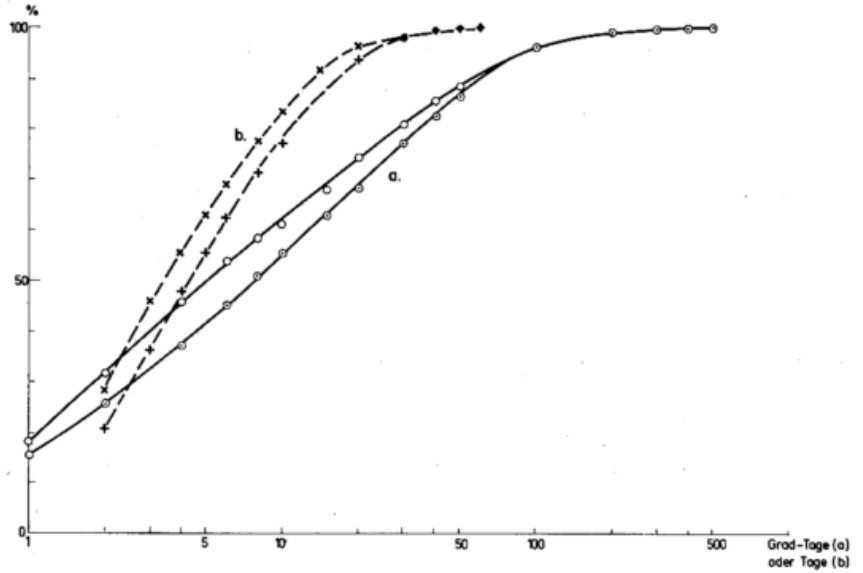


Abb. 19

Jahreszeitliche Häufigkeitsverteilungen der Abweichungssummen (ausgezogene Kurven) und der Periodenlängen (gestrichelte Kurven) im Winter. Tagesminimum, Tagesmittel und Tagesmaximum der Lufttemperatur zusammengenommen. Unterscheidung der Kurven wie in Abb. 18; man beachte das gegenüber dem Sommer (Abb. 18) umgekehrte Lageverhältnis der Kurven für positive und für negative Abweichungssummen zueinander.

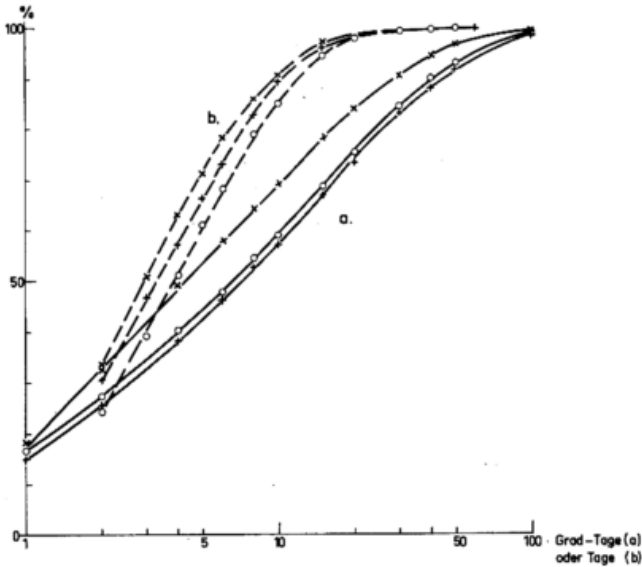


Abb. 20

Jahreszeitliche Häufigkeitsverteilungen der Abweichungssummen (ausgezogene Kurven) und der Periodenlänge (gestrichelte Kurven) im Frühling. Anders als in den Abb. 18 und 19 sind hier die positiven und die negativen Abweichungssummen zusammengefaßt, hingegen unterschieden: Tagesminimum schräge Kreuzchen, Tagesmittel Kreise, Tagesmaximum gerade Kreuzchen.

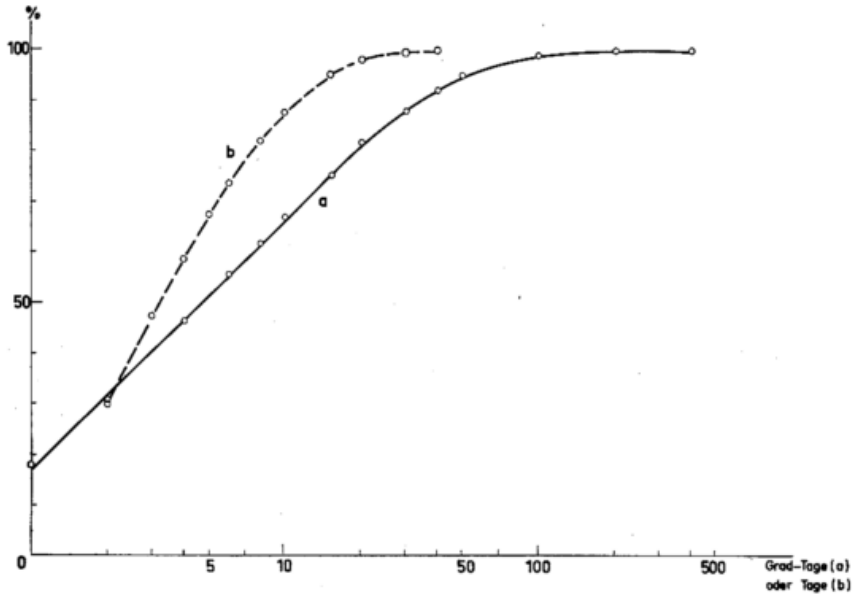


Abb. 21

Jahreszeitliche Häufigkeitsverteilungen der Abweichungssummen (ausgezogene Kurve) und der Periodenlängen (gestrichelte Kurve) im Herbst. Tagesminimum, -mittel und -maximum sowie positive und negative Abweichungssummen sämtlich zusammengefaßt.

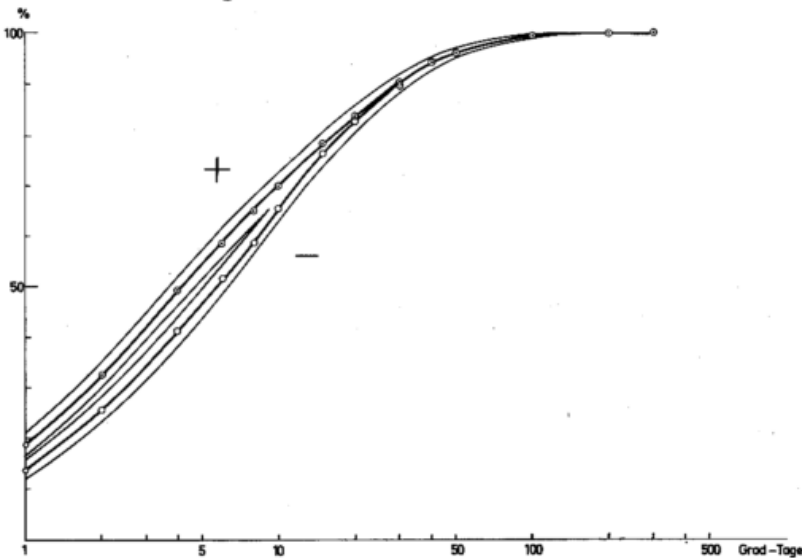


Abb. 22

Signifikanz des Unterschiedes der positiven und negativen Abweichungssummen im Sommer; Streubereiche beim Transponierungsschluß (nach GEBELEIN) von 91 auf 10 Jahre für die positiven und für die negativen Abweichungssummen.

1.5. Die Korrelation Abweichung-Änderung

Wenn auch hier keine Wahrscheinlichkeitsmathematische Theorie der Korrelation zwischen Temperaturabweichungen — in dem genannten Sinne — und interdiurnen Änderungen gegeben werden kann, so soll doch versucht werden, diesen Zusammenhang qualitativ zu erläutern und ihn quantitativ mit empirischen Kenngrößen zu belegen.

Wird eine erhebliche Abweichung von einem klimatologischen Mittelwert (beispielsweise dem Erwartungswert des Temperaturminimums für einen bestimmten Kalendertag) beobachtet, so werden wir vermuten, daß eine darauffolgende interdiurne Änderung, die die Abweichung vermindert (also eine Abkühlung nach einem zu warmen Tag oder eine Erwärmung nach einem zu kalten Tag bringt), wahrscheinlicher eintritt als eine solche, die die Abweichung noch erhöht. Trifft diese Überlegung zu, dann muß sie sich ungeachtet dessen, wann und aus welchen synoptischen Gründen im Einzelfall die Temperatur in ihren klimatologisch normalen Bereich zurückkehrt, an einer großen Menge von Beobachtungen statistisch verifizieren lassen. Wir fragen deshalb nach den empirisch zu gewinnenden, bedingten Wahrscheinlichkeiten der interdiurnen Änderungen, abhängig nämlich von der Bedingung der vorher bestehenden Temperaturabweichung.

Die Antwort auf diese Frage wird gegeben durch die zweidimensionale Häufigkeitsverteilung, die sich darstellen läßt durch Isolinien der Häufigkeitsdichte oder ähnliche der Häufigkeitssummen in einer Koordinatenebene, deren eine Achse die Temperaturabweichungen und deren andere Achse die interdiurnen Änderungen bilden. Das Feld der in dieses Koordinatensystem einzutragenden Häufigkeiten stellt zu gleicher Zeit die Korrelationstafel zwischen den beiden genannten Größen dar. Soweit beide eingehenden Größen nach dem GAUSS'schen Gesetz verteilt sind und eine „normale“ Korrelation vorliegt (s. BAUR (1)), haben die Häufigkeits-Isolinien die Form von Ellipsen, deren Parameter sich auf Grund bestimmter Gesetzmäßigkeiten angeben lassen.

Die genannten Voraussetzungen werden für den hier vorliegenden Fall als näherungsweise gültig betrachtet; zur Veranschaulichung des Häufigkeitsfeldes diene die „wahrscheinliche Fehlerellipse“ (1), die 50 Prozent, also die Hälfte aller vorgekommenen Fälle umschließt. Die Abbildungen 23 und 24 zeigen die wahrscheinlichen Fehlerellipsen zur Verdeutlichung in doppelt so großem Maßstab, wie die Verteilungen der beiden einzelnen Größen — Temperaturabweichung und interdiurne Änderung — dargestellt sind. Die gestrichelten (zwischen den verschieden-maßstäblichen Teilen der Figur gebrochenen) Geraden umreißen den Bereich der einfachen Streuung. Da die einer Temperaturabweichung vorausgehenden und folgenden interdiurnen Änderungen die gleiche Stichprobe bilden, mit Ausnahme der des ersten und des letzten Tages der jeweils betrachteten Jahreszeit, ist folgendes über das Vorzeichen zu sagen: In der gezeichneten Darstellung steigen die Ellipsen nach rechts an, das heißt, positive Abweichungen sind mit einer größeren Wahrscheinlichkeit positiver Änderung verbunden; dieser Zusammenhang gilt für die der Abweichung vorausgegangene interdiurne Änderung. Der Zusammenhang mit der auf die Abweichung folgenden Änderung ist quantitativ der gleiche; für diesen Fall ist also das Vorzeichen der Ordinatenachse umzukehren oder die Ellipse im gleichen Maße nach rechts fallend zu denken.

Die kennzeichnenden, statistischen Größen sind in Tabelle 10 für die vier meteorologischen Jahreszeiten, sowie für das Tagesmaximum und das Tagesminimum

der Lufttemperatur zusammenfassend wiedergegeben. Als Besonderheiten des Häufigkeits- oder Korrelationsfeldes heben sich dabei heraus: a) der Neigungsunterschied der Ellipsen im Sommer und Winter, der besagt, daß im Sommer die interdiurne Änderung in stärkerem Maß von der vorausgegangenen Temperaturabweichung des Tagesminimum abhängt als im Winter; b) die Ähnlichkeit — bei gleicher Neigung! — der Ellipsen im Frühling und im Herbst, zwischen denen also die Streuungen der Abweichung im gleichen Verhältnis stehen wie die Streuungen der interdiurnen Änderung des Tagesmaximums. Diese vier besonderen Bedingungen (Tagesminimum im Sommer und Winter; Tagesmaximum im Frühling und Herbst) sind in den Abbildungen 23 und 24 dargestellt.

Ein paar herausgegriffene Zahlenwerte mögen die Verhältnisse noch deutlicher machen: Liegt im Winter das Tagesminimum der Lufttemperatur um mehr als 10° zu niedrig, so folgt in 70% aller Fälle eine Erwärmung, während die Wahrscheinlichkeit einer weiteren Abkühlung nur noch 30% beträgt; bei einem zu hohen Minimum erreicht bereits bei Abweichungen um 7° und mehr die bedingte Wahrscheinlichkeit für eine anschließende Abkühlung mehr als 80%. Im Sommer und beim Tagesmaximum reicht — hier sei an die steilere Ellipse in der graphischen Darstellung erinnert — schon eine Abweichung um 4° oder mehr aus, um ein Verhältnis der beiden entsprechenden, bedingten Wahrscheinlichkeiten von 80 : 20 zu erzeugen. Der Zusammenhang läßt sich als einfache Merkregel so formulieren, daß beim sommerlichen Maximum mindestens 4° Abweichung, beim winterlichen Minimum mindestens -10° oder mindestens $+7^{\circ}$ den Mittenwert (näherungsweise den Mittelwert) der anschließenden interdiurnen Änderung um rund 2° verschieben in dem Sinne, daß auf die zu kalte Bedingung im Mittel 2° Erwärmung, auf die zu warme Bedingung im Mittel 2° Abkühlung folgen (WACHTER (40)).

2. Wind

In vielen Bearbeitungen der Windverhältnisse werden die Häufigkeiten der Windrichtungen und der Windgeschwindigkeit getrennt behandelt, so wie es auch in den Bearbeitungen des Frankfurter Klimas von ZIEGLER und KÖNIG (43) und von MOLLWO (23) geschehen ist. Eine ebensolche Bearbeitung auf Grund neuerer Daten (Ergebnisse des Windschreibers Fuess Universal der Station Frankfurt a. M.-Stadt, 1951 bis 1957) bietet H. WACHTER (31). Auf den gleichen Beobachtungen beruht auch eine weitere Auswertung, die vor allem die Windwege für verschiedene Bedingungen (Jahreszeiten und jeweils vierstündige Perioden der Tageszeit) in der Form von Windrosen graphisch wiedergibt (WACHTER (32)). Eine Häufigkeitsanalyse der in Berlin beobachteten Windgeschwindigkeiten auf Unterverteilungen GAUSS'scher Art, die sich zu der Gesamtverteilung addieren, gibt W. FETT (8).

Seltener wird die vollständige Information geboten, wie sie die (zweidimensionalen) Häufigkeitsverteilungen des Windvektors darzustellen erlauben. Eine derartige Bearbeitung der Windverhältnisse findet sich zum Beispiel für Potsdam von MÖLLER (22) in dem bekannten Lehrbuch von HANN-SÜRING. Bei einer neueren Auswertung Potsdamer Beobachtungen fand LUCKE (18) eine eigentümliche, etwa kraterförmige Häufigkeitsverteilung des Windvektors. Diese Verteilungsform muß man sich wohl aus der charakteristischen, einer POISSON-Verteilung ähnelnden Verteilung der Windgeschwindigkeiten bei einer fast völligen Gleichverteilung der Windrichtungen hervorgegangen denken; sie dürfte also für die einigermaßen ungestörten Verhältnisse einer im Flachland gelegenen Station kennzeichnend sein.

Bei den noch folgenden Darstellungen von Häufigkeitsverteilungen des Windvektors in Frankfurt a. M. ist die Spitze des Windvektors im Koordinatenursprung gelegen, so wie es dem Stationsmodell auf der Wetterkarte mit der Spitze des Windpfeils im Stationskreis entspricht. Die Häufigkeitsdarstellungen beschreiben

also die Lage der Anfangspunkte von Windvektoren, deren Länge der Windgeschwindigkeit proportional ist; ein Maximum der Häufigkeitsdichte im linken, unteren Quadranten bedeutet daher ein Vorherrschen der Südwestwinde.

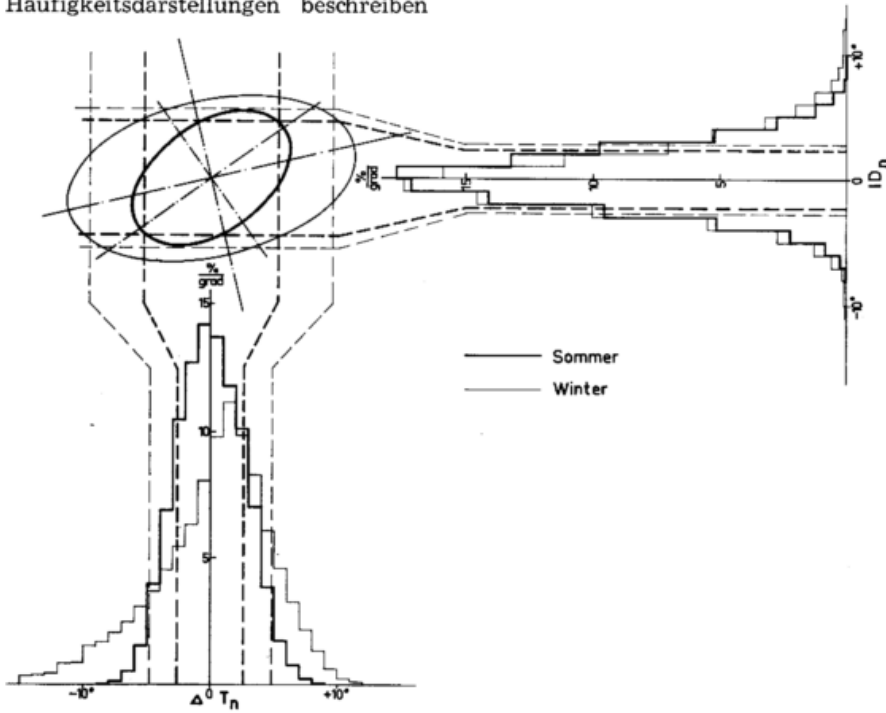


Abb. 23
Korrelation der Abweichung des Tagesminimums der Lufttemperatur von seinem Erwartungswert mit der zugehörigen (vgl. Text!) interdiurnen Änderung des Minimums, dargestellt durch die „wahrscheinlichen Fehlerellipsen“ in der zweidimensionalen Verteilung der bedingten Häufigkeiten. Stark ausgezogene Kurven: Sommer; dünn ausgezogene Kurven: Winter. Häufigkeitsellipsen in doppelt so großem Maßstab wie die Einzelverteilungen.

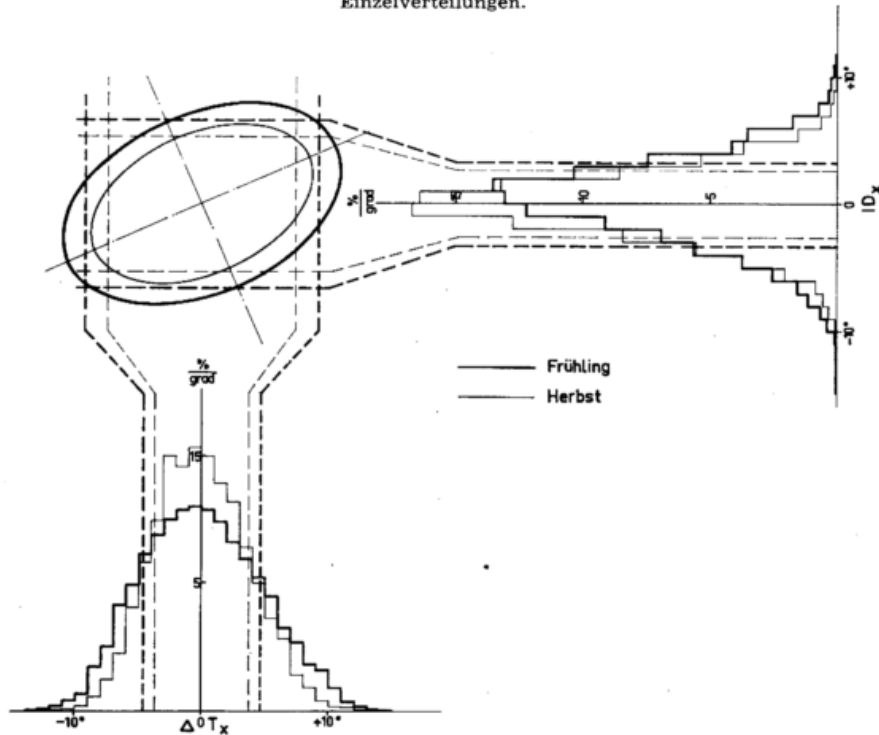


Abb. 24
Korrelation der Abweichung des Tagesmaximums der Lufttemperatur von seinem Erwartungswert mit der zugehörigen (vgl. Text!) interdiurnen Änderung des Maximums, dargestellt durch die „wahrscheinlichen Fehlerellipsen“ in der zweidimensionalen Verteilung der bedingten Häufigkeiten. Stark ausgezogene Kurven: Frühling; dünn ausgezogene Kurven: Herbst. Häufigkeitsellipsen in doppelt so großem Maßstab wie die Einzelverteilungen.

2.1. Häufigkeitsverteilungen des Windvektors

In Frankfurt a. M. sind die Windverhältnisse neben den vorherrschenden synoptischen Lagen stark durch die orographischen Bedingungen beeinflusst, die sich besonders in den Nachtstunden in einer dem Maintal zuwehenden Windströmung auswirken. Die Abbildungen 25 a und b zeigen die vektorielle Häufigkeitsverteilung der Stundenmittel des Windes in Frankfurt a. M., ohne Untergliederung auf die Gesamtheit der zuvor genannten 8 Jahre Beobachtungen gegründet. Abbildung 25 a stellt dabei die Häufigkeiten je 0,4 m/s Geschwindigkeitsintervall und (wegen der für die Klimabeobachtun-

gen angewandten, 16teiligen Richtungsskala) je 2 Strich der Windrose ($22\frac{1}{2}^\circ$) dar. Errechnet man hieraus die Häufigkeitsdichte, die sich im zweidimensionalen Fall des Windvektors auf eine Fläche in $(m/s)^2$ bezieht, so ergibt sich daraus die Darstellung der Abbildung 25 b, die wegen der großen Häufigkeitsdichte nahe dem Koordinatennullpunkt den Sattel in der Mitte der Figur verschwinden läßt.

Die Abbildungen 25 c, d und e zeigen in der gleichen Darstellungsweise (Häufigkeitsdichte) die Verteilung des Windvektors für drei achtstündige Perioden (0—8, 8—16, 16—24h) des Tages.

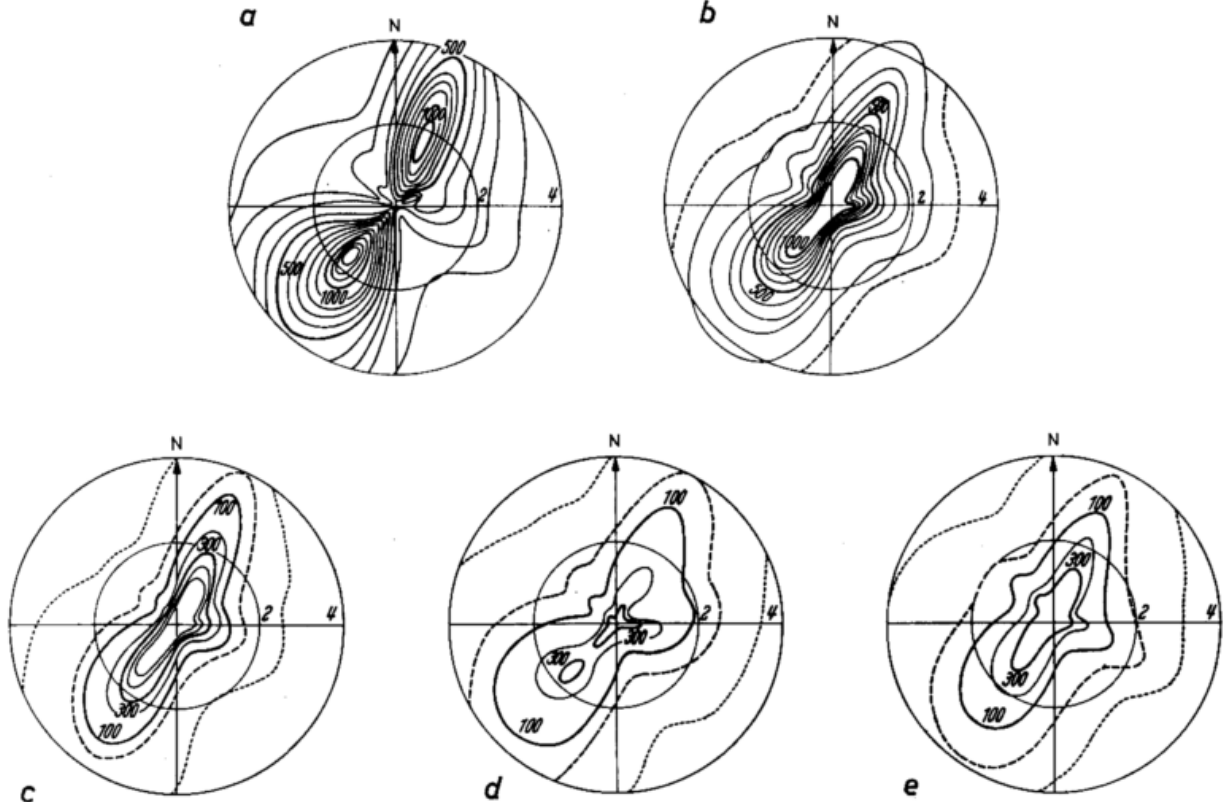


Abb. 25
Häufigkeitsverteilungen des Windvektors in Frankfurt a. M. 1951 — 1958; Vektor zum Koordinatenursprung hin gerichtet, Radius in m/s geteilt. a) das Zählergebnis je 2 Strich der Windrose ($22\frac{1}{2}$ Grad) u. je 0,4 m/s Geschwindigkeitsintervall, für den ganzen Tag; b) das gleiche Ergebnis — für den ganzen Tag — reduziert auf Häufigkeitsdichten (je Flächeneinheit). Ebenso geben die weiteren Teilfiguren Häufigkeitsdichten an: c) für die achtstündige Zeitspanne 0 bis 8 Uhr, d) für die Zeit 8 bis 16 Uhr, e) für die Zeit 16 bis 24 Uhr.

2.2. Zeitlicher Gang des Windes

Die Isoplethendarstellung der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit, wie sie Abbildung 26 gibt, vermittelt einen Eindruck von dem jährlichen und täglichen Gang des Windes in Frankfurt a. M. Wie in (31) des näheren diskutiert, erhebt sich im Sommer über dem für einige Stunden fast konstanten, niedrigen nächtlichen Wert ein relativ hoher Gipfel der Windgeschwindigkeit am Tag, während im Winter die nächtliche Windgeschwindigkeit auf einem höheren Wert für noch längere Zeit konstant bleibt, über dem sich in den Mittagsstunden nur ein kürzerer Tagesgipfel erhebt.

Die Häufigkeitsverteilungen allein der Windgeschwindigkeit — für verschiedene, dreistündige Tageszeit-Perioden aus den einzelnen Jahreszeiten — bieten, auf einer Auswertung von E. BAUER fußend, die Abbildungen 27 a, b und c; ebenso wie bei dem skalaren Wert der Temperatur ist auch hier wieder die Darstellungsweise der Häufigkeitssummen im Wahrscheinlichkeitsnetz gewählt. Die Unterschiede der Tages- und Nachtverteilungen gehen allerdings wohl deutlicher aus der Histogrammdarstellung der Abbildung 27 d hervor.

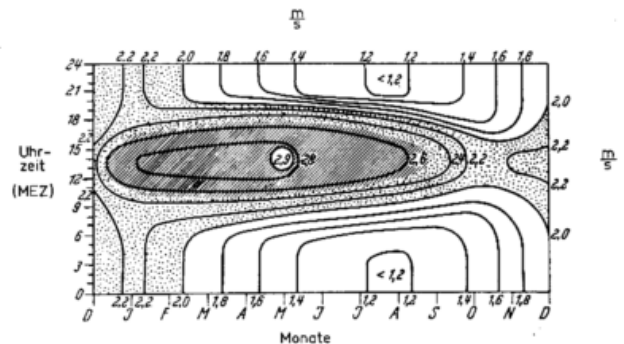


Abb. 26
Stundenmittel der Windgeschwindigkeit in m/s; Frankfurt a. M. 1951 — 1957. Isoplethendarstellung zur Veranschaulichung des Tages- und Jahresganges.

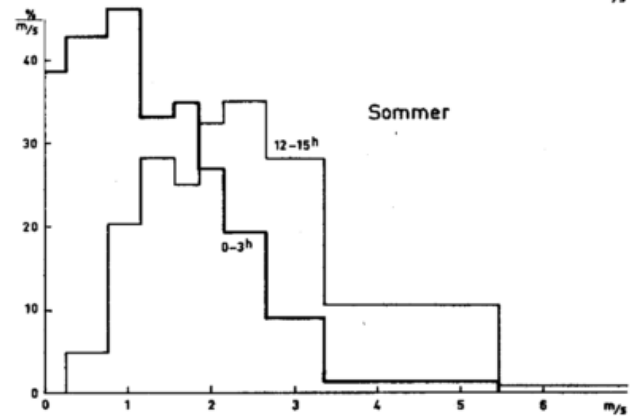
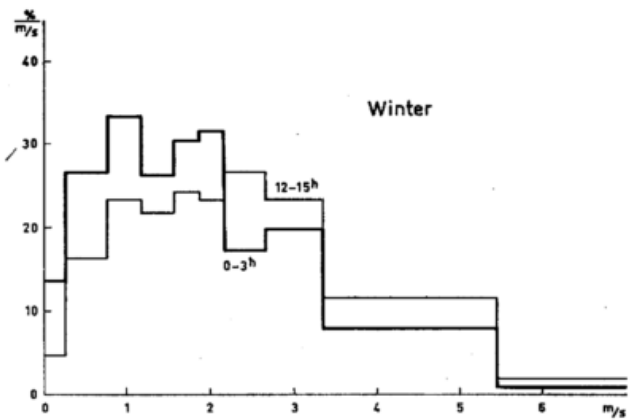
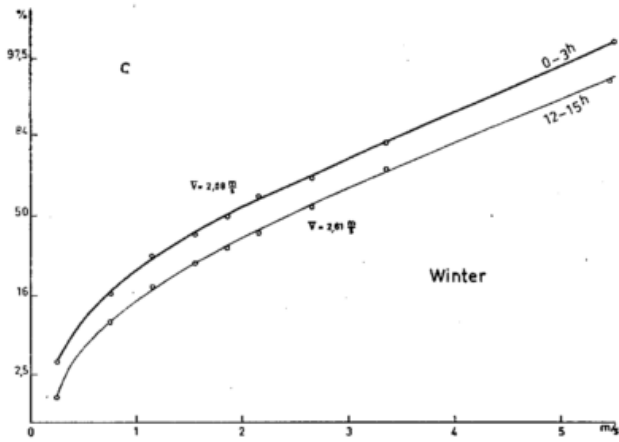
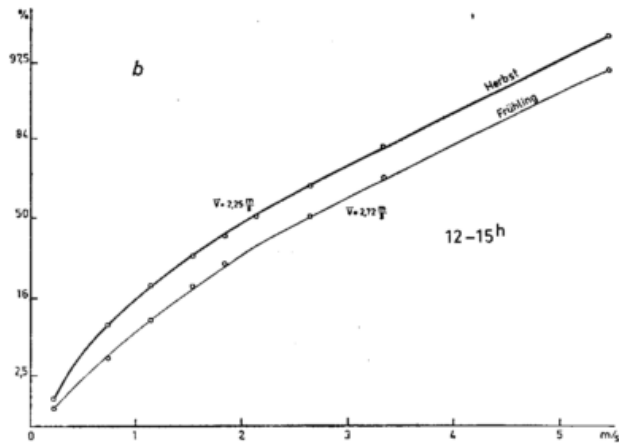
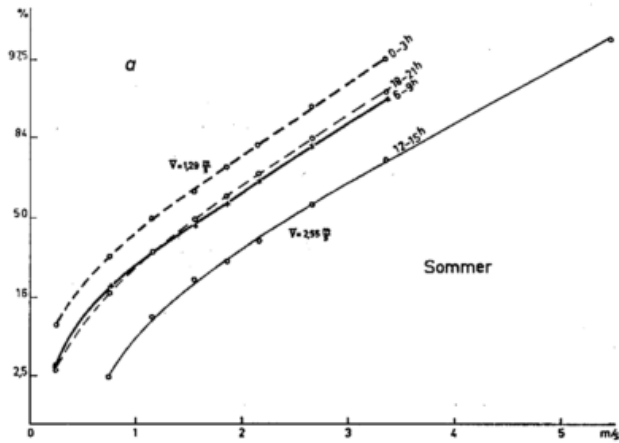


Abb. 27

Häufigkeitsverteilungen der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit in dreistündigen Tageszeitperioden nach E. BAUER; a) im Sommer; b) für die Tageszeit der größten Windstärke (12 bis 15 h) im Frühling und im Herbst; c) für die Zeit der größten und der kleinsten Windstärke (12 — 15 h bzw. 0 — 3 h) im Winter.

Abb. 27a

Histogramme der Windgeschwindigkeit (Stundenmittel in dreistündigen Tageszeitperioden) in Frankfurt a. M. nach E. BAUER, für die Zeiten der größten und der kleinsten Windstärke des Tagesganges im Sommer und im Winter. Häufigkeitsdichten in % pro m/s.

2.3. Der Wind in der freien Atmosphäre über dem Rhein-Main-Gebiet

Mit zunehmender Entfernung aus der Bodennähe vereinfacht sich nach der Höhe hin das Windfeld rasch. Abbildung 28 zeigt, nach Tag und Nacht unterteilt (wobei die Zeiteinteilung für die stündlichen Bodenbeobachtungen gemäß ihrem Tagesgang gewählt ist; vgl. (31)), die Richtungsverteilung der Winde in Windrosen für Bodennähe, für 850 und für 700 mb zu den vier Jahreszeiten. Während sich in 850 mb, also etwa 1,5 km Höhe, noch ein die Windrichtungen offenbar zu einem sekundären Ostmaximum „bündelnder“ Einfluß des im wesentlichen West-Ost streichenden Taunuskammes bemerkbar macht, ergibt sich in 700 mb, also rund 3 km Höhe, eine sehr glatte, fast ellipsenförmige Windrose mit dem der hiesigen geographischen Breite entsprechenden Vorherrschen der Westwinde. Der Auswertung liegen die Messungen der für eine Anzahl von Jahren von amerikanischer Seite betriebenen Radiosondenstation Wiesbaden-Erbenheim zugrunde, deren erste Beobachtungsjahre von GUSS und HOLZAPFEL (13) ausgewertet wurden, die ebenfalls das sekundäre Ostmaximum in 850 mb bemerkten. Die Änderung der Richtungsverteilung mit der Höhe läßt sich noch deutlicher aus Abbildung 29 ersehen, welche die Ergebnisse für das ganze Jahr zusammenfaßt, wobei nur noch für den bodennahen Wind nach Tages- und Nachtzeit unterschieden ist.

Der GAUSS'schen Verteilung eines skalaren Wertes entspricht bei den zweidimensionalen Verteilungen eines Vektors eine solche mit ellipsenförmigen Isolinen der Häufigkeitsdichte, die zu Kreisen entarten, wenn die Streuungen in beiden Achsenrichtungen gleich sind. Für die höheren Schichten der Atmosphäre lassen sich die Windverteilungen als kreisförmige darstellen (BROOKS, DURST und CARRUTHERS (2)), während sie sich in den niedrigeren Schichten als ellipsenförmig erweisen, wie sie besonders von CRUTCHER (4) bearbeitet wurden.

Die Beobachtungen der Wiesbadener Radiosondenstation wurden hinsichtlich ihres Verteilungscharakters von J. RUPPRECHT (29) untersucht, dessen Ergebnissen die Abbildung 30 entnommen ist. Sie zeigt am Verhältnis der Streuungen in den Achsenrichtungen der Verteilungsellipsen, wie sich die Elliptizität der Häufigkeitsverteilungen des Windvektors mit der Höhe ändert. Während in 850 mb dieses Verhältnis der Streuungen um 1,3 beträgt, geht es in 500 mb auf ein Minimum um und unter 1,1 zurück — so daß in dieser Höhe also praktisch kreisförmige Verteilungen vorliegen —, um dann nach größeren Höhen hin zunächst noch einmal etwas anzusteigen.

2.4. Die vektorielle Veränderlichkeit des Windes

In dem Bemühen, die Veränderlichkeit des Windes vektoriell zu erfassen und durch zweidimensionale („bivariate“) Häufigkeitsverteilungen darzustellen, stößt man auf verschiedene Schwierigkeiten. Radiosondenaufstiege werden im allgemeinen — so auch für längere Zeit von der Wiesbadener Station — nur zweimal täglich ausgeführt, so daß man für die Differenzbildung auf die relativ große Mindestzeitspanne von 12 Stunden angewiesen ist. Bei den Bodenwindbeobachtungen dagegen wirkt sich die relativ grobe Richtungsangabe (in einer sechzehnteiligen Skala), die schon in der Verteilung des Windvektors selbst zu einer fingerförmigen Verzerrung

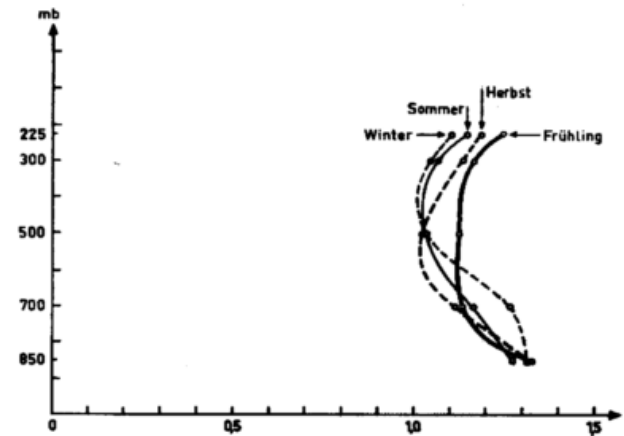


Abb. 30

Elliptizität der Häufigkeitsverteilungen des Windvektors in der freien Atmosphäre des Rhein-Main-Gebietes, dargestellt durch das Verhältnis der Streuungen in den Hauptachsenrichtungen der Verteilungsellipsen nach J. RUPPRECHT.

führt (LUCKE (18)), noch umso störender aus. Für einzelne Spezialuntersuchungen wurden besondere Radiosondenaufstiege in kürzeren Zeitabständen durchgeführt, zum Beispiel die von LENHARD, COURT and SALMELA (17) in Bedford, Massachusetts, welche die dortige Windänderung mit Hilfe stündlicher Aufstiege für eine kürzere Zeit (eine Woche) untersuchten.

In der vorliegenden Literatur (siehe (17)) wurde die vektorielle Windänderung als so geringfügig elliptisch verteilt gefunden, daß man sich im allgemeinen mit der Darstellung kreisförmiger Häufigkeitsverteilungen (um den Koordinaten-Nullpunkt) begnügt. Das gleiche erwies sich für das Rhein-Main-Gebiet, wo die 12- und 24stündigen Windänderungen an Hand der Wiesbadener Aufstiege von P. SPETH (30) untersucht wurden. Während SPETH (30) für die Bodenwindänderungen in Frankfurt a. M. eine ellipsenförmige Verteilung fand (mit SW-NE-orientierter, großer Achse, bedingt durch die hier am häufigsten vorkommenden SW- und NNE-Winde), faßt er die Ergebnisse für die Höhenwindänderung folgendermaßen zusammen: Die Streuung (der mit kreisförmigen Isolinen der Häufigkeitsdichte um den Nullpunkt verteilten, vektoriellen Änderung) beträgt für die vierundzwanzigstündige Änderung etwa ein Viertel vom Betrag des mittleren Windvektors in der betrachteten Höhe. Den SPETH'schen Ergebnissen liegen in den niederen Schichten (850, 700 mb) je etwa 2500, in 300 mb etwa 1900 und in 225 mb noch jeweils über 900 vektorielle Differenzen zugrunde.

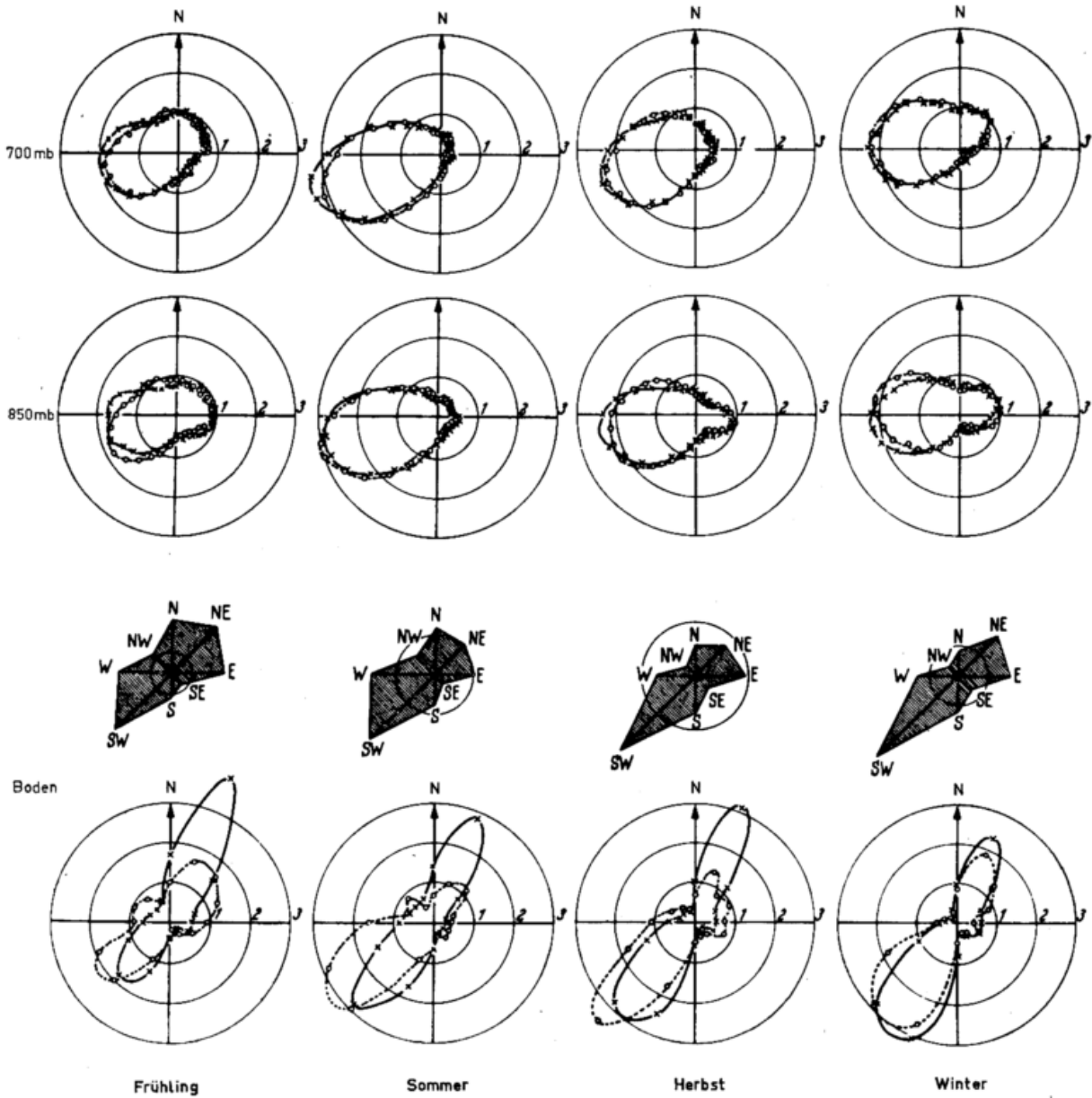


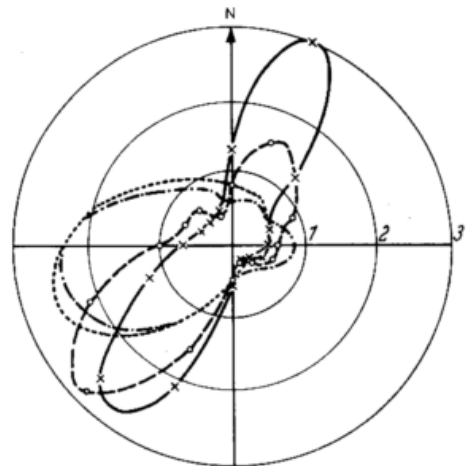
Abb. 28

Windrichtungshäufigkeiten bei Tag (gestrichelte Kurve für die 4 Stunden von 12 bis 16h) und bei Nacht (ausgezogene Kurven für die 8 Stunden von 20 bis 4h) im Rhein-Main-Gebiet; Bodenwinde von Frankfurt a. M., Höhenwinde in 850 und in 700 mb von Wiesbaden-Erbenheim. Der Radius ist in Vielfachen der bei Gleichverteilung auf jede Richtung entfallenden Häufigkeiten geteilt. Die sternförmigen Figuren geben die ältere Auswertung von ZIEGLER und KÖNIG (43) wieder.

..... 700 mb
 - - - - 850 mb
 - - - - Boden nachts
 ——— Boden tags

Abb. 29

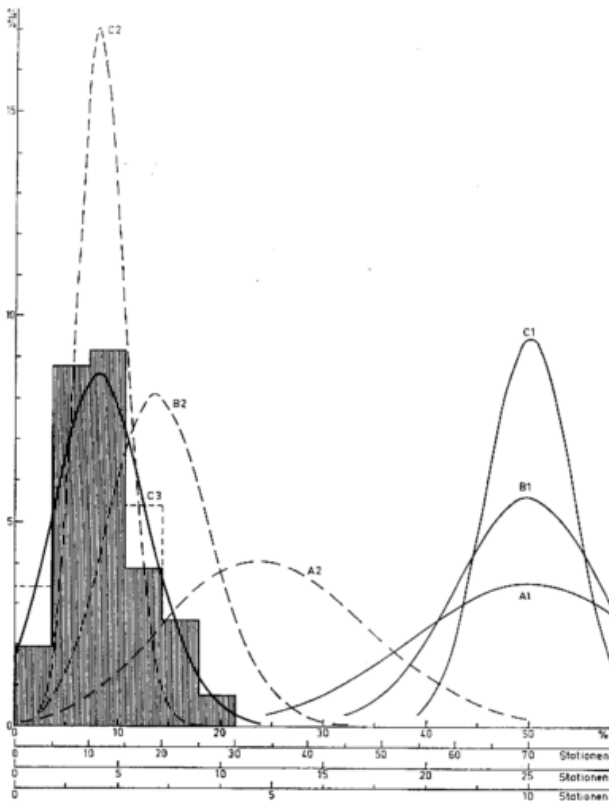
Windrichtungshäufigkeiten am Boden und in der freien Atmosphäre des Rhein-Main-Gebietes im Jahresmittel. Wie bei Abb. 28 ist der Radius in Vielfachen der bei Gleichverteilung auf jede Richtung entfallenden Häufigkeiten geteilt.



3. Niederschlag

Für mancherlei Anwendungszwecke besteht der Wunsch, die Niederschlagstätigkeit der Atmosphäre über einem Gebiet mehr oder minder großer Flächenerstreckung quantitativ zu kennzeichnen. Hierfür die 12- und 24stündigen, synoptischen Meldungen der Niederschlagsmengen zu benutzen, ist ein mühsames Unterfangen und erlaubt durch die relativ langen Summierungs-Zeitspannen (12 und 24 Stunden) nur eine recht grobe und daher manchen Zwecken nicht genügende, zeitliche Auflösung.

Von einer Anregung durch G. MATTERN (unveröffentlicht) ausgehend, wurde deshalb der Weg eingeschlagen, diejenigen Stationen eines gegebenen Netzes auszuzählen, die gleichzeitig — sei es zum gleichen Meldetermin oder innerhalb der gleichen Zeitspanne zwischen zwei synoptischen Terminen — Niederschlag erhielten. Auf diese Weise werden die synoptischen Niederschlagsbeobachtungen, die im Wetterschlüssel unter ww und W zu finden sind und in die Wetterkarte eingehen, obwohl sie sich auf die Form einer Ja-Nein-Aussage beschränken, doch für ein Gebiet zu einer quantitativen Kennzeichnung des Niederschlags ausgewertet.



Ab. 31

Häufigkeitsverteilung gleichzeitigen Niederschlags (zum 0-h-Termin, Zählung aus 5 Monaten) an einer bestimmten Zahl von synoptischen Stationen (Abszisse) aus maximal 140 Stationen; dazu vergleichsweise Binomialverteilungen. Die Verteilungen sind zur Vergleichbarkeit dadurch auf die Fläche 1 normiert, daß die Ordinate in % Häufigkeit je % der Stationszahl angegeben ist. Die einzelnen Kurven: A1 für 20, B1 für 50, C1 für 140 Stationen jeweils bei der individuellen Ereigniswahrscheinlichkeit von $p = 1/2$; A2 für 20 Stationen bei $p = 1/4$; B2 für 50 Stationen bei $p = 1/7$; C2 für 140 Stationen bei $p = 1/14$. Kurve C3 für 140 Stationen mit $p = 1/14$, aber für nicht voneinander unabhängige, sondern verknüpfte Ereignisse.

3.1. Der Niederschlag in einem sehr großen Gebiet

Betrachtet man die Anzahl jener Stationen, die gleichzeitig Niederschlag erhalten, als die Abszisse (unabhängige Variable) einer Häufigkeitsverteilung, so erweist sich diese, wie an anderer Stelle näher ausgeführt, wahrscheinlichkeitstheoretisch als eine Binomialverteilung (WACHTER (35)). Die von 140 europäischen (synoptischen) Stationen aus den 0-Uhr-Meldungen von 5 Monaten gewonnenen Zahlen bekräftigen diese Theorie (Abb. 31), wenn man durch einen entsprechenden Ansatz berücksichtigt, daß die Niederschläge an den einzelnen Stationen nicht unabhängig voneinander sind.

Eine symmetrische Binomialverteilung um den Mittelwert von 50% der Stationenzahl würde sich jedoch nur ergeben, wenn im Mittel die (momentane) Niederschlagswahrscheinlichkeit an der einzelnen Station 50% betrüge. Wenn, wie es Abbildung 31 zeigt, am häufigsten 8% aller Stationen des untersuchten Netzes gleichzeitig Niederschlag empfangen, so besagt dies, daß im Mittel stets auf etwa 8% des beobachteten Gebietes Niederschlag fällt, oder, im zeitlichen Ablauf gesehen, daß die (momentane) Niederschlagswahrscheinlichkeit an der einzelnen Station rund 8% beträgt.

Diese Feststellungen sind, wie sich im weiteren erweisen wird, an die Voraussetzung gebunden, daß das beobachtete Gebiet hinreichend groß ist — so groß, daß es stets irgendwelche Gebiete mehr oder minder lebhafter Niederschlagstätigkeit enthält und umfaßt.

3.2. Der Niederschlag in einem kleinen Gebiet

Anders werden die Verhältnisse, wenn das beobachtete Gebiet (bei, wie üblicherweise gegeben, ungefähr gleichmäßiger Stationsdichte, also die Stationszahl) klein ist, insbesondere so klein, daß ein durchschnittliches Regengebiet eine weit größere Fläche bedeckt als das von den Stationen beobachtete Gebiet (WACHTER (37)). Hier findet man Häufigkeitsverteilungen gleichzeitigen Niederschlags über der Stationszahl, die bei sehr kleinen Netzen (im angeführten Beispiel 6 und 14 Stationen) den in der Meteorologie bekannten für den Bedeckungsgrad mit Wolken ähneln, nämlich die Form eines U aufweisen. Für die Zeiten besonders ausgeprägten Niederschlagscharakters zeigt Abbildung 32 solche Verteilungen: Abbildung 32 a für die Sommernachmittage mit vorherrschenden Schauern, gekennzeichnet durch die 18^h-W-Meldungen, Abbildung 32 b für die Wintervormittage mit dem Vorherrschen der Aufgleitniederschläge, gekennzeichnet durch die 12^h-W-Meldungen.

In Form der Häufigkeitssummen sind die Zählergebnisse aus dem synoptischen Netz des Deutschen Wetterdienstes in den Abbildungen 33 a und b sowohl für die Momentanbeobachtungen ww, als auch für 6stündige und (im Sommer) 3stündige W-Meldungen wiedergegeben. Während in den der Abbildung 33 zugrundeliegenden Auszählungen nicht nach der Niederschlagsart unterschieden wurde, also alle Meldungen mit ww = 50 bis 99 oder W = 5 bis 9 als „Niederschlag“ schlechthin gelten, wurde die Häufigkeit gleichzeitiger Schauer und Gewitter noch besonders ausgezählt (Abb. 34 a und b). Bei geringer Wahrscheinlichkeit des Ereignisses an der einzelnen Station, wie für Schauer und Gewitter im Winter (Abb. 34 b), nähert sich diese Verteilung einer solchen POISSON'scher Art.

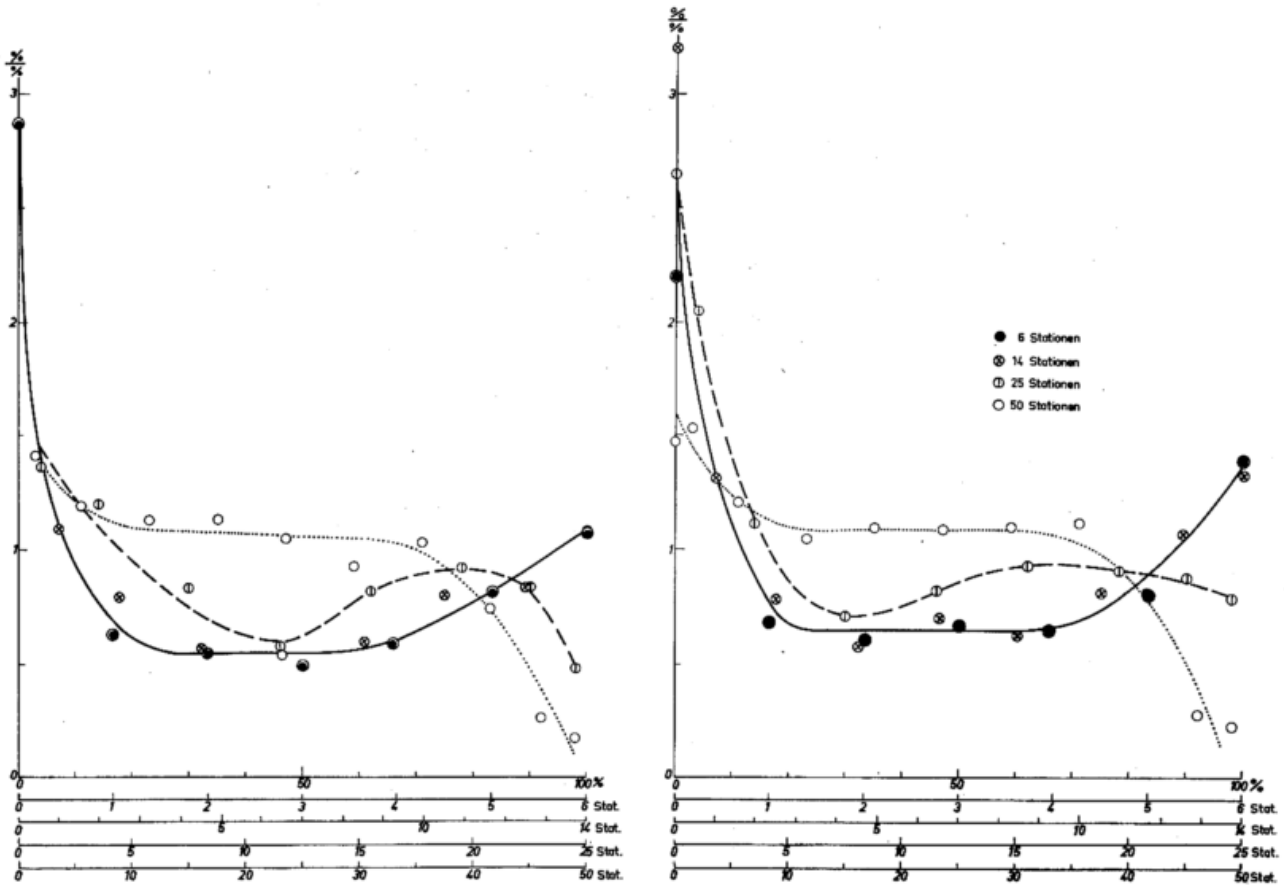


Abb. 32

Häufigkeitsverteilungen gleichzeitigen Niederschlags während einer sechsständigen Zeitspanne (Sommer 12 — 18h, Abbildungsteil links; Winter 6 — 12h, Abbildungsteil rechts) in verschieden großen Netzen. Ausgezogene Kurve: 6 und 14 Stationen (die 6 Stationen: ausgefüllte Kreise, die 14 Stationen: ausgekrezte Kreise); gestrichelte Kurve und senkrecht durchstrichene Kreise: 25 Stationen; punktierte Kurve: 50 Stationen.

3.3. Zusammenhänge der Niederschlagswahrscheinlichkeit für Gebiete

Die hier mitgeteilten Verteilungen gleichzeitigen Niederschlags bilden eine klimatologische Aussage über das von den synoptischen Stationen beobachtete Gebiet. Verknüpft man sie im Anwendungsfall mit der Feststellung, wieviel Stationen des Netzes zu einem gegebenen Termin, zu einer gegebenen Zeitspanne oder an einem gegebenen Tag „gleichzeitig“ (in einem etwas erweiterten Sinne) Niederschlag erhielten, so läßt sich hieraus eine Prüfmöglichkeit für Niederschlagsprognosen gewinnen, die nicht von der willkürlichen Entscheidung abhängt, ob man eine oder mehrere Niederschlagsmeldungen im Vorhersagegebiet als den angekündigten Niederschlag bestätigend erachten will (WACHTER (39)).

Eine Verdichtung der Beobachtungen, die hier im Fall des kleinsten Netzes von 6, in der Nähe von Frankfurt a. M. gelegenen, synoptischen Stationen gewonnen wurden, wurde, einer Anregung von R. MÜGGE folgend,

durch Hinzunahme geeigneter Klimastationen erreicht (St. MILDNER (20)). Sie bestätigte den U-förmigen Verlauf der Häufigkeitsverteilung, den man sich in gleicher Weise wie beim Bedeckungsgrad mit Wolken aus der Gebietsüberdeckung durch die Wolken- oder Niederschlagsfelder entstanden denken kann (WACHTER (37)). Aus den Untersuchungen von St. MILDNER (20) ergibt sich jedoch weiterhin, in welcher quantitativen Weise die Niederschläge an verschiedenen Stationen je nach der Entfernung dieser Stationen miteinander korrelieren.

Ebenfalls von der Niederschlagsstatistik eines Gebietes ausgehend, jedoch unter Verwendung der Niederschlagsmengen, fand M. NOSEK (25) interessante Zusammenhänge des herbstlichen Niederschlagsverlaufes mit den Großwetterlagen nach HESS und BREZOWSKY (15); NOSEK benutzt u. a. eine auf BOUËT zurückgehende Methode, den Niederschlagscharakter eines Gebietes zu kennzeichnen.

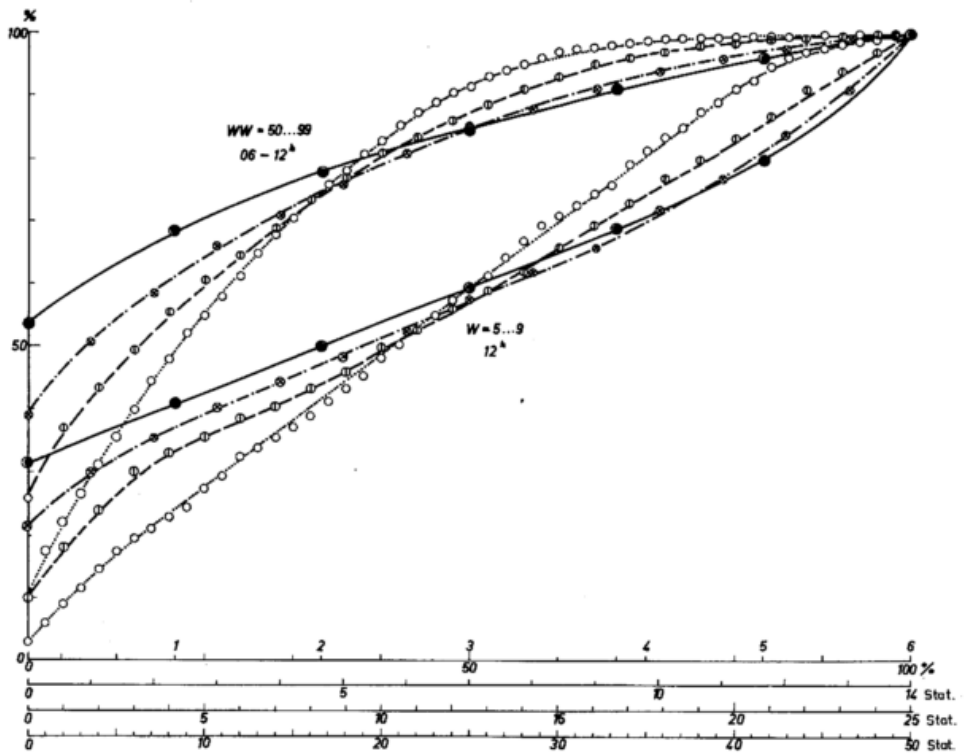
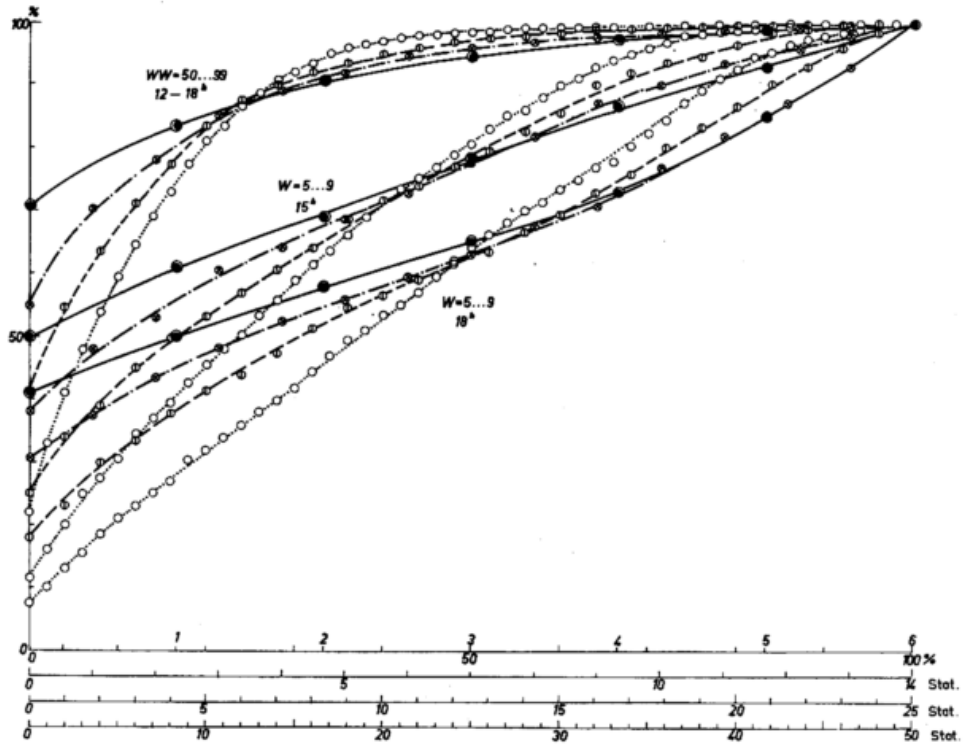


Abb. 33

Häufigkeitsverteilungen im Summendarstellung (Ordinate linear!) gleichzeitiger Niederschläge an bis zu 50 synoptischen Stationen im Sommer (Abbildungsteil oben) und im Winter (Abbildungsteil unten) nach den aktuellen Terminmeldungen w und den Meldungen des vergangenen Wetters W aus den 10 Jahren 1951 — 1960. Unterscheidung der Punktarten wie bei Abb. 32.

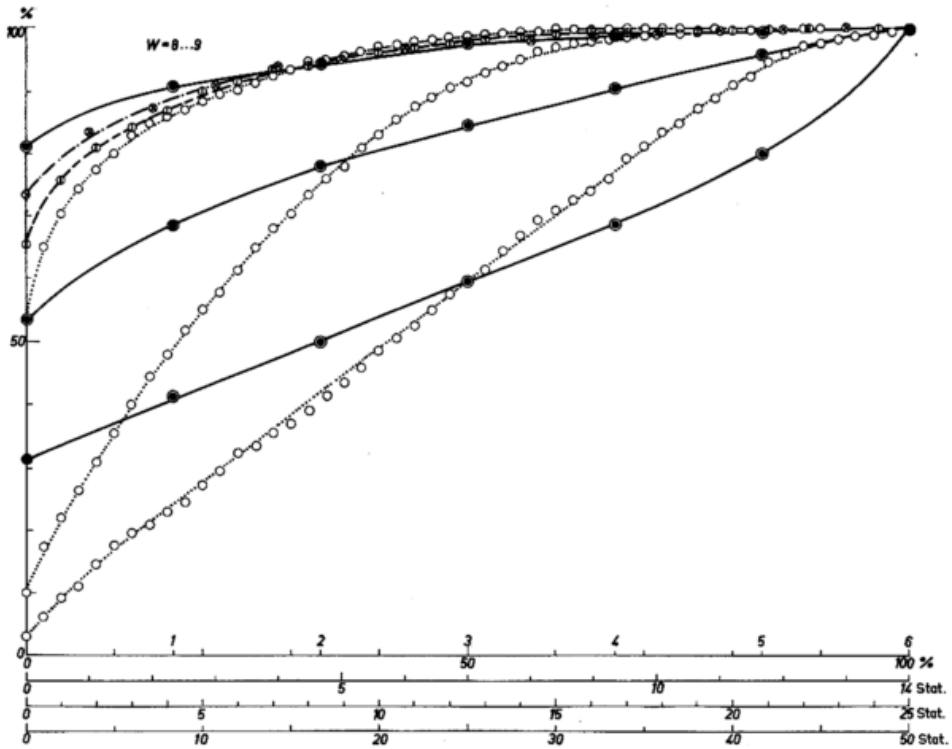
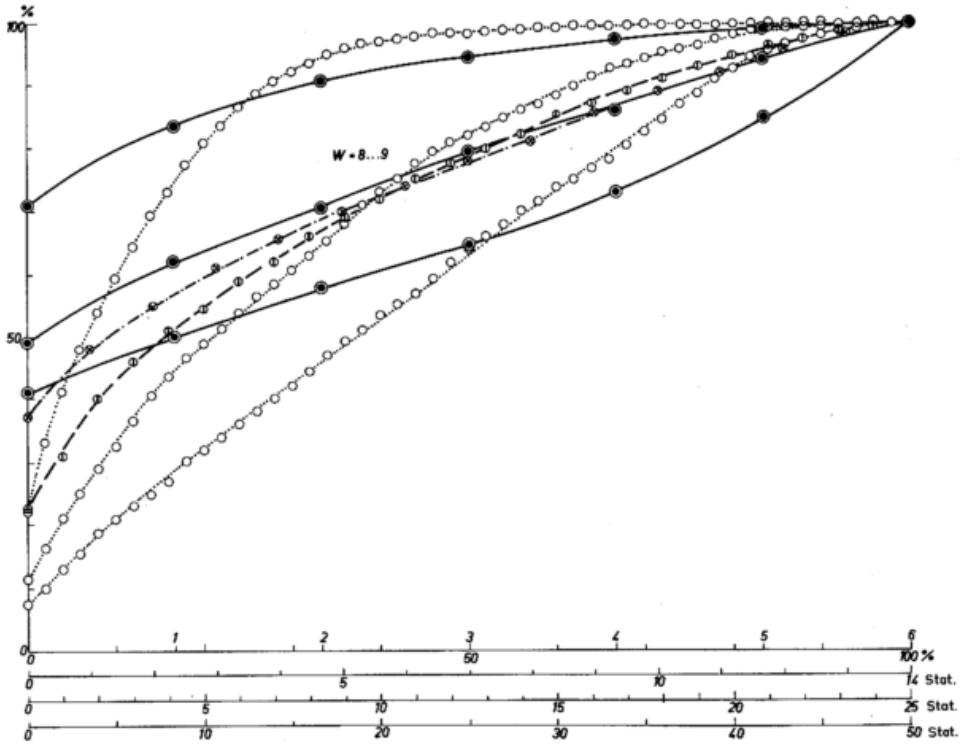


Abb. 34

Häufigkeitsverteilung von innerhalb der gleichen 6 Stunden (Abbildungsteil oben: Sommer 12—18h; Abbildungsteil unten: Winter 6—12h) an einer Anzahl von Stationen (Abszisse) stattfindenden Schauern oder Gewittern ($W = 8$ oder 9). Die nicht beschrifteten Kurven sind zum Vergleich aus der Abb. 33, die für alle Niederschläge ohne Unterscheidung ihrer Art gelten, wiederholt.

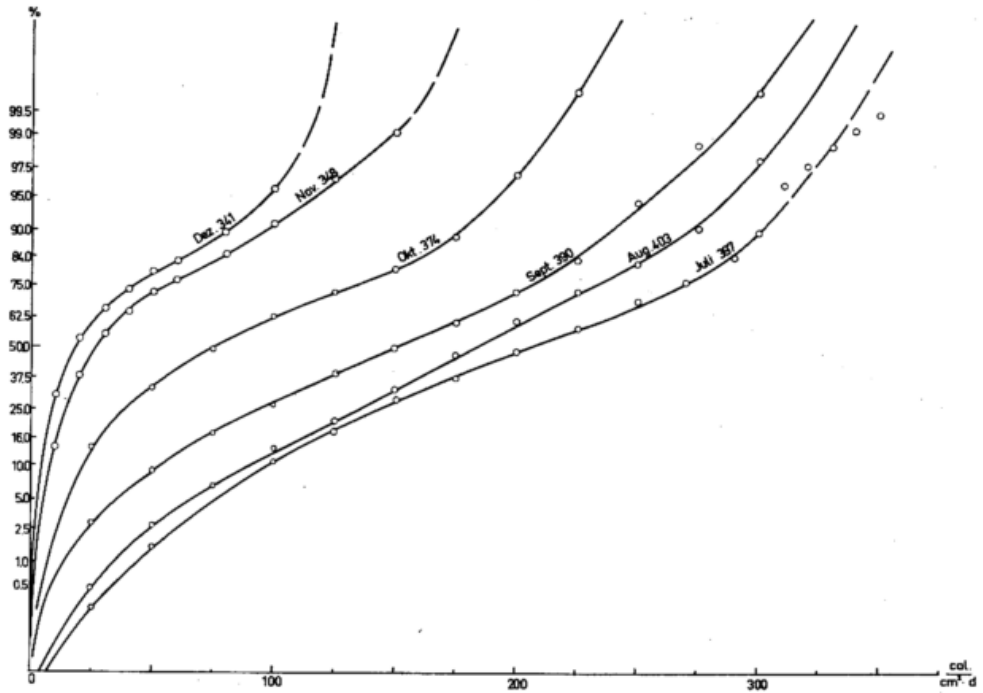
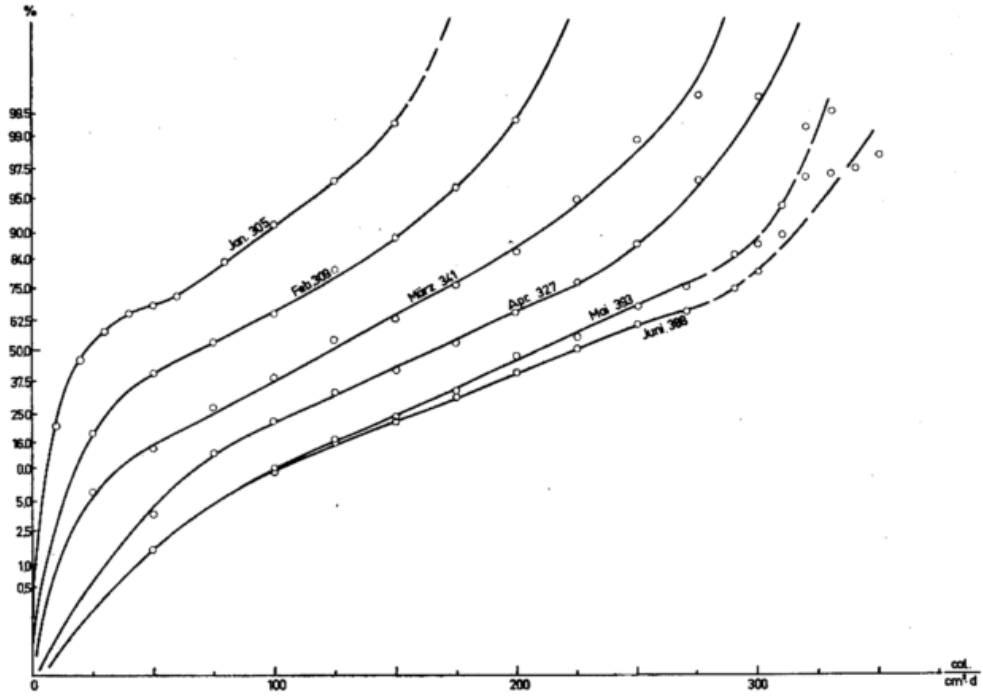


Abb. 35

Monatliche Häufigkeitsverteilungen (im Wahrscheinlichkeitsnetz) der Tagessummen der Zirkumglobalstrahlung ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$) in Bad Soden/Taunus, gemessen mit dem Kugelpyranometer nach BELLANI; oben für die Monate Januar bis Juni, unten für die Monate Juli bis Dezember. Die Zahlen an den Kurven geben die Anzahl der während der Jahre 1953 bis 1966 für jeden Monat gewonnenen Meßwerte an.

4. Zirkumglobalstrahlung

Es hat sich eingebürgert, den gesamten, im meteorologischen Sinne kurzweiligen Strahlungseinfall aus dem oberen Halbraum (Sonnen- + Himmelsstrahlung = Globalstrahlung) und dem unteren Halbraum zusammen als Zirkumglobalstrahlung zu bezeichnen. Die Zirkumglobalstrahlung umfaßt also die Globalstrahlung nebst der vom Boden und der Umgebung zurückgeworfenen Reflexstrahlung. Während in der Strahlungsbilanz wegen der auf- und abwärts gerichteten Strahlungsströme der Globalstrahlung und der Reflexstrahlung entgegengesetzte Vorzeichen zukommen, bildet die Zirkumglobalstrahlung die Summe aus Globalstrahlung und Reflexstrahlung; jedoch, was modifizierend hinzukommt, nicht auf eine ebene Fläche bezogen, sondern von einem kugelförmigen Meßkörper empfangen, der näherungsweise den Strahlungsgenuß biologischer Körper am entsprechenden Orte festzustellen erlaubt. Das diese Aufgabe verwirklichende Meßinstrument ist das Kugelpyranometer nach BELLANI (3, 26), mit dem in der näheren Umgebung von Frankfurt a. M., in dem Kurort Bad Soden am Taunus, die Zirkumglobalstrahlung gemessen wird (WACHTER (33, 41)).

Die Länge der gewonnenen Meßreihe reicht mit über zehn Jahren jetzt aus, um monatliche Häufigkeitsverteilungen der vorkommenden Tagessummen der Zirkumglobalstrahlung zu gewinnen; das Ergebnis zeigen die Abbildungen 35 a und b, die wiederum die Häufigkeitssummen wiedergeben. Die Art des Jahresganges erweist sich hier als eine ganz andere, als sie zum Beispiel die Lufttemperatur zeigt: während der Mittelwert der Temperatur sich im Jahresgang von Monat zu Monat verschiebt, ändert sich ihre Streuung im Jahreslauf nur sehr wenig; bei den Tagessummen der Zirkumglobalstrahlung hingegen ändern sich Mittelwert und Streuung so, daß im Winter eine sehr scharfe Verteilung (mit geringer Streuung und kleinem Mittelwert), in den Sommermonaten eine sehr flache Häufigkeitsverteilung (mit breiter Streuung um einen höheren Mittelwert) besteht. Anders als etwa Frosttemperaturen verschwinden also niedrige Einstrahlungswerte im Sommer keineswegs, sondern die Häufigkeitssummenkurven beginnen stets bei nullnahen Werten der täglichen Zirkumglobalstrahlung.

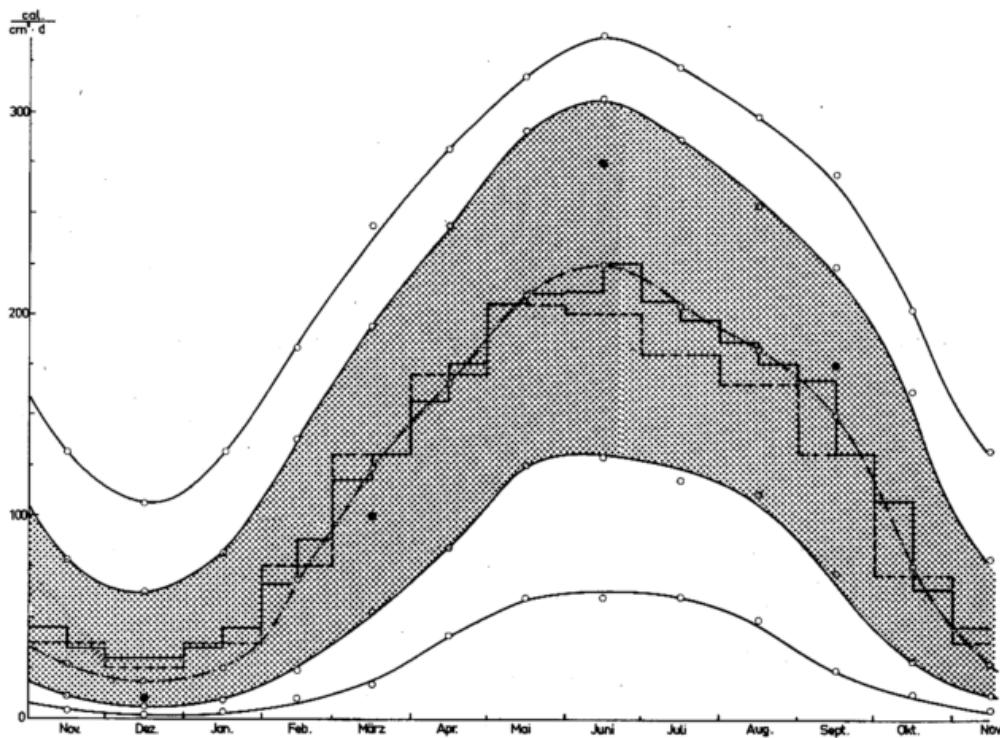


Abb. 36

Jahresgang der Tagessummen der Zirkumglobalstrahlung in Bad Soden/Taunus mit Häufigkeitsbereichen; 68% liegen innerhalb des punktierten Bereiches, die beiden äußeren Kurven umfassen 95% der vorgekommenen Werte. Die ausgezogene Stufenkurve zeigt halbmonatliche Mittelwerte, die gestrichelte Stufenkurve ganzmonatliche Mittelwerte (letzte nach einer älteren Auswertung). Die gestrichelte, glatte Kurve zeigt den Jahresverlauf des Mitten(Zentral-)wertes. Die Sternchen geben für einige Monate die Gipfel der Verteilungen (häufigsten Werte) an.

Nach Messungen mit einem Bellani-Gerät, die für kurze Zeit (Juni und Juli 1964) beim Botanischen Institut der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität angestellt wurden, scheinen die Tagessummen der Zirkumglobalstrahlung in Bad Soden am Taunus in den Sommermonaten um rund 20% höhere Werte zu erreichen als in Frankfurt a. M. Nach Betrag, Verteilung und Jahresgang den Bad Sodener Werten sehr nahe kommen die Meßergebnisse, die FLEMMING (10) mit einem Bellani-Instrument in Tharandt-Wildacker gewann.

Bei der Art der Häufigkeitsverteilungen, wie sie die Zirkumglobalstrahlung aufweist, ist der Hinweis angebracht, daß sich hier Mittelwert, häufigster Wert und Zentralwert voneinander unterscheiden (Abb. 36); schon 1884 forderte MEYER (19) die Beachtung dieser Unterschiede bei meteorologischen Meßgrößen. Außer von Tharandt sind von anderen Orten, an denen mit dem Bellani-Pyranometer gemessen wurde, jedoch meist nur (monatliche) Mittelwerte veröffentlicht. Nimmt man diese, für verschiedene Stationen von MÖRIKOFER (24) zusammengestellten Monatsmittelwerte zur Grundlage eines Vergleichs, so lassen sich aus Abbildung 37 eindrucksvoll die Unterschiede im Jahresgang der Zirkumglobalstrahlung bei verschiedener Höhenlage der Stationen ersehen. Die Verfrühung des jahreszeitlichen Maximums bei hochgelegenen Stationen wird von WACHTER (41) auf die Reflexion der Schneedecke zurückgeführt, während die spätsommerliche Einsenkung im Jahresgang dieser Stationen durch den Bewölkungsgang dort verursacht sein mag.

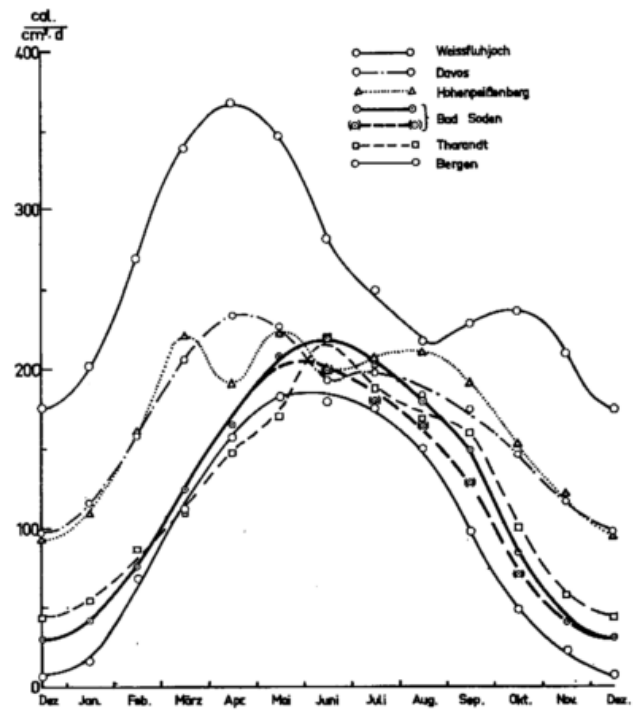


Abb. 37
Vergleich des Jahresganges der Zirkumglobalstrahlung an Hand monatlicher Mittelwerte der Tagessummen von verschiedenen Stationen (größtenteils nach MÖRIKOFER).

Die Bearbeitung der vorliegenden Vielfalt von Beobachtungen mit den statistisch so sehr erwünschten, großen Datenmengen wäre nicht möglich gewesen ohne die fördernde Unterstützung von verschiedenen Seiten. Vor allem dankt der Verfasser sehr herzlich dem jetzigen Emeritus, Herrn Professor Dr. R. MÜGGE, und dem Direktor des Meteorologischen Institutes der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt a. M., Herrn Professor Dr. H.-W. GEORGII, für die Möglichkeit, sich längere Zeit mit dem Gegenstand dieser Arbeit zu befassen. Ebenso gilt der Dank des Verfassers den Präsidenten des Deutschen Wetterdienstes, den Herren Dr. BELL (bis 1966) und Dr. E. SÜSSENBERGER (seit 1966), sowohl für die Überlassung der Daten und für die maschinellen Schritte ihrer Auswertung, als auch für die Veröffentlichung im Rahmen dieser Berichte. Besonderer Dank gebührt Frau Dr. A. GUTSCHE für viele, wertvolle Ratschläge und der von ihr geleiteten Lochkartenabteilung des Deutschen Wetterdienstes, die mit dem nötigen Sachverständnis und aller Gewissenhaftig-

keit die beträchtlichen, statistischen Zählarbeiten maschinell ausführte. Weiterhin fühlt sich der Verfasser Herrn Dr. F. GEBHARDT vom Deutschen Rechenzentrum für seine wertvolle Hilfe bei den dort durchgeführten Auswertungen zu großem Dank verbunden. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sei dafür gedankt, daß sie zu verschiedenen Forschungsvorhaben, deren Ergebnisse in die vorliegende Arbeit eingingen, die benötigten Geldmittel beitrug. Aus zwei solchen Forschungsvorhaben, bei denen die Deutsche Forschungsgemeinschaft Herrn Professor Dr. MÜGGE unterstützte, gingen die Temperatur- und die Windauswertungen hervor, aus einem weiteren des Verfassers Dr. WACHTER ergab sich der Abschnitt über die Korrelation zwischen Temperaturabweichung und -änderung. Ihre äußere Form gewannen die Ergebnisse in den vielen, graphischen Darstellungen, für die der Verfasser den beiden Zeichnern des Meteorologischen Instituts, den Herren R. WAGNER (bis 1966) und W. MAHLER (seit 1966) dankt.

Literatur

- (1) BAUR, F.: Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik. In: LINKE's Meteorologisches Taschenbuch. Neue Ausgabe, II. Band. Leipzig 1953. S. 192—250 (insbes. S. 222).
- (2) BROOKS, C. E. P.; DURST, C. S., u. CARRUTHERS, N.: Upper winds over the world. Part. I: The frequency distribution of winds at a point in the free air. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 72 (1946) S. 55—73.
- (3) COURVOISIER, P., u. WIERZEJEWSKI, H.: Das Kugelpyranometer Bellani. Arch. Meteor. Geophys. Bioklim. B 5 (1954) S. 413—446.
- (4) CRUTCHER, H. L.: On the standard vector-deviation wind rose. J. Meteor. 14 (1957) S. 28—33.
— —: Computations from elliptical wind distribution statistics. J. appl. Meteor. 1 (1962) S. 522—530.
- (5) DAEVES, K., u. BECKEL, A.: Großzahlmethodik u. Häufigkeitsanalyse. Weinheim (Bergstraße) 1958.
- (6) DINIES, E.: Luftkörperklimatologie. Arch. Dt. Seewarte 50 (1931) Nr. 6.
- (7) ESSENWANGER, O.: Neue Methode der Zerlegung von Häufigkeitsverteilungen. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 10 (1954).
— —: Tafeln zur Häufigkeitszerlegung mit Anwendungsbeispielen. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 39 (1957).
- (8) FETT, W.: Studie zur Typenbildung des Höhenwindfeldes. Meteor. Abh. Inst. Meteor. Geophys. Fr. Univ. Berlin 33 (1963) Nr. 1.
- (9) FIEDLER, F.: Eine Häufigkeitsanalyse von Minimumtemperaturen und der Versuch ihrer meteorologischen Deutung. Meteor. Diplomarbeit Frankfurt a. M. 1965.
— —: Woraus bestehen die Häufigkeitsverteilungen der Tagestemperaturen von Frankfurt am Main? Z. Meteor. 17 (1966) S. 305—310.
- (10) FLEMMING, G.: Fünfjährige Messungen der Zirkumglobalstrahlung und der kurzwelligen Strahlung aus seitlichen Halbräumen in Tharandt-Wildacker. Z. Meteor. 18 (1965) S. 107—118.
- (11) FREYBE, O.: Die mittlere Veränderlichkeit der Lufttemperatur von Tag zu Tag in der Provinz Hessen-Nassau. Meteor. Z. 36 (1919) S. 76—79.
- (12) GEBELEIN, H.: Zahl und Wirklichkeit. Heidelberg 1949
— — u. HEITE, H.-J.: Statistische Urteilsbildung. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1951.
- (13) GUSS, H., u. HOLZAPFEL, R.: Über den Höhenwind im Rhein-Main-Gebiet. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 42 (1952) S. 433—440.
- (14) HEIDPRIM, P.: Das Klima von Frankfurt am Main; Nachtrag II. Frankfurt a. M. 1910.
- (15) HESS, P., u. BREZOWSKI, H.: Katalog der Großwetterlagen Europas. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 33 (1952).
- (16) Reichsamt für Wetterdienst: Klimakunde des Deutschen Reiches. Berlin 1939.
- (17) LENHARD, R. W. Jun.; COURT, A., u. SALMELA, H. A.: Variability shown by hourly wind soundings. J. appl. Meteor. 2 (1963) S. 99—104.
- (18) LUCKE, O.: Statistische Untersuchungen über die Stundenmittel des Windvektors in Potsdam während eines Jahres. Gerlands Beitr. Geophys. 71 (1962) S. 337—378.
- (19) MEYER, H.: Anleitung zur Bearbeitung meteorologischer Beobachtungen für die Klimatologie. Berlin 1891.
- (20) MILDNER, St.: Häufigkeitsverteilungen gleichzeitigen Niederschlags an vielen synoptischen Stationen und Untersuchung der Auswirkungen, die eine Verdichtung des Netzes der Beobachtungsstationen mit sich bringt. Meteor. Diplomarbeit Frankfurt a. M. 1967.
- (21) MOHR, T.: Beitrag zur Klimatologie der freien Atmosphäre über dem Rhein-Main-Gebiet. Meteor. Diplomarbeit Frankfurt a. M. 1965.
- (22) MÖLLER, F., Messung und Darstellung des Windes. In: HANN-SÜRING, Lehrbuch der Meteorologie. 5. Aufl. Leipzig 1951. S. 481—499 (insbes. S. 492/493).
- (23) MOLLWO, H.: Klimawerte von Frankfurt/Main 1857—1956. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 43 (1958).
- (24) MÖRIKOFER, W.: Zur Klimatologie der Zirkumglobalstrahlung, gemessen mit dem Kugelpyranometer. Verh. Schweiz. Naturforsch. Ges. 142 (1962) S. 69—71.
- (25) NOSEK, M.: Rijnové srážkové singularity na území ČSSR (Die Oktober-Niederschlagssingularitäten auf dem Gebiete der ČSSR). Folia (Fac. Sci. Natur. Univ. Purkynianae Brunensis) 5 (1964) Nr. 3, S. 1—95.
— —: October precipitation in the Carpathian region of the Danube basin (A study in the fluctuation of climate). Ebenda S. 97—116.
- (26) PROHASKA, F., u. WIERZEJEWSKI, H.: Théorie et pratique du pyranomètre sphérique de Bellani. Ann. Géophys. 3 (1947) S. 184—221.
- (27) REIDAT, R.: Klimadaten für Bauwesen und Technik (Lufttemperatur). Ber. Dt. Wetterd. Nr. 64 (1960).
- (28) RIETSCHEL-RAISS: Lehrbuch der Heiz- und Lüftungstechnik. 14. Aufl. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1960.
- (29) RUPPRECHT, J.: Zweidimensionale Häufigkeitsverteilung des Windes in Frankfurt am Main. Meteor. Diplomarbeit Frankfurt a. M. 1965.
- (30) SPETH, P.: Die vektorielle Veränderlichkeit des Windes in Frankfurt am Main. Meteor. Diplomarbeit Frankfurt a. M. 1965.
- (31) WACHTER, Heinz: Wind und Höhenwind des Frankfurter Gebietes. Meteor. Rdsch. 11 (1958) S. 183—185.
- (32) — —: Der Wind in Frankfurt am Main. Meteor. Rdsch. 13 (1960) S. 3—9.
- (33) — —: Messungen mit dem Kugelpyranometer nach Bellani in Bad Soden (Taunus). Meteor. Rdsch. 13 (1960) S. 17—18.
- (34) — —: Temperatursummen, ihr Verteilungsgesetz, und der Winter 1962/63. Meteor. Rdsch. 16 (1963) S. 106—108.
- (35) — —: On the frequency distribution of concurrent rainfall in a large area. Geofis. pura e appl. 55 (1963) S. 126—130.
- (36) — —: Niederschlags-Wahrscheinlichkeit und Niederschlagsdauer, ihre Bestimmung und ihre Höhenabhängigkeit. Z. angew. Meteor. 5 (1964) S. 80—86.
- (37) — —: Gesetzmäßigkeiten gleichzeitigen Niederschlags an vielen synoptischen Stationen. Z. Meteor. 17 (1966) S. 297—304.
- (38) — —: Synoptische Wettervorhersagen im Lichte klimatologischer Häufigkeitsverteilungen. In: „Meteorologie“. Ergebn. d. Konf. in Liblice 1964 (Prag 1966). S. 361—372.
- (39) — —: Über Gewicht und Erfolg von Temperaturprognosen. Ber. Inst. Meteor. Geophys. Univ. Frankfurt a. M. Nr. 10 (1966).
- (40) — —: Empirische Wahrscheinlichkeiten auf Grund ein- und zweidimensionaler, klimatologischer Häufigkeitsverteilungen. Z. Meteor. (im Druck).
- (40) — —: Häufigkeitsverteilungen der Zirkumglobalstrahlung in Bad Soden am Taunus. Ann. Meteor. N. F. Nr. 3 (1967) S. 191—196.
Die Zirkumglobalstrahlung in Bad Soden am Taunus und an anderen Orten. Arch. Phys. Therapie 19 (1967) S. 491—497.
- (42) WACHTER, Hermann: Das Klima von Frankfurt am Main; Nachtrag III. Ber. Inst. Meteor. Geophys. Univ. Frankfurt a. M. Nr. 5 (1939).
- (43) ZIEGLER, J. u. KÖNIG, W.: Das Klima von Frankfurt am Main. Frankfurt a. M. 1896.
— —: Das Klima von Frankfurt a. M.; Nachtrag. Frankfurt a. M. 1901.