

Berichte
des
Deutschen Wetterdienstes

Nr. 81
(Band 11)

DK 551.521.11:551.521.12

Sonnenschein und Globalstrahlung
auf dem Hohenpeißenberg

von

Johannes Grunow
(mit 32 Abbildungen im Text und 47 Tabellen im Anhang)

Offenbach a. M. 1962
Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

Inhalt

	Seite
Zusammenfassung	5
Abstract	5
Vorbemerkung	5
1. Die Sonnenscheindauer	
1.1. Aufstellung des Autographen	6
1.2. Monats- und Jahreswerte	6
1.2.1. Ausführliche Tabellen	6
1.2.2. Durchschnitts- und Extremwerte	6
1.2.3. Der Jahresgang	7
1.2.4. Vergleich mit anderen Orten	8
1.3. Der Jahresgang nach Tageswerten	9
1.3.1. Darstellung des Jahresganges	9
1.3.2. Singularitäten im Jahresgang	9
1.4. Häufigkeit von Stufenwerten	11
1.4.1. Stufenwerte der Monatssummen	11
1.4.2. Stufenwerte der Tagessummen	11
1.4.3. Stufenwerte der täglichen Sonnenscheinerwartung	11
1.4.4. Aufeinanderfolge extremer Stufenwerte	12
1.5. Der Tagesgang des Sonnenscheins	12
1.5.1. Einfluß der Kulissenwirkung	12
1.5.2. Einfluß der Höhenlage	13
1.5.3. Auflösung nach Stufenwerten der Häufigkeit	14
1.6. Beziehung zwischen Sonnenscheindauer und Bewölkung	15
1.6.1. Der Summenwert $S + B$	15
1.6.2. Einflüsse auf den Summenwert	15
1.7. Die Abhängigkeit der Sonnenscheindauer von der Großwetterlage	16
1.7.1. Ordnungsprinzipien	16
1.7.2. Jahresgang der spezifischen Sonnenscheinerwartung	17
1.7.3. Vergleich mit der mittleren Sonnenscheindauer	17
1.7.4. Vergleich mit anderen Orten	17
1.8. Die Sonnenscheindauer an Niederschlagstagen	18
1.8.1. Aufteilung nach Stufen der Niederschlagsmenge	18
1.8.2. Aufteilung nach Stufen der Sonnenscheindauer	18
1.8.3. Vergleich mit anderen Orten	19
1.8.4. Aufteilung nach Großwetterlagen	22
1.9. Der säkulare Gang der Sonnenscheindauer	22
1.9.1. Berechnung nach dem Bewölkungsgrad	22
1.9.2. Berechnung nach der spezifischen Sonnenscheindauer	22
1.9.3. Vergleich beider Berechnungsarten	23
1.9.4. Säkulare Schwankungen der Sonnenscheindauer	23
2. Die Globalstrahlung und ihre Komponenten	
2.1. Zur Meßmethode	24
2.1.1. Allgemeines	24
2.1.2. Zur Genauigkeit der Messungen mit dem Robitzsch-Pyranographen	25
2.2. Monats- und Jahreswerte	26
2.2.1. Ausführliche Tabellen	26
2.2.2. Durchschnitts- und Extremwerte	26
2.2.3. Der Jahresgang	27
2.2.4. Vergleich mit anderen Orten	28
2.3. Häufigkeit von Stufenwerten	28
2.3.1. Globalstrahlung	29
2.3.2. Relativwerte der Globalstrahlung	29
2.3.3. Sonnenstrahlung	29
2.3.4. Himmelsstrahlung	29
2.3.5. Anteil der Himmelsstrahlung an der Globalstrahlung	30
2.4. Der Tagesgang	30
2.4.1. Der Tagesgang der mittleren Stundensummen	30
2.4.2. Der Tagesgang in Abhängigkeit von der relativen Sonnenscheindauer	31

2.5.	Einfluß der Bewölkung	33
2.5.1.	Beziehung zu den Dekadenwerten	33
2.5.2.	Ordnung nach den Bewölkungsstufen	33
2.5.3.	Extreme und Streuungen	34
2.5.4.	Das Zusammenwirken von Sonnen- und Himmelsstrahlung ..	35
2.5.5.	Vergleich mit inneralpinen Verhältnissen	36
2.5.6.	Verhältnis der Globalstrahlung bei bedecktem zu der bei wolkenlosem Himmel	37
2.5.7.	Einfluß von Wolkenart und Bodenbedeckung	37
2.6.	Abhängigkeit von der Sonnenscheindauer	38
2.6.1.	Beziehungen nach Stufenwerten der relativen Sonnenscheindauer	40
2.6.1.1.	Anteil der Sonnen- bzw. Himmelsstrahlung an der Globalstrahlung	40
2.6.1.2.	Sonnenstrahlung	41
2.6.1.3.	Himmelsstrahlung	41
2.6.1.4.	Globalstrahlung	41
2.6.2.	Beziehungen nach Summenwerten der relativen Sonnenscheindauer	43
2.6.2.1.	Monatssummen der Globalstrahlung	43
2.6.2.2.	Berechnung der Globalstrahlung	43
2.6.2.3.	Kritik der Angström'schen Formel	43
2.6.2.4.	Andere Formeln zur Berechnung von Globalstrahlungssummen	44
2.6.3.	Beziehungen zur wirklichen Sonnenscheindauer	46
2.6.3.1.	Sonnenstrahlung	46
2.6.3.2.	Globalstrahlung	46
2.6.4.	Extrapolation von Jahressummen der Globalstrahlung	47
2.7.	Relativwerte der Globalstrahlung	48
2.7.1.	Idealwerte der Globalstrahlung	48
2.7.2.	Durchschnitts-, Extrem- und Häufigkeitswerte	49
2.7.3.	Beziehungen zur relativen Sonnenscheindauer	50
2.7.4.	Beziehungen zur Bewölkung	51
2.7.5.	Abhängigkeit von der Großwetterlage	51
	Literatur	54

Anhang

Tabellen

(Soweit nicht anders angegeben, beziehen sich alle Werte auf den Hohenpeißenberg)

1. Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen der Sonnenscheindauer (Std.), 1937 — 1959
2. Durchschnitts- und Extremwerte der Sonnenscheindauer, 1937 — 1959
3. Vergleich von Durchschnittswerten der Sonnenscheindauer
4. Häufigkeit von Stufenwerten der Sonnenscheindauer, 1937 — 1959
5. Mittlere Zahl der Tage mit Sonnenschein von bestimmter Dauer, 1937 — 1959
6. Wahrscheinlichkeit einer täglichen Sonnenscheindauer 1937 — 1959,
 - a) von mehr als n Stunden in %
 - b) von mehr als n % der möglichen Dauer
7. Häufigkeit der Aufeinanderfolge von n Tagen, 1937 — 1959
 - a) ohne Sonnenschein
 - b) mit mindestens 8 Stunden Sonnenschein
8. Mittlere Stundensummen pro Monat für die Zeit von 11 — 13 Uhr
9. Mittlere Stundensummen der Sonnenscheindauer des Vor- und Nachmittags, 1938 — 1959
10. Summen aus relativer Sonnenscheindauer und Bewölkung, beide ausgedrückt in %, 1937 — 1959
11. Abhängigkeit der Summe relative Sonnenscheindauer plus Bewölkung (S+B) in Prozenten vom Tagesmittel der Bewölkung, 1950 — 1956
12. Gang der Jahreswerte der Summe relative Sonnenscheindauer plus Bewölkung, 1937 — 1959
13. Abhängigkeit der Sonnenscheindauer von der Großwetterlage, 1937 — 1959
14. Relative Sonnenscheindauer bei Westwetterlagen und deren relative Häufigkeit, 1951 — 1959

15. Sonnenscheindauer an Niederschlagstagen, 1937 — 1959
16. Vergleich der Sonnenscheindauer an Niederschlagstagen
17. Relative Sonnenscheindauer an Niederschlagstagen (%), 1937 — 1959; Verhältnis der Sommer- zu den Winterwerten
18. Sonnenscheindauer (%) an Niederschlagstagen, geordnet nach Stufen der Niederschlagshöhe und nach Großwetterlagen, 1937 — 1959
19. Differenzen zwischen berechneten und beobachteten Jahressummen der Sonnenscheindauer nach der Häufigkeit von Stufenwerten, 1937 — 1959
20. Monats- und Jahressummen der Sonnenscheindauer (Std.), berechnet aus a) Monats- und b) Jahresmitteln der Bewölkung, 1881 — 1959
21. Ableitung von Umrechnungsfaktoren
22. Monats-, Jahres- und Jahreszeitsummen der Globalstrahlung, der Himmelsstrahlung und der direkten Sonnenstrahlung in cal/cm² auf die horizontale Fläche
23. Monatssummen von Global-, Sonnen- und Himmelsstrahlung
24. Mittlere und absolut höchste Tagessummen von Global-, Sonnen- und Himmelsstrahlung, April 1953 bis März 1959
25. Vergleich von mittleren Tagessummen der Globalstrahlung (cal/cm²·d)
26. Häufigkeit der Tagessummen der Globalstrahlung (%), Mai 1948 bis 1959
27. Prozentuale Häufigkeit von Stufenwerten der Tagessummen der Sonnen- und der Himmelsstrahlung, April 1953 bis März 1959
28. Mittlere Tagesgänge in Stundensummen von Global-, Sonnen- und Himmelsstrahlung (cal/cm²·h), April 1953 bis März 1959
29. Differenzen der Halbtagesummen Vormittag minus Nachmittag in Abhängigkeit von der relativen Sonnenscheindauer (cal/cm²) April 1953 — März 1959
30. Mittlere und extreme Tagessummen der Globalstrahlung (cal/cm²·d) in Abhängigkeit von der Bewölkung, 1953 — 1959
31. Mittlere Tagessummen der Sonnenstrahlung und der Himmelsstrahlung (cal/cm²·d) bei verschiedenen Bewölkungsstufen
32. Verhältnis der Strahlungsintensitäten bei bedecktem Himmel zu denen bei wolkenlosem Himmel (%)
33. Prozentuale Anteile der Sonnenstrahlung an der Globalstrahlung. Differenzen zwischen entgegengesetzten Jahreszeiten
34. Verhältnis der Energie der Himmelsstrahlung bei wolkenlosem Himmel zu der bei bedecktem Himmel (%), 1953 — 1959
35. Mittlere und extreme Tagessummen der Globalstrahlung (cal/cm²·d) in Abhängigkeit von der relativen Sonnenscheindauer, 1953 — 1959
36. Faktoren zur Berechnung der Globalstrahlung (nach Abschn. 2.6.2.2.)
37. Vergleich der Abweichungen bei der Berechnung von Monatssummen der Globalstrahlung nach Abschn. 2.6.2.2. mit der Berechnung nach Hinzpeter (in % der gemessenen Werte)
38. Konstante $K = \frac{10}{\text{tg } \alpha}$ zur Berechnung der Sonnenstrahlung aus der Sonnenscheindauer
39. Faktoren zur Berechnung von mittleren monatlichen Tagessummen der Globalstrahlung aus der wirklichen Sonnenscheindauer nach Dekaden- oder Monatsmitteln, abgeleitet aus der Beobachtungsperiode 1953 — 1959
40. Monatssummen der Globalstrahlung, berechnet aus der relativen Sonnenscheindauer (cal/cm²)
41. Idealwerte der direkten Sonnenstrahlung, der Himmelsstrahlung und der Globalstrahlung auf dem Hohenpeißenberg (cal/cm²·min nach IPS 1956)
42. Vergleich zwischen Idealwerten und Formelwerten der Globalstrahlung für den Hohenpeißenberg (cal/cm²·min)
43. Tagessummen der Idealwerte der Globalstrahlung für den Hohenpeißenberg (cal/cm²·d nach IPS 1956)
44. Extreme Monatsmittel der Relativwerte der Globalstrahlung, Mai 1948 bis Okt. 1960
45. Mittlere monatliche Maxima von Tageswerten der Relativwerte der Globalstrahlung
46. Quotienten der relativen Globalstrahlung zur relativen Sonnenscheindauer nach Monatswerten, 1953 — 1959
47. Spezifische Relativwerte der Globalstrahlung in Abhängigkeit von der Großwetterlage, Mai 1948 bis 1958

Anschrift des Verfassers:

Dr. J. Grunow, Hohenpeißenberg/Obb., Observatorium

Zusammenfassung

Aus Beobachtungsreihen der Sonnenscheindauer seit 1937, der Globalstrahlung seit 1948 und der Himmelsstrahlung seit 1953 des Meteorologischen Observatoriums Hohenpeißenberg werden Durchschnitts- und Häufigkeitswerte abgeleitet, mit anderen Orten verglichen und einer witterungsklimatologischen Analyse unterzogen. Die Höhenlage im Alpenvorland wirkt sich im Tages- und Jahresgang aus.

Die Sonnenscheindauer wird in ihren Beziehungen zur Himmelsbedeckung und zur Großwetterlage, die Dauer an Niederschlagstagen in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge untersucht.

Global- und Sonnenstrahlung in Abhängigkeit vom Bewölkungsgrad weichen stärker von einer linearen Beziehung ab, als von einschlägigen Untersuchungen her bekannt ist. Dagegen lassen die Beziehungen zur Sonnenscheindauer die Berechnung von Summenwerten nach einer Gleichung ersten Grades vom Ångström-Typ zu. Relativwerte der Globalstrahlung, die auf die Idealwerte einer wasserdampf- und staubfreien Atmosphäre bezogen werden, charakterisieren das Strahlungsklima besser, als Durchschnittswerte der gemessenen Summen es vermögen.

Abstract

For the Meteorological Observatory Hohenpeißenberg average and frequency values are established from observation series of the duration of sunshine since 1937, of the global radiation since 1948 and of the radiation of the sky since 1953. They are compared to measurements made in other places and analysed with respect to weather climatology. The diurnal and annual variation is influenced by the elevated position in the foothills of the Alps.

The duration of sunshine is related to the cloud cover and the large weather pattern and studied in dependence of the amount of precipitation for the days with precipitation.

The global and solar radiation related to the cloud cover deviates more remarkably from a linear relation than was known from pertinent studies. The relations to the duration of sunshine permit to compute the sums by using a first order equation of the Ångström type. Relative values of the global radiation which are related to ideal values of Rayleigh's atmosphere (free of water vapour and dust) are more appropriate for characterizing the radiation climate than average values of the measured sums.

Vorbemerkung

Mit dem Jahre 1960 schließen 180 Jahre meteorologischer Beobachtungen auf dem Hohenpeißenberg ab. Die von H. Grebe (1) durchgeführte Bearbeitung der Temperaturreihe ergab eine völlige Homogenität des Beobachtungsmaterials, weil die lokalen Meßbedingungen, insbesondere die Bebauung und der Vegetationsbestand in der Umgebung während des ganzen Zeitraums unverändert geblieben sind und weil der Gipfelbereich des 989 m hohen Hohenpeißenberges, einer aus dem Alpenvorland sich um 250—400 m einzeln heraushebenden Kuppe, einer sehr guten Ventilation ausgesetzt ist. Der Bearbeitung der Lufttemperatur werden andere Elemente folgen.

Jeder Klimamonographie sollte eine Darstellung der Strahlungsverhältnisse beigeordnet sein. Die Strahlung als primärer Klimafaktor ist für die Erfassung des Wärme- und Wasserhaushalts von Luft und Boden unerlässlich. Praktische Anwendungen klimatologischer Daten auf Fragestellungen der Medizin, Agrar- und

Forstwirtschaft oder Technik vermitteln bei Außerachtlassung des Strahlungsklimas einen nur unvollständigen Einblick in die Wetterwirksamkeit. Aktuelle Probleme der Ernährungswissenschaft, der Schädlingsbiologie und der Tierseuchenbekämpfung haben vielfach die Strahlung als dominierenden Wirkfaktor einzu beziehen. In der allgemeinen Meteorologie verlangt die immer mehr in den Vordergrund tretende energetische Betrachtungsweise weitere Belege über die einzelnen Komponenten der atmosphärischen Strahlung. Der Hohenpeißenberg erscheint für Messungen mit dieser Zielsetzung besonders bevorzugt, weil er, wie es die lange Temperaturreihe zeigt, frei von jedem Stadteinfluß geblieben ist. Mit seiner Gipfelage liegt er in den Stunden niedriger Sonnenhöhen oftmals oberhalb der Bodeninversion und bleibt damit frei von lokalen Trübungen.

Die Messung der Sonnenscheindauer wurde auf dem Hohenpeißenberg mit dem Jahre 1937 begonnen. Nach Umwandlung der synoptischen Hauptbeobachtungsstelle und Klimastation II. Ordnung in ein Meteoro-

logisches Observatorium im Jahre 1950 wurden Messungen der direkten Sonnenstrahlung, der Global- und Himmelsstrahlung aufgenommen. Dem möglichen Einwand, daß die heute vorliegenden Meßreihen für eine umfassende Darstellung noch zu kurz seien, wird mit dem Hinweis begegnet, daß die hier vorgelegte Bearbeitung sich weniger die Errechnung von Mittelwerten, als die Ableitung charakteristischer Beziehungen und von Häufigkeitswerten im Sinne der modernen Arbeitsrichtung einer Witterungsklimatologie zum Ziele gesetzt hat. Hierfür steht ausreichendes Beobachtungsmaterial zur Verfügung. Weitere Gesichtspunkte, die Bearbeitung jetzt abzuschließen, waren, für die während des Internationalen Geophysikalischen Jahres 1957/58 und des Jahres der geophysikalischen Zusammenarbeit 1959 in erweitertem Umfang durchgeführten Messungen des Sonnenscheins und der Strahlung Bezugswerte zu gewinnen sowie den neu vorliegenden Bearbeitungen aus dem österreichischen Alpenraum (41) Daten aus dem bayerischen Voralpenland gegenüberzustellen.

Der Begriff des Strahlungsklimas schließt die Darstellung der Sonnenscheinverhältnisse ein und setzt deren Kenntnis voraus. Der erste Teil der vorliegenden Arbeit wertet darum die 22jährige Beobachtungsreihe der Sonnenscheindauer aus. Nachdem für die Zugspitze eine von H. Hauer (2) durchgeführte Bearbeitung der Sonnenscheindauer aus dem Zeitraum 1900—1949 vorliegt, schließt das vorgelegte Material die Lücke auf der Linie Zugspitze—München mit einer Station aus mittlerer Höhenlage, wie sich auch in früheren Arbeiten ein Vergleich des Hohenpeißenberges mit diesen Stationen als wertvoll erwiesen hat. Zugleich wird den Darstellungen aus dem Bereich der Ostalpen, die sich mehrfach mit der Höhenabhängigkeit des Sonnenscheins und der Strahlung befaßten, ein Beispiel gemessener Werte aus dem 1000-m-Niveau des Alpenrandes zur Seite gestellt.

Der zweite Teil behandelt die Globalstrahlung auf die horizontale Fläche und deren Komponenten, die Sonnen- und Himmelsstrahlung. Hier schließt das vorliegende Material eine Lücke in unserer Kenntnis des Strahlungsfaktors im deutschen Alpengebiet. Die verwendeten Solarimeter nach Moll-Gorczyzsky gelten als Standardgeräte für die Erfassung dieser beiden Komponenten und vermitteln hier Meßergebnisse einer ungestörten Aufstellung.

In weiteren Bearbeitungen sollen später Ergebnisse von Meßreihen zu speziellen strahlungsphysikalischen Fragestellungen (Strahlungsempfang geneigter Flächen, spektrale Anteile der Globalstrahlung) sowie der direkten Sonnenstrahlung normal zur Strahlenrichtung in Anwendung auf die atmosphärischen Trübungskomponenten vorgelegt werden.

1. Die Sonnenscheindauer

1.1. Aufstellung des Autographen

Geographische Daten für Hohenpeißenberg:

$$\varphi = 47^{\circ}48' \text{ N}, \lambda = 11^{\circ}01' \text{ E.}$$

Die Aufstellung eines Sonnenscheinautographen nach Campbell-Stokes erfolgte im Dezember 1936 auf dem Dach des Pfarrhauses Hohenpeißenberg, das seit der Einrichtung einer meteorologischen Station im Jahre 1781 eine Beobachtungsplattform trägt. Das Gerät wurde an ihrer Südwestecke auf der eisernen Brüstung montiert. Hier trat in den Nachmittagsstunden eine geringfügige Abdeckung durch den Kirchturm ein, die maximal in den Monaten

	Febr.	März	April	Sept.	Okt.	
von 16—17 Uhr	0.07	0.43	0.01	0.29	0.21	Std.
von 17—18 Uhr	0.10	0.25	—	0.11	0.25	Std.

ausgemacht hätte. Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Dauer in diesen Stunden (Abb. 4), die zwischen 0.1 und 0.4 liegt, des relativ geringen Anteils dieser Stunden an der Tagessumme und eines Anteils des Zeitraums 1937—1945 von nur 0.4 am Durchschnitt des Gesamtzeitraums 1937—1959 bleiben diese Abschätzungen effektiv ohne Einfluß auf die Bildung aller hier errechneten Mittelwerte.

$$H = 986.4 \text{ m}, h_s = 17.8 \text{ m.}$$

Die Meßreihe wurde aus kriegsbedingten Ursachen Ende April 1945 unterbrochen (die Aufzeichnungen dieses Monats gingen verloren) und nach Umstellung des Geräts auf das Dach des im Jahre 1941 bezogenen Observatoriums, etwa 200 m weiter nordwestlich, ab April 1946 fortgesetzt. Eine geringfügige Abdeckung über 3° Horizonterhebung, die als Ansprechgrenze für die Brennwirkung angesehen wird (3), erfolgt jetzt auch durch das Kirchendach. An je 9 Tagen im März und Oktober werden in den Morgenstunden 1.5° Azimut durch das Dach und 1.5° Azimut durch den Turm abgedeckt, im Höchsfalle also 0.2 Sonnenscheinstunden. Auch diese Abdeckung bleibt für die Summen- und Durchschnittswerte praktisch bedeutungslos.

$$H = 975.0 \text{ m}, h_s = 15.0 \text{ m.}$$

Nach Ausbau einer Plattform registriert das Gerät seit dem 1. Sept. 1954 auf dem Turm des Observatoriums. Die Abdeckung ist nunmehr auf den Kirchturm für je 6 Tage im März und Oktober beschränkt, sie beträgt 1.5° Azimut, überschreitet aber nicht 3° Horizontüberhöhung und bleibt somit wirkungslos.

$$H = 975.0 \text{ m}, h_s = 30.0 \text{ m.}$$

Die registrierten Werte für die Zeit von 1937 bis April 1945 wurden unkorrigiert verwendet, weil die in dieser Zeit wirksame Abdeckung (s. o.) zu gering ist, um sich im Tagesgang der Stundenwerte noch auszuwirken. Ab April 1946 können sie als ungestört angesehen und die effektiv mögliche Sonnenscheindauer der astronomisch möglichen gleichgesetzt werden.

Die Auswertung der Registrierungen erfolgte in Zehntelsekunden nach der deutschen Auswertungsanweisung (4), die sich eng an die von Marten 1911 gegebenen Regeln anschließt (5). Zur Brauchbarkeit dieser Richtlinien hat A. Schulze (6) auf Grund einer Untersuchung von Levert Hinweise gegeben. Von den bekannten, zuletzt von Bider (7) eingehend diskutierten Mängeln des Sonnenscheinautographen Campbell-Stokes wird das Überbrennen in den Vorschriften dieser Anleitung weitgehend berücksichtigt.

1.2. Monats- und Jahreswerte

1.2.1. Ausführliche Tabellen

Eine ausführliche Zusammenstellung aller Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen des Zeitraums 1937 bis 1959 bringt Tab. 1. Die Jahreszeiten beziehen sich auf die in der Meteorologie übliche Aufteilung des Jahres: März bis Mai = Frühling, Juni bis August = Sommer, September bis November = Herbst, Dezember bis Februar = Winter. Zusammengefaßt ist ferner nach der „kleinen“ Vegetationsperiode = April bis Juli und der „großen“ Vegetationsperiode, dem meteorologischen Sommerhalbjahr = April bis September.

1.2.2. Durchschnitts- und Extremwerte

Die geographische Lage und Seehöhe läßt auf dem Hohenpeißenberg als astronomisch mögliche Dauer eines Jahres 4420 Sonnenscheinstunden zu (Tab. 2). Davon werden mit 1868 Std. im Durchschnitt 42% erreicht. Zwischen dem sonnenscheinreichsten Jahr 1959 mit

2214 Std. (50%) und dem sonnenärmsten, 1954, mit 1626 Std. (37%) schwankt innerhalb des betrachteten Zeitraums die Jahressumme nur um 13% der möglichen Dauer. Für andere, allerdings längere Beobachtungsreihen liegt diese Schwankungsbreite höher, z. B. für die Zugspitze (2) mit 39% mittlerer Dauer bei 21%, für Wien (8) mit 44% mittlerer Dauer bei 16%, für den Brocken (9) mit 32% mittlerer Dauer bei 24%.

Als sonnenscheinreichster Monat weist der Juli mit 233 Std. 48% der möglichen Dauer auf, ein Betrag, der in diesem Monat auf der Zugspitze (37%) bei weitem nicht erreicht, in München (50%) aber wenig überschritten wird. Die sommerlich stärkere Konvektionsbewölkung über dem Gebirge wirkt sich also am Hohenpeißenberg nur noch geringfügig aus. Die größte Julisumme im Jahre 1949 mit 303 Std. (= 63%) wird noch vom August 1947 mit 314 Std. (= 71%) übertroffen, wo im Tagesdurchschnitt 10.1 Sonnenscheinstunden registriert wurden. Der sonnenscheinärmste Juli 1955 erreichte mit 153 Std. (= 32%) nur noch das Monatsmittel des März. Die größte relative Dauer wurde im September 1959 mit 77% verzeichnet.

Demgegenüber hat als sonnenscheinärmster Monat der Dezember nur 79 Std. aufzuweisen und erreicht damit 30% der möglichen Dauer. Das ist immerhin das Doppelte von dem, was München in diesem Monat zu erwarten hat, weil der Hohenpeißenberg oftmals aus der Bodeninversion mit seinem Nebelmeer herausragt, während die Zugspitze in diesem Monat mit 38% der möglichen Dauer immer oberhalb dieser niedrigen Stratusdecken liegt. Die größte Sonnenscheinarmut wies der Dezember 1947 mit nur 12% der möglichen Dauer auf, wo gerade noch ein Tagesmittel von 1.0 Std. (gegenüber durchschnittlich 2.5 Std.) gemessen wurde, während im Dezember 1951 mit 134 Std., d. s. täglich 4.3 Std., nahezu der Durchschnittswert des Oktober erreicht wurde.

Die Schwankungsbreite der Abweichungen der innerhalb der Meßreihe aufgetretenen extremen Monatssummen anomaler Jahre vom Mittelwert ist beträchtlich. Sie umfaßt im Sommer wenigstens 64% und steigert sich im Winter bis auf 154%. Stärker als die negativen Anomalien (22—61%) fallen dabei die positiven Abweichungen (29—102%) ins Gewicht. Damit ist eine Tendenz zur Ausbildung stabiler Schönwetterlagen angedeutet, die besonders in der trüben Jahreszeit vom November bis Februar, aber auch noch vom August bis Oktober die stärksten Abweichungen hervorruft. In der Zeit vom April bis Juli werden die extremen Anomalien durch besonders trübe Witterungsabschnitte bewirkt. Die Jahressummen der extremen Jahre des Beobachtungszeitraums weichen um 32% des Mittelwertes voneinander ab.

1.2.3. Der Jahresgang

Der Darstellung des Jahresganges nach Monatssummenwerten steht die ungleiche Länge der einzelnen Monate entgegen. Eine Reduktion auf gleiche Zeitabschnitte ist bei der Umrechnung in eine mittlere tägliche Dauer gegeben (Tab. 2, d). Zur besseren Veranschaulichung des Jahresganges werden die mittlere tägliche Sonnenscheindauer sowie deren Extremwerte innerhalb des betrachteten Zeitraums in Abb. 1 dargestellt und mit der astronomisch möglichen Dauer verglichen.

Von dem winterlichen Tiefstwert im Dezember mit 2.5 Std., der im Januar mit 2.8 Std. nur wenig übertroffen, in der Streuung seiner Extremwerte aber noch unterboten wird, beginnt der jahreszeitliche Anstieg im Februar mit 0.8 Std., in extremen Jahren aber schon mit 3 Std. sich fühlbar auszuwirken. Mit dem März zeichnet sich eine kräftige Zunahme der täglichen Sonnenscheindauer auf 4.8 Std. und maximal auf 7.9 Std.

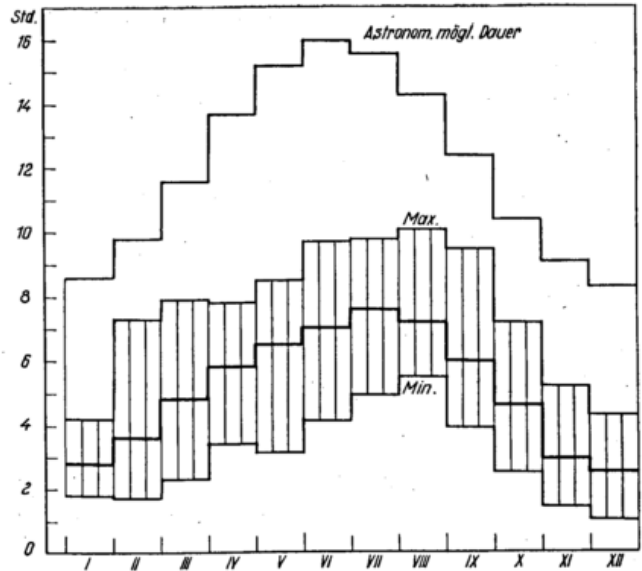


Abb. 1
Monatsmittel der täglichen Sonnenscheindauer.
Durchschnitt 1937—1959 und extreme Jahre

ab. Diesem Anstieg um 1.2 Std. entspricht im Herbst der Abfall vom Oktober zum November um 1.7 Std. Die Zeit von März bis Oktober schließt einen Zeitraum ein, der sich auch im Jahresgang der relativen Dauer (Abb. 2) mit mehr als 40% der möglichen Dauer heraushebt. Innerhalb dieses sommerlichen Abschnittes steigen die Monatsmittel bis zum Juli auf 7.6 Std. an. Dieses Maximum wird aber vom März bis September noch von den Höchstwerten einzelner Jahre übertroffen. Wie im März erreichen diese im August einen vom Gang der Mittelwerte abweichenden Höchststand (7.9 bzw. 10.1 Std.), so daß sich beide Monate als die für die Darbietung ungewöhnlich hoher Sonnenscheindauer am meisten bevorzugten Monate erweisen. Im August bleiben außerdem Jahre mit ungewöhnlich niedriger Sonnenscheindauer aus, wie der Tiefstwert von 5.5 Std. erkennen läßt.

Noch deutlicher treten die Begünstigungen einzelner Monate an Hand der Prozentwerte der möglichen Dauer (Tab. 2, c) hervor. Aus dem sonnenscheinreichen Zeitabschnitt Juli bis September hebt sich der August mit einer relativen Dauer von 50% und wenigstens noch 39% im ungünstigsten Jahr heraus. Höchstwerte von nahezu 70 und mehr % traten von August bis Oktober und im Februar und März auf. Andererseits ist die Zeit von November bis März und der Mai in einzelnen Jahren durch sehr niedrige Relativzahlen gekennzeichnet, die eine Tendenz zu länger anhaltenden trüben Witterungsabschnitten zum Ausdruck bringen. Februar und März schließen damit die größten Gegensätze ein. Ein ähnliches Bild der Veränderlichkeit der einzelnen Monate von Jahr zu Jahr ergibt sich aus der mathematisch exakter definierten „mittleren Abweichung“, die in Tab. 2, c in Prozenten der möglichen Dauer ausgedrückt ist. Dem August als beständigstem Monat mit 6.5% stehen Februar und März mit mehr als 13% als die Zeit größter Extreme gegenüber, denen die Zeit von September bis Dezember folgt. Andererseits sind nächst dem August die Zeit von Mai bis Juli und der Januar durch eine geringere mittlere Abweichung gekennzeichnet.

Von den meteorologischen Jahreszeiten hebt sich der Sommer nicht nur im Tagesmittel, sondern auch in der relativen Dauer im Mittel wie in den Extremwerten heraus. Bei einer durchschnittlichen Erwartung von 47% der möglichen Dauer schwanken die Sommer der Reihe zwischen 61 und 36%. Frühling und Herbst erweisen sich mit 42% als gleichwertig, jedoch zeichnet

der Höchstwert der Reihe mit 62% den Herbst noch vor dem Frühling mit max. 56% aus. Der Winter zeigt demgegenüber mit durchschnittlich 33% bei einer Streuung zwischen 51 und 22% die geringste Sonnenschein-erwartung. Annähernd gleichwertig erweist sich der Sonnenscheingenuß in der Vegetationszeit, ob die Zusammenfassung nach der „kleinen“ oder nach der „großen“ Periode erfolgt; ihre relative Dauer kommt in den Durchschnitts- und Extremwerten denen des Sommers nahezu gleich.

Eine Gegenüberstellung der relativen Dauer von Sommer und Winter als den beiden extremen Jahreszeiten weist dem Hohenpeißenberg eine Mittelstellung zwischen Hochgebirge und Flachland zu. Auf den Berggipfeln sind gerade in den Sommermonaten, wo in freier Lage und bei größter Tageslänge eine hohe Sonnenscheindauer zu erwarten wäre, die ungünstigsten Verhältnisse anzutreffen. Die durch thermische Vorgänge aus den Tälern aufsteigende feuchte Luft ruft eine verstärkte Wolkenbildung hervor, und diese Schönwetterbewölkung hüllt die Hochlagen des Gebirges für mehrere Stunden ein. Im Herbst und Winter, wenn diese Hochlagen sich anhaltenden Sonnenscheins erfreuen, werden die Täler und das Flachland in viel stärkerem Maße durch Strahlungsnebel und tiefe Bewölkung abgedeckt. Diese Mittelstellung wird aus einem Vergleich des mittleren Jahresganges der relativen Sonnenscheindauer mit München und der Zugspitze (Abb. 2) deutlich (vgl. Abschn. 1.2.4.). Während der

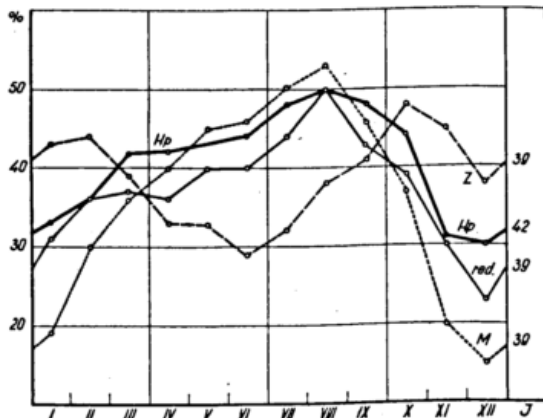


Abb. 2

Jahresgang der mittleren relativen Sonnenscheindauer (%); Hp = Hohenpeißenberg (1937—1959), red. = Hohenpeißenberg reduziert auf M = München (1891—1930) und Z = Zugspitze (1901—1930); J = Jahresdurchschnitt

Wintermonate liegt der Hohenpeißenberg als das Alpenvorland überragender Gipfel schon so häufig oberhalb der Bodeninversion, daß er den Verhältnissen des Hochgebirges weit näher kommt als denen des Flachlandes und der Niederungen, die dann mit einem Nebelmeer bedeckt sind. Es ergeben sich für den Zeitabschnitt November — Januar

in München

18% der möglichen Dauer, d. s. 1.6 Std. täglich,

auf dem Hohenpeißenberg

32% der möglichen Dauer, d. s. 2.7 Std. täglich,

auf der Zugspitze

42% der möglichen Dauer, d. s. 4.1 Std. täglich.

Vom Oktober bis zum März liegen die Prozentwerte der relativen Dauer höher als die von München. Im Sommer dagegen wirkt sich die tageszeitliche Konvektionsbewölkung des Hochgebirges auf dem Hohenpeißenberg kaum noch aus; gegenüber München bleibt ein geringer Fehlbetrag, weil die Gebirgsnähe den Hohenpeißenberg schon gelegentlich in die Staubewölkung am Gebirgsrand einbezieht. Für den Zeitabschnitt Juni

bis August ergeben sich für München 50%, für Hohenpeißenberg 47% und für die Zugspitze 34% der möglichen Dauer.

Aus Sonderbeobachtungen über das regionale Auftreten von Talnebel und seiner Dauer in den vom Hohenpeißenberg aus einzusehenden Gebieten, die seit 1950 durchgeführt werden, kann noch der Verlust an Sonnenschein bei Inversionslagen im Gebiet der Ammerniederung mit der Stadt Weilheim abgeschätzt werden (10). Talnebel, der die tieferen Lagen abdeckt, tritt in jeder Jahreszeit auf. Im Jahresdurchschnitt des Zeitraums 1950—1956 hat die Sonne im Gebiet Ammersee — Weilheim jährlich um 200 Std. weniger geschienen, vom April bis August 5—6%, in den Übergangsmonaten 13—14%, im November 27%, im Dezember sogar 39% und im Januar noch 21%. In der Zeit von November bis Januar gehen davon 65% in der ersten Tageshälfte verloren. Überträgt man diese monatlichen Verlustanteile auf die reduzierte Reihe von Hohenpeißenberg, so ergeben sich die in Tab. 3 aufgenommenen Werte der mittleren täglichen Sonnenscheindauer, die, da andere z. B. durch eigenbürtige Staubewölkung am Hohenpeißenberg bedingte Unterschiede kaum in Erscheinung treten, als charakteristisch für die dem Alpenrande vorgelagerten Fluß- und Seeniederungen angesehen werden können.

1.2.4. Vergleich mit anderen Orten

Für einen Vergleich mit anderen Orten bedarf es einer Reduktion der Mittelwerte des betrachteten Zeitraums 1937—1959 auf eine einheitliche Periode, z. B. 1891—1930, auf der die Angaben in der Klimakunde von Deutschland (11) beruhen. Einer einfachen Reduktion auf eine der längeren Reihen München (1891—1930) oder Zugspitze (1900—1949) stehen die unterschiedlichen Höhenlagen dieser Stationen mit ihren verschiedenartigen klimatischen Besonderheiten entgegen. Die nach beiden Stationen zunächst getrennt durchgeführten Reduktionen (Tab. 3) lassen besonders in einigen Wintermonaten, aber auch im August, erhebliche Abweichungen erkennen. Weiter bleibt zu berücksichtigen, daß die durchschnittliche Sonnenscheindauer seit 1930, parallel zu Änderungen anderer Elemente, deutlich zugenommen hat, wie aus einem Vergleich der Mittelwerte der Zugspitze (2) von 1900—1949 mit dem Zeitraum 1901—1930 (Zunahme der mittleren Jahressumme 97 Std.) oder der Zehnjahresmittel von Wien (8) (seit dem Jahrzehnt 1901—1910 von 1 795 Std. auf 1 937 Std. im Jahrzehnt 1941—1950 um 142 Std.) zu ersehen ist. Die Erhöhung tritt auf der Zugspitze in den Monaten März bis Juli, in Wien im März und April und vom Juli bis Oktober in Erscheinung. Durchschnittswerte der letzten Jahrzehnte mit denen aus der Periode 1891—1930 sind also nur mit Vorbehalt vergleichbar.

Für die Hohenpeißenberger Reihe wurde eine gekoppelte Reduktion auf die 40jährige Reihe 1891—1930 von München und die 30jährige Reihe 1901—1930 von der Zugspitze durchgeführt, wobei der Zugspitze-Reihe ein von 0.3 im Sommer bis 0.7 im Winter gleitendes Gewicht zuerkannt wurde. Bei der so reduzierten Reihe Hohenpeißenberg gehen der Jahresdurchschnitt von 5.1 auf 4.7 Std., einige Monate des Sommerhalbjahres um 0.5 bis 0.9 Std. zurück. Der August wird jedoch um nur 0.1 Std. reduziert und tritt nunmehr als Monat mit der effektiv längsten Sonnenscheindauer (an Stelle des Juli in der Periode 1937—1959) in Erscheinung. Analog zu den Reihen von Wien und der Zugspitze überschreiten auch in Hohenpeißenberg die reduzierten Werte in keinem Monat die Mittelwerte aus den letzten Jahrzehnten.

Im Vergleich der reduzierten Reihe von Hohenpeißenberg mit München und der Zugspitze ändert sich

nichts an dem charakteristischen Verhältnis, wie es schon im Abschnitt 1.2.3. gekennzeichnet wurde. Von den Berggipfeln der deutschen Mittelgebirge liegen nur von der Schneekoppe, dem Brocken und dem Kl. Feldberg/Ts. längere Beobachtungsreihen aus der gleichen Periode vor; für die Wasserkuppe und den Feldberg/Schw. ist ein Vergleich mit der Reihe 1937—1956 nach Reduktion möglich. Es ergibt sich — mit ganz geringen Ausnahmen —, daß in allen Monaten der Hohenpeißenberg mehr Sonnenschein zu verzeichnen hat als jeder andere der deutschen Mittelgebirgsgipfel trotz deren unterschiedlicher Höhenlage. Diese Überlegenheit ergibt sich schon aus dem Jahresdurchschnitt: Gegenüber 4.7 Std. bleiben die ost- und mitteldeutschen Berge, wie auch der Feldberg/Ts., um 0.7 bzw. 0.8 Std. zurück. Allein im Mai und Juni nähern sich die Werte an oder übertreffen beim Brocken und Feldberg den Hohenpeißenberg um wenige Zehntelstunden. Der Alpenrand liegt dann zur Zeit der Monsunein- und -durchbrüche stärker unter Staubewölkung als die nach W und N vorgeschobenen Gipfel. Die Hochlagen der Rhön und des Taunus zeichnen sich durch besondere Sonnenscheinarmut während der Wintermonate aus. Die höher aufragenden Gipfel, der Feldberg/Schw. und die Schneekoppe, ragen im Winter schon häufiger aus der Bodeninversion heraus und nähern sich mit ihren Werten denen des Hohenpeißenberges, ohne sie jedoch zu übertreffen. Im Sommer aber unterliegen sie einer stärkeren Konvektionsbewölkung und bleiben daher im Falle des Schwarzwaldes um 1 Std., bei der Schneekoppe bis zu 2 Std. im Mittel der täglichen Sonnenscheindauer hinter dem Hohenpeißenberg zurück. Die höheren Lagen des Alpenvorlandes übertreffen damit im Sonnenscheingenuß alle anderen Gipfellagen der deutschen Mittelgebirge. Im Vergleich zu den alpinen Hochlagen bleibt die Überlegenheit auf das Sommerhalbjahr beschränkt.

Eine weitere Gruppe von Stationen läßt noch einen Vergleich mit Städten am Alpenrand, im deutschen Binnenland und an der Küste zu. Wien übertrifft das deutsche Alpenvorland im Sommer um mehr als 1 Std. Basel kommt ihm annähernd gleich, während die Wintermonate dort, ähnlich wie in München, recht trübe sind, Wien noch stärker als Basel. Innsbruck, schon innerhalb des Alpengebietes gelegen, hat im Winter wegen seiner höheren Lage schon etwas mehr Sonne, bleibt aber immer noch hinter dem Hohenpeißenberg zurück, ebenso wie im Sommer, wo die stärkere Konvektionsbewölkung über dem Gebirge bis zu 0.7 Std. mehr abdeckt. Die Herbstmonate bringen Innsbruck dafür einige Zehntelstunden mehr Sonnenschein als dem Alpenvorland. Frankfurt und Berlin als binnenländische Beispiele übersteigen vom Mai bis Juli das Alpenvorland bis zu mehr als 1 Std., im August ist dort aber der jahreszeitliche Rückgang schon voll wirksam, so daß der Herbst auf dem Hohenpeißenberg bis über 1 Std. mehr Sonnenschein aufzuweisen hat. Im Winter bleiben diese Orte noch wesentlich hinter München zurück. In Hamburg liegt die winterliche Sonnenscheindauer besonders niedrig und bleibt dort auch im Sommer und Herbst deutlich hinter dem Alpenvorland zurück. Allein im April und Mai übertrifft Hamburgs Sonnenscheindauer die von Hohenpeißenberg um einige Zehntel, im Mai, wo auch andere Orte im Küstengebiet und die Inseln ihr absolutes und relatives Jahresmaximum empfangen, um 0.7 Std. Im Jahresdurchschnitt kommt allein Wien an die hier registrierte Sonnenscheindauer heran, alle anderen zum Vergleich herangezogenen Orte bleiben darunter. Innerhalb von Deutschland können nur die ost- und südostdeutschen Gebiete, kleinere Leegebiete an den Mittelgebirgsrändern und die Hochlagen des Schwarzwaldes einen Sonnenscheingenuß aufweisen, der dem der höheren Lagen des Alpenvorlandes gleichkommt, ihn aber kaum

übertrifft. Der Hohenpeißenberg nimmt an dieser Begünstigung teil.

1.3. Der Jahresgang nach Tageswerten

1.3.1. Darstellung des Jahresganges

Mit einer Darstellung des Jahresganges nach Jahreszeiten- und Monatsmittelwerten ist wohl die Grundlage für einen makroklimatischen Vergleich von Ort zu Ort und eine großzügige Gegenüberstellung gewisser Zeitabschnitte gegeben. Einen detaillierten Einblick in den natürlichen Witterungsablauf vermitteln aber erst Mittelwerte kürzerer Zeitabschnitte, Pentaden oder Tageswerte. Für die Darstellung eines Jahresganges nach Tagesmittelwerten wird vielfach eine „genügend lange“ Beobachtungsreihe vorausgesetzt und dabei an Zeitabschnitte von 30 bis 50 Jahren oder noch länger gedacht. Andererseits haben Bearbeitungen kürzerer Zeiträume, z. B. der Temperaturen der 13jährigen Palatina-Reihe des Hohenpeißenberges von H. Weickmann (15) gezeigt, daß typische singuläre Erscheinungen im Jahresgang — Verwerfungen, Gipfel, Depressionen — ebenso markant hervortreten wie in längeren Reihen. Mit den säkularen Schwankungen des Großwetterablaufs kann bei einer Mittelbildung über längere Zeitabschnitte sogar mit einer Unterdrückung solcher singulärer Erscheinungen im Bild des Tagesmittels gerechnet werden, wenn sie sich im Laufe der Jahrzehnte um einige Tage verschoben haben.

Der aus mittleren Tagessummen abgeleitete Jahresgang (Abb. 3, Kurve b), der dem Gang der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer gegenübergestellt ist (Kurve c), wie er symmetrisch zu den Solstitien ohne Wettereinwirkung zu erwarten wäre, zeigt das aus der Singularitätenforschung von gleichartigen Darstellungen anderer Elemente her bekannte Bild. Noch klarer tritt dessen Verlauf bei Bildung 5tägig übergreifender Mittelwerte in Erscheinung (Kurve d); ausgedrückt in Prozenten der astronomisch möglichen Dauer eliminiert die Kurve e den Einfluß der Tageslänge und bringt allein den jahreszeitlichen Einfluß eines regelmäßig wiederkehrenden Witterungsablaufs zum Ausdruck. Den gegensinnigen Verlauf zum Jahresgang der Tagessummen zeigt die Häufigkeit von Tagen ohne Sonnenschein (Kurve a).

1.3.2. Singularitäten im Jahresgang

Die Darstellung läßt zunächst die Abgrenzung eines sonnenscheinarmen winterlichen Abschnitts zu. Er beginnt mit einem steilen Abfall um 4 Std. in der letzten Oktoberpentade und dauert bis zum 20. Februar an. Innerhalb dieses Zeitraums liegt die Sonnenscheindauer im November zunächst bei 3 Std. Stärkere Schwankungen im letzten Monatsdrittel von mehr als 2 Std. stehen mit dem aus dem Luftkörperkalender (16) ersichtlichen markanten Dominieren kontinentaler Luftmassen in Verbindung, wobei in der Höhe des Hohenpeißenberges über dem Nebelmeer der Ammerniederung noch öfters spätherbstliches Schönwetter vorherrscht. In der ersten Dezemberpentade erfolgt, wiederum stufenartig, der Abfall zu vorwinterlicher, vorherrschend trüber Witterung, die mit täglich 2 bis 2.5 Sonnenscheinstunden ohne größere Schwankungen den ganzen Dezember über anhält, um gegen Jahresende, mit der Singularität des Weihnachtstauwetters, auf den niedrigsten Tageswert des ganzen Jahres von 1.0 Std. am 3. Januar abzusinken. Diese Sonnenscheindropression geht mit einem den Hochwinter einleitenden Kälterückfall einher, der innerhalb eines Häufigkeitsmaximums zyklonalen Ost- und Nordostlagen zu starker Staubewölkung am Alpenrand Anlaß gibt und auch im 50jährigen Häufigkeitskalender der Nebelfrostablage-

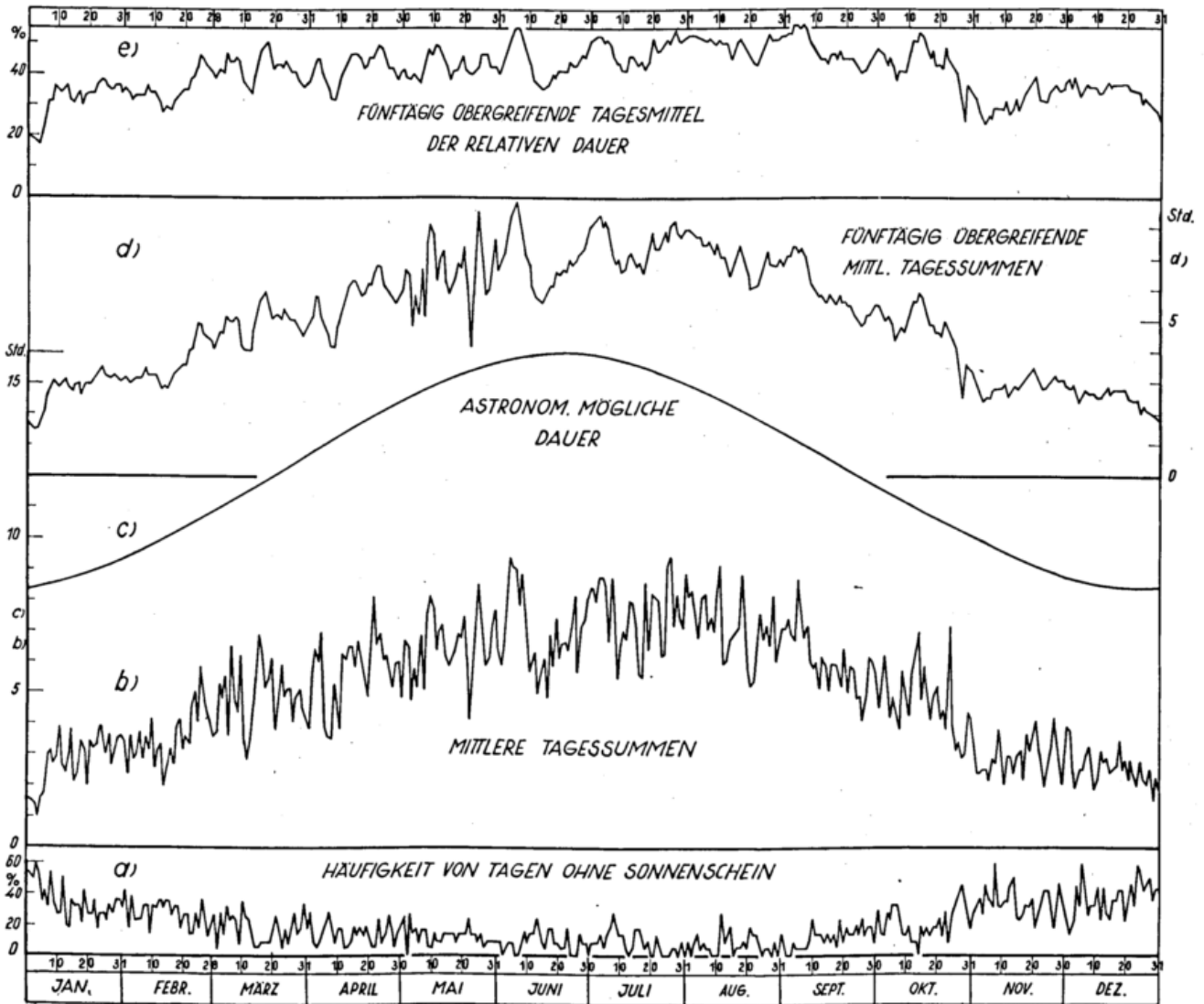


Abb. 3
 Jahresgang der Sonnenscheindauer nach mittleren Tagessummen (1937—1959)

rungen auf dem Hohenpeißenberg (17, S. 417) mit einem ausgeprägten Gipfel in der ersten Januarpentade hervortritt. Schon mit der zweiten Januarpentade steigt die tägliche Sonnenscheindauer wieder auf 3 Std. an, um mit nur geringen Schwankungen bei diesem Stand bis zum Ende des Hochwinters zu verbleiben.

Ein markanter Anstieg nach Mitte Februar um mehr als 2 Std., der mit dem Anstieg der Temperaturmittel (15) und einem Abfall der Nebelfrosthäufigkeit (17) einhergeht, leitet zum Erstfrühling über, der bei vorherrschender Zufuhr kontinentaler Luftmassen Mitte März mit 7 Sonnenscheinstunden seinen Höhepunkt erreicht, bis dahin aber immer noch Schwankungen innerhalb weniger Tage bis zu 4 Std. einschließt. Die zweite Märzhälfte läßt im Luftkörperkalender maritime Luftmassen dominieren, wobei die tägliche Sonnenscheindauer wieder bis auf 4 Std. absinkt. Auch die Sonnenscheindpressionen des Vollfrühlings im ersten und letzten Drittel des April stehen mit einer gesteigerten Wirksamkeit maritimer Luftmassen in Verbindung, während dazwischen die Neigung zu Hochdruckwetter auch in gesteigerter Sonnenscheindauer mit einem schon sommerlich anmutenden Gipfel von 8.1 Std. am 21. April erkennbar wird. Der Mai läßt die Großwetterlagen mit kontinentaler Luftmassenzufuhr wieder häufiger werden und die tägliche Sonnenscheindauer auf 6 bis 7 Std. ansteigen, wobei ein Gipfel um den 25. Mai schon eine Tagessumme von 8.5 Std. aufweist. Mit dem Witterungsbild um die Zeit der „Eisheiligen“ — Aufklaren bei verstärkter Zufuhr konti-

mentaler Kaltluft — stimmt eine Erhöhung der täglichen Sonnenscheindauer um den 10. Mai überein.

Mit Beginn des Frühsommers schließt der seit Ende Februar wirksame, mehr oder weniger stetige Anstieg der täglichen Sonnenscheindauer mit dem sonnigsten Abschnitt zusammenhängender Tage des ganzen Jahres ab, wobei vom 3. — 8. Juni mindestens 8 Std., maximal sogar 9.5 Std. erreicht werden. Dieser Gipfel findet sich in den Jahresgängen der Temperatur von Wien (8), Zugspitze, Sonnblick, München und Augsburg (2), bei Wien auch im Gang der Sonnenscheindauer etwa zur gleichen Zeit wieder, trotzdem die den Darstellungen zugrunde liegenden Beobachtungsperioden verschieden sind. Für den Temperaturgang Hohenpeißenberg (15) gilt diese Übereinstimmung nur noch für die Periode 1901—1930, während die Palatina-Beobachtungen (1781—1792) den Frühsommersgipfel schon in der letzten Mai-Pentade verzeichnen.

Mit den singulären Vorstößen kühler Meeresluft, die den Durchbruch des europäischen Sommermonsuns bedeuten, bildet sich auch bei der Sonnenscheindauer eine Verwerfung des Jahresganges aus, die erst wieder Mitte Oktober aufgehoben wird. Die tägliche Sonnenscheindauer geht von ihrem Gipfel am 4. Juni auf 4.9 Std. am 16. Juni zurück, steigt langsam bis zur 1. Julipentade wieder auf 8.8 Std., um in der zweiten Julipentade nochmals auf 5.5 Std. abzusinken. Die Tage vom 8. — 12. Juli heben sich auch in allen anderen vergleichbaren Jahresgängen von Temperatur, Sonnenschein, Bewölkung und Niederschlag (8, 2, 15) als ein

Abschnitt mit wechselhafter, regnerischer Witterung hervor, der während der letzten Jahre in den süddeutschen Flußgebieten wiederholt auch Hochwassererscheinungen zur Folge hatte. Im weiteren Verlauf des Juli wird dieser Einbruch wieder ausgeglichen und die Sonnenscheindauer nimmt zum August hin wieder stetig zu, wobei am 25. Juli noch einmal 9.5 Std. erreicht werden. Der August mit seiner Neigung zu Hochdrucklagen läßt nur eine um den 20. — 22. wirksame schwächere Depression in Erscheinung treten, die mit häufigeren Westlagen des Singularitätenkalenders gekoppelt ist. Sonst erscheint die Zeit vom 20. Juli bis zum 8. September als ein Zeitabschnitt recht beständiger Sonnenscheinerwartung. Zusammen mit dem Jahresgang der Häufigkeit von Tagen ohne Sonnenschein (Abb. 3, Kurve a) heben sich während des Sommers die Abschnitte vom 24. Mai — 9. Juni, vom 27. Juni — 5. Juli, vom 25. Juli — 11. Aug. und vom 23. Aug. — 8. Sept. als recht beständige sonnige Abschnitte heraus.

Mit dem Abschluß der letzten spätsommerlichen Schönwetterperiode im ersten Septemberrittel geht die Sonnenscheindauer sprunghaft von 7 auf 5 Std. zurück und sinkt bis zur ersten Oktoberdekade stetig bis auf 4 Std., ohne in dieser Zeit stärkere Variationen zu zeigen. Dieser Übergang in den Herbst erweist sich als recht beständig in seinem Charakter, läßt aber hier am Alpenrand die weiter nördlich als „Altweibersommer“ bekannte, um den 22. — 30. September erwartete Schönwetterperiode durch erhöhte Sonnenscheindauer nicht mehr hervortreten. Der Abbruch der sommerlichen Monsunverwerfung tritt vielmehr erst mit dem am 12. Oktober einsetzenden und bis zum 24. Oktober anhaltenden Anstieg in Erscheinung. Diese Periode ist auch im Singularitätenkalender durch eine herbstliche Schönwetterlage bei vorherrschender Zufuhr kontinentaler Luftmassen gekennzeichnet. Mit einem steilen Abfall der Sonnenscheindauer vom 24. zum 26. Oktober von 7 auf 3 Std. findet der Herbst unvermittelt sein Ende, und es setzt der sonnenscheinarme winterliche Jahresabschnitt ein.

1.4. Häufigkeit von Stufenwerten

Tiefere Einblicke in die klimatische Struktur einer Landschaft werden durch die Auflösung des Mittelwertes in Häufigkeitszahlen gewonnen. Aus der Streuung der Einzelwerte läßt sich das charakteristische Bild des tages- und jahreszeitlichen Ablaufs, aus den Abweichungen von Jahr zu Jahr die witterungsbedingte Veränderlichkeit dieses Ablaufs besser kennzeichnen, als es Mittel- und Extremwerte allein vermögen.

1.4.1. Stufenwerte der Monatssummen

Aus der Häufigkeitsverteilung einzelner, von 10 zu 10 Stunden wachsender Stufenwerte der Monatssummen des betrachteten Zeitraums (Tab. 4) ergibt sich zunächst die — vielleicht unerwartete — Tatsache, daß der Mittelwert meist nicht in den Bereich größter Häufigkeit fällt, wie es der Fall wäre, wenn die Monatssummen aus den einzelnen Jahren sich nach einer Gauß'schen Verteilung um den Mittelwert des Kollektivs gruppieren. Vielmehr deuten die Häufigkeitszahlen, witterungsklimatologisch bedingt, zwei Gipfel an, den einen, meist höheren, im Bereich um mehrere Stufen geringerer Monatssummen, den anderen bei einer um mehrere Stufen höheren Sonnenscheindauer. Auch in der viel längeren, 70jährigen Beobachtungsreihe des Sonnenscheins von Wien (8) zeigt sich in den Monatssummen, wenn sie in gleicher Weise nach Stufen geordnet werden, ein doppelter Gipfel ihrer Häufigkeit angedeutet, wenn auch infolge säkularer Verschiebungen des Bezugsniveaus, wie es aus den dort bekannt-

gegebenen Zehnjahresmitteln geschlossen werden kann, näher zusammengerückt. Typisch für diese Tendenz — entweder recht sonnig oder recht trübe — sind die Monate November bis Januar und Juni, in denen dem Mittelwert damit mehr der Charakter einer Rechengröße zukommt. Demgegenüber streut der August, der schon bei der Betrachtung der Mittel- und Extremwerte als besonders begünstigt hervortrat, um seinen Mittelwert, der innerhalb der Gruppe höherer Werte liegt. Ihm fehlt das Gegengewicht trüber Jahre, März und Oktober, deren Streubreite schon bei den extremen Monatssummen der Tab. 2 ins Auge fielen, zeichnen sich durch eine besonders starke Veränderlichkeit ihrer Sonnenscheindauer aus, deren Skala von winterlichen Tiefstwerten bis zu sommerlichen Durchschnittswerten reicht und nur eine geringe Häufung im Bereich unternormaler Dauer zeigt.

1.4.2. Stufenwerte der Tagessummen

Noch mehr kann die Sonnenscheindauer innerhalb der einzelnen Monate von Tag zu Tag schwanken, zwischen dem Wert Null bei bedecktem Himmel bis zur vollen astronomisch möglichen Dauer eines wolkenlosen Tages. Die nach Stufen bestimmter Dauer ermittelten Häufigkeitswerte, die sowohl nach Stunden (Tab. 5, a) als auch, für manche praktische Anwendungen aufschlußreicher, nach Prozenten der möglichen Dauer (Tab. 5, b) berechnet wurden, zeigen für jeden Monat wiederum zwei Gipfel, den einen bei sonnenlosem Wetter, den anderen bei Tagen mit viel Sonne bei nur geringer Bewölkung. Im Winter überwiegt das Häufigkeitsmaximum der trüben, im Sommer das der heiteren Tage. Auch für die einzelnen Tage gilt, daß die wenigsten eine dem Mittelwert angenäherte Sonnenscheindauer aufzuweisen haben. Häufiger ist, besonders in den Wintermonaten, entweder überwiegend bedecktes oder überwiegend wolkenarmes Wetter anzutreffen.

Mit der Zahl von nur 11 sonnenscheinlosen Tagen im Dezember und Januar (im folgenden eingeklammert) wird der Hohenpeißenberg nur noch von der Zugspitze um 2 Tage unterboten. Die Berggipfel der deutschen Mittelgebirge bleiben dagegen an viel mehr Tagen ohne Sonne, z. B. der Feldberg/Schw. an 16 (15), der Fichtelberg und Brocken an 20 (19), der Feldberg/Ts. und Inselsberg an 21 Tagen. München als Basis zu den Alpenstationen bleibt in diesen Monaten an 17 (16) Tagen, Berlin an 19 (17) und Hamburg an 21 (19) Tagen ohne Sonne. Auch im Sommer zeigt sich der Alpenrand mit 2—3 sonnenscheinlosen Tagen gegenüber den Mittelgebirgsgipfeln mit 3—4 Tagen ohne Sonne noch immer begünstigt, während München, Berlin und Hamburg mit nur 1—2 sonnenscheinlosen Tagen noch etwas besser liegen. Daß die Häufigkeit sonnenscheinloser Tage innerhalb der einzelnen Monate noch Schwankungen unterliegt, die mit dem durchschnittlichen, singulären („kalendergebundenen“) Witterungsablauf in Zusammenhang stehen, zeigt in Abb. 3 die Kurve a, die den mittleren Tagessummen entgegengesetzt verläuft und die gleichen markanten Schwankungen widerspiegelt (siehe Abschn. 2.3.).

1.4.3. Stufenwerte der täglichen Sonnenscheinerwartung

Für praktische Anwendungen (z. B. in der Bautechnik, in Land- und Forstwirtschaft) wird die Frage gestellt, mit welcher Wahrscheinlichkeit Sonnenschein von bestimmter Dauer zu erwarten ist. Die Werte der Sonnenscheinerwartung ergeben sich aus der durchschnittlichen Häufigkeit einzelner Stufen (Tab. 5) durch fortlaufende Addition der in Prozenten ausgedrückten Stufenwerte (Tab. 6, a und b). Teilt man diese Häufig-

keitssummen in gleich große Gruppen von je 25% (Quartile, in der Tabelle durch Stufenlinien gekennzeichnet), so lassen sich leicht Stufen gleicher Wahrscheinlichkeit über den Jahresablauf miteinander vergleichen. Die Hälfte aller Tage hat z. B. im Sommer mindestens 8 Std. Sonnenschein, im Winter dagegen höchstens 2 Std. zu erwarten. An einem Viertel aller Tage scheint die Sonne im Juli mehr als 12 Std., im Winter immer noch mehr als 6 Std. (in der Niederung, zum Vergleich, im Dezember nur noch 2 Std.).

Nach Ausschaltung der im Jahresgang wechselnden Tageslänge stellen die Stufen von Prozenten der möglichen Dauer (Tab. 6, b) wieder die wettermäßig bevorzugten Monate deutlich heraus, den März und September, die, wie der Hochsommer, noch an einem Viertel aller Tage wenigstens 80%, der Oktober sogar 85% aufweisen, den August, der zur Hälfte mindestens 60% relativer Sonnenscheindauer bringt. Deutlich hebt sich in beiden Übersichten der Zeitraum März bis Oktober mit einer sprunghaft höheren Sonnenscheinernwartung ab. Ein sonnenscheinreicher März begünstigt das Ausapern und das Abtrocknen der winterlichen Bodenfeuchtigkeit und damit einen früheren Beginn der Feldarbeiten, ein sonniger Oktober kann noch für die herbstlichen Feldarbeiten genutzt werden, bevor im November eine stärkere Durchfeuchtung des Bodens einsetzt oder die erste Schneedecke den Abschluß der Arbeiten erzwingt. Beide Monate verlängern damit die große Vegetationsperiode (April bis September).

1.4.4. Aufeinanderfolge extremer Stufenwerte

Von besonderem Interesse ist im Hinblick auf wirtschaftliche oder biometeorologische Nutzenwendungen die Frage, wie oft hintereinander einzelne extreme Stufenwerte auftreten. Erst deren ununterbrochene Aufeinanderfolge bringt Wirkungen hervor, die bei anderer, gleichmäßiger Verteilung nicht in Erscheinung treten. In Tab. 7 wird die Aufeinanderfolge sonnenloser Tage den Perioden aufeinanderfolgender Tage mit Sonnenschein von mindestens 8 Std. gegenübergestellt, Zeitabschnitte, in denen die Wirkung der direkten Sonnenbestrahlung auf die Erwärmung, die Abtrocknung, das Pflanzenwachstum, die Wirkstoffbildung, völlig fehlt oder in überdurchschnittlichem Maße gegeben ist.

Aus der Gegenüberstellung fällt zunächst auf, daß bedeckte Tage viel häufiger als Einzelgänger vorkommen als Tage mit viel Sonnenschein, die mehr zu Perioden zusammengefaßt sind. Der Grund ist darin zu suchen, daß Wetterlagen mit völliger Eintrübung am Beobachtungsort schneller wechseln als Hochdruckwetterlagen mit weitgehender Aufheiterung, die viel eher stationär werden oder sich nur viel langsamer ändern. Aufeinanderfolgende Tage ohne Sonnenschein häufen sich im Winter, aufeinanderfolgende sonnenscheinreiche Tage im Sommer.

Die Tendenz zum Auftreten einer Periode mehrerer, wenigstens zweier aufeinanderfolgender sonnenscheinloser Tage ist vom Oktober bis März in jedem Jahre vom April bis September höchstens alle 2 Jahre einmal und im August nur noch alle 3 Jahre einmal zu erwarten. Im Juni und August sind Aufeinanderfolgen von mehr als 2 bedeckten Tagen überhaupt noch nicht vorgekommen. Im Winter kommen trübe Perioden von mindestens 4 Tagen im Dezember und Januar jährlich mindestens einmal, sonst vom September bis April höchstens noch alle 3 bis 5 Jahre vor. Der Dezember als der sonnenscheinärmste Monat hat alle 2 Jahre eine mindestens 6tägige trübe Periode zu verzeichnen. Mehr als 8 aufeinanderfolgende Tage ohne jeden Sonnenstrahl sind im betrachteten Zeitraum noch nicht vorgekommen. Diese Häufigkeitsverteilung ändert sich

nur geringfügig, wenn man Fälle einbezieht, bei denen zwischen völlig bedeckten Tagen die Sonne nur höchstens 1 Stunde am Tage schien. Es tritt dann als längste trübe Periode eine Aufeinanderfolge von 17 Tagen im Oktober 1941 und von 12 Tagen im Januar 1953 in Erscheinung.

Tage mit mindestens 8 Std. Sonnenschein bedeuten im Winter 90—100% der möglichen Dauer, zur Zeit des höchsten Sonnenstandes aber nur noch 50%. Es entspricht jedoch dem normalen Ablauf eines ungestörten heiteren Tages der warmen Jahreszeit, wenn die aufkommende Konvektionsbewölkung die Sonne für einige Stunden abdeckt. So mag ein Tag mit mindestens 8 Std. Sonnenschein durchaus dem Schönwettertyp zugehören, auch wenn die nach dem Tagesmittel der Bewölkung (≤ 2 Zehntel) gültige Zuordnung als „heiterer Tag“ nicht zutrifft.

Wenigstens 3 aufeinanderfolgende Tage mit 8 Std. Sonnenschein werden vom Juli bis September in jedem Jahre mindestens zweimal, Perioden von 4 Tagen mindestens einmal erreicht. Alle zwei Jahre einmal bringen Juni und August mindestens 6, die Zeit von Mai bis Oktober 5, von Februar bis April noch 4 aufeinanderfolgende Tage mit mindestens 8 Std. Sonnenschein. Die längsten Perioden mit täglich mindestens 8 Std. Sonnenscheindauer traten im August 1949 mit 16 Tagen und im September 1959 mit 17 aufeinanderfolgenden Tagen ein. Rechnet man noch Tage hinzu, an denen zwei Perioden von Tagen mit wenigstens 6 Std. Sonnenscheindauer unterbrochen wurden, so tritt ein Zeitabschnitt von 21 Tagen im August 1944 in Erscheinung. Auch in dieser Häufigkeitsbetrachtung dominiert der August als der am meisten begünstigte Monat. Aber selbst die sonnenscheinarmen Monate November bis Januar haben wenigstens alle zwei Jahre einmal eine Periode von 2 oder 3, vereinzelt sogar von 4 und 5 Tagen mit wenigstens 8 Std. Sonnenschein aufzuweisen. Der Februar hebt sich als Wintermonat mit verhältnismäßig häufigem Vorkommen sonniger Perioden hervor, es wurden in diesem Monat schon mehrmals 8 aufeinanderfolgende sonnige Tage registriert.

1.5. Der Tagesgang der Sonnenscheindauer

1.5.1 Einfluß der Kulissenwirkung

Eine nur von dem astronomischen Lauf des Gestirns bestimmte Isoplethendarstellung des Tagesganges der Sonnenscheindauer ergibt eine zur Mittagslinie (12 Uhr WOZ) völlig symmetrische Fläche beider Tageshälften. Die Dauerlinie 1 Stunde würde alle Tagesstunden einbeziehen, die am kürzesten Tage eines jeden Monats noch vollen Sonnenschein hatten. Einschränkungen dieser Solldauer sind zunächst durch den Jahresgang der Bewölkung gegeben. Bei gleichmäßiger Verteilung der Himmelsbedeckung über den Tag würde die Symmetrie zwischen beiden Tageshälften erhalten bleiben, die mit der Bewölkungsmenge jahreszeitlich schwankenden Teilbeträge einer vollen Stunde wären während der ganzen hellen Tageszeit in gleicher Höhe zu erwarten. Tatsächlich nimmt die Besonnung von einem Maximum in den Mittagsstunden gegen die Morgen- und Abendstunden zuerst langsamer, dann schneller ab (Abb. 4). Ein solcher Tagesgang könnte nur zustande kommen, wenn die Abdeckung der Sonne durch Wolken am frühen Vormittag und späten Nachmittag ein Maximum und gegen Mittag ein Minimum aufweisen würde. Das widerspricht dem aus vielen Untersuchungen bekannten Tagesgang der Bewölkung. Diese Komponente im Tagesgang der Sonnenscheindauer wird vielmehr durch eine von den Wolken verursachte Kulissenwirkung hervorgerufen, die einen stärkeren

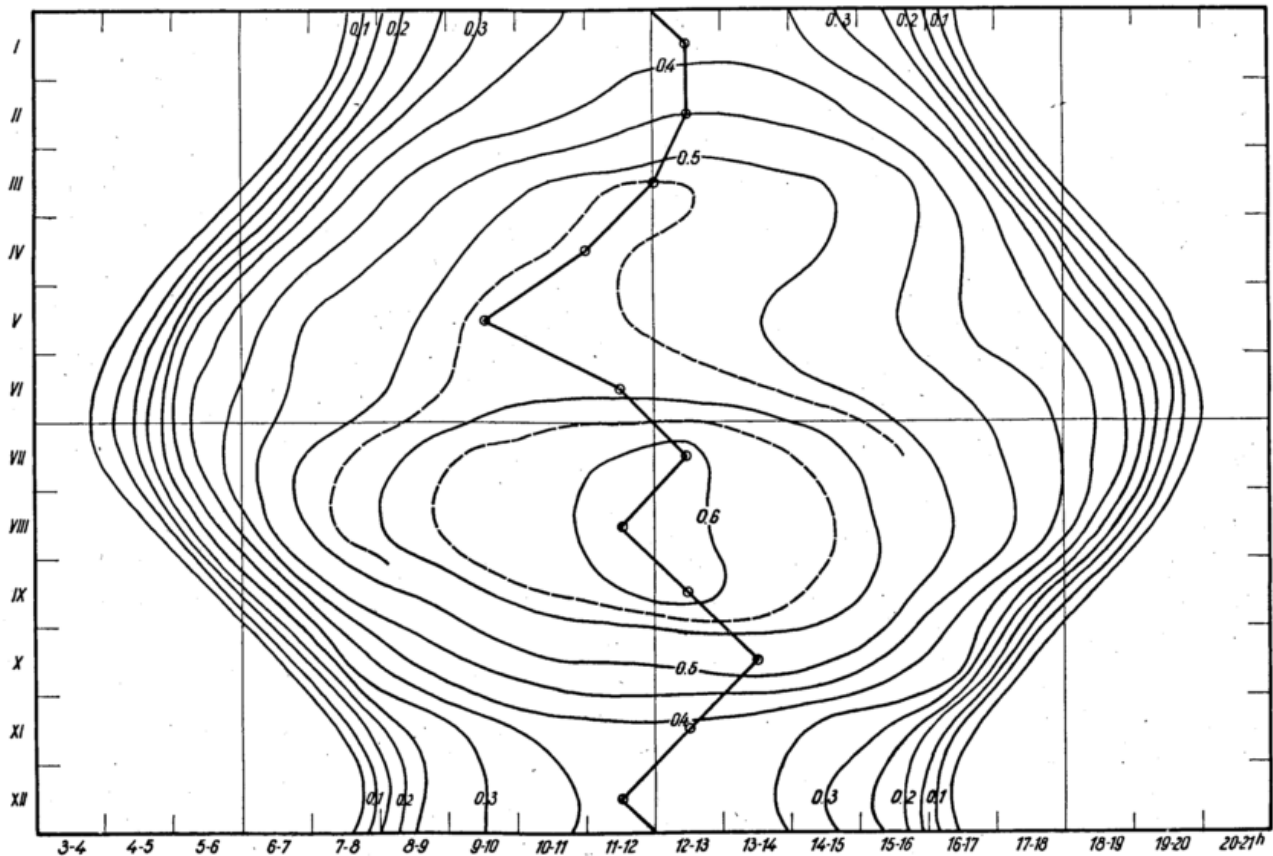


Abb. 4
Tagesgang der Sonnenscheindauer in Isoplethen der mittleren Stundensummen (1938—1959). Die Tageszeit maximaler Besonnung ist durch kleine Kreise hervorgehoben, deren jahreszeitlicher Gang von der diese Kreise verbindenden Linie gekennzeichnet ist

Rückgang der direkten Besonnung bei niedrigem Sonnenstand (Dezember und Januar) vor 10 Uhr und nach 14 Uhr und beim Höchststand der Sonne (Mai bis August) vor 8 Uhr und nach 16 Uhr bewirkt, als es dem Bedeckungsgrad entspricht. In den von diesen Zeiten eingeschlossenen Tagesstunden bleibt die Sonne durchschnittlich im Winter 0.3 bis 0.4 Std., im Sommer 0.5 bis 0.6 Std. wirksam. Mehr als 0.6 Std. werden nur im Hochsommer bis einschließlich September von 11 bis 13 Uhr erreicht.

1.5.2. Einfluß der Höhenlage

Mit diesem Jahresgang gleicht sich der Hohenpeißenberg mehr dem Typus der Niederungen an, wo die Mittagsstunden des Sommers die sonnigsten sind, während im Hochgebirge die Mittagsstunden des Winters sonnenscheinreicher sind. Ein Vergleich der Stundensummen für die Zeit von 11 bis 13 Uhr mit der Zugspitze und mit Wien (Tab. 8) zeigt im Sommer fast gleich hohe Mittagswerte wie Wien. Die sommerliche Mittagsdepression des Sonnenscheins in den alpinen Hochlagen wirkt sich am Hohenpeißenberg nur noch wenig aus. Im Winter bleiben hier die Mittagswerte wesentlich über denen der Niederung. Der Hohenpeißenberg nimmt eine Mittelstellung zwischen beiden Typen ein. Er zeigt das Mittagmaximum im September und kommt den Werten des Hochgebirges im November recht nahe.

Der über den Jahreslauf unterschiedliche Charakter im Tagesgang der Bewölkung wird weitgehend von den verschiedenartigen Strahlungseffekten auf die Erdoberfläche mitbestimmt. Bei niedrigem Sonnenstand überwiegt die nächtliche Ausstrahlung mit stärkerer Abkühlung der bodennahen Luftschichten. Dadurch wird die Ausbildung niedriger Schichtbewölkung und von

Strahlungs- und Hochnebel gefördert, deren Auflösung erst im Laufe des Tages eintritt. In der Höhe des Hohenpeißberges bildet sich der daraus resultierende Tagesgang der Besonnung mit einem Maximum zwischen 13 und 14 Uhr nur in den Übergangszeiten aus. Die in diesen Monaten schon bzw. noch recht intensive Sonnenstrahlung löst die niedrige Bewölkung, deren Obergrenze vielfach unter Gipfelhöhe liegt, schon so frühzeitig auf, daß die aufquellenden Reste der niedrigen Bewölkung noch am Vormittag die Station einhüllen. Im Dezember und Januar dagegen bleibt das Nebelmeer zähe in den Niederungen liegen und die schwache Sonnenstrahlung vermag es oft tagelang nicht aufzulösen. Die höheren Lagen des Alpenrandes bleiben dann von früh an der vollen Besonnung ausgesetzt.

In der warmen Jahreszeit entsteht durch die mit steigender Sonne zur Ausbildung kommende Konvektionsbewölkung ein Maximum der Himmelsbedeckung in den frühen Nachmittagsstunden. Die Vormittagsstunden erhalten dann mehr Sonnenschein als die übrigen Tagesstunden. Dieses tageszeitliche Maximum der Sonnenscheindauer ist am deutlichsten im Mai zwischen 09 und 10 Uhr ausgeprägt. Im Juni liegt es gegen 11 Uhr und im August, wo schon die zentralen, stabil geschichteten Hochdrucklagen überwiegen, deren kontinentale Luftmassen in der Höhe relativ trocken sind, zwischen 11 und 12 Uhr. Im Mai dagegen tritt sonniges Wetter viel mehr im Bereich labil geschichteter Kaltluftmassen im Verlauf einer NW-Lage auf, für die die Wetterlage zur Zeit der „Eisheiligen“ ein typisches Beispiel bietet. Der Mai ist hier auch der gewitterreichste Monat. Im Juli treten solche Tage mit tageszeitlicher Konvektionsbewölkung etwas zurück, so daß das Maximum der Besonnung erst zwischen 12 und 13 Uhr liegt. Dennoch kommt der Juli mit durchschnittlich 55% Sonnenscheinerwartung in der Zeit zwischen

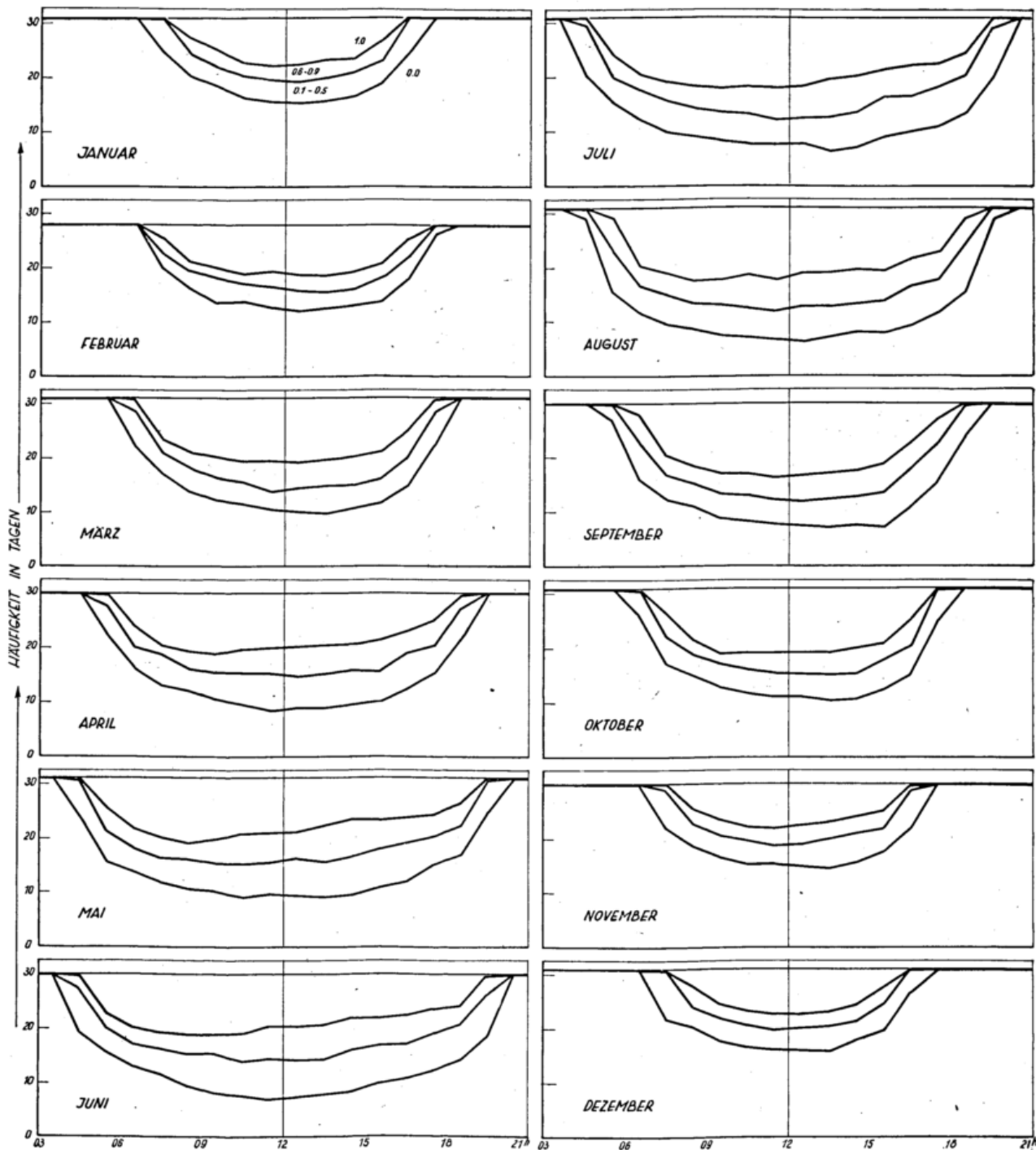


Abb. 5

Tagesgang der Sonnenscheindauer nach der Häufigkeit von Stufenwerten der Stundensummen (1938—1959). Das untere Band faßt die Stufen 0.1—0.5 (stark bewölkt), das obere die Stufen 0.6—0.9 (leicht bewölkt) zusammen. Die Häufigkeit innerhalb der einzelnen Stufen ergibt sich durch fortlaufende Summierung

08 und 15 Uhr dem August nahe, dessen besondere Begünstigung in den Mittagsstunden von keinem anderen Monat übertroffen wird.

Der jahreszeitliche Gang der Asymmetrie der Sonnenscheindauer zwischen der ersten und zweiten Tageshälfte geht ebenso aus der Gegenüberstellung der mittleren Stundensummen des Vor- und des Nachmittags (Tab. 9) hervor. Wie bei den Maxima der Sonnenschein-erwartung (Abb. 4) haben sich Februar und Oktober mit einer negativen Differenz, d. h. höherer Sonnenscheindauer in den Nachmittagsstunden, die Sommermonate, vor allem aber der Mai, mit einer höheren Vormittagsdauer heraus. Der Übergang vom winterlichen zum sommerlichen Typ vollzieht sich im April und im September.

Der Isoplethendarstellung Abb. 4 lassen sich auch, im Zusammenhang mit Diagrammen der Sonnenhöhen und Azimute für den Jahresablauf, wie sie Reida^t (18) für mitteleuropäische Breiten, so auch für 48° n. Br. veröffentlicht hat, die für Zwecke der Bautechnik, des Spalierobstbaus u. a. benötigten Angaben der effektiven Besonnungszeiten verschieden orientierter Wände für jede Tagesstunde unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Wetterablaufs entnehmen.

1.5.3. Auflösung nach Stufenwerten der Häufigkeit

Der nach der Häufigkeit von Stufenwerten der Zehnstunden aufgelöste Tagesgang (Abb. 5) zeigt weitere Einzelheiten seines jahreszeitlichen Verhaltens. Die

Wiedergabe faßt die Stufen 0.1 bis 0.5 als „stark bewölkt“ und 0.6 bis 0.9 als „leicht bewölkt“ zusammen. Die Sonnenstrahlung wirkt auf den Tagesgang der Bewölkung in zweierlei Weise, wolkenauflösend durch den Strahlungsumsatz an der Wolkenobergrenze bei Schichtbewölkung und wolkenbildend durch die von der Erdoberfläche ausgehende Konvektion bei wolkenarmem Wetter. Die Tendenz zur Wolkenauflösung, die aus dem abfallenden Verlauf der Stufenlinie 0 erkennbar wird, dauern das ganze Jahr über mit zunehmender Sonnenhöhe im Tagesgang bis gegen 13 und 14 Uhr, im Herbst bis gegen 15 und 16 Uhr an. Wolkenfelder, die bis dahin von der Sonne nicht aufgelöst oder aufgelockert wurden, bleiben bestehen. Die Tendenz zur Bildung von Konvektionsbewölkung, aus dem Gang des Stufenwertes 1.0 ersichtlich, tritt vom April bis zum August etwa ab 10 Uhr, im März und September nur noch sehr abgeschwächt in Erscheinung. Dieser zweifache Einfluß der Sonnenstrahlung auf die Bewölkungsverhältnisse wird aus der Unsymmetrie im Gang der Häufigkeitszahlen zwischen den beiden Tageshälften erkennbar. Auf die durch Gleitprozesse ausgelöste Wolkenbildung und -auflösung wirkt sich die Sonnenstrahlung unmittelbar kaum aus.

Im Winter besteht zwischen den beiden Tageshälften eine fast vollkommene Symmetrie; um die Mittagszeit zeigt sich zwischen 12 und 14 Uhr eine geringfügig stärkere Auflockerung der sonst dominierenden geschlossenen Himmelsbedeckung. Nur an etwa 7 Tagen weichen alle Tagesstunden von den Extremen — entweder sonnig oder, viel häufiger, bedeckt — ab. Im März wirkt sich mit steigender Sonnenhöhe und den zu dieser Zeit höchsten Strahlungsintensitäten die Tendenz zur Wolkenauflösung am stärksten aus. Bis gegen 17 Uhr liegen die Nachmittagswerte der Häufigkeit bedeckter Stunden um wenigstens 2 Tage unter den entsprechenden Vormittagswerten. Die schon im April einsetzende Konvektionsbewölkung wirkt sich im Mai bereits nach 9 Uhr aus, sie schränkt die Zahl von Tagen mit ungestörter Sonnenbestrahlung von 12 auf 8 in den Nachmittagsstunden ein. An morgens trüben Tagen besteht die Tendenz zur Wolkenauflöckerung bis gegen 14 Uhr fort. Der Bereich wechselnder Himmelsbedeckung steigert sich von 8 Tagen am Vormittag auf 14 Tage am Nachmittag. Im Hochsommer (August) überwiegen am Vormittag die ungestörten Stunden, der Tagesgang der Konvektionsbewölkung ist noch wirksam und steigert die Häufigkeit der Fälle leichter Bewölkung in den Nachmittagsstunden von 3 auf 6 Tage. Mehr als die Hälfte aller Tage zeigen mindestens 0.6 Std. Sonnenscheindauer. Im Herbst (Oktober) tritt die Konvektionsbewölkung im Tagesgang nicht mehr in Erscheinung. Jedoch ist jetzt wieder häufiger mit Hochnebfeldern und Schichtbewölkung zu rechnen. Die Sonnenstrahlung reicht noch aus, diese von der Nacht her anstehende Himmelsbedeckung der Vormittagsstunden im Laufe des Tages (bis gegen 14 Uhr) aufzulockern. Im November nähert sich der Tagesgang dann wieder den winterlichen Verhältnissen, ohne daß die Sonnenstrahlung noch wesentlichen Einfluß auf die zweite Tageshälfte zu nehmen vermag.

Der Verlauf der Häufigkeitslinie von 1.0 Std. Sonnenscheindauer von Mai bis August läßt noch eine Besonderheit im täglichen Gang der Bewölkung und des Sonnenscheins erkennen, die schon von Hauer in der Zugspitz-Monographie (2, S. 40) als typisch für die Verhältnisse im Gebirge herausgestellt wurde, die kurzzeitige Rückentwicklung der Thermikwolkenbildung um die Mittagszeit. Mit der in den Vormittagsstunden rasch zunehmenden Konvektionsbewölkung, die in der Zeit zwischen 10 und 11 Uhr ihr erstes Maximum erreicht, schwächt sich die Aufheizung des Gebirgsmassivs merklich ab. Dadurch erfährt das Anwachsen der Haufen-

wolken zwangsläufig eine Verzögerung oder sogar eine Rückbildung. Jetzt kann sich der Konvektionsstrom, und damit die Haufenwolkenbildung, erneut verstärken und geht nun seinem Maximum in den Nachmittagsstunden entgegen. Diese Erscheinung ist also nicht nur auf das Gebirge beschränkt, wo sie noch durch die am Nachmittag voll entwickelte Talwindzirkulation unterstützt wird, sondern auch im Vorland wirksam.

1.6. Beziehung zwischen Sonnenscheindauer und Bewölkung

1.6.1. Der Summenwert $S + B$

Die aus der engen Kopplung beider Elemente erwachsene theoretische Erwartung, daß Summenwerte der in Prozenten der möglichen ausgedrückten relativen Sonnenscheindauer sich mit der gleichfalls in Prozenten der Himmelsbedeckung ausgedrückten Bewölkung zu 100 ergänzen, trifft nicht zu. Es ist $S + B = 100 \pm \Delta$ (%). Die Summe ändert sich mit der Jahreszeit und liegt im Sommer beträchtlich über 100, im Winter meist etwas darunter. Aus einer regionalen Kenntnis des Differenzgliedes Δ wird eine Beurteilung der Sonnenscheinverhältnisse eines Ortes allein nach den Bewölkungsbeobachtungen und der mit dem Tagbogenmesser ermittelten möglichen Sonnenscheindauer angestrebt (19, 20). Da sich Jahresgang und Größe der Differenz über ein größeres Gebiet als konstant erweisen, hat neuerdings Hartmann (21) für Niedersachsen Jahreswerte der Sonnenscheindauer aus der Bewölkung mit einer Abweichung von 1—3% der Jahressumme berechnet.

Für den Hohenpeißenberg werden die Summen $S + B$ in Tab. 10 mit denen für die Zugspitze als Hochgebirgsgipfel und mit München als Beispiel aus der Niederung, sowie mit den von Steinhäuser für die österreichischen Nordalpen, Berge und Niederung, gemittelten Stationsgruppen verglichen. Alle Bergstationen liegen mit ihren Werten nahe beieinander, der Hohenpeißenberg meist jedoch etwas höher und der Gruppe der „Nordalpen“ noch näher als der Zugspitze. Auch im Winter liegen sie, ein besonderes Kennzeichen für die Berge, über 100 und zeigen mit 7—11% zwischen höchsten (Sommer-) und tiefsten (Winter-) Werten eine viel geringere Streuung als die Stationen der Ebene, München mit 18% und Wien (8) mit 17%. Die Winterwerte von München liegen um 13—14% unter denen des Hohenpeißenberges und noch um 6—8% niedriger als die Gruppe Niederung der österreichischen Nordalpen. Weitere Beispiele aus der Schweiz mit wichtigen Belegen für den Einfluß der Methodik der Bewölkungsbeobachtungen auf die Summenbildung sind der Arbeit von Nagel (22) zu entnehmen.

1.6.2. Einflüsse auf den Summenwert

Die Diskussion um die Ursachen für die Abweichung der Summe $S + B$ von 100 wurde neuerdings von Steinhäuser (20) und von Lauscher (23) weitergeführt. Vom Verfasser (24) wurde aus der Beziehung zu Tagesmitteln der Bewölkung das Differenzglied nach seinen Teilkomponenten quantitativ zu erfassen versucht. Der Summenwert wird bei horizontnaher Bewölkung, durch die Kulissenwirkung durchbrochener Bewölkung, und bei hoher durchscheinender Bewölkung heraufgesetzt, die Sonnenscheindauer bei Reifbildung oder Nebelfrostablagerungen auf der Kugel des Auto-graphen und durch Dunsteinfluß gemindert. Auch die Horizontabdeckung sowie Fehlschätzungen bei Dunkelheit setzen den Summenwert herab.

Für eine Höhenstation wirken sich die Plus-Effekte auf die Bewölkungsangaben viel stärker aus als die

Minus-Effekte auf die registrierte Sonnenscheindauer. Die horizontnahe Bewölkung wird um so mehr erfaßt, je freier der Horizont, je umfassender der in die Schätzung einbezogene Himmelsabschnitt und je weniger die horizontnahen Teile durch Dunst getrübt sind. Der Kulisseneffekt wirkt sich in höherer Lage mit Annäherung an die Untergrenze der aufgelockerten Grundschichtbewölkung stärker aus als in tieferen Lagen. Die perspektivische Abdeckung ist, da die Wolkenbeobachtung den ganzen Himmel erfaßt, als eine Realität gegeben, der auch die Sonnenstrahlen unterliegen. Es wird den Gegebenheiten nicht gerecht, hier von einer „Überschätzung“ als subjektivem Fehler der Beobachtung zu sprechen (25). Die hohe durchscheinende Cirrus-Bewölkung wird von hochgelegenen Beobachtungsstationen aus häufiger und besser erfaßt als in der dunstgetrühten Niederung.

Die Abhängigkeit der Größe des Differenzgliedes vom Bewölkungsgrad (Tab. 11), die schon aus den Bearbeitungen von Perl (26) und von Lauscher (23) zu schließen war, läßt aus einzelnen markanten Unstetigkeiten die Wirkung dieser drei Plus-Effekte als Teilkomponenten bei verschiedenen Bedeckungsgraden erkennen. Der Einfluß der horizontnahen Bewölkung dominiert in den niederen Bewölkungsstufen 1 bis 3. Er tritt besonders in den Herbst- und Wintermonaten hervor und läßt die Summenwerte bis auf 105—110 ansteigen. Der Kulisseneffekt hebt sich bei Bedeckungsgraden von 4 bis 6 Zehntel mit Summenwerten im Sommer und Winter von 120 und in den Übergangszeiten von etwa 110 heraus. Am deutlichsten wirkt sich jedoch der Cirrus-Effekt im Bereich der Bewölkungsstufen 7 bis 9 aus, er steigert in der Zeit von März bis Juni den Summenwert auf über 120. Einzelne maximale Tagessummen zwischen 150 und 170 treten dabei das ganze Jahr über auf. Weitere Einzelheiten über die Wirkung dieser Effekte sind der gesonderten Bearbeitung (24) zu entnehmen.

Gegenüber diesen von Einflüssen auf die Bewölkungsangaben herrührenden Plus-Effekten spielen in der Höhe die den Summenwert herabsetzenden Einflüsse auf die registrierte Sonnenscheindauer eine nur untergeordnete Rolle. Die jahreszeitlich begrenzten Einwirkungen von Reif und Nebelfrost können mit etwa 10%, der im Hochsommer und Herbst feststellbare Dunsteffekt mit 5% in Rechnung gestellt werden, die sich den positiven Bewölkungseffekten überlagern.

Sieht man noch mit Steinhauser (8) und Nagel (22) die Abweichungen der Summe S + B von Jahr zu Jahr vom Mittelwert der ganzen Reihe als ein Kriterium für die Homogenität der Bewölkungsbeobachtungen einer Station an, so kann aus den Schwankungen S + B für den Hohenpeißenberg (Tab. 12), deren Werte in den einzelnen Jahren nicht mehr als 3 Hundertstel vom Reihenwert 110% differieren, auf eine befriedigende Konstanz bei den Bewölkungsschätzungen, die während des ganzen Zeitraums von hauptamtlichen Beobachtern durchgeführt wurden, besonders seit 1948, als eine stärkere Kontinuität in der Personalbesetzung eintrat, geschlossen werden.

Die Anwendung der aus Durchschnittswerten abgeleiteten Summenwerte (Tab. 11) zur Berechnung der Sonnenscheindauer aus Bewölkungsangaben muß auf Monats- oder Jahreswerte beschränkt bleiben. Im Einzelfall könnte die berechnete Sonnenscheindauer erheblich von der gemessenen abweichen. Versuche, durch Gleichungen einzelne Effekte quantitativ gesondert in Rechnung zu stellen (z. B. Robitzsch, 27), befriedigen nicht, da sie auf Voraussetzungen beruhen, die im Einzelfall nicht aus Beobachtungen verfügbar sind.

1.7. Die Abhängigkeit der Sonnenscheindauer von der Großwetterlage

Mit der Auflösung des Mittelwertes in Häufigkeitszahlen bestimmter Stufen ist die Frage nach der wolkenbildenden Wirksamkeit einzelner Witterungstypen aufgeworfen. Je nach der Großwetterlage werden Luftmassen verschiedener Herkunft eingesteuert, deren kennzeichnende Eigenschaften charakteristische Witterungserscheinungen hervorrufen. In Auswirkung ihres Gleichgewichtszustandes, ihrer spezifischen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse, von lokalen Luv- und Lee-Effekten spiegeln sich diese auch in der Sonnenscheindauer wieder. Aus der Häufigkeit der wetterbedingenden Großwetterlagen und der Kenntnis der ihr zukommenden „spezifischen“ Sonnenscheindauer (30) lassen sich brauchbare Extrapolationen auf die Besonnung zurückliegender Zeitabschnitte, für die keine Sonnenscheinbeobachtungen vorliegen, erwarten und vorausschauend Prognosen der Sonnenscheinerwartung aufstellen.

1.7.1. Ordnungsprinzipien

Das Ergebnis der Zuordnung der täglichen relativen Sonnenscheindauer zu den Großwetterlagen zeigt Tab. 13. Aufgeteilt wurde nach der Klassifikation von Heß-Brezowsky (28). Die Ordnung nach Zirkulationstypen würde nicht ausreichen, sonnenscheinreiche von sonnenscheinarmen Wetterlagen zu trennen, weil dabei auch entgegengesetzt gerichtete Strömungen mit völlig verschiedenen Bewölkungsverhältnissen (z. B. meridional: N als Staulage, S als Leelage) zusammengefaßt würden. Auch die Aufgliederung nach Großtypen genügt noch nicht, Wetterlagen gleichartiger Wirkung auf die Besonnung zu koordinieren, wie das Beispiel des N-Typs zeigt, der sowohl H-Lagen (HN, HB) als auch zyklonale Lagen (N, TrM) einschließt. Die Ordnung der Fälle wurde nach Großwetterlagen getroffen, wie sie für jeden Tag des Zeitraums 1881 bis 1950 dem Großwetterlagen-Katalog (28) und für die späteren Jahre monatlich erscheinenden Übersichten (29) entnommen werden können. Eine weitere Aufgliederung in Einzellagen, wie sie nach 1950 z. B. für die „Westlagen“ gegeben wurde, wobei zwischen der antizyklonalen, der zyklonalen und der südlichen Westlage unterschieden wird, hätte wohl noch einige Verbesserungen der zugehörigen charakteristischen Werte der relativen Sonnenscheindauer gebracht (siehe Tab. 14): Gegenüber der antizyklonalen Lage mit 57% (Jahr) bringt die südliche Westlage nur 21% Sonnenschein; Eine darauf gezielte Verfeinerung der früheren Analysen (28) hätte hier jedoch mit unzulänglichen Mitteln durchgeführt werden müssen, so daß auf diese weitere Aufgliederung verzichtet wurde. Aber auch bei viel enger definierten Lagen, z. B. der Hochdruckbrücke über Mitteleuropa (HM) oder der NE-Lage, dürfen die Beziehungen zwischen relativer Sonnenscheindauer und Großwetterlage nur für ein Kollektiv von Fällen als gültig angesehen werden. Streuungen im Einzelfall treten ein, wenn z. B. nach einer Umstellung die neue Lage sich in ihrer charakteristischen Wetterwirksamkeit noch nicht voll durchsetzen konnte (Beispiel 1) oder bei der gleichen Lage Luftmassen verschiedener, sowohl maritimer als auch kontinentaler Herkunft eingesteuert werden können, wie es bei SE-, E- und NE-Lagen und den ihnen verwandten Typen (HN, HNF, HF) der Fall ist (Beispiel 2).

Beispiel 1: NE-Lage mit Stau im Alpenvorland (30. April — 2. Mai 1956) wird von Hoch Mitteleuropa (3. — 6. Mai) abgelöst. Am 3. noch Staubewölkung mit 4% rel. Sonnenscheindauer; erst am 4. hat sich der H-Einfluß durchgesetzt (4. — 6.: 86, 91, 92%).

Beispiel 2: Bei NE-Lage Stau am Alpenrand 29. April — 2. Mai 1956 mit 36, 0, 32, 14% bzw. 6. — 9. Juli 1955 mit 0% gegenüber 13. — 14. Mai 1954 mit 89, 96%. Im ersteren Falle wird feuchte Mittelmeerluft aus dem SE-Raum, in den Fällen völliger Aufheiterung trockene, kontinentale Kaltluft aus N-Rußland eingesteuert.

Derartige Streuungen sind bei der Mittelbildung auch anderer klimatologischer Größen immer in Kauf zu nehmen; sie schließen aber nicht die Anwendbarkeit des Verfahrens, die Ableitung typischer Werte der Sonnenscheinerwartung aus einem Kollektiv gleichartiger Großwetterlagen, aus. Noch deutlicher würden die Unterschiede spezifischer Werte der Sonnenscheindauer bei Ordnung nach Tageswettertypen hervortreten, wie sie z. B. *Leistner* (42) für die Ableitung spezifischer Relativwerte der Globalstrahlung anwandte (siehe Abschn. 2.7.5.). Solche allgemein anerkannten Klassifikationen liegen jedoch bis heute nicht vor und bieten für den Alpenraum, wie die ständigen lebhaften Diskussionen dieses Themas auf den internationalen Tagungen für alpine Meteorologie erkennen lassen, manche Schwierigkeiten.

1.7.2. Jahrgang der spezifischen Sonnenscheinerwartung

Die astronomischen Gegebenheiten lassen die mögliche Sonnenscheindauer im Wechsel vom Sommer zum Winter im Verhältnis von 2:1 schwanken. Die witterungsbedingten Abdeckungen der Sonne setzen aber die Durchschnittswerte der gemessenen Sonnenscheinstunden im Sommer auf die Hälfte, im Winter auf ein Drittel der astronomisch möglichen Dauer herab, so daß die Relativwerte im Laufe eines Jahres ein Verhältnis von 3:1 zeigen (siehe Tab. 2, c). Dieser Jahrgang findet in der mit den Großwetterlagen gekoppelten „spezifischen“ Sonnenscheinerwartung seine Erklärung. Einmal findet sich bei den meisten Wetterlagen ein jährlicher Gang wieder (Tab. 13, a), der die Wintermonate mit geringeren Werten benachteiligt und die Monate der warmen Jahreszeit mit hohen Werten begünstigt. Dieser Jahrgang ist eine Folgeerscheinung des Strahlungsumsatzes an der Erdoberfläche mit seinen jahreszeitlichen Rück- und Wechselwirkungen auf die Temperaturverhältnisse an der Erdoberfläche und die Kondensationserscheinungen in der Grundschicht. Zum anderen zeigen auch die einzelnen Wetterlagen im Jahreslauf eine wechselnde Häufigkeit (Tab. 13, b) und könnten damit die aus der spezifischen Sonnenscheinerwartung resultierende relative Dauer erhöhen oder kompensieren. Einige Wetterlagen dagegen lassen das winterliche Minimum der Sonnenscheinerwartung vermissen, z. B. die SW- und die S-Lage, bei denen auch im Winter eine dem Jahrgang der Temperatur entgegenwirkende advektive Zufuhr überwärmter Luft aus subtropischen Breiten bei meist stärkerer Luftbewegung stattfindet und die im Nordalpenraum föhnlige Aufheiterungen bringen.

Hohe Werte der Sonnenscheinerwartung mit mindestens 50% relativer Sonnenscheindauer sind, von einzelnen „Ausreißern“ abgesehen, in Tab. 13, a hervorgehoben. Von allen Großwetterlagen fällt erwartungsgemäß das abgeschlossene Hoch über Mitteleuropa (HM) heraus, das nur im Vorwinter bei verstärkter Boden- und Hochnebelbildung etwas unter 50%, vom Februar bis September aber zwischen 67 und 87% aufzuweisen hat. Bei den anderen Hochdrucklagen wird der Halbwert nur im Frühling und Sommer (BM) oder nur im Sommer (HN bzw. HB als N-Lagen, HF bzw. HNF als E-Lagen) überschritten. Den von der sommerlichen

Schönwetterbewölkung geprägten Jahrgang zeigen am deutlichsten die zentralen Hochdrucklagen (HM, BM). Nach einem Maximum im Mai geht die Sonnenscheindauer im Juni infolge der verstärkten Quellwolkenbildung (zugleich bei erhöhter Gewitterneigung infolge starker Überwärmung des Erdbodens) zurück, um erst im Juli bei vorherrschender Zufuhr von trockener Kontinentalluft aus E und SE mit zunehmender Abtrocknung des Bodens seine Jahreshöchstwerte zu erreichen.

Begünstigt sind auch alle Lagen, die am Nordalpenrand föhnlige Wolkenauflösung begünstigen (SW, S) oder kontinentale Luftmassen heranführen (SE, E). Der September, der nach dem singulären Jahrgang (Abb. 3) bis in die 1. Dekade hinein sommerliches Gepräge zeigt, ist in diese Begünstigung vielfach eingeschlossen. Die W-Lagen bringen noch immer bis 46% an möglicher Sonnenscheindauer ein, bei den zu Staubbewölkung führenden NW-Lagen liegen die Werte, besonders im Winter, schon niedriger. Zu ausgesprochen sonnenarmer Witterung führen die ebenfalls stauenden Lagen mit Kaltluftzufuhr (N, TrM und TM). Eine auffallend niedrige Sonnenscheindauer zeigt die NE-Lage in der kälteren Jahreszeit, wenn feuchte Mittelmeerluft um die Alpen herumgeführt wird und am Alpennordrand bei zeitweise Vb-artigen Niederschlägen und ergiebigen Ablagerungen von Nebelniederschlag anstaut.

Stellt man die Fälle mit mehr als 50% relativer Sonnenscheindauer mit der gleichzeitigen relativen Häufigkeit der Großwetterlagen in Vergleich (in Tab. 13, b analog zu 13, a hervorgehoben), so zeigt sich, daß deren Jahrgang — die Hochdrucklagen Mitteleuropa ausgenommen — nicht gleichsinnig, sondern teilweise sogar umgekehrt verläuft. Das sommerliche Maximum und das winterliche Minimum der relativen Sonnenscheindauer ist also nicht an das gleichzeitig häufigere Auftreten von Großwetterlagen mit höherer spezifischer Sonnenscheinerwartung gebunden, sondern viel mehr auf den Jahrgang der „spezifischen“ Sonnenscheinerwartung in Auswirkung des zwischen Sommer und Winter so verschiedenen Strahlungsumsatzes zurückzuführen.

1.7.3. Vergleich mit der mittleren Sonnenscheindauer

Zum Vergleich mit den durchschnittlichen Verhältnissen aller Tage wurde noch das Verhältnis der spezifischen zur mittleren relativen Sonnenscheindauer berechnet (Tab. 13, c). Hier heben sich die mit Sonnenschein begünstigten oder benachteiligten Wetterlagen noch deutlicher hervor. Die Hochdrucklagen HM und, im Frühling und Sommer, BM sowie die Föhnlagen SW und S erhalten das anderthalb- bis zweifache, die SE-Lage, die Troglage über Westeuropa (TrW) und das Tief über den Britischen Inseln (TB), ebenfalls mit häufigem Föhneinschlag, bis zum anderthalbfachen der normalen Sonnenscheinerwartung. Sonnenscheinarme Witterung zeigen die Staulagen (N, NE), von denen die NE-Lage durch besonderes niedrige Winterwerte herausfällt. Benachteiligt sind auch die Troglage und das abgeschlossene Tief über Mitteleuropa, wenn die Zonalzirkulation großräumig unterbrochen und durch überwiegend meridional gerichteten Austausch abgelöst ist.

1.7.4. Vergleich mit anderen Orten

Ein Vergleich mit den von *Maede* und *Matzke* (30) für Greifswald veröffentlichten Werten der spezifischen Sonnenscheinerwartung aus dem norddeutschen Raum ist erschwert, weil der dort zugrundgelegte Wetterlagenkalender nicht mit dem hier verwendeten nach *Heß-Brezowsky* übereinstimmt. Jedoch fallen auch dort die hohen Werte bei Hochdrucklagen heraus, sie liegen in der norddeutschen Ebene sowohl im Som-

mer wie im Jahresmittel um einige Prozent höher als in Süddeutschland. Auffallend höhere Werte ergeben sich bei Hochdrucklagen mit Luftzufuhr aus N an der Ostseeküste, wo die überströmte Wasserfläche die Haufenwolkenbildung unterdrückt, mit annähernd 82%, während am Hohenpeißenberg die landeinwärts einsetzende und zum Alpenrand mit dem Ansteigen des Geländes verstärkte Konvektionsbewölkung nur ein Jahresmittel von etwa 35% und einen Sommerdurchschnitt von 62% relativer Sonnenscheindauer ergibt. Auch die NW- und N-Lagen zeichnen sich an der Ostseeküste aus dem gleichen Grunde durch eine wesentlich höhere Sonnenscheindauer aus, während sich am Alpenrand durch den Stau effekt am Gebirge sehr niedrige Werte ergeben. Dagegen zeigen hier die zyklonalen Lagen meist höhere Werte an, weil der süddeutsche Raum von den im Norden vorbeiziehenden Depressionen häufig nur noch gestreift wird und deren Vorderseiten vielfach föhnlige Aufheiterung auslösen.

1.8. Die Sonnenscheindauer an Niederschlagstagen

In witterungsklimatologischer Sicht verdient die Frage nach den Sonnenscheinverhältnissen an Niederschlagstagen ein besonderes Interesse. Gerade die gekoppelte Betrachtung von Sonnenschein und Niederschlag vermag erst den wahren Witterungscharakter einer Jahreszeit, wie er z. B. für den Reise- und Fremdenverkehr, aber auch für landwirtschaftliche Fragestellungen zur Beurteilung ansteht, ausreichend zu kennzeichnen. Die naheliegende Annahme, daß Tage mit Niederschlag zugleich sonnenscheinarme Schlechtwettertage seien, ist durch vielfache Erfahrungen und Beobachtungstatsachen widerlegt. Auf frühere Untersuchungen dieser Art von Huber (31) und von Steinhäuser (32) sei hingewiesen. Sie lassen Vergleiche mit anderen Örtlichkeiten zu. Die vorliegende Arbeit bezieht auch Stufen der Niederschlagsmenge und eine Ordnung nach Großwetterlagen ein und läßt damit eine speziellere Analyse der Sonnenscheinverhältnisse in höheren Lagen zu, wie sie in der Zielsetzung einer dynamischen Witterungsklimatologie, speziell zur Herausarbeitung der eigenbürtigen und der fremdbürtigen Anteile am Lokalklima erforderlich ist (33).

1.8.1. Aufteilung nach Stufen der Niederschlagsmenge

Ordnet man jedem Niederschlagstag die Sonnenscheindauer zu und faßt sie zu Monats-, Jahreszeiten- und Jahresmitteln zusammen, so ergeben sich die in Tab. 15 nach Stufen der Niederschlagsmenge getrennten Werte. Sie sind der mittleren Sonnenscheindauer aller Tage des betreffenden Zeitraums (Tab. 2) gegenübergestellt. Die Aufteilung in Stufen der Niederschlagsmenge kommt der witterungsklimatologischen Deutung des Niederschlagscharakters zugute. Auch die Stufe 0.0 mm, d. s. Tage mit nicht meßbarer Menge, wurde dabei berücksichtigt. Um den Niederschlagstag zum Sonnenschein richtig zu koordinieren, wurde nach den Niederschlagsmengen zu den Klimaterminen I, II, III des Tages mit Sonnenschein (nicht nach der wie üblich zum Frühtermin des folgenden Tages rückwirkend ermittelten Tagessumme, die nur den Termin I des Meßtages einschließt) geordnet. Die einzelnen Stufen der Niederschlagsmenge wurden dann zusammengefaßt, einmal mit Einschluß aus der 0.0-mm-Menge, das andere Mal ab 0.1 mm. Bei den Vergleichen mit früheren Untersuchungen wird angenommen, daß diese sich, ohne daß dies in den betreffenden Arbeiten erwähnt wurde, auf Mengen von mindestens 0.1 mm beziehen. Die Angaben der Sonnenscheindauer beziehen sich sowohl auf Prozente der effektiv möglichen Dauer (Tab.

15, a), als auch auf mittlere Tagessummen (Tab. 15, b). Das Verhältnis der Sonnenscheindauer an Niederschlagstagen zur mittleren Sonnenscheindauer des betreffenden Monats (Tab. 15, c) drückt deren eigenes Verhalten am besten aus. Schließlich gibt Abb. 6 innerhalb jeder Niederschlagsstufe die Aufteilung nach der Häufigkeit von 20%-Stufen der relativen Sonnenscheindauer wieder. Erst mit dieser Aufgliederung des Mittelwertes wird eine witterungsklimatologische Deutung möglich.

Die Sonnenscheindauer an Niederschlagstagen zeigt zunächst, wie die Mittelwerte aller Tage, in allen Niederschlagsstufen einen ausgeprägten jährlichen Gang, sie liegt im Sommer wesentlich höher als im Winter. In der Zeit vom Mai bis August ist sie relativ hoch und beträgt etwa zwei Drittel des Durchschnitts aller Tage. Von Oktober bis zum März beträgt sie weniger als die Hälfte, im Oktober und Dezember aber immer noch mehr als ein Drittel des allgemeinen Mittelwertes. Die Aufgliederung nach Stufen der Niederschlagsmenge läßt erkennen, daß die Besonnung im wesentlichen nur bei stärkerem Niederschlag eingeschränkt ist. Bei Tagesmengen von mehr als 10 mm liegt sie in den Sommermonaten bei 40% der mittleren Sonnenscheindauer, sinkt aber in den Übergangsmo-naten auf etwa 27% und im Winter auf 13% (im Dezember 6%) der Mittelwerte ab. In der Stufe von 1.1—10.0 mm Niederschlag bleibt der Sonnenschein nur in der Zeit von Oktober bis April unter der Hälfte des Durchschnittswertes, während die Sommermonate rund zwei Drittel der normalen Sonnenscheinerwartung empfangen. Tage mit geringem Niederschlag (< 1.0 mm) unterscheiden sich im Sommer kaum noch von den niederschlagsfreien Tagen und bringen im Herbst und Winter durchschnittlich noch zwei Drittel der Durchschnittswerte ein. Die Stufe von 0.0 mm Niederschlag zeigt nur noch von Oktober bis Dezember eine stärkere Trübung als der Durchschnitt aller Tage, sonst aber keine wesentlichen Abweichungen. Im Januar und Juli ist sogar eine überdurchschnittliche Sonnenscheindauer zu verzeichnen. Ihre witterungsklimatologische Deutung finden diese Anomalien bei gleichzeitiger Bezugnahme auf die Sonnenscheindauer.

1.8.2. Aufteilung nach Stufen der Sonnenscheindauer

Mit der Auflösung der Mittelwerte nach Stufen der relativen Sonnenscheindauer (Abb. 6) treten als dominierende Ursachen der Niederschlagsbildung in den Sommermonaten der Konvektionsvorgang, in den Monaten Oktober bis Februar Aufgleit- und Stauprozesse deutlich hervor. In der Niederschlagsstufe 0.0 mm fallen besonders die Wintermonate auf, wo diese geringfügigen Mengen nicht nur bei bedecktem Himmel, sondern auch bei heiterem Wetter als einzelne Schneekristalle oder Eisnadeln ausfallen. Die Isolinien der Häufigkeit weisen dementsprechend ein sekundäres Maximum an Tagen mit viel Sonnenschein auf, das in der warmen Jahreszeit verschwindet. Vom Mai bis zum Juli rückt aber, mit dem Abklingen der Konvektionsbewölkung, das Hauptmaximum in die Stufen hoher Relativwerte. Soweit es noch zu Schauerniederschlägen kommt, zeigen diese eine geringere Ergiebigkeit. Im Oktober erklärt sich die sekundäre Häufigkeit im Bereich hoher Sonnenscheinwerte mit dem Ausfallen von Nebelablagerungen nach Auflösung des Talnebels, sonst durch geringfügige Niederschläge noch während der Nachtstunden, wenn in schnellerer Driftfolge als in den Sommermonaten trübe und regnerische Tage mit vollständiger Aufheiterung abwechseln. In der Niederschlagsstufe 0.1—1.0 mm treten die Einflüsse der sommerlichen Konvektionsbewölkung schon stärker hervor. Nahezu ein Drittel aller Tage ist mit mindestens

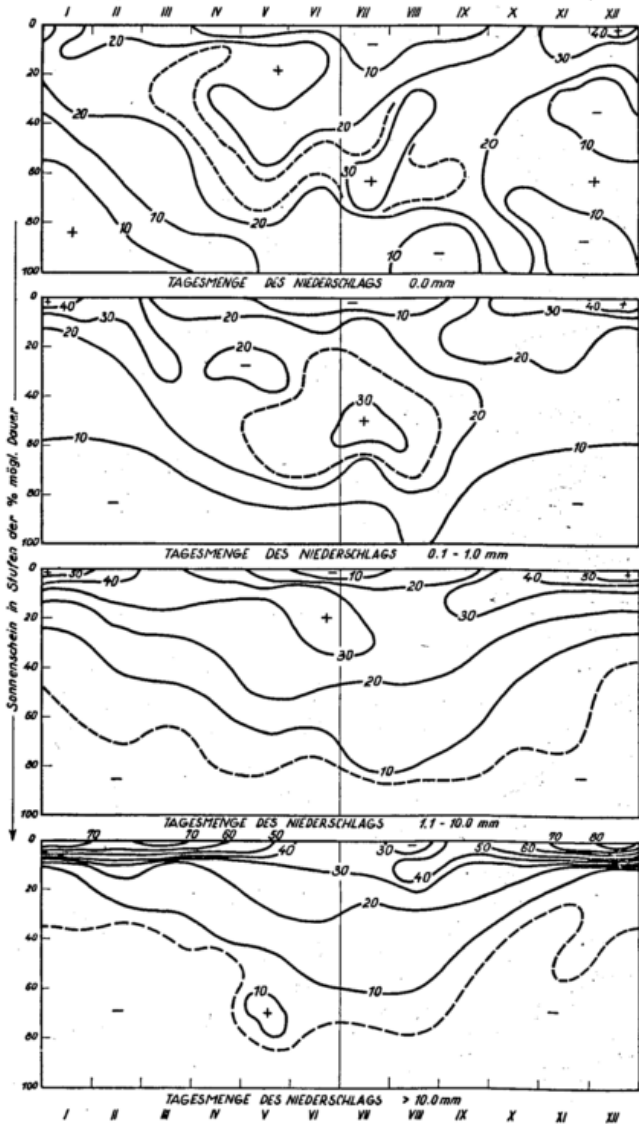


Abb. 6

Sonnenschein an Niederschlagstagen (1937—1956). Prozentuale Häufigkeit von Stufen der relativen Sonnenscheindauer an Tagen mit einer Niederschlagsmenge von x mm

60% relativer Sonnenscheindauer gekoppelt. Völlig bedeckte Tage bleiben, wie in der 0.0-mm-Stufe, ganz zurück. Sie treten erst wieder vom Oktober bis Februar auf. Stärker noch dominieren die trüben Tage des Winters in der Niederschlagsstufe 1.1—10 mm. Wenigstens drei Viertel aller Niederschlagstage dieser Stufe verzeichnen nur noch höchstens 20% relativer Sonnenscheindauer, mehr als die Hälfte bleibt ohne Sonnenschein. Die sommerlichen Verhältnisse, besonders aber die der Übergangszeiten, lassen schon die Niederschlagsergiebigkeit der Staulagen erkennen. An Tagen mit Konvektionshimmel hat dieser Niederschlagsenertrag schon eine frühzeitige Bewölkungszunahme zur Voraussetzung. Tage mit mehr als 10 mm Niederschlag zeigen nur noch in der Zeit von Juni bis August eine Kopplung mit Konvektionsvorgängen. Sie machen etwa 20% aller Fälle aus und sind durch kurz andauernde ergiebige Starkregen an Tagen mit relativ hoher Sonnenscheindauer gekennzeichnet. Mehr als 60% aller Niederschlagstage sind auch in dieser Jahreszeit an sonnenscheinarme Staulagen gekoppelt. Im Winter ist diese Niederschlagsstufe überwiegend mit trübem Wetter identisch.

Zusammenfassend ergibt sich, daß Niederschlagstage im Sommer keine wesentliche Einbuße an Sonnenschein aufweisen, sofern die Niederschläge höchstens 1 mm ausmachen. Tage mit größerem Niederschlagsenertrag sind mehr und mehr an stärkere Himmelsbedeckung

gebunden. Im Winter sind die Niederschlagstage auch bei kleineren Mengen überwiegend mit trübem Witterungscharakter verbunden.

1.8.3. Vergleich mit anderen Orten

Ein Vergleich mit anderen Örtlichkeiten nach den Bearbeitungen von Huber (31) und Steinhauser (32) (Tab. 16) läßt wiederum die Bevorzugung der höheren Alpenrandlagen erkennen. Das Partenkirchner Tal, schon innerhalb des Alpengebietes, hat an Niederschlagstagen im Winter gerade die Hälfte, im Sommer zwei Drittel der relativen Sonnenscheindauer auf dem Hohenpeißenberg aufzuweisen. Die Staulagen wirken sich dort viel intensiver und anhaltender aus; bei starker Ausstrahlung in den Übergangs- und Wintermonaten deckt der Talnebel die Sonne viel länger ab, und in den Sommermonaten mindert die von den Berghängen verstärkte Konvektionsbewölkung die Sonneneinstrahlung viel stärker. Die Verhältnisse im Vorland (München) sind unter sommerlichen Verhältnissen noch ungünstiger, weil der wolkenauflösende Einfluß des Föhns kürzer und seltener zur Auswirkung kommt. Während der Wintermonate fehlen dort zwar die unmittelbaren Stauerscheinungen des Gebirgsrandes, aber die Eintrübungen erweisen sich dauerhafter als auf dem Hohenpeißenberg. Die Verhältniszahlen aus Nordbayern liegen allgemein höher als in den beiden vorgenannten Gruppen, vermögen aber nur im Dezember und Januar den Alpenrand zu übertreffen, weil der Gebirgsstau nicht in Erscheinung tritt. Die Oberrheinebene zeigt an Niederschlagstagen allgemein sehr niedrige Sonnenscheinwerte, für die wohl neben der Staubewölkung an den Randerhebungen die unzureichende Durchlüftung des Rheingrabens verantwortlich zu machen ist. Wesentlich höher, besonders im Winter, liegen jedoch die relativen Sonnenscheinwerte an Niederschlagstagen von Wien im Lee am Alpenostrand. Dem winterlichen Anteil von 62% kommt jedoch bei dem wegen der häufigen Nebel- und Hochnebelagen sehr niedrigen Mittel aller Tage nur eine geringe Bedeutung zu. Das gilt auch für andere alpine Tallagen (siehe 32). Im Vergleich zu alpinen Hochlagen entsprechen die jahreszeitlichen Anteile von Hohenpeißenberg etwa denen aus Höhen um 1600 m (Hahnenkamm, Feuerkogel).

Das aus dem regionalen Vergleich (Tab. 16) ersichtlich gewordene unterschiedliche Verhältnis der jahreszeitlichen Anteile hat Conrad (34) nach dem Material von Steinhauser (32) zur Ableitung einer Beziehung des Quotienten Sommer:Winter der relativen Sonnenscheindauer an Niederschlagstagen zur Höhenlage benutzt. Das Verhältnis nimmt im Alpengebiet mit zunehmender Seehöhe nach einer Exponentialfunktion ab und beträgt

in	200	400	600	1000	1500	2000	3000 m
	3.468	2.788	2.454	2.089	1.839	1.565	1.478.

In den tieferen Lagen bedingen die sommerlichen Konvektionstypen des Niederschlags bei nur zeitweiliger Sonnenabdeckung gegenüber den winterlichen Tal- und Hochnebellagen mit langanhaltender Eintrübung die Größe des Quotienten. In den höheren Lagen gleicht sich das Verhältnis, wegen der durch Hangaufwinde verstärkten sommerlichen Konvektionsbewölkung gegenüber den auch an Niederschlagstagen lokal wirksamen föhnigen Wolkenauflöckerungen mehr aus. Für den Hohenpeißenberg ergeben sich nach den für die gleichen Zeitabschnitte berechneten Jahreszeiten Quotienten nach Tab. 17. Mit 2.03 entspricht das Verhältnis So:Wi angenähert der von Conrad abgeleiteten Höhenbeziehung und bestätigt deren Gültigkeit. Der Wert liegt um ein geringes höher als der von Conrad's Vergleichsstationen aus 780 und 830 m, deren

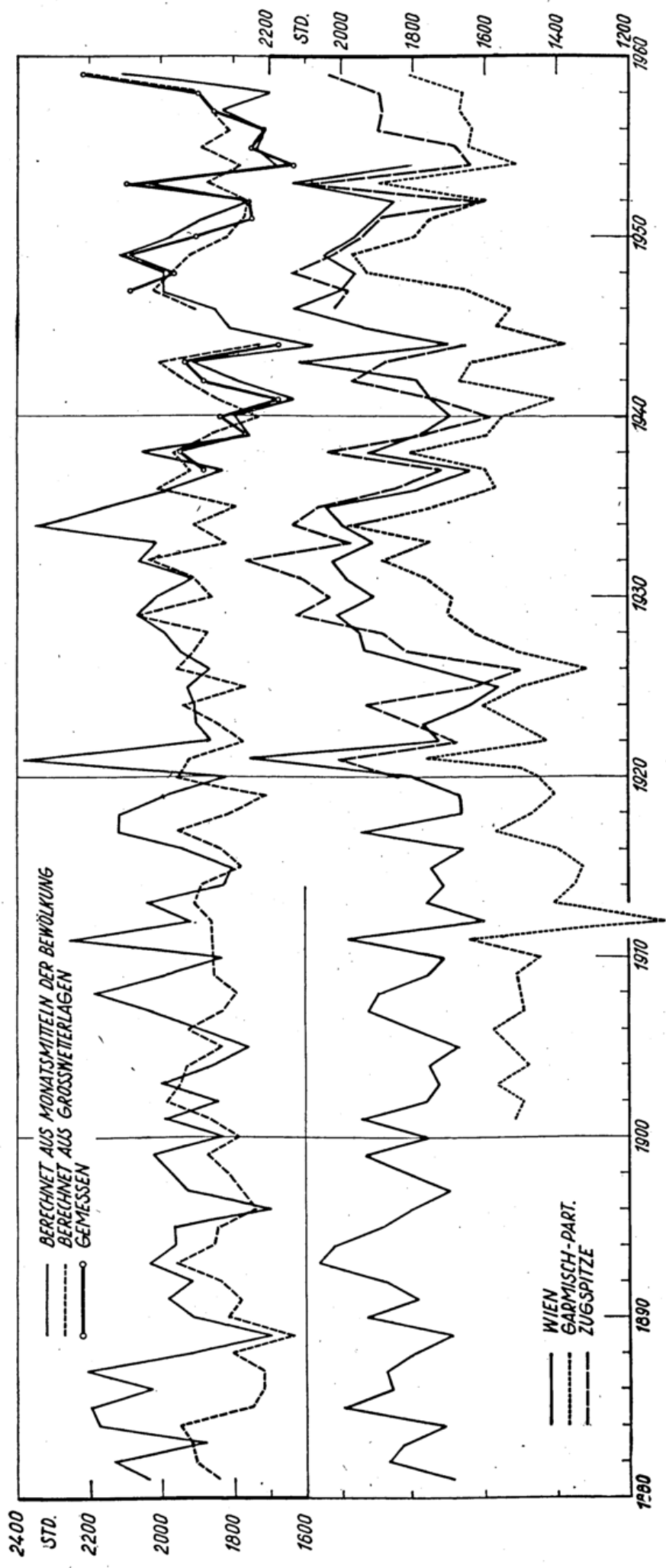


Abb. 7a
Jahressummen der Sonnenscheindauer, berechnet aus der Bewölkung und aus der spezifischen Dauer von Großwetterlagen

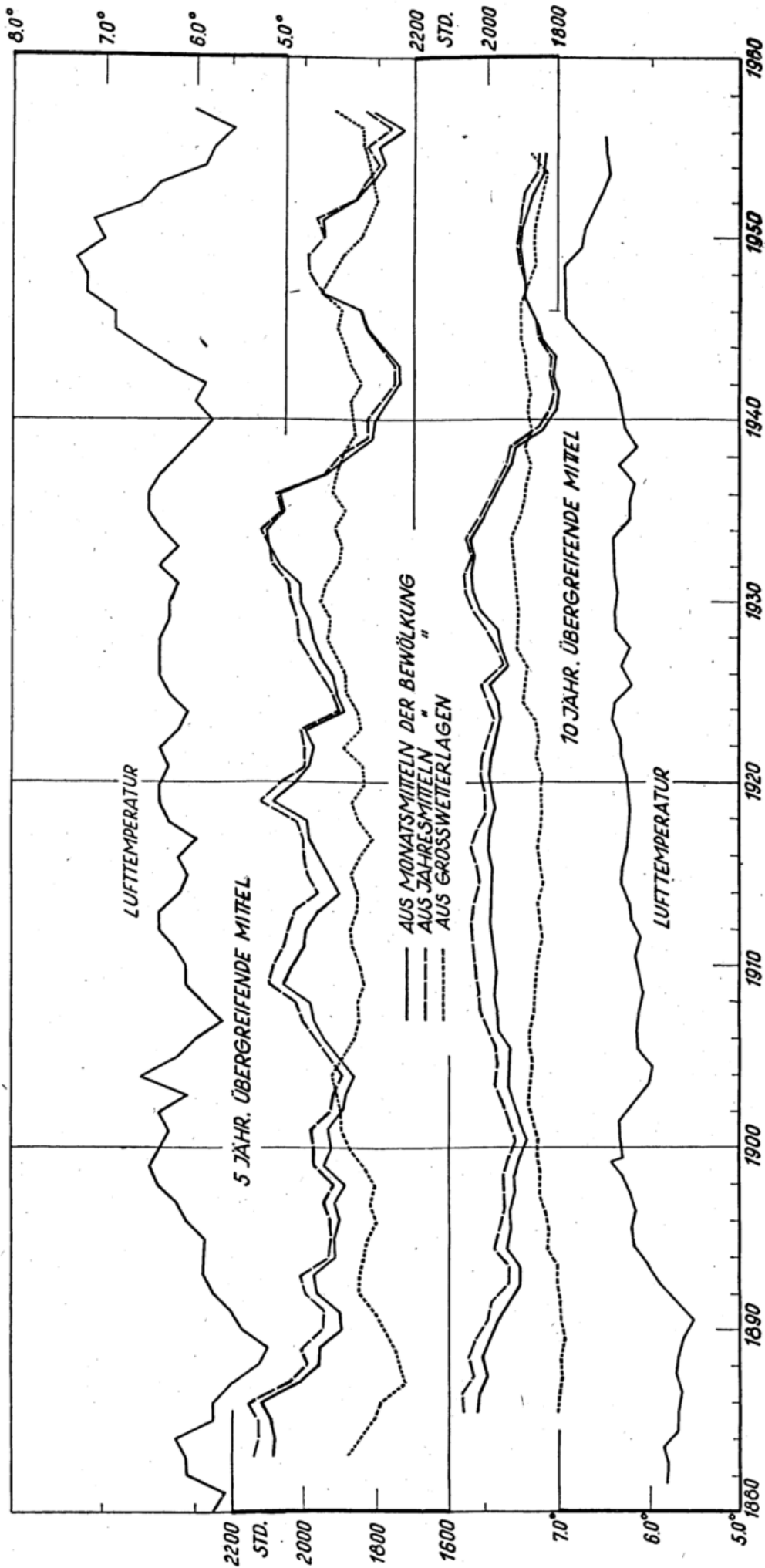


Abb. 7b
Jahressummen der Sonnenscheindauer wie Abb. 7a und Jahresmittel der Lufttemperatur, 5- und 10jährig übergreifend

Verhältniszahlen gegenüber seiner Kurve etwas zu niedrig ausfallen. Gegenüber dem Verhältnis von 1.41 aus dem Mittel aller Tage nimmt der Quotient mit der Niederschlagsmenge zu, ein Beweis dafür, daß auch die stärkeren Niederschläge im Sommer noch vielfach durch Konvektionsvorgänge ausgelöst werden, ohne daß es dabei zu länger anhaltender Abdeckung der Sonne kommt.

1.8.4. Aufteilung nach Großwetterlagen

Bei einer Ordnung der Niederschlagstage nach Großwetterlagen (Tab. 18) ergeben sich ähnliche Beziehungen, wie sie für alle Tage gefunden wurden (siehe Abschnitt 1.7 und Tab. 13). Die zu föhniger Aufheiterung neigenden Lagen (Großtyp SW, S, SE) haben an Niederschlagstagen mehr Sonnenschein zu erwarten, als es dem Durchschnitt der einzelnen Niederschlagsstufen entspricht, und kaum weniger, als bei diesen Wetterlagen für alle Tage gefunden wurde. Auch die Westlagen haben an Niederschlagstagen kaum eine Einbuße an Sonnenschein aufzuweisen, weil sie im Alpenvorland auf der Vorderseite einer Störung mit präfrontaler Aufheiterung, auf der Rückseite mit stärkerer Labilität und Schauerwetter verbunden sind. Verhältnismäßig hohe Relativzahlen weisen auch die Ostlagen mit ihrer Zufuhr vorherrschend kontinentaler Luft, und die zentralen Hochdrucklagen auf. Mehr Sonnenschein, als dem Gesamtkollektiv der entsprechenden Niederschlagsstufen entspricht, ist bei ausgesprochen zyklonalen Lagen, der Ww- und der TM-Lage zu verzeichnen. Auch hier sind die Vorderseiten zumeist mit föhniger Aufheiterung, die Rückseiten mit stark wechselnder Bewölkung und der Tendenz zum raschen Aufklaren verbunden. Niedrigere Relativzahlen fallen allein bei den zu anhaltenden Stauerscheinungen neigenden NW-, N- (N und HB) und NE-Lagen auf, sie liegen unter dem Durchschnitt der entsprechenden Niederschlagsstufen. Mit diesen Wettersituationen sind vielfach die zu Dauerniederschlägen neigenden Witterungsfälle verbunden. Für alle Lagen gilt, daß eine wesentliche Beeinträchtigung der Sonnenscheinerwartung erst bei höheren Niederschlagsmengen eintritt.

1.9. Der säkulare Gang der Sonnenscheindauer

Längere ausreichend homogene Meßreihen der Sonnenscheindauer zur Beurteilung ihres säkularen Ganges liegen aus dem süddeutschen Raum nicht vor. Es lag daher nahe, aus der Kopplung zu anderen Elementen oder wetterlagegebundenen Zuständen die erst 1937 begonnene Beobachtungsreihe der Sonnenscheindauer durch Rechnung nach früheren Jahren hin zu extrapolieren. Nutzbare Beziehungen sind gegeben zur Bewölkung durch die Beziehung $S + B = 100 \pm \Delta$ (siehe Abschnitt 1.6) und zur Großwetterlage durch die ihr zukommende spezifische Sonnenscheindauer (siehe Abschnitt 1.7). Beide Bezugsgrößen wurden zur Extrapolation zurück bis zum Jahre 1881 benutzt. Mit diesem Jahre beginnt der von Heß und Brezowsky (28) aufgestellte Katalog der Großwetterlagen Europas. Etwa zur gleichen Zeit (1879) wurde die Station Hohenpeißenberg in das neu eingerichtete bayerische Beobachtungsnetz einbezogen. Seitdem wird nach einheitlichen Instruktionen die Bewölkung nach Zehnteln der Himmelsbedeckung geschätzt. Versuche, auch frühere, nach der 4teiligen Skala durchgeführte Bewölkungsschätzungen der alten Pfarrhausreihe für diese Rechnungen zu verwenden, mußten abgebrochen werden, weil die Beobachtungswerte offensichtlich zu niedrig liegen*).

* Eine inzwischen durchgeführte neue Überarbeitung der Bewölkungsbeobachtungen der „alten Reihe“ ergab befriedigende Resultate. Mit der Veröffentlichung dieser Werte ist demnächst zu rechnen.

1.9.1. Berechnung nach dem Bewölkungsgrad

Nach den in Abschn. 1.6 abgeleiteten Beziehungen wurde für jeden Monat des gesamten Zeitraums 1881 bis 1959 aus dem für jeden Monat gültigen Summenwert ($100 \pm \Delta$) gemäß Tab. 10 und dem jeweiligen, den Klimatabellen bzw. dem Meteorologischen Jahrbuch entnommenen Monatsmittel der Bewölkung nach der Gleichung

$$S = (100 \pm \Delta) - B$$

die relative Sonnenscheindauer berechnet. Die Beobachtungslücke April/Mai 1945 wurde hierbei durch Interpolation der Bewölkungsmittel nach den Stationen Augsburg-St. Stephan und Füssen-Horn geschlossen. Durch Vergleich mit der astronomisch möglichen Dauer (Tab. 2) ergibt sich die Monatssumme in Stunden und durch Addition der zwölf Monatssummen die Jahressumme der Sonnenscheindauer. Vergleichsweise wurde die Jahressumme auch unmittelbar aus dem Jahresmittel der Bewölkung und dem Jahresmittelwert für $(S + B)$ (Tab. 10) berechnet.

Die nach Monatswerten berechneten Jahressummen sind in Abb. 7a und, nach Glättung durch 5jährig bzw. 10jährig übergreifende Mittel, in Abb. 7b wiedergegeben. Im Vergleich zu den seit 1937 gemessenen Jahressummen ergibt sich ein völlig gleichsinniger Verlauf beider Ganglinien. Vor allem treten die mit Spitzenwerten herausfallenden Jahre (Maxima: 1959, 1953, 1949, 1943, 1938; Minima: 1954, 1944, 1941) bei den berechneten Werten in gleicher Weise hervor. Das berechtigt zu der Annahme, daß auch die im Zeitraum 1881—1936 hervortretenden Spitzen der berechneten Ganglinie reell sind.

Geht man in den Jahren, die eine relativ große Abweichung der berechneten von den beobachteten Werten zeigen (z. B. 1958 mit 200 Std.), den stärker abweichenden Einzelwerten (z. B. Juli 1958 mit 43 Std.) nach, so findet sich dort für die Summe $(S + B)$ statt eines Durchschnittswertes von 112 ein Monatsmittel von 133. Einzelne Tage mit Werten in der Größenordnung 120 bis 150 sind gekennzeichnet durch dünne, durchscheinende Cirrusbewölkung bei antizyklonalen Großwetterlagen oder durch Föhn mit Ac-Wellen, d. s. Tage, an denen trotz hoher Bewölkungsgrade zugleich eine hohe Sonnenscheindauer registriert wurde. Eine Häufung solcher Tage setzt dann die Monatssumme $(S + B)$ erheblich herauf, ergibt aber, da die Rechnung auf den niedrigeren Mittelwerten basiert, zu niedrige Sonnenscheinwerte.

1.9.2. Berechnung nach der spezifischen Sonnenscheindauer

Nach der in Abschn. 1.7 für jede Großwetterlage abgeleiteten mittleren, spezifischen Sonnenscheindauer (Tab. 13, a) wurden nach deren Häufigkeit in jedem Monat des Zeitraums 1881—1959, die den einschlägigen Veröffentlichungen (28, 29) zu entnehmen ist, die Monatssummen und daraus die Jahressummen der Sonnenscheindauer dieses Zeitraums berechnet. Die aus den Jahressummen sich ergebende Ganglinie ist ebenfalls in Abb. 7a wiedergegeben. Auffällig ist, daß hierbei die Spitzenwerte ungewöhnlich sonnenscheinreicher Jahre (1953, 1934, 1921, 1911, 1908 und die Jahre 1884 bis 1887) nur ungenügend oder gar nicht hervortreten. Jahre mit großer Abweichung von den beobachteten Werten (z. B. 1953 mit —227 Std.) erhalten ihren Fehlbetrag besonders in den Übergangsmontaten z. B. November 1953 mit 63 Std. Differenz) aufgeprägt, wenn antizyklonale Typen einer Großwetterlage fortdauernd wesentlich höhere Sonnenscheinwerte vermitteln, als es dem Durchschnitt dieser Lage dieser Jahreszeit zukommt (z. B. BM, Nwa, Wa).

1.9.3 Vergleich beider Berechnungsarten

Für den vergleichbaren Zeitraum 1937—1959 läßt sich die Güte beider Berechnungsarten durch Vergleich mit den gemessenen Jahressummen durchführen (Tab. 19). Für die Berechnung aus Bewölkungsgraden ergibt sich für beide Methoden eine mittlere Abweichung, die mit +82 bzw. 77 Std., entsprechend etwa 4% der mittleren Jahressumme dieses Zeitraums sich als nahezu gleichwertig erweist. Dabei zeigt die Berechnung nach Jahresmitteln die geringste mittlere und maximale Abweichung und, nach der Häufigkeit von Stufenwerten der Abweichung zusammengestellt, die häufigsten Fälle innerhalb einer Differenz von 5% und keine über 10%. Nicht ganz so günstig fällt die Berechnung nach Monatsmitteln der Bewölkung aus, bei denen aber noch mehr Fälle mit einer Abweichung von weniger als 1% zu verzeichnen sind. Der Berechnung nach Monatsmitteln wurde der Vorzug gegeben, weil sie auch die Ableitung von Jahreszeitenwerten zuläßt. Die Berechnung aus der den einzelnen Großwetterlagen zukommenden spezifischen Sonnenscheindauer bleibt dagegen mit 102 Std. (5.5%) mittlerer und 227 Std. maximaler Abweichung unterlegen, wenngleich die Häufigkeitsstufen der einzelnen Differenzen eine ähnliche Verteilung zeigen wie bei der Berechnung nach Monatsmitteln der Bewölkung.

Spitzenwerte überdurchschnittlich sonnenscheinreicher Jahre, die aus der Witterungsgeschichte bekannt sind und aus dem Gang anderer vergleichbarer Witterungselemente oder den in Abb. 7a zum Vergleich beigefügten Sonnenscheinwerten von Wien, Garmisch-Partenkirchen und, unter Vorbehalt wegen der Gipfellage (2 965 m) der Zugspitze, zu folgern sind, treten innerhalb des extrapolierten Zeitabschnittes, d. h. vor 1938, bei der Berechnung nach Großwetterlagen kaum noch in Erscheinung. Innerhalb dieses Zeitraums entfernen sich auch die aus beiden Berechnungsarten nach 10jährig übergreifender Mittelung geglätteten Ganglinien immer mehr voneinander, in der Dekade 1881/1890 bis auf mehr als 200 Std. Auch deren Gang läuft z. T. völlig entgegengesetzt, z. B. im Zeitraum 1880—1900, sowie 1906—1927. Es muß sich also in der Zeit seit 1881 eine der Beziehungen, auf die sich die Berechnungen gründen, gegenüber den beiden letzten Dezennien geändert haben. Bei einem Vergleich beider geglätteten Ganglinien mit den von Steinhäuser (35) publizierten Werten der säkularen Änderungen der Sonnenscheindauer in den Ostalpen entspricht jedoch der aus den Bewölkungsgraden abgeleitete Gang der Sonnenscheindauer weitgehend den dortigen Verhältnissen. Insbesondere stimmen Lage und Höhe der Maxima mit den Ganglinien der dort wiedergegebenen Bergstatio-

nen überein. Es wird daher dieser Berechnungsart der Vorzug gegeben.

Zugleich ist zu folgern, daß sich aus der Großwetterlage ergebende Äquivalente über längere Zeit nicht gleichwertig erhalten. Die den einzelnen Großwetterlagen in den beiden letzten Jahrzehnten entsprechende spezifische Sonnenscheindauer muß in den 1940 vorausgegangenen Dekaden größer gewesen, der Bewölkungsgrad geringer gewesen sein. Änderungen der Beziehung könnten durch unterschiedliche Anteile zyklonaler oder antizyklonaler Formen der einzelnen Zirkulationstypen hervorgerufen worden sein, die für Süd-Deutschland, vielleicht sogar für ganz Mitteleuropa einen verschiedenen Witterungscharakter zur Folge haben. Diese Unterscheidung ist jedoch im Katalog der Großwetterlagen (28) noch nicht durchgeführt worden und konnte daher bei der Ableitung der spezifischen Sonnenscheindauer (Abschn. 1.7.) nicht berücksichtigt werden.

Auch die beiden nach 5jährig übergreifenden Mitteln dargestellten Ganglinien nach der Berechnung aus Bewölkungsmitteln beginnen schon mindestens vor 1920 etwas auseinanderzulaufen. Die Monatswerte (S + B), und damit deren Jahresmittel müssen sich ebenfalls geringfügig geändert haben. Es bestätigt sich damit die auch bei der Bearbeitung anderer Elemente gemachte Erfahrung, daß Mittelwerte über kürzere Zeiträume nur unter Vorbehalt auf längere Zeiträume übertragen werden können, weil sich mit dem Mittelwert meist auch dessen jahreszeitliche Grundlagen, bedingt durch Änderungen in der Intensität des Großaustausches und deren Auswirkungen auf die Witterung, verändern.

1.9.4 Säkulare Schwankungen der Sonnenscheindauer

Für den Zeitraum 1881—1959 ergibt sich nach dem durch 10jährig übergreifende Mittel geglätteten Verlauf der Sonnenscheindauer folgender großzügiger Überblick (Abb. 7b):

Seit 1881 erst schnellere, dann, nach Unterbrechung 1894, langsamere Abnahme der Jahressummen bis 00/01*). Langsamer Wiederanstieg bis 25/26. Nach Verwerfung der Ganglinie 1926 setzt eine sinusförmige Schwankung der Werte ein, deren erste Welle zum Höchstwert der ganzen Reihe (31/34) aufsteigt und bis zum Tiefststand der ganzen Reihe (41/42) läuft und deren zweite Welle bis etwa 54/55 pendelt. Im einzelnen lassen sich aus den 10jährig übergreifenden Mitteln folgende Abschnitte analysieren:

* Im folgenden werden die Dekaden immer mit den Jahreszahlen bezeichnet, die der Mitte des 10jährigen Zeitabschnittes entsprechen. Dabei werden die Hunderter und Tausender fortgelassen; z. B. bedeutet 00/01 die Dekade von 1896—1905.

Welle von bis	Maximum um	Tendenz zwischen Beginn und Ende	Eingeschlossene Höchstwerte	Eingeschlossene Tiefstwerte
? - 92/93	1884/85 (2020 Std.)	fallend	1885 (2199 Std.) 1887 (2207 Std.)	1889 (1697 Std.)
93/94-00/01	1894 (1940 Std.)	fallend	1899 (2021 Std.)	1896 (1695 Std.)
00/01-15/16	12/13 (1990 Std.)	steigend	1908 (2190 Std.) 1911 (2258 Std.)	1905 (1752 Std.) 1910 (1822 Std.) 1915 (1801 Std.)
16/17-25/26	16/17, 20/21 (2000 Std.)	gleichbleibend	1921 (2513 Std.)	1920 (1814 Std.)
26/27-41/42	1931, 1934 (2040 Std.)	fallend	1934 (2346 Std.)	1937 (1884 Std.) 1941 (1674 Std.)
41/42-54/55	49/50 (1920 Std.)	steigend	1947 (2088 Std.) 1949 (2094 Std.) 1953 (2093 Std.)	1954 (1626 Std.)
54/55 - ?		steigend ?	1959 (2214 Std.)	

Einer größten Jahressumme von 2513 Std. im Jahre 1921 steht die niedrigste (gemessene) von 1626 Std. im Jahre 1954 gegenüber. Besonders bemerkenswert ist der starke Abfall der Werte nach 1934: Dem größten übergreifenden Zehnjahresmittel von 2044 Std. im Dezennium 31/32 folgt verhältnismäßig rasch der niedrigste Wert mit 1798 Std. im Dezennium 41/42. Im Gebiet der Ostalpen ist dieser Abfall schon im Lustrum 1938 beendet.

Noch deutlicher treten die einzelnen Pendelungen bei der Darstellung nach 5jährig übereinandergreifenden Mitteln der berechneten Jahressummen hervor. Auch der Zeitraum vor dem Dezennium 26/27 ist jetzt von einzelnen Schwankungen beherrscht, deren Minima etwa von den Lustren*) 1890, 1904, 1914, 1924 gebildet werden und die in der Folgezeit auf 1942 und 1956 fallen. Dem Maximum von 1934 stellt sich gleichwertig 1919 und 1886 zur Seite. Die Tiefstände der ganzen Reihe verbleiben bei 1942 und 1956.

Die Tendenz der ganzen Reihe findet im säkularen Gang der Jahresmittel der Temperatur nur für begrenzte Abschnitte ihre Parallele (siehe die in Abb. 7b eingetragene Kurve 5- und 10jährig übergreifender Jahresmittel der Temperatur). Es darf nicht übersehen werden, daß in höheren Lagen die Sonnenscheindauer allein nicht mehr Ausdruck für die Schwankungen des dem Boden zukommenden Strahlengusses und dessen Erwärmung ist, weil die direkte Sonnenstrahlung nur noch etwa die Hälfte an Wärmeenergie liefert, die andere Hälfte jedoch durch die Himmelsstrahlung zugeführt wird. Auch Zirkulationsanomalien können sich in den Wintermonaten auf die Jahresmittel von Temperatur und Sonnenscheindauer sehr verschieden, oft sogar gegensätzlich auswirken.

Die aus der mittleren Bewölkung berechneten Monats- und Jahressummen der Sonnenscheindauer für den Zeitraum 1881—1959 sind der Tab. 20 zu entnehmen. Als Mittelwerte ergeben sich für die ganze Reihe 1881—1959 bei

Berechnung aus Monatsmitteln der Bewölkung	1944 Std.
Berechnung aus Jahresmitteln der Bewölkung	1957 Std.
Berechnung nach Großwetterlagen	1864 Std.
Bei der Berechnung aus Monatsmitteln der Bewölkung ergeben sich	
für den Zeitraum 1891—1930	1961 Std.
für den hier behandelten Zeitraum 1937—1959	1842 Std.
Demgegenüber liegt der Mittelwert der gemessenen Sonnenscheindauer	
im Zeitraum 1937—1959 bei	1868 Std.
bei Reduktion dieser Reihe auf die Periode 1891—1930 nach Abschn. 1.2.4.	
	1729 Std.

Statt eines um rund 140 Std. niedrigeren Durchschnittswertes in der Periode 1891—1930 ergibt sich bei Berechnung aus der Bewölkung ein um rund 120 Std. höherer Wert. Diese wenig befriedigende Gegenüberstellung läßt gleichfalls auf eine Änderung der den Berechnungen bzw. der Reduktion zugrundeliegenden Beziehungen schließen und mahnt zur Vorsicht, extrapolierte Werte in ihrer absoluten Größe für einzelne Jahre zu verwenden. Die Realität der Tendenz ihrer Änderungen von Jahr zu Jahr kann jedoch nicht in Zweifel stehen.

*) Die Jahreszahlen beziehen sich auf die Mitte des Lustrums; z. B. bezeichnet die Angabe 1890 den von 1888—1892 reichenden Zeitabschnitt.

2. Die Globalstrahlung und ihre Komponenten

2.1. Zur Meßmethode

2.1.1. Allgemeines

Registrierungen der Globalstrahlung werden auf dem Hohenpeißenberg seit dem 24. Jan. 1948 mit dem Pyranographen nach Robitzsch, seit dem 13. Sept. 1951 mit dem Pyranometer nach Moll-Gorczyński („Solarimeter“) durchgeführt. Seit dem 21. März 1953 wird mit einem zweiten abgeschatteten Solarimeter die Himmelsstrahlung registriert. Mit der 1956 erfolgten Einrichtung eines klimatologischen Strahlungsnetzes des Deutschen Wetterdienstes gem. Empfehlung 31 (CIMO - I) der Weltorganisation für Meteorologie wurde die Aufstellung in das primäre Netz einbezogen.

Die Geräte waren zunächst auf dem Dach des Observatoriums aufgestellt. Über die geringfügige Abdeckung der direkten Sonnenstrahlung an diesem Standort siehe Abschn. 1.1.

H = 975.0 m, h_a = 15.0 m.

Nach Ausbau einer Plattform wird seit dem 1. Juli 1952 auf dem Turm des Observatoriums registriert. Die Geräte sind hier praktisch unbehindert.

H = 975.0 m, h_a = 30.0 m.

Messungen mit dem Pyranographen (Hersteller: R. Fuess, Berlin-Steglitz).

Eingesetzt wurden

- Nr. 1 260 535 mit dem Eichfaktor K = 26.3
bis 18. Juni 1949
- Nr. 1 121 885 mit dem Eichfaktor K = 22.2
bis 30. Juni 1952
- Nr. 1.121 919 mit dem Eichfaktor K = 24.3
bis 11. Febr. 1956
- Nr. 1 260 570 mit dem Eichfaktor K = 28.0
bis 28. Febr. 1958
- Nr. 1 322 205 (mit Casparis-Scheibe und Summer)
seit dem 30. April 1957
- Nr. 1 260 553 (mit Casparis-Scheibe und Summer)
seit dem 11. Juni 1958.

Zur Auswertung wurden aus der Registrierkurve die Flächenwerte für 2-Std.-Intervalle mit der zugehörigen Auswerteschablone ermittelt, die Energiewerte mit den nach Angaben von Stapf (36) im Deutschen Wetterdienst verwendeten Umrechnungszahlen berechnet, bei denen die jahreszeitliche Änderung des Faktors bereits berücksichtigt ist. Die Tagessummen wurden durch Addition der 2-Std.-Intervalle gebildet. Seit 1. Jan. 1957 werden die Tagessummen aus planimetrierten Flächenwerten abgeleitet. Die Umrechnungsfaktoren Energie/Flächeneinheit wurden vom Hersteller bzw. den Instrumentenämtern durch Vergleich mit Standardgeräten ermittelt.

Messungen mit dem Solarimeter (Hersteller: Kipp & Zonen, Delft, Holland)

Eingesetzt wurden zur Messung der Globalstrahlung

- Nr. 681 seit 13. Sept. 1951
- Nr. 785 seit 17. Febr. 1953
- Nr. 880 seit 1. Febr. 1955
- Himmelsstrahlung
- Nr. 681 seit 21. März 1953
- Nr. 781 seit 1. Febr. 1955
- Am 14. Mai 1959 wurden beide Geräte durch Blitzschlag zerstört.
- Nr. 785 seit 15. Mai 1959
- Nr. 681 seit 22. Juni 1959

Zur Messung der Himmelsstrahlung wird die Sonne durch einen nicht reflektierenden Metallbügel von

60 mm Breite und 155 mm Krümmungsradius abgedeckt. Der Bügel wird von Zeit zu Zeit, je nach Sonnenhöhe, von Hand in Richtung seiner Achse, die parallel zur Erdachse angeordnet ist, verschoben.

Registriert wurde anfangs auf Zweifach-Punktschreiber mit 70 mm Skalenbreite, seit 1. Febr. 1955 auf Sechsfach-Punktschreiber mit 120 mm Schreibbreite (Hersteller: Hartmann & Braun, Frankfurt a. M.).

Zur Auswertung werden Flächenwerte durch graphische Mittelung des Kurvenabschnitts über eine halbe Stunde mittels einer durchsichtigen mm-Skala abgeleitet. Gegenüber der planimetrischen Ermittlung von Flächen ergibt die angewandte Methode eine viel kleinere Streuung der Einzelwerte, benötigt nur etwa die halbe Zeit und erfaßt noch kleinste Erhebungen der Kurve, bei denen die Planimetrierung versagt.

Die Umrechnungsfaktoren Fläche/Energie für die registrierte Globalstrahlung wurden aus Vergleichen mit dem Bimetall-Aktinometer Michelson Nr. 29 abgeleitet und laufend überwacht. Hierzu wird beim Solarmeter zur Ermittlung der Differenz Global minus Himmel die Sonne zeitweilig abgedeckt. Die Abdeckscheibe ist so dimensioniert, daß ihre Schattenwirkung dem Öffnungswinkel des Vergleichsaktinometers entspricht (38). Anordnung der Meßreihen bei Vergleichen ($T = \text{Total}$, $H = \text{Himmel}$, $N = \text{Null}$):

Pyranometer: T - H - N - H - T - . . . (3 x)

Michelson: N - T - N - T - N - . . .
(Abstand der Messungen: 30 sec)

Schreiber:
(Abstand der Punktfolge: 60 sec)

Der Eichfaktor des Bimetall-Aktinometers Michelson wird etwa halbjährlich durch Vergleich mit einem Kompensationspyrheliometer nach Angström überwacht.

Die Umrechnungsfaktoren für die registrierte Himmelsstrahlung wurden aus einem Flächenvergleich Global/Himmel einzelner Stundenabschnitte an Tagen mit eindeutig bedecktem Himmel bestimmt. Die von beiden Geräten angezeigten Energiewerte müssen dann praktisch übereinstimmen. Bei diesem Verfahren sind die von dem Abschattungsbügel abgedeckten Himmelspartien bereits berücksichtigt. Bei einem Vergleich vor Sonne mit dem Michelson-Aktinometer müßte die vom Bügel abgedeckte Himmelsstrahlung rechnerisch ermittelt und in Abzug gebracht werden.

Eine im Herbst 1956 hier durchgeführte Parallelregistrierung mit dem Vergleichssolarimeter der Strahlungszentrale Hamburg (Meteorologisches Observatorium) sowie die Aneichung des Michelson Nr. 29 im März 1957 an das Standardaktinometer in Hamburg ergaben praktisch gleichwertige Eichfaktoren (Differenzen beim Pyranometer Nr. 880 : 0.0007, bei Bimetall-Aktinometer Nr. 29 . 0.0001). Eine zweite, nach Abschluß des Internationalen Geophysikalischen Jahres durchgeführte Parallelregistrierung mit dem Hamburger Vergleichssolarimeter ergab nur eine geringfügige, im Rahmen der Meßgenauigkeit liegende Änderung des Faktors um 0.0009 auf 0.0725.

Einige technische Hinweise zur Messung mit dem Solarmeter:

Der Lüftungsstutzen beider Geräte wurde mit einem Schraubgefäß verbunden, in das eine Glasschale mit Blaugel als Trocknungsmittel eingebracht ist. Die Reaktionsfähigkeit des Blaugels kann an der beginnenden Verfärbung leichter kontrolliert werden als die von Chlorcalcium oder gewöhnlichem Silicagel (37). Verbrauches Blaugel kann durch Erhitzen im Trockenschrank auf 130° leicht regeneriert werden. Die bei dem älteren Gerät Nr. 681 vorhanden gewesenen Lüftungslöcher von ca. 1.5 mm ϕ erwiesen sich als zu eng, um

bei stärkeren Temperaturschwankungen einen Beschlag der Innenseite der äußeren Glasglocke zu vermeiden. Eine ausreichende Atmung wurde erst nach Aufbohren auf 2.5 mm erreicht. Bei einem neueren, 1952 beschafften Gerät hat der Fabrikant diesen Lochdurchmesser bereits vorgesehen und außerdem die äußere Glasglocke abschraubbar gemacht, um sie bei auftretendem Beschlag schnell austrocknen zu können. Beschlag tritt auch auf, wenn der Kitt, mit dem die Glocken in der Schraubfassung befestigt sind, austrocknet und undicht wird und Regenwasser bei Wind in das Innere der Glocken gedrückt wird. Ein Nachkitten mit Oppanol ergab eine einwandfreie, elastisch bleibende Dichtung.

Die Schaltung mehrerer Meßbereiche, die je nach Jahreszeit und Wetterlage gewechselt wurden, hat sich nicht bewährt. Die rechtzeitige Umschaltung erfordert eine ständige Betriebsbereitschaft; die Ableitung von Tagessummen, z. B. durch Ausplanimetrieren, ist erschwert. Bei Registrierung auf 120 mm Schreibbreite bleiben die Ausschläge eines einheitlichen Meßbereiches auch bei geringen Strahlungsintensitäten gut auswertbar.

In der hier vorgelegten Bearbeitung wurden bei der Globalstrahlung für 1948—1952 die Meßergebnisse des Pyranographen Robitsch, seit 1953 für alle Komponenten ausschließlich die Solarimetermessungen verwendet. Alle Werte sind auf die (verbesserte) Smithsonian-Skala 1913.0.975 bezogen. Zur Umrechnung in die Internationale Pyrheliometrische Skala 1956 sind sie um 0.5% zu erhöhen.

2.1.2. Zur Genauigkeit der Messungen mit dem Robitzsch-Pyranographen

Die nach Einsatz des Solarimeters weitergeführten Parallelmessungen mit dem Pyranographen Robitzsch lassen eine Überprüfung der jahreszeitlichen Schwankung des Robitzsch-Eichfaktors an Hand der Standardmessungen mit dem Pyranometer von Moll-Gorczyński zu. Untersuchungen der Einflüsse von Sonnenhöhe und Azimut auf den Eichfaktor sowie die unterschiedliche Einwirkung direkter Besonnung und der Himmelsstrahlung, die Olbers (39) ausführlich zusammengestellt und diskutiert hat, begründen die Forderung, die Umrechnung in Energiewerte nach ausgleichenden Monatsfaktoren vorzunehmen und die für die Sommermonate gültigen in den Übergangsmonaten März und September mit dem Wert 0.90, in den Wintermonaten Oktober bis Februar mit 0.82 zu multiplizieren (36). Hierauf beruht der Jahresgang der im Deutschen Wetterdienst verwendeten Umrechnungsfaktoren. Dieser Jahresgang des Eichfaktors wurde von anderen Autoren (z. B. Mörikofer, Schedler, Götz und Casparis) bestätigt. Hier soll die Gültigkeit der im Deutschen Wetterdienst verwendeten Faktoren nach Stapf an Hand der Vergleiche von Monatssummen aus dem Robitzsch-Pyranographen Nr. 1 121 919 mit denen vom Jan. 1953 bis Jan. 1956 überprüft werden.

Für die Umrechnung der mit der Auswertkala (mm) für den Robitzsch-Pyranographen ermittelten Flächeneinheiten in die mit dem Moll-Pyranographen ermittelten Energiewerte wurden die in Tab. 21a, 1. Zeile, zusammengestellten Umrechnungsfaktoren benötigt. Aus der Beziehung $U = 120 : F$ für das 2-Std.-Intervall (= 120 min), worin F dem Ausschlag bei einer Strahlung von 1 cal/cm² entspricht, ergeben sich die in der 2. Zeile aufgeführten Eichfaktoren. Bringt man an den für die Sommermonate gültigen Wert 4.8 die von Stapf vorgeschlagenen Korrekturen an, so würden sich Faktoren nach Zeile 3 mit dem angenommenen Jahresgang ergeben. Dieser Jahresgang ist bei den hier ermittelten Umrechnungsfaktoren nur vom April bis September schwach angedeutet, in den Wintermonaten aber durch einen neuen Anstieg aufgehoben. Es würden sich bei Verwendung eines über das ganze Jahr konstanten Um-

rechnungsfaktors von 4.7 nur geringe Fehler, bei Verwendung der korrigierten Faktoren im Winter jedoch um 15—19% zu geringe Energiesummen ergeben. Mit den hier mit anderen Geräten und anderenorts gemachten Erfahrungen deckt es sich, daß der Jahresgang des Eichfaktors durchaus nicht bei allen Geräten des Robitzsch-Typs gleichwertig anzutreffen ist und daß es notwendig erscheint, die Eichung zu verschiedenen Jahreszeiten zu wiederholen, um einen verlässlichen Einblick in das jahreszeitliche Verhalten des Eichfaktors zu gewinnen.

Die Abhängigkeit der Anzeige des Robitzsch-Pyranographen von der Sonnenhöhe ist vor allem auf die von dem geweißten Teller reflektierte Strahlung zurückzuführen, die je nach dem Einfallswinkel der Sonne in verschiedener Weise auf die unten geschwärzten Bimetall-Lamellen einwirkt. Mit der Einführung der Casparis-Scheibe, einer in Höhe der Lamellen angeordneten Abdeckscheibe, die das Streulicht auf die Unterseite der Lamellen fernhält, gelang es, den Azimuteinfluß auf die Anzeige zu beseitigen und den jahreszeitlichen Einfluß der Sonnenhöhe mehr oder weniger zu glätten, aber nicht zu beseitigen. Wie die in Tab. 21b wiedergegebenen Umrechnungsfaktoren belegen, weisen die Vergleichswerte eines mit Casparis-Scheibe versehenen Pyranographen Robitzsch mit den nach Registrierungen mit dem Pyranographen Moll-Gorczyński ermittelten Energiewerten noch immer einen Jahresgang in gleicher Größenordnung auf. Die Forderung, bei der Eichung die verschiedene individuelle Abhängigkeit der Eichfaktoren von der Sonnenhöhe zu berücksichtigen, bleibt bestehen. Ein Laboratoriumsverfahren hierzu, unabhängig von der Jahreszeit und den Witterungsbedingungen bei Eichung im Freien, bietet sich durch Verwendung der „integrating sphere“ an, die nach Vorschlägen von MacDonald u. Foster (40) in den USA verwendet wird.

2.2. Monats- und Jahreswerte

2.2.1. Ausführliche Tabellen

Die Strahlungssummen aller Monate für die Globalstrahlung seit Mai 1948, deren Anteile Himmelsstrahlung und (als Differenzglied) direkte Sonnenstrahlung seit April 1953, sind in Tab. 22 wiedergegeben und, wie in der gleichartigen Zusammenstellung der Sonnenscheindauer (Tab. 1), nach Jahreszeiten und Jahressummen zusammengefaßt. Die Extreme der Monatssummen sind durch Unterstreichen (Maxima) bzw. Stricheln (Minima) hervorgehoben.

Den mit dem Pyranographen nach Robitzsch in der Zeit von 1948—1952 gewonnenen Strahlungssummen kommt, entsprechend der Eigenart dieses Geräts, eine geringere Meßgenauigkeit zu als den mit dem Pyranometer Moll-Gorczyński seit 1953 gemessenen Werten. Jedoch wurden für die Zeit ab Juni 1949 die Eichfaktoren durch Vergleich mit dem Standardpyranometer belegt und auf ihren jahreszeitlichen Gang hin verbessert (siehe 2.1.2.).

2.2.2. Durchschnitts- und Extremwerte

Der Beobachtungszeitraum seit 1948 (Globalstrahlung) bzw. 1953 (Himmels- und Sonnenstrahlung) ist noch reichlich kurz, um repräsentative Durchschnittswerte für die Strahlungssummen abzuleiten, zumal die Sommermonate des Zeitraumes 1954—1957 durch eine Aufeinanderfolge trüber, niederschlagsreicher Witterungsabschnitte gekennzeichnet waren. Jedoch vermögen Mittelwerte dieser Zeiträume schon eine hinreichende Orientierung über das Strahlungsklima zu liefern, wenn sie, wie hier, hauptsächlich nach witterungsklimatologischen und strahlungsphysikalischen Gesichtspunkten

ausgewertet wurden. Die Mittelwerte der Globalstrahlung sind für den gesamten Zeitraum, soweit ganze Jahresreihen vorliegen (1949—1959, 11 Jahre), ihre Anteile Himmels- und direkte Sonnenstrahlung mit den zugehörigen Mittelwerten der Globalstrahlung für den Zeitraum von April 1953 (Beginn der Registrierungen mit dem Solarimeter) bis März 1959 (6 Jahre) in Tab. 23 wiedergegeben. Ein Vergleich der Mittelwerte der Globalstrahlung beider Zeiträume zeigt, daß die Summen nur noch wenig voneinander abweichen und daß auch der kürzere sechsjährige Zeitabschnitt schon charakteristische Durchschnittswerte zu vermitteln vermag. Sie liegen im letzteren Zeitraum, den Juni und Juli ausgenommen, durchweg etwas höher. Zur besseren Veranschaulichung sind die mittleren und extremen Monatswerte, auf mittlere Tagessummen umgerechnet, in Abb. 8 graphisch dargestellt und der Jahreskurve der Idealstrahlung (siehe Abschn. 2.7.) gegenübergestellt.

Die mittlere Jahressumme von 108 000 cal/cm² entspricht etwa 52% der Idealstrahlung. Die extremen Jahre weichen, weniger als die Sonnenscheindauer, zwischen +8 und -13% vom Durchschnittswert ab. In Anteilen der Idealstrahlung ausgedrückt, macht diese Streuung nur 10% aus. Die höchste Monatssumme hat — wie bei der Sonnenscheindauer — der Juli mit 15150 cal/cm² aufzuweisen, denen als strahlungsärmster Monat der Dezember mit nur 2811 cal/cm² gegenübersteht. Mit diesem Verhältnis von 5.4:1 zwischen dem sommerlichen und winterlichen Strahlungsgenuß einer horizontalen Fläche wird die Bedeutung der Globalstrahlung für alle auf die Erdoberfläche bezogenen energetischen und agrarmeteorologischen Betrachtungen belegt. Dagegen schwankt die Sonnenscheindauer im Jahreslauf nur im Verhältnis von 3:1. Die extremen Monatssummen zeigen gegenüber der Sonnenscheindauer viel geringere Abweichungen vom Durchschnitt, weil die diffuse Himmelsstrahlung als ein gewichtiger Anteil der Bestrahlungsstärke Ausfälle der Sonnenstrahlung teilweise ausgleicht. Die Extreme der Jahreszeiten umfassen eine Schwankungsbreite von 25—30% im Frühling und Sommer, bis 40—45% im Herbst und Winter. Die Überschüsse einzelner Monate steigern sich von 12% im Sommer auf 37% im Winter, während die strahlungsärmsten Monate zu allen Jahreszeiten annähernd gleichwertig um 20—25% niedriger liegen als der Durchschnitt. Diese Schwankungen kommen im wesentlichen durch die sehr unterschiedlichen Beträge der direkten Sonnenstrahlung in anomalen Jahren zustande (Schwankungsbreite 30—181%), während die Himmelsstrahlung viel geringere Unterschiede aufzuweisen hat (9—81%). Der so ungewöhnlich strahlungsreiche Februar 1959 steht mit seiner Anomalie einzig da (Sonnenstrahlung +120%, Himmelsstrahlung -44%).

Bei den Jahreszeitensummen steigert sich vom Winter zum Frühling der Strahlungsgenuß der horizontalen Fläche auf den etwa dreifachen Betrag, zum Sommer auf das annähernd Vierfache, um ein geringfügiges mehr durch Anteile der Sonnen- als durch die Himmelsstrahlung. Am meisten begünstigt ist der Zeitabschnitt der sogenannten „kleinen Vegetationsperiode“ (Mai—Juli), die sich enger an den Sonnenhöchststand lehnt als das Quartal des meteorologischen Sommers. Ebenso greift die 6 Monate umfassende „große Vegetationsperiode“ eine viel höhere Strahlungssumme heraus, als sie Frühling und Sommer zusammen in der meteorologischen Jahreseinteilung erbringen, weil der September noch strahlungsbegünstigter ist als der März. Der März kommt in höheren Lagen des Alpenvorlandes ohnehin der Pflanzenentwicklung noch wenig zugute, weil die zugestrahlte Energie zunächst zum Abschmelzen der winterlichen Schneedecke aufgebraucht wird.

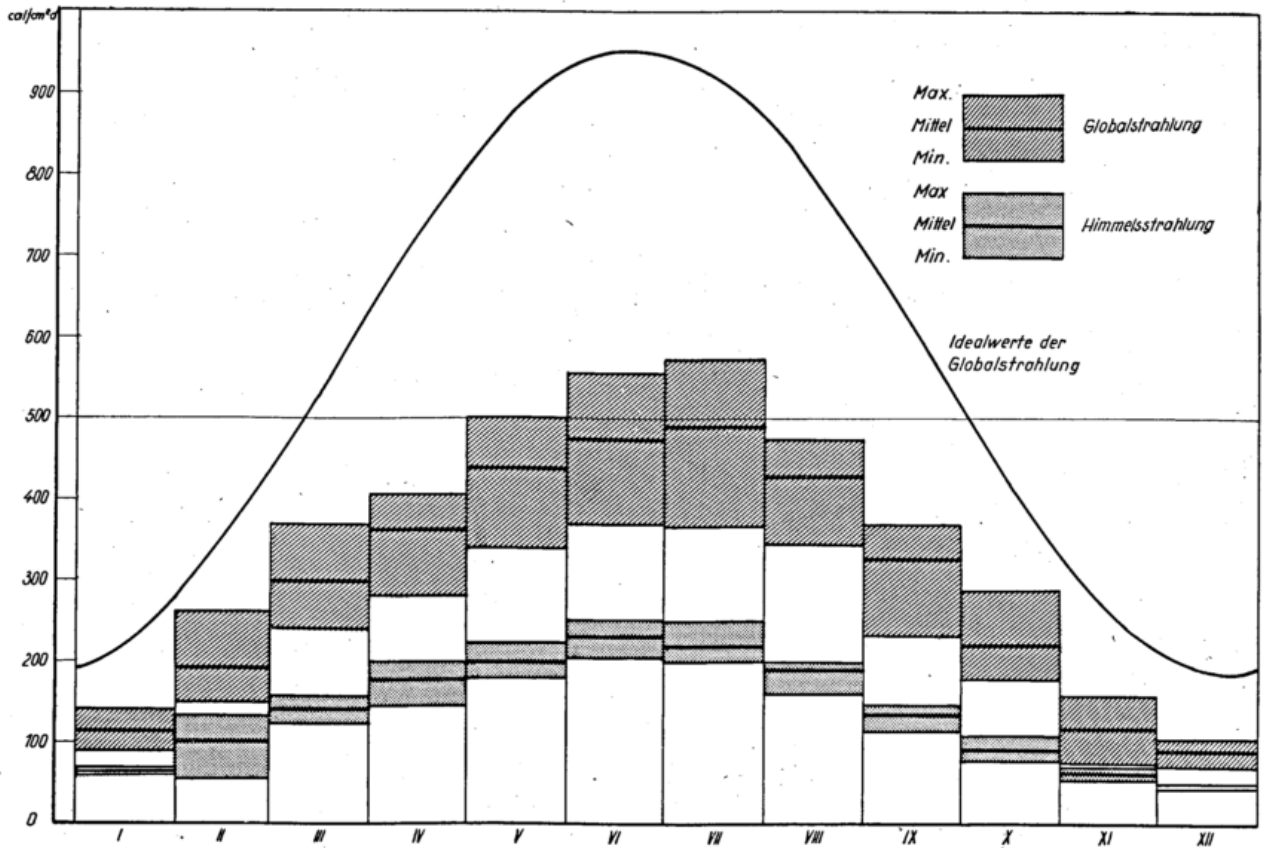


Abb. 8
 Jahrgang der Globalstrahlung (1949—1959) und der Himmelsstrahlung (April 53 — März 59) nach mittleren Tagessummen des Durchschnitts und der extremen Jahre

2.2.3. Der Jahrgang

Strenge Vergleichbarkeit der einzelnen Monate zur Darstellung des Jahrganges ist bei Umrechnung der Monatssummen auf mittlere Tagessummen gewährleistet. Den so errechneten Durchschnittswerten der Globalstrahlung und ihrer Komponenten, der Sonnen- und der Himmelsstrahlung, für die nur die Periode der Solarimetermessungen, April 1953 — März 1959 zugrundeliegt, sind in Tab. 24 noch die bisher gemessenen absolut höchsten Tagessummen beigelegt, deren Intensität nach den ebenfalls aufgeführten Werten der Idealstrahlung einzelner Stichtage beurteilt werden kann. Ausgehend von den Idealwerten der Globalstrahlung (siehe Abschn. 2.7.), die sich auf eine wasserdampf- und staubfreie Atmosphäre beziehen und deren Jahrgang ausschließlich vom Stand der Sonne mit den Extremwerten zur Zeit der Solstitien bestimmt wird, gleichen sich jetzt die Global- und die Himmelsstrahlung diesem Jahrgang mit dem Maximum im Juni und dem Minimum im Dezember an. Bei der direkten Sonnenstrahlung rückt das Monatsmaximum, wohl eine Besonderheit der zugrundeliegenden Meßperiode, sogar in den Mai. In einem längeren Zeitraum mit weniger gestörten Wetterabläufen wäre mindestens für die Globalstrahlung, wie in der Periode 1949—1959, vielleicht auch für die Sonnenstrahlung das Maximum erst für den Juli zu erwarten gewesen. Der Juni mit seiner durch Monsuneinflüsse beeinträchtigten direkten Strahlung wird dagegen immer relativ hohe Werte der Himmelsstrahlung liefern. Von den winterlichen Tiefstwerten im Dezember steigen die mittleren Tagessummen zum Höchstwert bei der Globalstrahlung auf das 4.8fache, bei der Sonnenstrahlung auf das 5.3fache, bei der Himmelsstrahlung auf das 4.8fache. Bei der Idealstrahlung unterscheiden sich die höchsten und die tiefsten Monatssummen um den Faktor 4.95.

Zur besseren Veranschaulichung sind in Abb. 8 im Rahmen der durch die Idealstrahlung begrenzten

Höchstwerte die auf mittlere Tagessummen umgerechneten monatlichen Durchschnittswerte und die Mittel der extremen Monate des Zeitraums 1949—1959 dargestellt. Wenn auch prozentual die Wintermonate die größte Schwankungsbreite aufweisen (siehe. Tab 23), so sind doch im Sommer die möglichen Differenzen zwischen einzelnen Jahren — im Juni und Juli mit mehr als 200 cal/cm²·d — so beträchtlich, daß sie der durchschnittlichen Bestrahlung des Februar bzw. Oktober entsprechen. Viel gleichmäßiger im Jahrgang und, aus den Durchschnittswerten der extremen Monate des Zeitraumes April 1953 — März 1959 ersichtlich, in den Schwankungen von Jahr zu Jahr erweist sich die Himmelsstrahlung, die im Winter bei 20 cal, im Sommer bei 50 cal/cm²·d liegt. Allein der Februar deutet mit 80 cal Differenz zwischen den extremen Jahren besonders krasse Unterschiede im Strahlungscharakter dieses Monats an.

Viel deutlicher treten die witterungsbedingten Begünstigungen oder Benachteiligungen einzelner Monate bei den „Relativwerten“ hervor, die den prozentualen Anteil der Globalstrahlung und ihrer Komponenten unter den gegebenen Bewölkungs- und Trübungsverhältnissen an der Idealstrahlung ausdrücken (Tab. 23, d). Bei der Globalstrahlung fallen zwei begünstigte Abschnitte heraus, ein winterlicher, der sich von Januar mit 54% bis zum März auf 57%, dem höchsten Anteil aller Monate, steigert, und ein sommerlicher von August bis Oktober mit 54%. Die gleichzeitig höchsten Anteile der direkten Sonnenstrahlung sind dabei im März und von August bis Oktober zu finden, während im Januar und Februar die Globalstrahlungen zugleich durch hohe Anteile der Himmelsstrahlung (52%) erhöht wird. Mit dem niedrigsten Anteil der Himmelsstrahlung von nur 22% bieten September und Oktober die höchsten Relativwerte der Sonnenstrahlung (32%). Die Anteile von Sonnen- und Himmelsstrahlung verhalten sich in dieser Jahreszeit wie 6 : 4, während in der trüben Zeit

zwischen November und Februar mit einem annähernd gleichbleibenden Verhältnis von 4.8 : 5.2 der Anteil der diffusen Strahlung sogar überwiegt.

Daß der jahreszeitliche An- und Abstieg der Strahlungswerte in der Höhe einen nahezu gleichwertigen Verlauf haben, wird ersichtlich, wenn man die monatlichen Durchschnittswerte der Tagessummen symmetrisch zu den Solstitien anordnet (Abb. 9). Im aufsteigenden Ast hebt sich der Spätsommer um ca. 6% über die entsprechenden Aprilwerte, die, wie die gleichartige

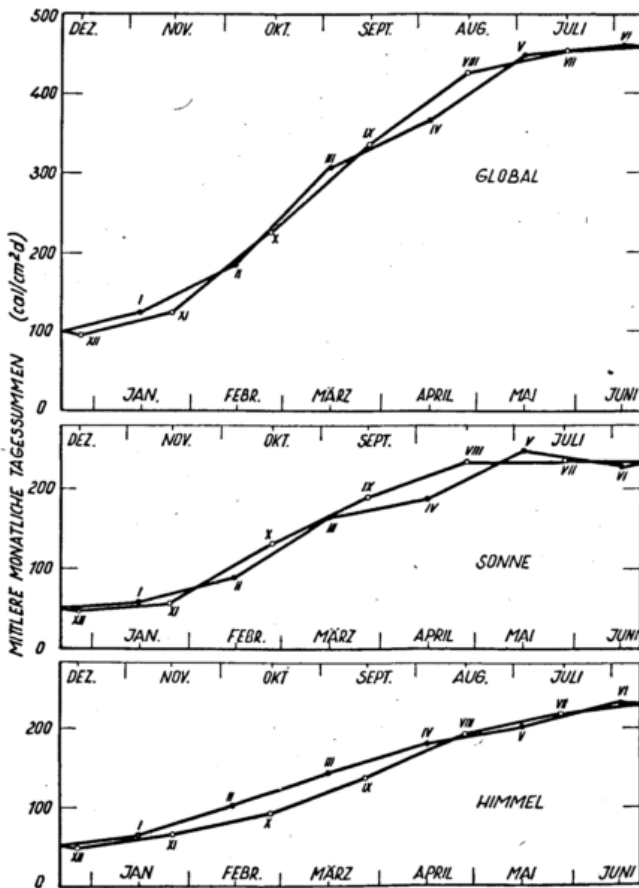


Abb. 9

Mittlere monatliche Tagessummen der Globalstrahlung und ihrer Komponenten bei symmetrischer Anordnung zu den Solstitien

Darstellung für die Sonnenstrahlung zeigt, im Vergleich zu den anliegenden Monaten März und Mai infolge des wechselhafteren Witterungscharakters ein Defizit aufweisen. Einen bis zu 18% niedrigeren Strahlungsgenuß zeigt die häufig trübe Zeit des Vorwinters gegenüber der gleichgeordneten Zeit des Hochwinters. Bemerkenswert sind die verhältnismäßig niedrigen Herbstwerte der Himmelsstrahlung, weil bei den in dieser Jahreszeit häufigen Schönwetterlagen die Dunstinversion meist schon unterhalb des 1000-m-Niveaus liegt.

2.2.4. Vergleich mit anderen Orten

Trotz der dominierenden Bedeutung des Strahlungsfaktors für die meteorologischen Grundfragen sowie für angewandte Problemstellungen liegen nur wenige Meßreihen der Globalstrahlung ausgewertet im Schrifttum vor. Aus Österreich wurden jetzt Beobachtungen von 13 Orten in der neu erschienenen Klimatographie dieses Landes (41) bekanntgegeben. Es fällt schwer, für eine vergleichende Betrachtung Meßreihen auch nur von annähernd gleichen Perioden heranzuziehen. Bei den meisten dieser Veröffentlichungen fehlen auch Hinweise auf die zugrundeliegende pyrheliometrische Bezugsskala. Die in Tab. 25 aus verschiedenen Gebieten

zum Vergleich zusammengestellten Meßreihen, ausgedrückt in mittleren Tagessummen, wurden nach Ermittlung der Bezugsskalen auf die hier verwendete verbesserte Smithsonian-Skala umgerechnet.

Gegenüber dem Flachland und den Tallagen zeigen sich typische Abweichungen: Während von April bis Juni noch annähernd gleiche Tagessummen vorliegen, wirkt sich ab Juli im Flachland die zunehmende sommerliche Trübung, die im September und Oktober noch durch herbstliche Nebel verstärkt wird, viel stärker aus. In den Wintermonaten kommt der Höhenlage das zwei- bis dreifache der Strahlungsmenge zu gegenüber den Stationen im norddeutschen Raum. Im Februar und März gleichen sich dann die Werte wieder etwas mehr an. Im Jahresdurchschnitt liegen die Strahlungssummen auf dem Hohenpeißenberg um 20–30% höher. Im Alpenvorland sind die Differenzen etwas geringer. Sie liegen im Jahresdurchschnitt zwischen 15 und 20%, die hauptsächlich auf die Herbst- und Wintermonate entfallen, und nehmen nach Osten mit dem sich verstärkenden kontinentalen Einfluß ab (Wien 14%). In den höher gelegenen Tallagen unmittelbar am Alpenrand (Oberstdorf), die schon häufig über der Inversion liegen, nehmen die Herbst- und Winterwerte schon höhere Beträge an, bleiben aber in den Sommermonaten durch den Einfluß der Konvektionsbewölkung an den angrenzenden Bergketten und der hier verstärkten Stauwirkung bei Schlechtwetterlagen vom April bis September noch stärker zurück als bei den Flachlandstationen. Bei den alpinen Gipfellen, die sich durch merkbar höhere Strahlungswerte in den Herbst- und Wintermonaten auszeichnen, wirkt sich die sommerliche Depression derart aus, daß z. B. das Nebelhorn im Jahresdurchschnitt nicht höher kommt als der Hohenpeißenberg. Allein die inneralpinen Hochtäler (Hochserfaus, Davos) und Gipfel (Sonnblick) weisen das ganze Jahr über höhere Strahlungswerte auf. Jedoch liegen die Hohenpeißberger Werte im Juli und August nahezu in gleicher Höhe.

Nur wenige Vergleichsreihen liegen für die Relativwerte der Globalstrahlung vor (siehe Abschn. 2.7, Abb. 27), obwohl diese das Strahlungsklima eines Ortes in bezug auf seine wettermäßige Abhängigkeit am besten kennzeichnen. Im Vergleich mit Hamburg und Wyk/Föhr zeigt sich eine relative Begünstigung des Küstenklimas in der Zeit von April bis Juni. In dieser Zeit kommen die Relativwerte von Hamburg denen von Hohenpeißenberg schon sehr nahe und in Wyk liegen sie sogar um einige Prozent darüber. Der Hochsommer, besonders aber die Herbst- und Wintermonate bis zum März, bleiben jedoch im Alpenvorland erheblich überlegen. Dezember und Januar zeigen auf dem Hohenpeißenberg gegen Wyk um 16%, gegenüber Hamburg um 20% höhere Relativwerte.

Auch aus den Registrierungen der Globalstrahlung und ihrer Komponenten kann, wie bei der Sonnenscheindauer, gefolgert werden, daß innerhalb Deutschlands der Hohenpeißenberg ein äußerst strahlungsbegünstigter Platz ist, der mit seinen Meßwerten alle anderen bekannt gewordenen Beobachtungsreihen übertrifft.

2.3. Häufigkeit von Stufenwerten

Eine Aufschlüsselung des Mittelwertes in Häufigkeitswerte, die für die Nutzung klimatologischer Daten in allen praktischen Fragestellungen und den Zweigen der angewandten Meteorologie unerlässlich ist, wurde wegen der relativ kurzen Meßreihe nur für die Tagessummen vorgenommen. Die Stufenwerte wurden für jeden Monat gesondert ausgezählt und die Anzahl der Fälle jeder Stufe in Anteile der prozentualen Häufigkeit umgerechnet.

2.3.1. Globalstrahlung

Für die Globalstrahlung (Tab. 26, a) ergeben sich im Winterhalbjahr, von Oktober bis März, einfache Verteilungskurven, deren Gipfel zumeist auch in den Bereich fällt, der den Durchschnittswert einschließt. Damit ist der häufigste Stufenwert nach den oberen Stufen zu verschoben und im Dezember sind 44% aller Fälle in der für diesen Monat höchsten Stufe von 100–199 cal/cm²·d zu finden. Von April bis Juni und im September werden jedoch — analog zur Sonnenscheindauer — die Kurven zweigipflig. Der Hauptgipfel fällt in den Bereich höherer Strahlungsintensitäten, die witterungsklimatisch im Alpenvorland durch Lee-Erscheinungen begünstigt sind. Das sekundäre Maximum fällt in den Bereich meist unterdurchschnittlicher Tagessummen bei stärkerer dichter Bewölkung, die sowohl durch verstärkte Konvektion als auch durch Stauerscheinungen am Gebirge bedingt ist. In dieser Häufigkeitsverteilung drückt sich der stark wechselhafte Witterungscharakter des Alpenvorlandes aus, der bioklimatisch aus der starken Reizwirkung des Klimas am Gebirgsrand bekannt ist. Juli und August zeigen in der Häufigkeitsverteilung einen kontinuierlichen Anstieg zu Werten, die besonders im Juli mit der Stufe zwischen 700 und 800 cal/cm²·d bemerkenswert hoch liegen. Es dominieren in dieser Zeit die Schönwetterlagen.

Für praktische Nutzenanwendungen bringt die Tab. 26, b noch Angaben, mit welcher Wahrscheinlichkeit Tagessummen bestimmter Stufen in den einzelnen Monaten zu erwarten sind. Die Aufteilung dieser Wahrscheinlichkeitswerte in Gruppen von 25% (Quartile) ist durch Stufenlinien hervorgehoben. Ein Viertel aller Tage haben vom Mai bis Juli wenigstens 600 cal/cm²·d an Strahlungsenergie zu erwarten, im Winter sind es höchstens noch 100 cal/cm²·d täglich. Die Hälfte aller Tage hat im Sommer wenigstens 400 cal/cm²·d, im Juli sogar noch 500 cal/cm²·d je Tag aufzuweisen, während im Dezember nur noch 50 cal/cm²·d zu erwarten sind. Für drei Viertel aller Tage liegen die Mindestgrenzwerte im Sommer bei 300 und im Dezember bei 30 cal/cm²·d.

2.3.2. Relativwerte der Globalstrahlung

Wohl das anschaulichste Bild der Häufigkeitsverteilung von Stufenwerten der Globalstrahlung bieten jedoch deren Relativwerte (Abb. 10). Die zwei Gipfel der Verteilungskurve treten nun in allen Monaten des Jahres mehr oder weniger deutlich hervor, am ausgeprägtesten aber im Winterhalbjahr (Nov. — Febr.), wo die Häufigkeitszahlen der Tagessummen (Tab. 26, a) dies überhaupt nicht erkennen ließen. Hier demonstriert sich deutlich in dem Gipfelwert der höheren Relativwerte der zusätzliche Gebirgseinfluß. Vergleichswerte aus Wyk auf Föhr (42) und aus Hamburg (60) zeigen demgegenüber den wesentlich anderen Flachlandstyp mit einem einzigen Maximum im Bereich der niedrigen Relativwerte während der winterlichen Jahreszeit mit vorwiegend trübem Wetter. Bei diesem winterlichen Maximum im Bereich hoher Relativwerte selbst im November und Dezember ist die Eignung der Höhenlagen für Winterkuren sichtbar dokumentiert. Ebenso markant treten die Häufigkeitsmaxima im Bereich hoher Relativwerte im März, Mai und vom August bis Oktober hervor, die Neigung dieser Monate zu strahlungsbegünstigten Schönwetterlagen anzeigend, während der Juni als die Zeit der Monsuneinbrüche viel stärker als an der Küste die stärkste Einbuße im Bereich relativ hoher Strahlungswerte zeigt.

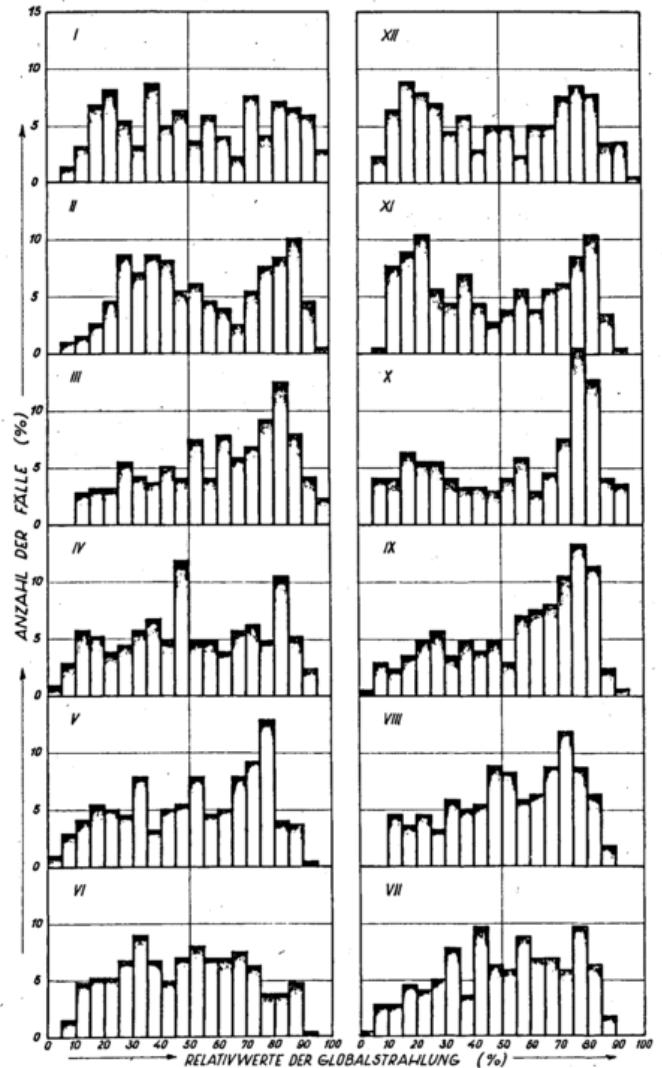


Abb. 10
Prozentuale Häufigkeit von Stufen der Relativwerte der Globalstrahlung (1953—1959)

2.3.3. Sonnenstrahlung

Eine Überlagerung mehrerer Teilkollektive, die aus den Häufigkeitszahlen der Relativwerte der Globalstrahlung hervorging, wird auch aus der Häufigkeitsverteilung von Stufenwerten der Sonnenstrahlung (Tab. 27, a) ersichtlich. Neben dem dominierenden Maximum im Bereich kleiner Strahlungssummen tritt das sekundäre Maximum im Bereich hoher Summen hervor und belegt die Tendenz zur Ausbildung von Schönwetterlagen besonders deutlich vom Februar bis Mai und vom August bis Oktober, weniger deutlich in den Wintermonaten, am wenigsten im Juni. Während vom November bis Januar die sonnenlosen Tage mit 30–38% überwiegen (in allen drei Monaten weisen 58% aller Tage höchstens 50 cal/cm²·d auf), rückt ab Februar das Häufigkeitsmaximum aller Monate bis Oktober in die Energiestufe 1–50 cal. Im August ist durchschnittlich nur ein einziger trüber Tag zu erwarten.

2.3.4. Himmelsstrahlung

Die Stufenwerte der Himmelsstrahlung (Tab. 27, b) zeigen im allgemeinen einfache Verteilungskurven, deren häufigste Stufen besonders im November und Dezember, dem strahlungsärmsten und trübsten Jahresabschnitt, in 80–90% aller Fälle zwischen 25 und 100 cal/cm²·d liegen. Allein im März und September steht dem auf die Bewölkung zurückgehenden Hauptmaximum ein sekundäres Maximum im Bereich zwischen

50 und 100 cal/cm²·d gegenüber, das durch die Neigung dieser Monate zu Schönwetterperioden die bei wolkenarmem Wetter niedrigen Anteile des Streulichtes an der Globalstrahlung hervorhebt. Auch in den Häufigkeitswerten der Relativwerte (Abb. 10) zeigt sich in diesen Monaten eine Häufung hoher Anteile, die als besonderes Charakteristikum der Höhenlage für die Übergangsmomente anzusehen ist. In den Sommermonaten liegen die Stufenwerte der Maxima etwa in der Größenordnung des halben Betrages der Globalstrahlung. Die besonders starke Rückstrahlung von der Konvektionsbewölkung läßt von Mai bis Juli auch die Stufe zwischen 250 und 300 cal/cm²·d nahezu gleichwertig, im Juli sogar als häufigste Stufe hervortreten. Der sprunghafte Rückgang im August zu niedrigeren Stufen maximaler Häufigkeit bestätigt die Neigung von August bis Oktober zur Ausbildung anhaltender Schönwetterlagen. In den Wintermonaten überdecken sich die geringen Erträge der Himmelsstrahlung an Schönwettertagen mit denen trüber Tage und treten in der Häufigkeitsverteilung einzelner Stufen nicht mehr hervor.

2.3.5. Anteil der Himmelsstrahlung an der Globalstrahlung

Am deutlichsten ist die Neigung im Witterungscharakter einzelner Monate zu länger anhaltenden Witterungsperioden aus der Häufigkeitsverteilung des Anteils der Himmelsstrahlung an der Globalstrahlung (Abb. 11) zu ersehen. Am geringsten ist der Anteil an wolkenlosen Tagen, wo die diffuse Himmelsstrahlung allein durch Zerstreung an den Luftmolekülen und den in der Atmosphäre suspendierten Beimengungen und Verunreinigungen hervorgerufen wird. Mit zunehmender Trübung und Bewölkung nimmt der Anteil der Himmelsstrahlung durch die an den Dunst- und Wolkepartikeln zerstreute und reflektierte Sonnenstrahlung zu, um schließlich bei völliger Himmelsbedeckung den gesamten, der Erde zufallenden Strahlungsgenuß zu bestreiten. Stark erhöht wird der Anteil der Himmelsstrahlung an Tagen mit dünner Cirrusbewölkung, besonders wenn einzelne Wolkenpartien in Nähe des Sonnenstandes kommen oder diesen sogar überziehen, d. s. Tage, an denen auch die Summe $S + B \neq 100\%$ beträchtlich erhöht wird (siehe Abschn. 1.6.).

Anteile der Himmelsstrahlung unter 10% sind selbst in der Höhe des Hohenpeißenberges äußerst selten und an Wetterlagen mit sehr geringer Lufttrübung gebunden. Die insgesamt 8 Fälle mit nur 9%, drei davon 8% Anteil, traten übereinstimmend bei Wetterlagen mit Gebirgsföhn (Sa, SWa) oder freiem Absinken (HM, NE) in der Zeit von März bis September auf. Sie waren nicht an bestimmte Luftmassen gebunden. Die Mehrzahl der Schönwettertage liefert in den Übergangszeiten (Febr., März, Sept., Okt.) Anteile von 10–20%, in der sommerlichen Jahreszeit bei stärkerer Konvektion und Lufttrübung (Mai, Aug.) auch 20–30%. Auf der anderen Seite der Skala treten die Tage ohne direkte Sonnenstrahlung mit einem 100%-Anteil vom November bis Januar mit überragenden Spitzen zwischen 35 und 39%, weniger ausgeprägt im Oktober und Februar mit 20–22% hervor. Der August hat mit 5% den geringsten Anteil an dieser Stufe. In der Erwartung stehen also 10 trüben Tagen im Winter nur 1 oder 2 Tage mit voller Himmelsbedeckung im August gegenüber.

2.4. Der Tagesgang

2.4.1. Der Tagesgang nach mittleren Stundensummen

Der mittlere Tagesgang der Globalstrahlung und ihrer Komponenten, der Sonnen- und der Himmelsstrahlung (Tab. 28), verläuft, abweichend von den Tal- und

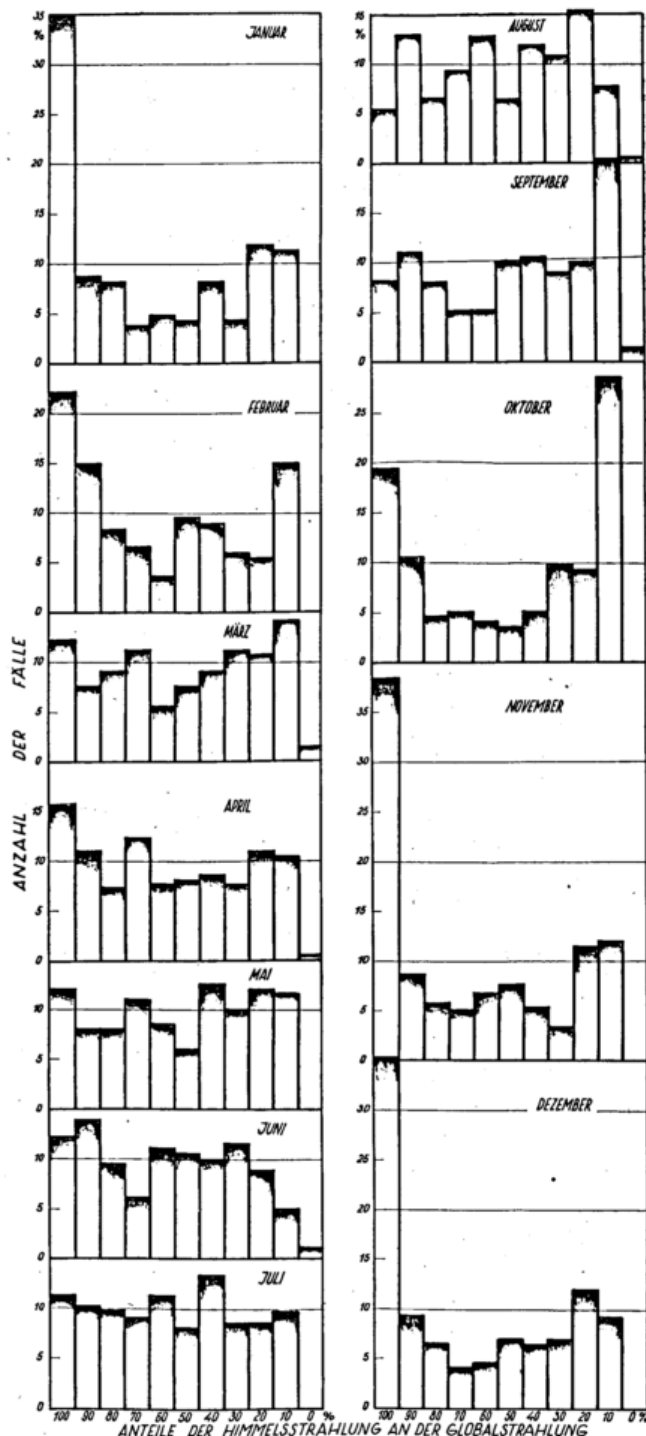


Abb. 11
Prozentuale Häufigkeit von Stufenwerten der Anteile der Himmelsstrahlung an der Globalstrahlung (1953–1959)

Gipfellen am Alpenrand (48), weitgehend symmetrisch. Eine stärkere Anomalie haben allein Mai und Juni aufzuweisen: Einem Überschuß der Vormittagssummen von etwa 20 cal/cm² entsprechen gleichsinnige Überschüsse bei der Sonnenstrahlung und der — hier für die gleiche Beobachtungsperiode berechneten — Sonnenscheindauer (Tab 28, b, letzte Spalte). Der Beeinträchtigung der Sonnenstrahlung in der zweiten Tageshälfte durch die in dieser Jahreszeit dominierende Konvektionsbewölkung entspricht auch eine durch verstärkte Reflexe an den Wolken erhöhte Himmelsstrahlung. Ein geringerer Energieüberschuß in der ersten Tageshälfte tritt bei der Globalstrahlung noch im April sowie im Juli und August hervor. Gleichsinnige Anomalien treten im April und Juli nur bei der Sonnenstrahlung, nicht mehr bei der Sonnenscheindauer auf. Im April mit seiner Neigung zu wechselhaftem Wetter

kann der Überschuß des Vormittags auf höhere Strahlungsintensitäten innerhalb frisch eingebrochener Polarluftmassen zurückgeführt werden. Ab Juli wirken sich die stärkeren Lufttrübungen des Hochsommers aus. Mit fortschreitender Jahreszeit wird bei der Sonnenstrahlung der Überschuß des Vormittags langsam abgebaut, bei der Himmelsstrahlung auf den Vormittag verlagert. Der August verdankt seinen höheren Strahlungsgenuß am Vormittag schon allein einer erhöhten Himmelsstrahlung. Die von den Morgenstunden her vorhandenen, stärker das Sonnenlicht zerstreuen Trübungen reichen dann bis zu größerer Höhe hinauf. Im Herbst dagegen liegt die Dunstgrenze meist schon unter Gipfelhöhe, so daß sich dann annähernd symmetrische Tagesgänge ergeben. Die im September und Oktober bei der Sonnenscheindauer vormittags gegebenen Überschüsse werden durch die Trübungen des Frühdunstes und der Morgennebel aufgezehrt. Die Wintermonate zeigen keine nennenswerten Anomalien.

Als Beispiel für den asymmetrischen Tagesgang, der in stärkerem Maße allein die Monate Mai und Juni kennzeichnet, in denen auch die Halbtagssummen der Himmelsstrahlung am Nachmittag höher liegen, sind in Abb. 12 die mittleren Stundensummen der Global- und der Sonnenstrahlung symmetrisch zur Mittagslinie wiedergegeben.

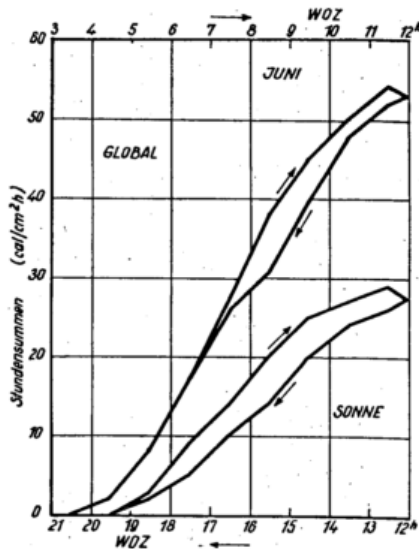


Abb. 12

Tagesgang der Globalstrahlung und der Sonnenstrahlung im Juni, dargestellt in mittleren Stundensummen (cal/cm²·h) symmetrisch zur Mittagslinie

2.4.2. Der Tagesgang in Abhängigkeit von der relativen Sonnenscheindauer

Eine innerhalb der einzelnen Monate vorgenommene Ordnung aller Tage nach Zehnerstufen der relativen Sonnenscheindauer diene zur Ableitung der Tagesgänge nach mittleren Stundensummen in Abhängigkeit von der relativen Sonnenscheindauer. Aus den für jeden Monat und jede Stufe der relativen Sonnenscheindauer ermittelten Ganglinien seien hier als typische Beispiele aus jeder Jahreszeit die Monate März, Juni, September und Dezember, je für die Global-, die Sonnen- und die Himmelsstrahlung getrennt, herausgegriffen. Die Ähnlichkeit des Tagesganges rechtfertigt die Zusammenfassung mehrerer Zehnerstufen zu den Gruppen 0—5, 6—35, 36—65, 66—85, 96—100% der relativen Sonnenscheindauer. Diese Tagesgänge sind graphisch in Abb. 13 dargestellt, die Differenzen der Halbtagssummen (Vormittag — Nachmittag) als Maß für die Symmetrie in Tab. 29 wiedergegeben.

Allgemein gilt, daß mit zunehmender Bewölkung die Strahlungsenergie der Global- und Sonnenstrahlung ab-

nimmt, die der Himmelsstrahlung zunächst, bis etwa 30% relativer Sonnenscheindauer entsprechend 7—8 Zehntel Himmelsbedeckung, zu- und dann wieder abnimmt, um bei wolkenlosem Himmel auf die niedrigsten Beträge abzusinken (siehe auch Abschn. 2.5. und Abb. 16). Mehr als die ohne Berücksichtigung der Bewölkungsverhältnisse gemittelten Tagesgänge (Tab. 28) lassen die den einzelnen Stufen der relativen Sonnenscheindauer zugeordneten Stundensummen gewisse Asymmetrien erkennen, die auf die jahreszeitlich wechselnden Arten der vorherrschenden Bewölkung mit ihrem tageszeitlichen Gang zurückzuführen sind und deren verschiedenartige Strahlungswirkung erkennen lassen. Die Jahreszeiten verhalten sich dabei recht verschieden. Für die Grenzfälle, die Strahlungsverhältnisse bei wolkenlosem und bei bedecktem Himmel, zeigen die hier abgeleiteten Stundensummen des Vormittags eine gute Übereinstimmung mit den von Saubere (41, 50) für die Höhe 1000 m berechneten symmetrischen Tagesgängen, aber die Nachmittagswerte fallen schon durch zunehmende Trübung bzw. Verdichtung der Bewölkung etwas niedriger aus. Noch viel stärker treten diese tageszeitlichen Differenzen bei den Zwischenstufen der Bewölkung in Erscheinung.

Die Konvektionsbewölkung zeigt im Sommer ihre stärkste Entwicklung. Sie bewirkt eine erhebliche Minderung der Sonnenstrahlung in den Nachmittagsstunden. Solange die Abschattung nur etwa 4/10 ausmacht, sind die Reflexe an den Wolkenflächen stark genug, die Himmelsstrahlung nachmittags nennenswert zu erhöhen. Bei stärkeren Quellungen (36—65% relativer Sonnenscheindauer) treten stärkere Abdunklungen auf, die auch die Himmelsstrahlung nachmittags herabsetzen. Bei geringer Himmelsbedeckung oder wolkenlosem Wetter wirkt sich auch die im Laufe des Tages durch hochreichende Turbulenz zunehmende Trübung in einer verminderten Sonnenstrahlung und einer erhöhten Himmelsstrahlung in den Nachmittagsstunden aus. Im Frühjahr ist die Entwicklung der Konvektionsbewölkung schwächer. Diese trocknet nachmittags schon frühzeitig ab, so daß sich in der Stufe 66—85% relativer Sonnenscheindauer nachmittags schon ein Überschuß der Sonnenstrahlung und, wegen schwächerer Reflexion, eine geringere Himmelsstrahlung ergeben. Bei stärkerem Bedeckungsgrad tritt nachmittags eine stärkere Einbuße an Sonnenstrahlung ein. Aber die Quellungen sind schwächer und dunkeln nicht so stark ab wie im Vorsommer, so daß die Himmelsstrahlung dann im Laufe des Tages noch zunimmt. Die Lufttrübungen sind noch so schwach, daß sie bei leichter Bewölkung die Himmelsstrahlung nicht zu erhöhen vermögen. Im Herbst zeigen die Tagesgänge bei geringerer Bewölkung eine zunehmende Trübung, die sich in niedrigeren Nachmittagswerten der Sonnen- wie der Himmelsstrahlung ausdrückt, während bei wolkenlosem Wetter, aber auch bei stärkerer Bewölkung, die tageszeitlichen Unterschiede hauptsächlich durch höhere Sonnenstrahlung am Vormittag bedingt sind. Im Spätherbst und Winter wird an sonnigen Tagen die erste Tageshälfte sowohl bei der Sonnen- als auch bei der Himmelsstrahlung durch Frühdunst und Morgennebel benachteiligt.

An bewölkten Tagen (6—35% relativer Sonnenscheindauer) erreicht im Sommer und Herbst, in geringerem Maße auch im Frühjahr, die Sonnenstrahlung ihre größeren Beträge erst am Nachmittag. Die Einbußen am Vormittag rühren dann meist von Schichtbewölkung her; die im Laufe des Tages auflockert und abnimmt. Im Sommer wird auch die Himmelsstrahlung am Vormittag durch stärkere Abdunklungen erheblich reduziert, während im Frühjahr und Herbst eine viel dünnere Wolken-schicht auch noch genügend Himmelsstrahlung hindurchläßt, um den Verlust an Sonnenstrahlung etwas auszugleichen. Im Winter lockern die Wolken am Nachmittag nicht mehr auf, sondern verdichten sich.

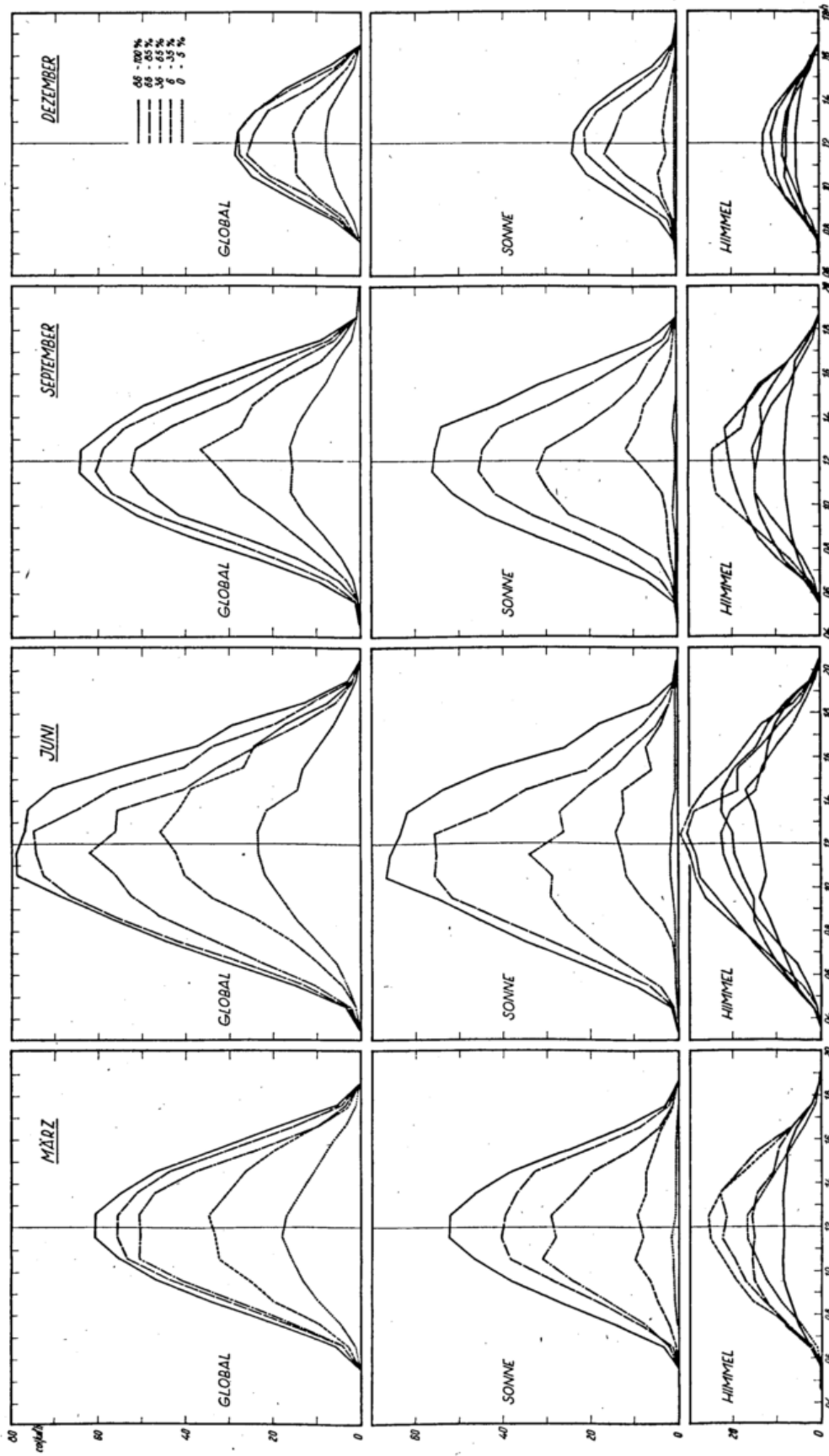


Abb. 13
Tagesgänge nach mittleren Stundensummen der Global-, Sonnen- und Himmelstrahlung für einzelne Stufen der relativen Sonnenscheindauer

Auch völlige Eintrübungen treten im Frühjahr und Sommer vorzugsweise am Nachmittag ein, so daß der Vormittag noch einen geringen Überschuß an kurzweiliger Strahlung aufweist. Allein im Winter ist die erste Tageshälfte geringfügig benachteiligt. Der wesentliche Anteil an Strahlungsenergie wird in dieser Gruppe ohnehin nur durch die Himmelsstrahlung geliefert.

2.5. Einfluß der Bewölkung

Mit dem Ziel, angenäherte Werte für die Globalstrahlung aus anderen klimatologischen Daten abzuleiten, um eine Extrapolation von Meßreihen auf zurückliegende Zeitabschnitte durchzuführen, oder — bei der gebotenen Weitmaschigkeit eines Strahlungsnetzes — durch Interpolation für weitere Orte, von denen keine Messungen vorliegen, Anhaltspunkte über den Strahlungsgenuß zu gewinnen, bietet sich die Möglichkeit an, die Strahlungsverhältnisse aus gegebenen Unterlagen über den Himmelszustand abzuleiten. Der Bewölkungsgrad verspricht eine engere Kopplung mit der diffus zerstreuten Himmelsstrahlung, die Sonnenscheindauer bessere Rückschlüsse auf die Sonnenstrahlung. Beide Komponenten sind, wenigstens in den strahlungsreichen Sommermonaten, je zu etwa der Hälfte am Energiebetrag der Globalstrahlung beteiligt. In den Übergangsmonaten überwiegt die Sonnenstrahlung, im Winter die Himmelsstrahlung (siehe Tab. 23, e). Es sind daher von beiden Größen, dem Bewölkungsgrad und der Sonnenscheindauer, annähernd gleichwertige Beziehungen auch zur Globalstrahlung, besser noch zur Sonnenstrahlung zu erwarten.

Bewölkung und Sonnenscheindauer sind durch die Relation $S + B = 100 \pm \Delta$ (%) miteinander gekoppelt (siehe Abschn. 1.6.). Das Differenzglied nimmt seine höchsten Beträge in den Sommermonaten an, hauptsächlich durch eine Höherschätzung des Bedeckungsgrades infolge der Kulissenwirkung bei Konvektionsbewölkung und durch Berücksichtigung hoher durchscheinender Bewölkung, wenn gleichzeitig noch Sonnenschein registriert wird (vergl. (24) Abb. 3). Der Kulisseneffekt beeinflußt Sonnenscheinautograph und Strahlungsmesser gleichsinnig, der Cirreneffekt ruft zugleich auch eine erhöhte Strahlungswirkung hervor. Die Minuseffekte auf die Abweichung der Summe ($S + B$) von 100 wirken sich hauptsächlich auf die Angaben der Sonnenscheindauer aus. Reif- und Nebelfrostablagerungen wirken aber, von extremen Fällen von Raufrost abgesehen, auf die Strahlungsmeßgeräte entgegengesetzt; durch verstärkte Reflexe am Beschlag werden deren Meßwerte erhöht. Durch sorgfältige Wartung kann dieser Effekt klein gehalten werden. Der Dunsteffekt spielt in der Höhe des Hohenpeißenberges nur noch eine geringe Rolle. Auch aus der Analyse der Beziehung $S + B \neq 100$ sind daher von der Sonnenscheindauer bessere Rückschlüsse auf den Strahlungsgenuß als vom Bedeckungsgrad zu erwarten.

Dennoch verdient die Abhängigkeit der Globalstrahlung und ihrer Komponenten von der Bewölkung eine Überprüfung, weil sehr viel mehr Beobachtungsreihen über den Bedeckungsgrad vorliegen als Registrierungen der Sonnenscheindauer. Allerdings werden bei der Mehrzahl dieser Reihen die Beobachtungen nur zu den üblichen Klimaterminen (7, 14, 21 Uhr) durchgeführt, und das Tagesmittel der Bewölkungsmenge schließt bei niedrigem Sonnenstand Zeiträume ein, in denen die kurzweilige Strahlung noch nicht einwirkte. Die nachfolgenden Betrachtungen beziehen sich auf Tages-, Dekaden- und Monatsmittel der Bewölkungsmenge, die aus den täglichen drei Beobachtungsterminen des Klimadienstes abgeleitet wurden.

2.5.1. Beziehung zu den Dekadenwerten

Stellt man den Dekadenmitteln der Globalstrahlung die mittlere Bewölkung dieses Zeitabschnittes gegenüber (Abb. 14), so ergeben sich als Bezugslinien Kurven, die im Winter stärker gekrümmt und flacher verlaufen als im Sommer, wo sie sich mehr einer Geraden annähern und steiler ausfallen. Ihre Form deutet auf die des Astes einer Parabel hin, deren Scheitel bei niedrigen Bewölkungsgraden zu denken ist. Die Krümmung der Kurven nach höheren Strahlungssummen im Bereich stärkerer Himmelsbedeckung ist auf den dann erhöhten Anteil der diffusen Strahlung zurückzuführen. Wie schon aus dem Jahresgang der Monatsmittel (Tab. 24) ersichtlich wurde, ist nach den strahlungsarmen Wintermonaten eine schnelle Zunahme zum März und, bei geringerer Himmelsbedeckung, zum April gegeben. Bis zum August sind die monatlichen Änderungen nicht sehr erheblich. Zum September, Oktober und November hin wird dann der Abfall der Strahlungsenergie stärker, und zum Winter hin drängen sich die Bezugslinien wieder näher zusammen. In den etwa gleichgeordneten Monaten Februar und Oktober bzw. März und September fällt im Herbst der Energiewert mit höheren Bewölkungsgraden steiler ab, weil dann die dichtere Schichtbewölkung stärker dominiert als im Frühjahr.

Während in den Wintermonaten die einzelnen Dekadenwerte noch verhältnismäßig gut der ausgleichenden Kurve zuzuordnen sind, streuen die Werte vom März bis August viel stärker, um sich im Herbst wieder enger an die Bezugslinie anzuschmiegen. Ausreißer finden sich in fast allen Monaten. Wesentlich erhöhte Strahlungswerte werden während des ganzen Jahres überwiegend durch aufeinanderfolgende Föhntage mit der bei Altostratus, Altocumulus lenticularis, translucidus, opacus und Cirrostratus, Cirrocumulus verstärkten Himmelsstrahlung hervorgerufen. Nur die 3. Dekade des Juni 1953 verdankt ihren anomalen Überschuß einer Aufeinanderfolge von Tagen mit Cumulus congestus und Cumulonimbus. Dekaden mit einer im Verhältnis zu ihrem Bewölkungsgrad ungewöhnlich niedrigen Strahlungssumme sind überwiegend durch eine Aufeinanderfolge sehr trüber Tage mit Niederschlag (Nimbus, Fractostratus) gekennzeichnet, wobei die Wolkenuntergrenze häufig unter Gipfelhöhe liegt, oder, im Dezember, durch eine anhaltende Nebelwetterlage. Auch eine Periode von Schönwetterlagen kann, wie in der 3. Dekade des November 1955, negative Ausreißer bewirken, weil bei fehlenden Wolken die Himmelsstrahlung ebenfalls sehr niedrig ist.

2.5.2. Ordnung nach den Bewölkungsstufen

Durch die Verwendung von Dekadenmitteln werden zwar die durchschnittlichen Bewölkungsverhältnisse erfaßt, aber die hohen und die niederen Bewölkungsstufen der abzuleitenden Beziehung bleiben unbesetzt. Die gesamte Bewölkungsskala läßt sich einbeziehen, wenn alle Tage einzeln nach ihrem Bewölkungsmittel geordnet und für jede Bewölkungsstufe, nach Monaten getrennt, die Durchschnittswerte der Strahlungssummen berechnet werden.

Bei der Globalstrahlung (Tab. 30) rücken die Höchst- und Tiefstwerte gegen die Enden der Bewölkungsskala. Die monatlichen Bezugslinien verlaufen nun allgemein flacher als bei den Dekadensummen, weil die extremen Bewölkungsgrade aus dem mittleren Bereich ausgesondert wurden. Die höchsten Strahlungssummen werden aber nicht bei wolkenlosem Wetter, sondern innerhalb der Bewölkungsstufen 0.3—1.7 Zehntel erreicht. Mit zunehmender Himmelsbedeckung nimmt die Bestrahlungsstärke stetig ab. Ein ähnlicher Gang zeigt sich bei der Sonnenstrahlung (Tab. 31, a), die ihre

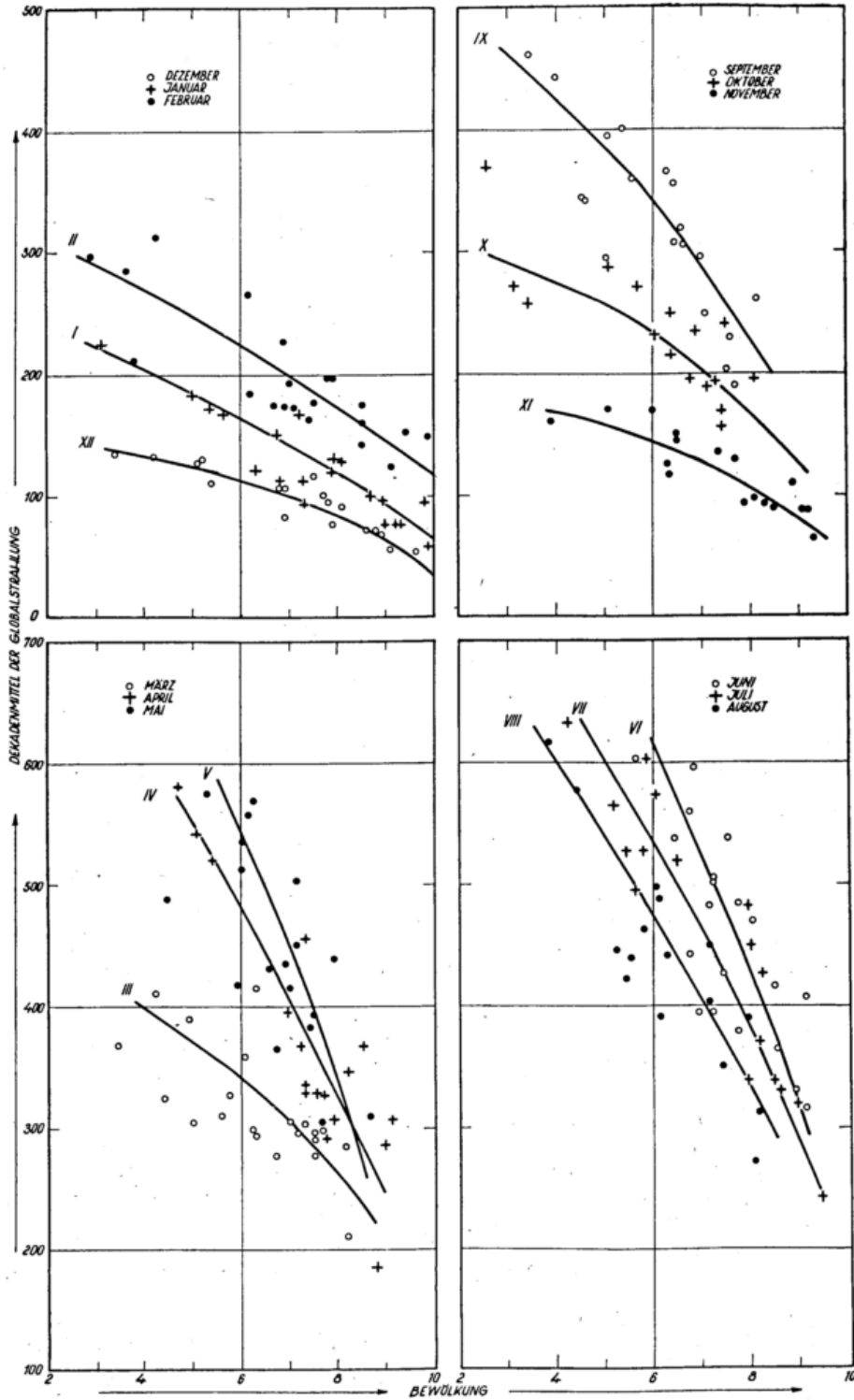


Abb. 14
 Beziehungen zwischen Globalstrahlung und mittlerer
 Bewölkung (nach Dekadenmitteln 1953 — März 1959)

Höchstwerte meist an wolkenlosen Tagen hat. Bei der Himmelsstrahlung (Tab. 31, b) ergeben sich dann die niedrigsten Tagessummen. Mit zunehmender Bewölkung steigert sich diese Komponente zu ihren Höchstwerten, die bei Bewölkungsmitteln von 6—8 Zehntel liegen, um bei voller Himmelsbedeckung wieder abzunehmen. Im Winter liegen die Energiewerte der Himmelsstrahlung bei bedecktem Himmel etwa doppelt, sonst bis zu 1.5mal so hoch wie bei wolkenlosem Himmel.

2.5.3. Extreme und Streuungen

Der Verlauf der Bezugslinie für die Himmelsstrahlung hat zur Folge, daß die absolut höchsten Tages-

summen eines Monats (Tab. 30) bei mittleren Bedeckungsgraden, im Dezember sogar erst bei $\frac{8}{10}$ mittlerer Himmelsbedeckung vorkamen. Nur im Januar traten sie bei wolkenlosem Himmel, im Frühjahr und Herbst innerhalb der Bewölkungsstufen 0.3—1.7 Zehntel ein. Die mittleren Tagessummen der Globalstrahlung an wolkenlosen Tagen werden durch einzelne Höchstwerte von Mai bis September fast in allen Bewölkungsstufen bis $\frac{7}{10}$, zumeist bei stärkerer Konvektionsbewölkung, von Oktober bis April, den Monaten der größten Föhnhäufigkeit (51), sogar bis zu den Bedeckungsgraden 7—9 Zehntel an Tagen mit mittelhoher und hoher Föhn- oder Frontalzonbewölkung erreicht oder übertroffen. Allein im Januar wurde bisher das Auftreten höherer Tagessummen durch das Bewölkungsmittel 1.7 Zehntel

begrenzt. In diesem Monat kommen Anteile der Himmelsstrahlung an der Globalstrahlung unter 10% überhaupt nicht vor (siehe Abb. 11), aber es zeigt sich, wie allgemein im Herbst und Winter, bei Anteilen zwischen 10 und 30% ein sekundäres Häufigkeitsmaximum. Mit diesen durch diffuse Zerstreung an hochreichendem Dunst bewirkten Anteilen wächst auch an wolkenarmen Tagen der Energiewert der Globalstrahlung stark an.

Innerhalb der einzelnen Bewölkungsstufen treten jedoch erhebliche Streuungen auf. Bei der Globalstrahlung wachsen die Streuweiten innerhalb jeder Gruppe mit dem Bewölkungsgrad, es kommen Tagessummen bis zum zweifachen und, im Winter und Frühling, bis zum dreifachen des Stufenmittels vor, während sie an trübten Tagen bis auf ein Drittel bis ein Viertel dieses Wertes absinken. Im Sommer treten die Abweichungen der Minima an Tagen mit dichter Bewölkung stärker hervor als die überdurchschnittlichen Tagessummen an Tagen mit starker Himmelsstrahlung bei mittelhoher und hoher Bewölkung. Die Ursachen für das Zustandekommen hoher positiver und negativer Streuwerte sind die gleichen, wie sie für die Ausreißer bei den Dekadenmitteln gefunden wurden; sie liegen in der Art der Bewölkung.

Die Streuweiten bei der Globalstrahlung erklären sich aus dem unterschiedlichen Verhalten ihrer Komponenten, der Sonnen- und der Himmelsstrahlung, bei verschiedenen Bewölkungsstufen. Die Sonnenstrahlung zeigt bei geringer Himmelsbedeckung nur Abweichungen von höchstens $\pm 20\%$. Bei mehr als $\frac{6}{10}$ Bewölkung im Tagesmittel nehmen die Streuungen aber rasch zu, weil extreme Bewölkungsgrade zum Morgen- und Abendtermin, die nicht dem Charakter des Strahlungs-

tages entsprechen, das Tagesmittel der Bewölkung stark beeinflussen können. So kommen in den Bewölkungsstufen 8—10, im Winter schon von 6 Zehntel an einzelne Tagessummen vom drei- bis fünffachen des Mittelwertes der Stufe, aber auch ohne jeden Anteil der Sonnenstrahlung vor. Bei niedrigem Sonnenstand, von November bis Februar, finden sich Tage ohne direkte Sonnenstrahlung schon bei Tagesmitteln der Bewölkung von $\frac{6}{10}$. Demgegenüber zeigt die Himmelsstrahlung auch bei niedrigen Bewölkungsgraden erhebliche Streuungen, die ihre Ursachen in den verschiedenen Zuständen der Himmelstrübung haben. Über die ganze Bewölkungsskala bis $\frac{9}{10}$ Bedeckung nehmen dann die Streuungen ab, liegen bei stärkerer Bewölkung im Sommer höchstens bei dem 1.3- bis 1.5fachen der Stufenmittelwerte und wachsen nur bei bedecktem Himmel auf das zweifache des Mittelwertes an. Die negativen Ausreißer liegen bei diesem Bewölkungsmittel bei ein Viertel bis ein Drittel des Stufenmittels. Wegen der erheblichen Streuweiten können daher Tagesmittel der Bewölkung nur bei Zusammenfassung zu Mittelwerten über einen längeren Zeitraum (Dekaden oder Monate) eine befriedigende Beziehung zu den entsprechenden Summenwerten der Globalstrahlung und ihrer Komponenten ergeben.

2.5.4. Das Zusammenwirken von Sonnen- und Himmelsstrahlung

Die Anteile der Himmelsstrahlung an der Globalstrahlung in Abhängigkeit vom Tagesmittel der Bewölkung, in ihrem Jahresgang durch eine Isoplethendarstellung (Abb. 15) veranschaulicht, erweisen sich der Energiezufuhr durch die direkte Sonnenstrahlung

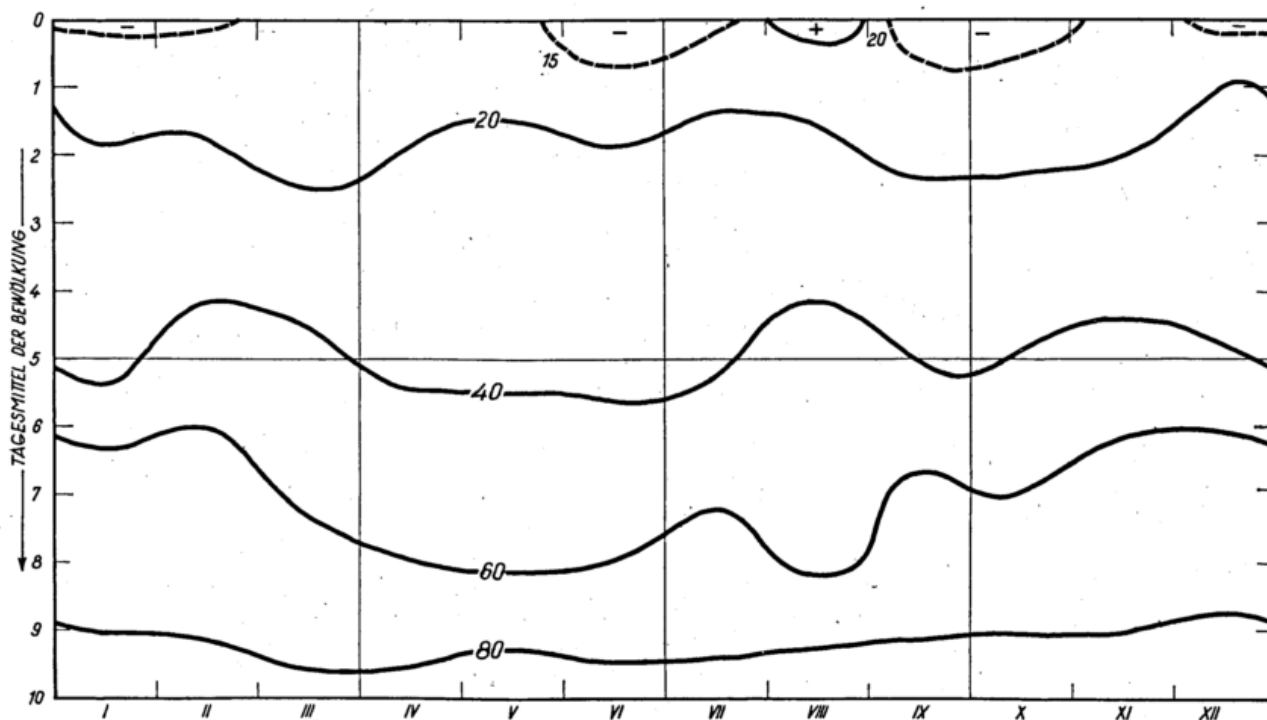


Abb. 15
Isoplethen gleicher Anteile der Himmelsstrahlung an der Globalstrahlung (%) in Abhängigkeit vom Tagesmittel der Bewölkung (April 53 — März 59)

gleichwertig im Sommer bei einer mittleren Tagesbewölkung von 6—8, im Winter bei 5—7 Zehntel. Bei geringen Bewölkungsgraden tritt die Wirkung des Dunstes auf die diffuse Strahlung hervor. Ihr Anteil nimmt vom Winter bis zum März hin stetig ab. Mit fortschreitender Jahreszeit entwickelt sich die Dunststrübung in viel höhere Schichten und vermehrt wieder den Anteil der Himmelsstrahlung, im August auch bei wolken-

losem Wetter auf über 20%. Mit dem Abklingen der Konvektion sinkt die Dunstgrenze mit Beginn des Herbstes schon oft unter Gipfelhöhe und senkt den Anteil der Himmelsstrahlung im Oktober bis auf 10%, in den Wintermonaten auf etwa 15% ab. Die Wirkung der Konvektionsbewölkung wird aus dem Verlauf des Bandes 40—60% in der Zeit von April bis August ersichtlich, wo sie die Himmelsstrahlung im Bereich zwi-

schen 6—8 Zehntel Bedeckung kräftig erhöht. Die stärker trübende Schichtbewölkung tritt von November bis Februar im Verlauf der 60⁰/₀-Linie schon bei 6/10 Bewölkung in Erscheinung.

Das Zusammenspiel von Sonnen- und Himmelsstrahlung in Abhängigkeit von der Bewölkung zu den verschiedenen Jahreszeiten veranschaulicht Abb. 16. Den Bezugslinien durch graphische Interpolation einen ste-

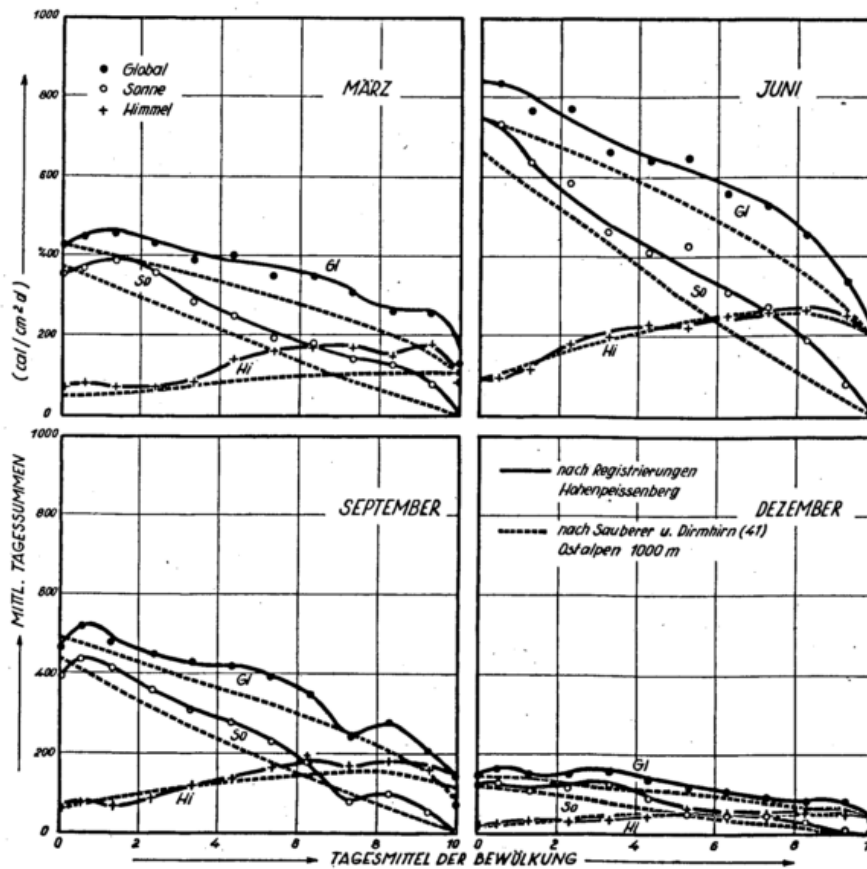


Abb. 16
Abhängigkeit der Globalstrahlung und ihrer Komponenten von der Bewölkung (April 53 — März 59)

tigen Verlauf zu geben, würde den Gegebenheiten nicht gerecht werden. Vielmehr sind im Bereich kleiner, mittlerer und höherer Bewölkungszahlen Teilkollektive angedeutet, deren Realität an Hand längerer Beobachtungsreihen noch zu überprüfen wäre. Sie sind, nach Jahreszeiten verschieden, auf die Wirkung der jeweils dominierenden Bewölkungsart zurückzuführen, z. B. ein sommerliches Teilkollektiv bei der Himmelsstrahlung im Bereich von 2—5 Zehntel Bewölkung durch die Konvektionsbewölkung, Maxima in der Übergangszeit im Bereich von 4—6 und 8 Zehntel durch mittelhohe und hohe Bewölkung im Bereich einer Frontalzone oder bei Föhn. Solche Teilkollektive finden sich auch in den Beziehungen zwischen der Globalstrahlung und der relativen Sonnenscheindauer (siehe Abschn. 2.6.2.), auch bei gleichartigen Darstellungen anderer Autoren, z. B. bei Hinzpeter (47) für Potsdam und Turner (52) für eine Höhenlage in Tirol, angedeutet.

2.5.5. Vergleich mit inneralpinen Verhältnissen

Für einen Vergleich der Hohenpeißenberger Bezugslinien mit den Verhältnissen in den Ostalpen aus gleicher Höhenlage stehen die von Sauberer und Dirmhirn (41) für verschiedene Seehöhen berechneten Werte zur Verfügung, die für „günstige“ Verhältnisse (keine Horizontalabschirmungen, keine Dunstansammlungen u. a.) gelten und im Durchschnitt noch um 4 bis 6% höher liegen als die Ergebnisse von Registrierungen. Die nach den Angaben für 1000 m Seehöhe konstruierten Bezugslinien wurden der Abb. 16 (gestrichelte Linien) beigelegt. Der Vergleich zeigt zu-

nächst, daß auf dem Hohenpeißenberg die Tagessummen der Globalstrahlung bei den verschiedenen Bewölkungsstufen zu allen Jahreszeiten bis zu 20% höher liegen als die für die inneralpinen Stationen berechneten, auch wenn die Bezugswerte bei wolkenlosem und bei bedecktem Wetter meist nahezu übereinstimmen. Diese auffallende Begünstigung des Vorlandes kommt hauptsächlich durch höhere Anteile der Sonnenstrahlung zustande, die im Gebirgsland durch die dort viel stärkere Konvektionsbewölkung und die stärker wirkenden dynamischen Effekte mehr abgedeckt ist als im Vorland. Dagegen stimmen die Werte für die Himmelsstrahlung besser überein. Sie zeigen im Vorland höhere Beträge nur im Frühjahr und, schwächer ausgeprägt, im Herbst bei höheren Bewölkungsstufen durch die Wirkung der mittelhohen und hohen Bewölkung, die bei Föhn am Nordrand der Alpen auf der Südhälfte des Horizontes durch die Sonne stark aufgehellt wird. Der Zusammenhang zwischen Global- bzw. Sonnenstrahlung und Bewölkungsgrad auf dem Hohenpeißenberg weicht auch viel stärker von einer linearen Beziehung ab als die 1000-m-Bezugswerte für die Ostalpen. Dabei haben Sauberer und Dirmhirn diese bereits mit einem Korrektionsfaktor verbessert, der die verschiedenen Gründe für die Abweichung von der Linearität, soweit sie für das inneralpine Gebiet gültig sind, berücksichtigt. Auf dieses Korrektionsglied als Grundlage einer Berechnung der Globalstrahlung wird bei der Besprechung der Beziehungen zur relativen Sonnenscheindauer noch zurückgekommen (siehe Abschnitt 2.6.3.)*.

* Vergleichswerte vom Südalpenrand wurden neuerdings aus Locarno-Monti (379 m NN) mitgeteilt (69).

2.5.6. Verhältnis der Globalstrahlung bei bedecktem zu der bei wolkenlosem Himmel

Die erstmals von Ångström (53) abgeleitete einfache Formel für die Bestimmung der Globalstrahlung bei verschiedenen Bewölkungsgraden, die eine lineare Abhängigkeit ausdrückt, basiert auf dem Verhältnis der Globalstrahlung bei bedecktem Wetter zu der bei wolkenlosem Himmel. Dieses Verhältnis hat, wie schon Prohaska (54) an Hand der Beobachtungen von Davos zeigte, einen ausgeprägten Jahresgang und nimmt mit der Seehöhe und mit höherer Breite zu. Damit erweist es sich als eine geeignete Größe zur Charakterisierung des Strahlungsklimas. Die für Hohenpeißenberg geltenden Verhältniszahlen, verglichen mit anderen Örtlichkeiten, sind in Tab. 32, a wiedergegeben. Die Werte liegen um so höher, je geringer der Einfluß der Bewölkung auf die Globalstrahlung, je ausgeglichener das Strahlungsklima ist. Im Vergleich zu den inneralpinen Lagen liegen die Hohenpeißenberger Werte z. T. beträchtlich niedriger als die aus gleicher Seehöhe in den Ostalpen. Das Strahlungsklima am Alpenrand erweist sich danach als wechselvoller. Das Alpenvorland unterliegt beim Durchgang von Schlechtwetterzonen und bei Staulagen einer viel dichteren Eintrübung als die Lagen innerhalb des Gebirges. Mit Beginn des Winters verstärkt sich die Himmelsstrahlung durch multiple Reflektion zwischen den Schneeflächen und der Wolkendecke und die Verhältniszahlen steigen bis zum Februar, dem schneesichersten Monat, der außerdem auch zu anhaltenden Schönwetterperioden neigt, bis auf 33% an. Diese Begünstigung des Februar geht auch aus den Verhältniszahlen der Himmelsstrahlung bei bedecktem Himmel zu der bei wolkenlosem Himmel hervor (Tab. 34). In diesem Monat strahlt der bedeckte Himmel $2\frac{1}{2}$ mal intensiver als der wolkenlose.

2.5.7. Einfluß von Wolkenart und Bodenbedeckung

Alle Beziehungen, die sich auf die Strahlung des mit Wolken bedeckten Himmels stützen, unterliegen durch die mit Wolkenart und Bodenbedeckung stark schwankende Intensität der Himmelsstrahlung einer erheblichen Streuung. Je nach der Höhe und der Dichte einer Wolkendecke wird die diffus zerstreute Strahlung mehr oder weniger verschluckt. Mit der Änderung der Albedo der Erdoberfläche zwischen Sommer und Winter kommt bei niedrigen Wolkenhöhen ein wechselnder Teil der am Boden reflektierten kurzwelligeren Strahlung infolge multipler Reflektion an der Wolkenuntergrenze zur Erde zurück. Mit dem Jahresgang in der Häufigkeit dominierender Wolkenarten und -höhen erfahren auch die Mittelwerte der Himmelsstrahlung in ihrer Abhängigkeit vom Bewölkungsgrad Veränderungen, die ihre Nutzung zur Berechnung der Himmels- bzw. Globalstrahlung aus den Bewölkungsangaben unsicher machen, wenn nicht auch die Wolkenart bzw. der Boden-zustand berücksichtigt werden.

Dieser Einfluß tritt eindeutig bei bedecktem Himmel hervor. Meßergebnisse aus Wien (41, S. 41 u. 43), in denen die Intensitäten der Himmelsstrahlung an Tagen mit einer Wolkendecke aus mittelhoher und hoher Bewölkung, aus tiefer Bewölkung und bei Nebel gegenübergestellt wurden, zeigen, daß die Mittelwerte der einzelnen Gruppen innerhalb der einzelnen Monate bis zum $2\frac{1}{2}$ fachen auseinanderliegen. Bei der Auswertung des Hohenpeißenberger Materials wurde noch einen Schritt weitergegangen. Innerhalb einzelner Gruppen, Nebel — tiefe Bewölkung — mittelhohe und hohe Bewölkung, wurde noch nach einzelnen Witterungs- und Bodenzuständen unterschieden: Ohne Niederschlag — ohne Niederschlag mit Schneedecke — gleichzeitig Regen — gleichzeitig Schneefall. Das im Jahresgang dargestellte Ergebnis zeigt Abb. 17. Die Konstruktion der

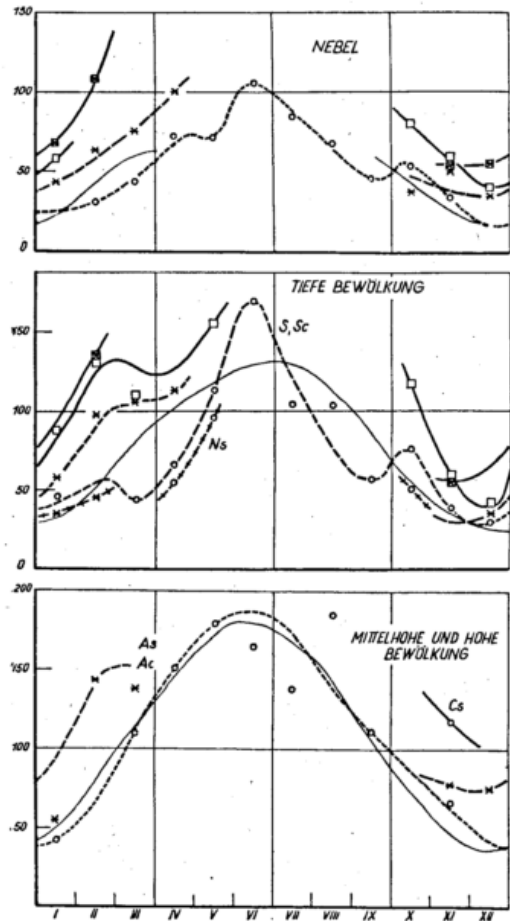


Abb. 17

Einfluß von Wolkenart und Bodenzustand auf die Intensität der Himmelsstrahlung bei bedecktem Himmel

- kein Niederschlag
- zugleich Regen
- ×— kein Niederschlag, Schneedecke
- *— zugleich Schneefall
- Wien zum Vergleich

Bezugslinien wurde nur soweit durchgeführt, als die jeweiligen Gruppenwerte als verbürgt und charakteristisch angesehen werden konnten. Für die Gruppe der hohen Bewölkung liegen nur einige Bezugswerte für den November vor. Die den einzelnen Gruppen zugehörigen Wiener Bezugslinien wurden der Darstellung zum Vergleich beigegeben*).

Die Hohenpeißenberger Bezugswerte zeigen zwischen und in den einzelnen Gruppen charakteristische Unterschiede, der Verlauf der Linien interessante Einzelheiten. In der Zusammenschau liegen die Intensitäten am niedrigsten bei Nebel und nehmen, wenn die Wolkendecke sich abgehoben hat, mit dem Ansteigen der Wolkenuntergrenze zu. Innerhalb jeder Gruppe wird die Intensität stark herabgesetzt, wenn gleichzeitig Niederschlag fällt. Bei Schneefall liegt sie dabei erheblich höher als bei Regen, weil die in der Niederschlagsbewölkung enthaltenen Schneekristalle viel stärker streuen und reflektieren als die in der Wasserwolke enthaltenen Tröpfchen. Die Schneefälle im Spätherbst und Frühwinter bringen noch nicht diese Überlegenheit, sie sind zumeist noch „naß“ und treten bei Kaltlufteinbrüchen auf der Rückseite durchwandernder atlantischer Zyklonen mit ihrer hochreichenden, stark abgedunkelnden Niederschlagsbewölkung auf. Bei tiefer Bewölkung ergibt der Nimbostratus geringere Intensitäten als die Stratus- oder Stratocumulus-Bewölkung, bei der zeitweilig Wolkenlücken mit darüberliegendem Altostratus gegeben sind. Erstaunlich hoch liegt die Him-

*) Weitere Vergleichswerte liegen neuerdings aus Locarno-Monti (69) vor. Sie unterscheiden die Bewölkungsmengen nach tiefen (C_L), mittelhohen (C_M) und hohen (C_H) Wolken.

melsstrahlung, wenn die winterliche mittelhohe Niederschlagsbewölkung (As, Ac) nicht durch tiefe Wolken abgedeckt ist. Bekanntlich läßt auch eine verhältnismäßig dünne mittelhohe Schichtbewölkung Schneekristalle ausfallen, deren Reflektionsfähigkeit die Himmelsstrahlung noch heraufsetzt. In dem Verhältnis der Strahlungsintensitäten bei bedecktem und bei wolkenlosem Himmel (siehe Abschn. 2.5.6.) ergeben sich dann (Tab. 32, b) Werte bis zu 50%, wie sie als Monatsmittel von Prohaska (54) für Davos, von Sauberer und Dirmhirn (41) für 3000 m in den Ostalpen, von Untersteiner (55) aus 4000 m im Karakorum festgestellt wurden oder sonst nur in hohen Breiten zu erwarten sind.

Alle drei Gruppen überschneiden sich derart, daß bei niederschlagsfreiem Wetter, wo die Nebel- oder Wolkenschichten oftmals eine nur geringe Mächtigkeit haben, die Intensitäten höher liegen als in der nächsthöheren Bewölkungsgruppe bei Niederschlag, wobei dichtere und höher hinaufreichende Bewölkung vorherrscht. Sie liegen besonders tief, wenn aufliegende oder tiefe Bewölkung bei gleichzeitigem Regen herrscht. Bei niederschlagsfreiem Wetter und Nebel kommen sie den Werten aus 1000 m in den Ostalpen gleich und übersteigen sie, den Frühling ausgenommen, sobald sich die Wolkendecke abgehoben hat.

Die durch multiple Reflexion zwischen der Schneedecke und einer niedrigen Wolkenuntergrenze erhöhte Himmelsstrahlung wirkt sich so stark aus, daß alle in der Gruppe „tiefe Bewölkung“ enthaltenen Bezugslinien, auch die für Regen, zwischen dem Februar, der in allen Jahren noch die Winterschneedecke trägt, und dem März, in dem sie verschwindet, eine deutliche Verwerfung zeigen. Auf die Strahlungsintensität der mittelhohen Wolken hat eine multiple Reflexion offenbar keinen Einfluß mehr.

Einer anderen Ursache ist die Verwerfung der bei aufliegenden Wolken gültigen Regenkurve zuzuschrei-

ben. Sie verläuft parallel mit der bei anderen Elementen zu beobachtenden Verwerfung, die durch den Einbruch und Abbruch des europäischen Sommermonsuns ausgelöst wird. Die mit den hochreichenden Monsuneinbrüchen verbundenen starken Eintrübungen sind zu meist mit einem Absinken der Wolkenhöhe unter Gipfelhöhe gekoppelt und wirken sich vom Mai zum Juni in einem Abfall der Intensitäten in dieser Gruppe aus. Die regnerischen Eintrübungen im Oktober sind dagegen vielfach mit den Auswirkungen einer abziehenden Vb-Störung verbunden, die, um die Alpen herumgreifend, am Nordrand des Gebirges starke Stauerscheinungen hervorruft. Faßt man innerhalb der drei Gruppen alle einzelnen Bezugswerte zusammen, so ergeben sich für die Seehöhe 1000 m im Alpenvorland allgemein höhere Werte, als sie für Wien (203 m) ermittelt wurden. Dieser Befund steht in Übereinstimmung mit der von Dirmhirn (56) abgeleiteten Zunahme der Himmelsstrahlung mit der Seehöhe bei bedecktem Himmel.

2.6. Abhängigkeit von der Sonnenscheindauer

Wenn die Bewölkungsangaben engere Beziehungen zur Intensität der Himmelsstrahlung versprochen, sind für die Beurteilung und rechnerische Ermittlung der Sonnenstrahlung bessere Rückschlüsse von der Sonnenscheindauer zu erwarten. Eine gewisse Streuung dieser Beziehung ist durch wechselnde Trübungsgrade bedingt, deren Variabilität aber nicht an das stark wechselnde Reflektions- und Zerstreuungsvermögen verschiedener Bewölkung mit ihren Rückwirkungen auf die Intensität der Himmelsstrahlung heranreicht. Ausreißer sind in den nicht sehr häufigen Fällen gegeben, wenn bei dünner hoher oder mittelhoher Bewölkung die durchscheinende Sonne zwar noch eine Brenns pur auf dem Dauerschreiber hinterläßt, die Strahlungsintensität aber wesentlich geschwächt ist.

Als Bezugsmaß für die Bewertung der Sonnenscheindauer in ihrem jahreszeitlichen Verhalten wurde, wie

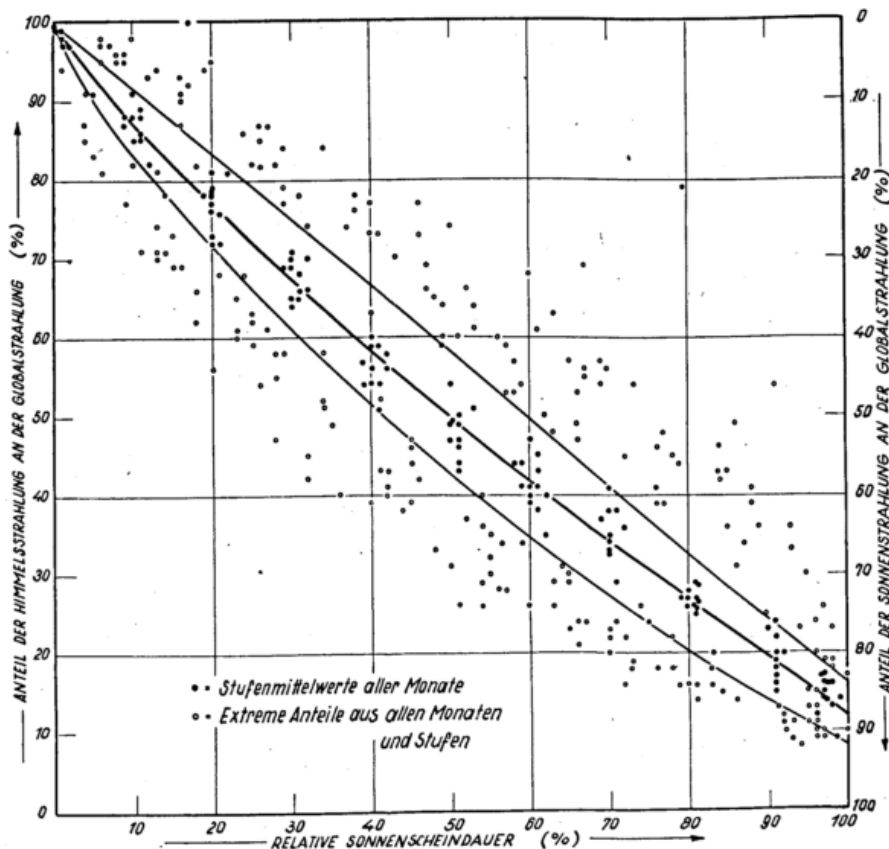


Abb. 18
Prozentuale Anteile der Sonnen- bzw. Himmelsstrahlung an der Globalstrahlung in Abhängigkeit von der relativen Sonnenscheindauer (April 53 - März 59)

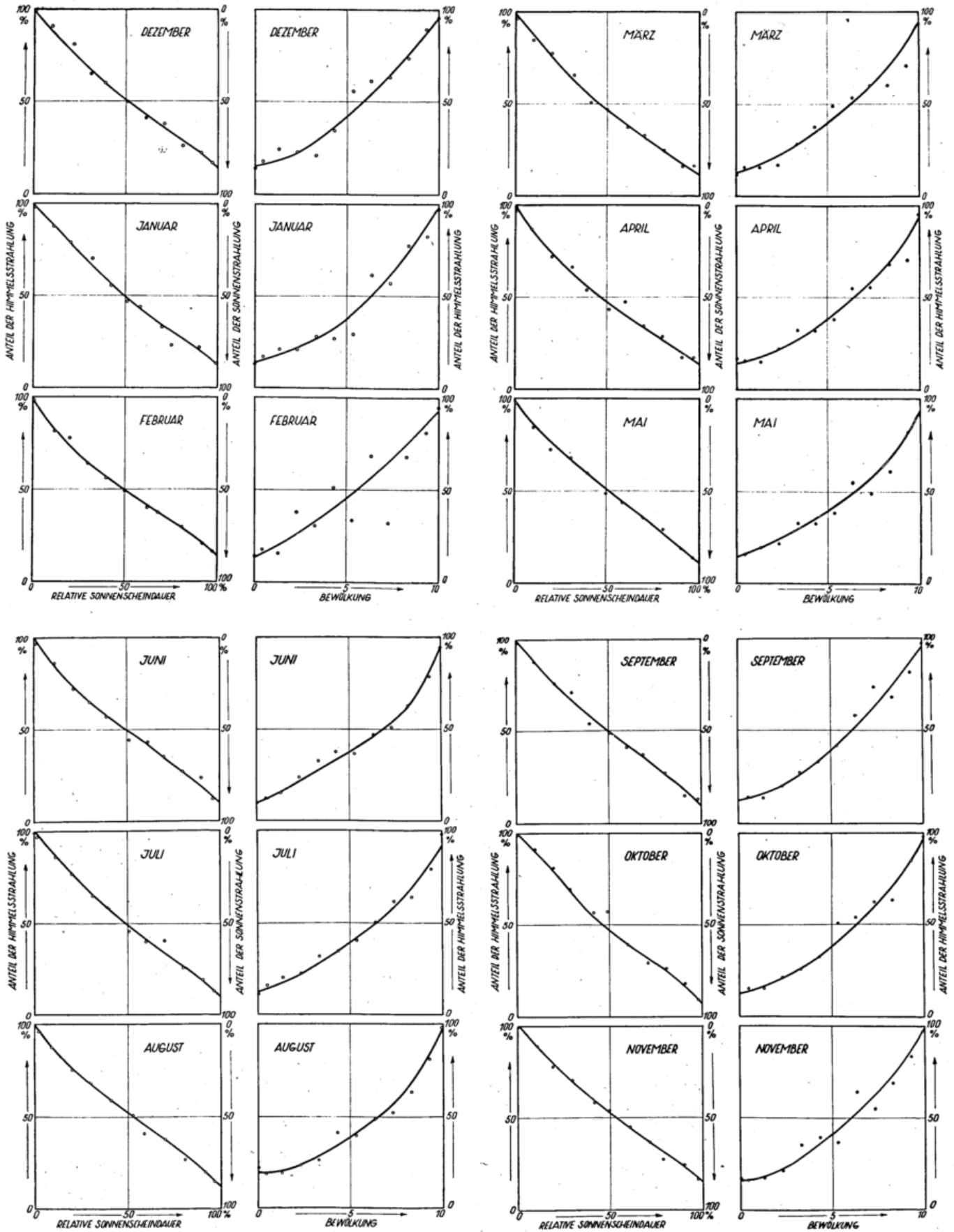


Abb. 19

Prozentuale Anteile der Sonnen- bzw. Himmelstrahlung an der Globalstrahlung in Abhängigkeit von relativer Sonnenscheindauer (%) und Bewölkungsmenge (Tagesmittel in Zehntel Himmelsbedeckung) (April 53 — März 59)

meist üblich, die relative Sonnenscheindauer benutzt. Aber auch das Verhältnis der Globalstrahlung zur wirklichen Sonnenscheindauer wurde zur Berechnung überschläglicher Monatswerte der Globalstrahlung für

Orte, von denen nur die Sonnenscheindauer bekannt ist, verwendet. Auch diese Beziehung soll an Hand des Hohenpeißenberger Beobachtungsmaterials überprüft werden.

2.6.1. Beziehungen nach Stufenwerten der relativen Sonnenscheindauer

Um die Abhängigkeit der Globalstrahlung und ihrer Komponenten, der Sonnen- und der Himmelsstrahlung, von der relativen Sonnenscheindauer abzuleiten, wurden alle Tagessummen des untersuchten Zeitraums nach Zehnerstufen der relativen Sonnenscheindauer (0—5, 6—15 86—95, 96—100) geordnet und die Stufenmittel gebildet. Über die Häufigkeit einzelner Stufen, die den Mittelwerten ein verschiedenes Gewicht gibt, unterrichtet die Tab. 5, b.

2.6.1.1. Anteil der Sonnen- bzw. Himmelsstrahlung an der Globalstrahlung

Die Stufenmittelwerte aller Monate in ein Diagramm (Abb. 18) eingetragen, ergeben ein schmales Band, dessen obere, den minimalen Anteil der Sonnenstrahlung festlegende Begrenzung streng einer Geraden entspricht, die angenähert den möglichen Anteil der Sonnenstrahlung an der Gesamtintensität der Globalstrahlung bei maximalen Trübungsgraden kennzeichnet. Auf der anderen Seite ergeben sich bei geringen Trübungsgraden Anteile der Sonnenstrahlung, die im Mittel an sonnigen Tagen um 8—12%, an Tagen mit unterbrochener oder zeitweiliger Besonnung, z. B. bei Konvektionsbewölkung oder Aufklaren, durchschnittlich bis zu 16% höher liegen. Die in die Darstellung übernommenen extremen Tage aller Monate innerhalb der Zehnerstufen der relativen Sonnenscheindauer können von diesen Mittelwerten erheblich abweichen. Die Fälle minimaler Anteile, bei denen die Intensität der Sonnenstrahlung durch dünne Wolkenschleier herabgesetzt ist, der Son-

nenscheinphotograph aber noch registriert, können gegenüber den Fällen extrem hoher Anteile, Tagen mit ungewöhnlich geringer Trübung, in dieser Höhenlage bis um 50% niedriger liegen. Die relativ höchsten Anteile der Sonnenstrahlung treten ebenfalls im Bereich mittlerer Grade der Sonnenscheindauer auf. Die gleiche Tendenz wird auch vom Verlauf der alle Stufenmittel ausgleichenden Bezugslinie angedeutet, die als flache S-Kurve ihre stärkste Ausbuchtung nach höheren Anteilen der Sonnenstrahlung im Bereich mittlerer Besonnungsgrade hat.

Die für die einzelnen Monate gültigen Bezugslinien (Abb. 19) zeigen diesen S-förmigen Verlauf noch deutlicher. Die Abweichung der einzelnen Bezugspunkte von der mittelnden Kurve ist nur geringfügig, besonders wenn man dagegen die Lage der Stufenmittel aus der Beziehung zum Tagesmittel der Bewölkung betrachtet, die zum Vergleich beigegeben sind. Die Abweichungen von Monat zu Monat sind ebenfalls sehr gering. Für die entgegengesetzten Jahreszeiten lassen sich die maximal vorkommenden Unterschiede durch das in Tab. 33 gebrachte Schema angeben, das die jeweils höheren oder niedrigeren Anteile der Sonnenstrahlung an der Globalstrahlung kennzeichnet. Die Abweichungen erreichen im Höchstfalle 5%. Im Bereich zwischen 20 und 60% relativer Sonnenscheindauer liegen die Anteile der Sonnenstrahlung von Februar bis Juli infolge stärkerer Intensität bei wechselnder Bewölkung höher als vom August bis Januar bei stärkerer Lufttrübung. Bei sonnigem Wetter (80—100% relativer Sonnenscheindauer) erweist sich der Zeitabschnitt von Mai bis Oktober dem Winterhalbjahr mit stärkerer Neigung zur Dunstbildung überlegen.

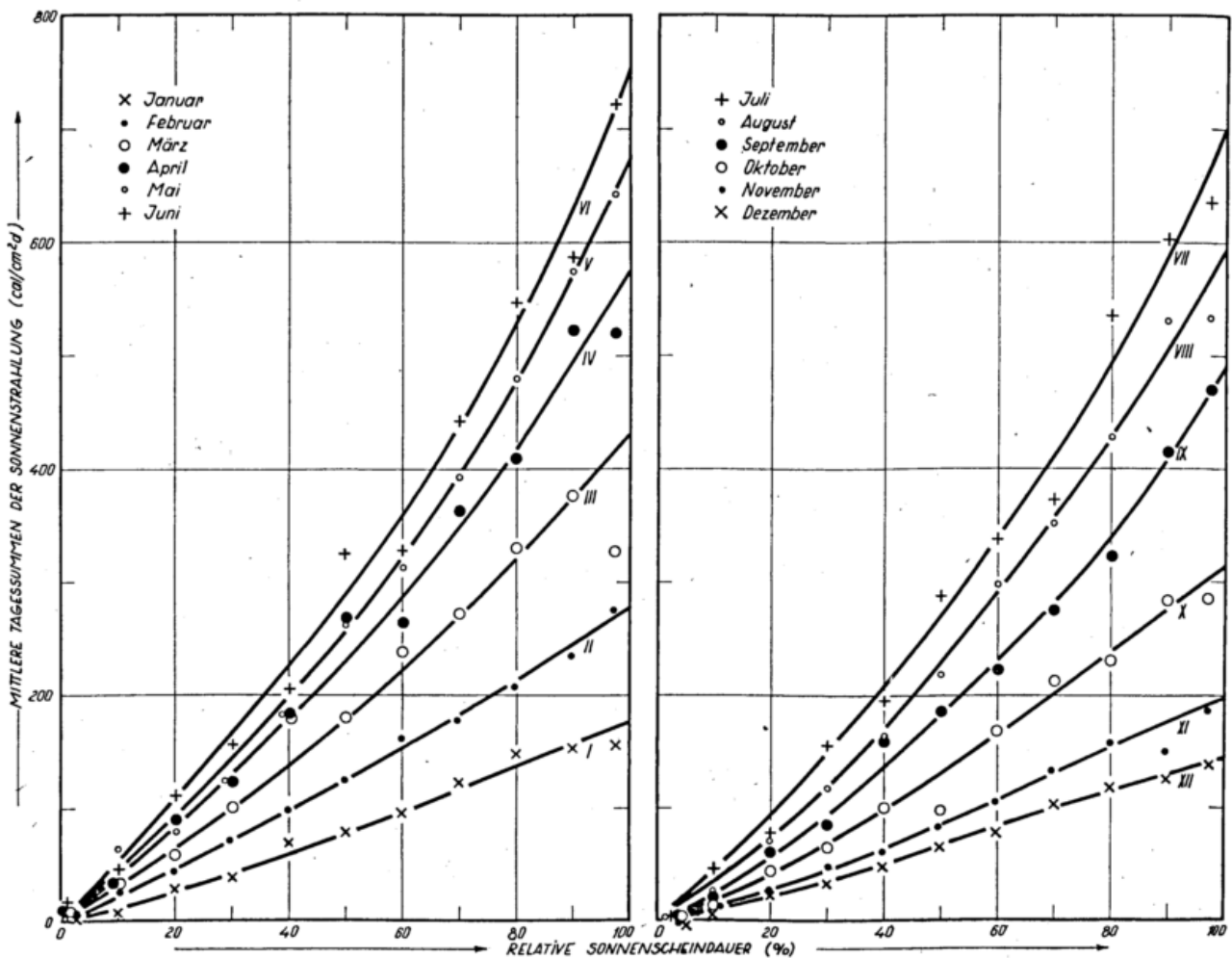


Abb. 20
Mittlere Tagessummen der Sonnenstrahlung in Abhängigkeit von der relativen Sonnenscheindauer (April 53 — März 59)

2.6.1.2. Sonnenstrahlung

Für die Sonnenstrahlung (Abb. 20, a und b) ergeben sich leicht gekrümmte Bezugslinien, die mit höheren Relativzahlen der Sonnenscheindauer im Winter nur schwach, zum Sommer hin steiler ansteigen. Diese Intensitätszunahme ist durch die Höhenlage des Hohenpeißberges bedingt: An Tagen mit hoher Sonnenscheindauer liegt der Gipfel meist über der Obergrenze des dichten Dunstes. Im Flachland dagegen verringert sich wieder die Zunahme der Strahlungsenergie bei hohen Relativwerten der Sonnenscheindauer, weil Schönwettertage durch stärkere Dunsttrübung gekennzeichnet sind (siehe Matzke (44) S. 47). Angedeutet sind, wie bei den Beziehungen zur Bewölkung, mehrere Teilkollektive, die mit der Art der vorherrschenden Bewölkung zusammenhängen. So liegen im Sommer im Bereich um 80% relativer Sonnenscheindauer die Werte

der Sonnenstrahlung oberhalb der ausgleichenden Bezugslinie. Die häufigen Ausreißer dieser Gruppe mit überdurchschnittlichen Bezugswerten finden sich fast ausschließlich an Tagen mit Föhn bei sehr guter Alpensicht, wenn die Dunstschicht völlig weggeräumt oder nur noch in den Tälern verblieben ist. Ein zweites Teilkollektiv mit Werten oberhalb der ausgleichenden Bezugslinie findet sich, wie im Flachland, im Bereich zwischen 40 und 50% relativer Sonnenscheindauer. Es ist mit dem Aufklaren und der Sichtbesserung nach Kaltlufteinbrüchen gekoppelt.

2.6.1.3. Himmelsstrahlung

Bei der Himmelsstrahlung zeigen die Bezugslinien (Abb. 21, a und b), analog zur Abhängigkeit vom Bewölkungsgrad (siehe Abb. 16), einen Gang, der von

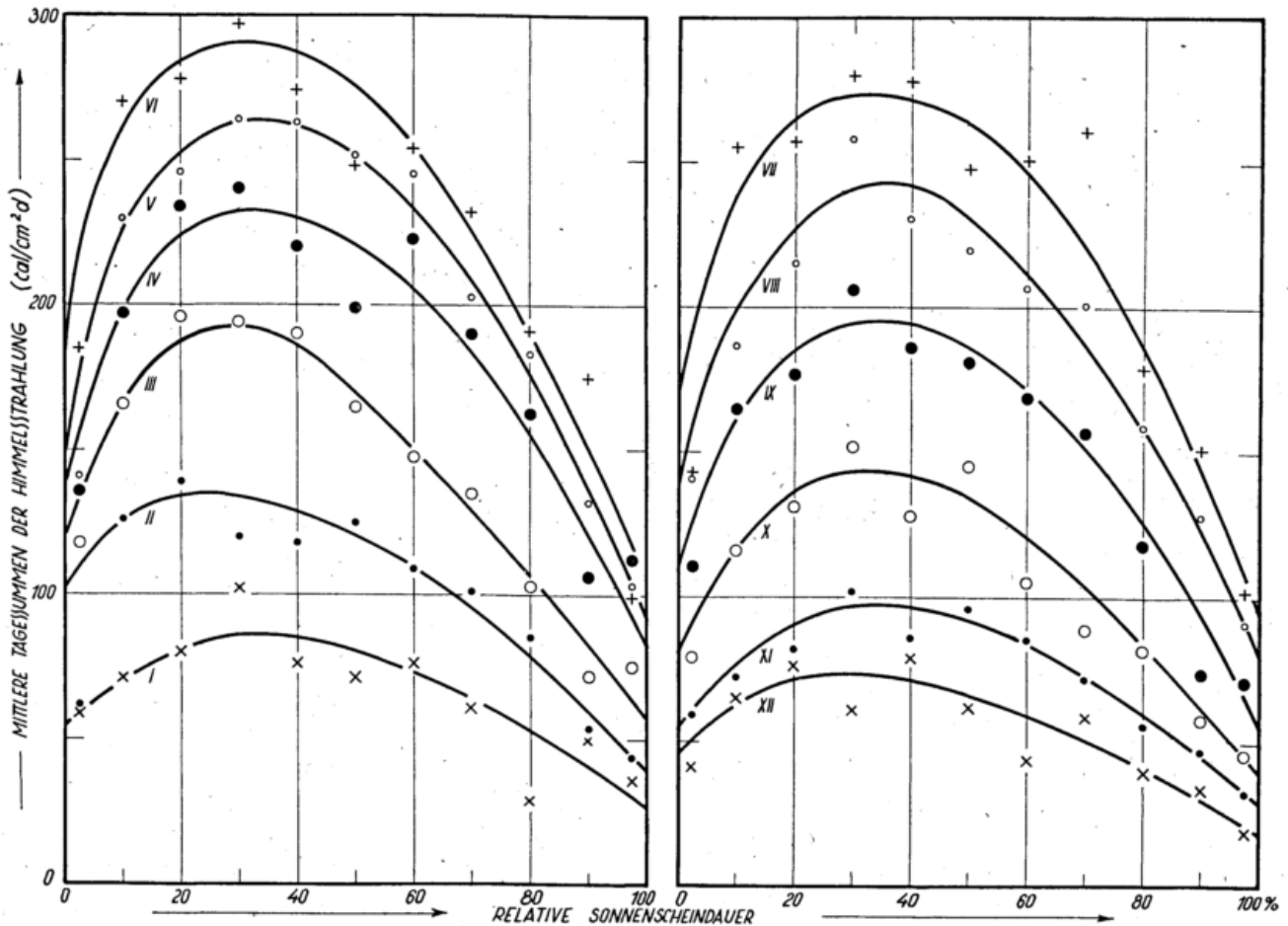


Abb. 21
Mittlere Tagessummen der Himmelsstrahlung in Abhängigkeit von der relativen Sonnenscheindauer (April 53 — März 59); Zeichenerklärung siehe Abb. 20

niedrigen Werten mit zunehmenden Anteilen der relativen Sonnenscheindauer zu einem Maximum bei etwa 30% aufsteigt und dann wieder abfällt, um bei 100% seinen tiefsten Bezugswert zu erreichen. Ihren steilsten Anstieg haben sie in den Sommermonaten, wenn bei starker Konvektionsbewölkung die Reflexion und Rückstrahlung von den von der Sonne beleuchteten Wolkenflächen das zerstreute Himmelslicht kräftig aufhellt. Bei wolkenlosem Himmel ist die Himmelsstrahlung (Tab. 34) im Winter gerade noch halb so stark wie bei bedecktem Himmel; bei tief liegender Inversion entfällt jegliche Aufhellung durch Dunsttrübung. Im April und Mai ergeben sich infolge stärkerer Turbulenz bei beiden Extremen der Sonnenscheindauer nahezu gleichwertige Energiebeträge der Himmelsstrahlung. Im Sommer steigt der Dunst nur noch zeitweise über Gipfelhöhe an, und es häufen sich ruhige Schönwetterlagen,

deren Himmelsstrahlung nur 70—90% der Werte bei bedecktem Himmel ausmacht. Mit dem Einsetzen der Herbstnebel wird im September das Verhältnis durch sehr niedrige Werte der Himmelsstrahlung an trüben Tagen wieder etwas heraufgesetzt, um dann zu den niedrigen Winterwerten abzusinken.

2.6.1.4. Globalstrahlung

Aus der Überlagerung beider Komponenten, der Sonnen- und der Himmelsstrahlung, ergeben sich für die Globalstrahlung Bezugslinien (Abb. 22, a und b), die leicht gekrümmt mit zunehmender relativer Sonnenscheindauer ihren Anstieg flacher vollziehen. Dagegen sind sie bei Stationen im Flachland, z. B. Potsdam (47) oder Greifswald (44), im Winter oberhalb 20%, im Sommer oberhalb 40% nahezu linear. Die aus den Bezugs-

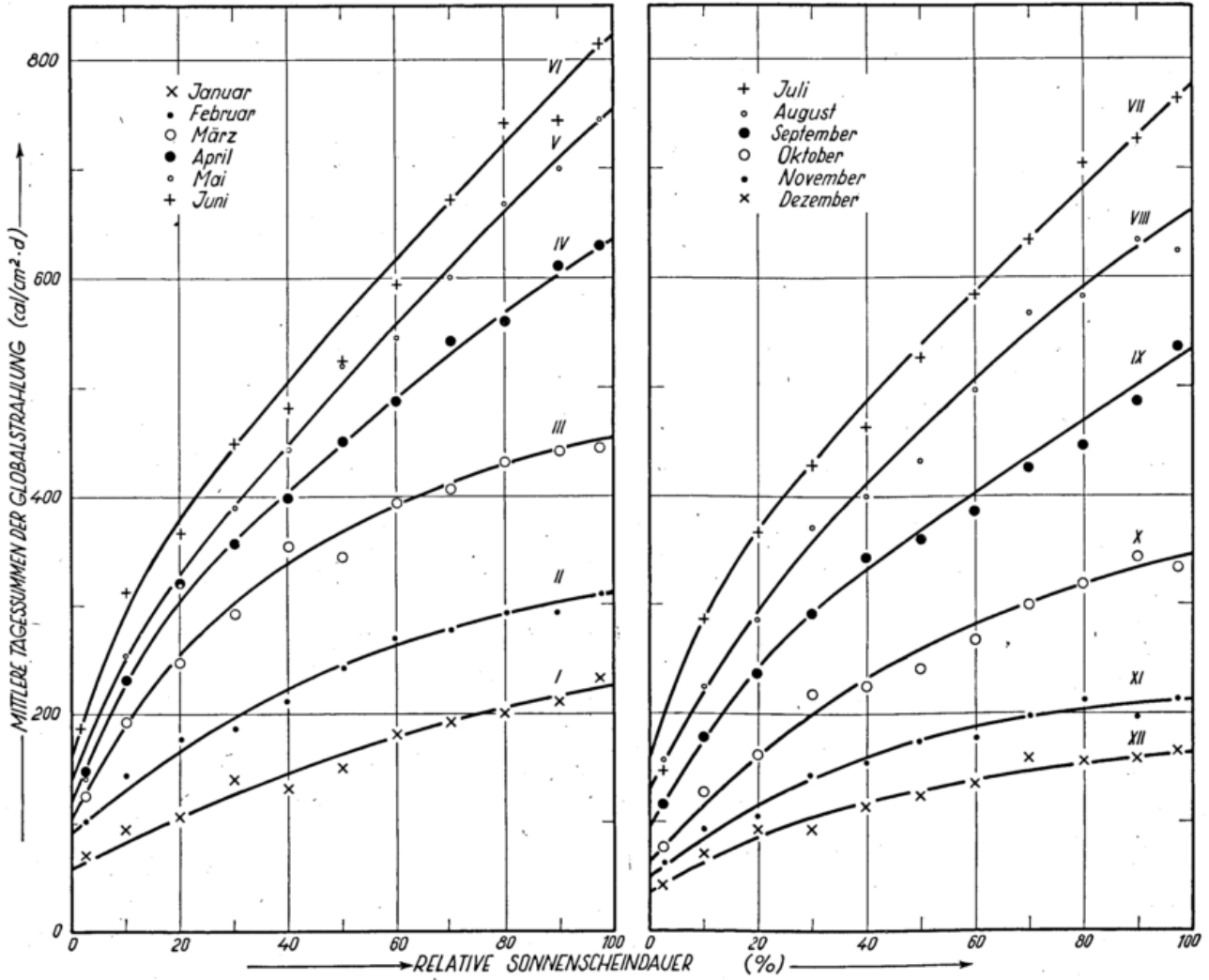


Abb. 22

Mittlere Tagessummen der Globalstrahlung in Abhängigkeit von der relativen Sonnenscheindauer (April 53 — März 59)

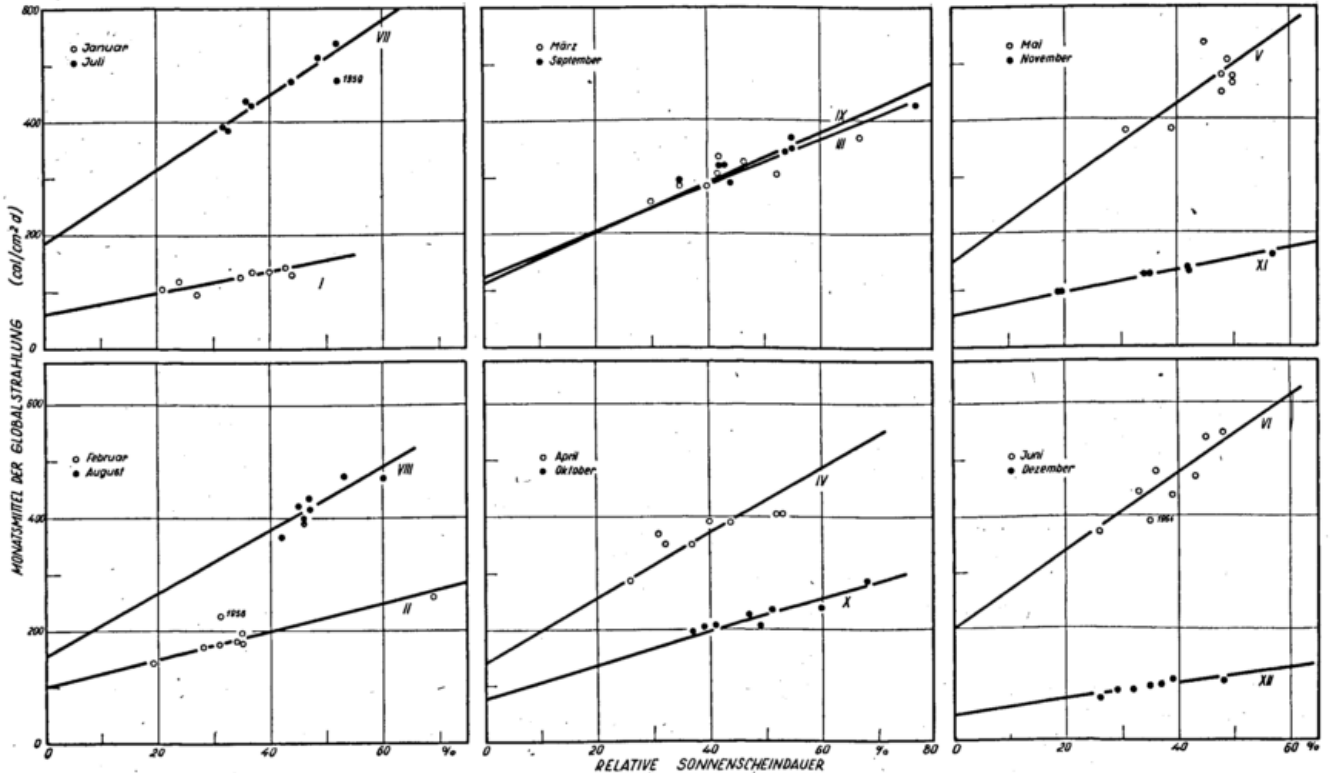


Abb. 23

Abhängigkeit der Globalstrahlung von der relativen Sonnenscheindauer (nach Monatsmittelwerten 1953 — Okt. 60)

linien der Sonnenstrahlung ersichtlich gewordenen Teilkollektive übertragen sich auch auf die Globalstrahlung und zeigen überdurchschnittliche Bezugswerte bei 80—90% (Föhn), 50—60% (Kaltlufteinbrüche) und bei 20—30% (starke Konvektion). Auch die von Turner (52) ermittelten Kurven bestätigen solche Teilkollektive. Gegenüber den Einzelwerten bei Darstellung der Abhängigkeit von den Bewölkungsgraden (Abb. 16) zeigt sich eine etwas geringere Streuung. Die Bezugslinien lassen sich mühelos nach den einzelnen Stufenmittelwerten konstruieren.

Innerhalb jeder Stufe der relativen Sonnenscheindauer zeigen die einzelnen Tagessummen mehr oder weniger große Abweichungen vom Mittelwert (Tab. 35). Analog zu den Verhältnissen bei Bezug auf die Bewölkungsstufen (Tab. 30) können bei starker Himmelsbedeckung (Stufe 0—5%) die Strahlungssummen das ganze Jahr über mehr als das Doppelte und minimal nur 15—20% der Stufenmittel betragen, eine Folge der unterschiedlichen Dichte der Schichtbewölkung mit ihrer sehr wechselnden Durchlässigkeit der kurzwelligen Strahlungsströme. Mit zunehmender Sonnenscheindauer geht die Streuung schnell zurück und macht an sonnigen Tagen nur noch höchstens 5 bis 30% des Stufenmittelwertes aus. In diese Streuung gehen dann nur noch die Aufhellungen durch einzelne, nicht abdeckende Wolkenpartien oder die wechselnde atmosphärische Trübung ein, deren Auswirkungen auf die Tagessummen der diffusen Himmelsstrahlung wesentlich geringer sind als die Streuung bzw. Reflektion durch abdeckende Bewölkung. In den Sommermonaten bei ungestörtem Strahlungswetter weichen die einzelnen Tagessummen nur noch höchstens 10% vom Mittelwert ab. Tage mit höherer Sonnenscheindauer ergeben, zumal im Sommer, zugleich auch wesentlich höhere Strahlungssummen als Tage mit starker Himmelsbedeckung. So kommt die geringere Streubreite der Einzelwerte bei sonnenscheinreicher Witterung dem Ziel der Ableitung von Beziehungen zur Berechnung von Strahlungswerten aus Angaben der Sonnenscheindauer entgegen. Jedoch wird eine Extrapolation von einzelnen Tagessummen der Globalstrahlung nach gemessenen Werten der Sonnenscheindauer immer mit einer gewissen Unsicherheit behaftet bleiben, weil die herrschende Lufttrübung, die Dichte der Bewölkung und deren Reflektionseigenschaften allzu stark variieren können.

2.6.2. Beziehungen nach Summenwerten der relativen Sonnenscheindauer

2.6.2.1. Monatssummen der Globalstrahlung

Bei Zusammenfassung der Bezugswerte zu Dekaden- oder Monatssummen gleichen sich die durch den Wetterwechsel von Tag zu Tag bedingten Unterschiede schon weitgehend aus. Die Streuung der einzelnen Bezugspunkte wird dann nur noch durch längere Witterungsperioden einheitlichen Charakters bestimmt. Sie tritt vom April bis Juni, den Monaten mit den stärksten Witterungsänderungen, etwas mehr in Erscheinung. In den anderen Monaten bleiben die Abweichungen gering. Vereinzelt Ausreißer (z. B. Februar 1956, Juni 1954, Juli 1959) sind durch länger anhaltende Witterungsanomalien gekennzeichnet. Die nach Monatssummen der Globalstrahlung und der in Relativzahlen ausgedrückten Sonnenscheindauer abgeleiteten Bezugslinien (Abb. 23) lassen sich nunmehr durch eine gerade Linie darstellen. Damit wird eine Extrapolation von Strahlungswerten nach einfachen Regressionsgleichungen möglich.

2.6.2.2. Berechnung der Globalstrahlung

Die Beziehungen der relativen Sonnenscheindauer zur Globalstrahlung auf die horizontale Fläche nach Mo-

natswerten können durch eine einfache Gleichung, die Normalform einer Gleichung ersten Grades zwischen zwei Veränderlichen,

$$G_R = G_{10} + Q_R \cdot S_R \quad [1]$$

ausgedrückt werden, worin G_R die Globalstrahlung bei der relativen Sonnenscheindauer S_R , G_{10} die Himmelsstrahlung bei bedecktem Himmel und Q_R einen sich monatlich ändernden Faktor darstellt. G_{10} gibt den Anfangspunkt der Geraden auf der Ordinate und Q_R ihren Steigungswinkel an. Für G_{10} und Q_R wurden hier die in Tab. 36 zusammengestellten Werte gefunden. Daß die Werte für G_{10} , der Global- bzw. Himmelsstrahlung bei bedecktem Himmel, nicht mit den Mittelwerten der Bewölkungsstufe 10.0 (bedeckt) in Tab. 30 übereinstimmen, hängt mit der hier durchgeführten Ableitung dieses Faktors aus graphischer Extrapolation nach den niedrigen Stufen der Sonnenscheindauer zusammen. Dort schließt der Mittelwert für bedeckte Tage auch trübe Tage mit mehrschichtiger und sehr dichter geschlossener Bewölkung an Schlechtwettertagen ein, an denen die diffuse Himmelsstrahlung sehr stark herabgesetzt ist, stärker als sie fortlaufenden Stufen weniger dichter, durchbrochener Bewölkung entsprechen würde. Für März und April wäre nach den vorliegenden Ergebnissen der 7jährigen Beobachtungsreihe ein besserer graphischer Ausgleich möglich. Die sich daraus ergebenden geänderten Werte der Faktoren G_{10} und Q_R würden aber aus dem funktionell erscheinenden Jahresgang dieser Werte (Tab. 36, a) herausfallen, so daß diese Änderung im Hinblick auf die kurze Dauer des zugrundeliegenden Beobachtungszeitraums nicht vertretbar erscheint.

Die mit diesen Faktoren errechneten mittleren monatlichen Tagessummen der Globalstrahlung wurden den gemessenen Werten gegenübergestellt und ihre prozentuale Abweichung für die einzelnen Monate in Tab. 36 b aufgenommen. Die Streuung übersteigt nur in Einzelfällen 10%, der Februar 1956 mit 21.6% zu niedrig berechneter Globalstrahlung bildet eine allein stehende Ausnahme. Die durchschnittliche Abweichung, von Januar bis Juni zwischen 5 und 7% und von Juli bis Dezember zwischen 3 und 5% schwankend, und die mathematisch exakter definierte mittlere Abweichung, von Januar bis Juni zwischen 7.0 und 9.5% und von Juli bis Dezember zwischen 3.7 bis 6.0% schwankend, bleiben in erträglichen Grenzen. Im Abschnitt 2.6.4. soll nach dieser Beziehung für die vorliegende Beobachtungsreihe der Sonnenscheindauer (ab 1937) eine Extrapolation von Monats- und Jahressummen der Globalstrahlung vorgenommen werden.

2.6.2.3. Kritik der Ångström'schen Formel

Die Abhängigkeit der Globalstrahlung von der Sonnenscheindauer drückt A. Ångström (53) durch folgende Beziehung aus:

$$G_R = G_0 [\alpha + (1 - \alpha) S_R] \quad [2]$$

Mit G_0 , der Globalstrahlung an Strahlungstagen, geht Ångström, gegenüber dem im Abschn. 2.6.2.2 angewandten Verfahren, vom anderen Ende der Geraden bei einer relativen Sonnenscheindauer von 100% aus. Die Konstante α nimmt er, wie auch andere Autoren (Kimball, Lunelund) als konstant an. Die Formel sagt aus, daß der Anteil der diffusen Himmelsstrahlung an der Globalstrahlung bei einer gegebenen relativen Sonnenscheindauer das ganze Jahr über immer gleich bleibt und daß die Größe des Faktors aus dem Verhältnis der Strahlungssumme bei bedecktem Himmel zu der an ungestörten Strahlungstagen ableitbar ist.

1. Einwand: Die Voraussetzung, der Quotient α sei konstant, trifft, wie auch schon Prohaska (54) und Sy-

down (48) zeigten, wenigstens für Höhenlagen nicht zu. Das Verhältnis der Energiesummen der Globalstrahlung bei bedecktem und bei wolkenlosem Himmel zeigt dort einen ausgeprägten Jahresgang (siehe Abschn. 2.5.6. und Tab. 32).

2. Einwand: Die Strahlungssummen bei bedecktem und bei wolkenlosem Himmel sind nicht charakteristische Ausgangswerte für die Ableitung des Quotienten. Die Globalstrahlungssummen und die Bewölkung (Abb. 16) zeigen allenfalls zwischen 2 und 8 Zehntel Himmelsbedeckung eine annähernd lineare Abhängigkeit, nach beiden Enden der Bewölkungsskala aber einen deutlichen Abfall. An Strahlungstagen bei Bewölkung 0 fehlt der durch Reflektion an den Wolken hervorgerufene Anteil an der Himmelsstrahlung, bei bedecktem Himmel wird das diffuse Himmelslicht durch die meist größere Dichte und Mehrschichtigkeit der Bewölkung stärker herabgesetzt, als es der Relation entspricht. Die unterste Wolkendecke wird dann nicht mehr direkt von der Sonne angestrahlt, sondern erhält ihre Strahlung nur noch diffus von der darüberliegenden Wolkenschicht (siehe auch (54)). Den gleichen Effekt zeigen die auf Stufen der relativen Sonnenscheindauer bezogenen, S-förmig geschwungenen Bezugslinien der Abb. 19.

Zwar geht Ångström bei seiner Formel nur von der Energie an Strahlungstagen (S_R nahe 100%) aus; diese liegt aber niedriger, als es die Relation erfordert. Die Formel muß — bei Zugrundelegung von Mittelwerten über einen längeren Witterungsabschnitt — den zusätzlichen Strahlungsgewinn durch Reflektion und Zerstreuung an den Wolken berücksichtigen. Beide Enden der Skala der relativen Sonnenscheindauer, nach Formel [1] extrapoliert, ergeben wenigstens für Höhenlagen in der gemäßigten Zone theoretische Bezugswerte, die höher liegen als die gemessenen Werte. Den Ausgangswert G_0 nach der Ångström'schen Formel [2] mit den gemessenen Werten an Strahlungstagen gleichgesetzt und mit konstantem Faktor variiert, würde für die gesuchten Zwischenwerte der Skala zu niedrige Strahlungssummen ergeben. Prohaska (54) hat das gleiche für Davos nachgewiesen. Die für Hohenpeißenberg nach Formel [1] sich ergebenden Werte für G_0 , der Globalstrahlung bei wolkenlosem Wetter mit einer relativen Sonnenscheindauer von 100%, sind in Tab. 36a aufgenommen. Sie liegen durchwegs höher als die durch Messung belegten Monatswerte dieser Stufe und von März bis September auch noch höher als die in den hohen Stufen der Sonnenscheindauer bisher gemessenen höchsten Tagessummen (Tab. 35). In den Wintermonaten stimmen sie mit diesen nahezu überein. Der mit den beiden theoretischen Grenzwerten G_0 und G_{10} unter Zugrundelegung eines monatlich gleitenden Quotienten ermittelte Ångström'sche Faktor α (Tab. 36a) nähert sich nunmehr einem konstanten Wert in der von Ångström u. a. angegebenen Größenordnung (0.20 bis 0.25).

2.6.2.4. Andere Formeln zur Berechnung von Globalstrahlungssummen

Das zunehmende Interesse der theoretischen Meteorologie an Aussagen über den Strahlungs- und Wärmehaushalt der Erde, die sich auf die der Erdoberfläche zugeführte kurzweilige Strahlungsenergie stützen, fand in letzter Zeit ihren Ausdruck in der Überprüfung aller Möglichkeiten, aus verfügbaren Klimatelementen Werte der Globalstrahlung zu berechnen, um Strahlungssummen von Orten abzuleiten, für die keine Messungen vorliegen, und kurze Meßreihen der Globalstrahlung auf längere Reihen zu extrapolieren. Einen Überblick über die von verschiedenen Autoren durchgeführten Berechnungsarten und eine kritische Betrachtung der verschiedenen Formeln unter einheitlichen Gesichtspunkten hat H. Hinzpeter (58) gegeben und

die dabei auftretenden Fehler zahlenmäßig an Hand des Potsdamer Beobachtungsmaterials überprüft.

Diese verschiedenen Formeln gehören zumeist dem Ångström-Typ an. Sie legen eine lineare Beziehung der Globalstrahlungssummen zu verschiedenen Stufen der relativen Sonnenscheindauer (Ångström), der wirklichen Sonnenscheindauer (Ukrainzew), zum Bedeckungsgrad (Kimball) aus dem Zusammenhang von Tageswerten, oder gleichartige Beziehungen aus dem Zusammenhang von Monatswerten (Sawineff, Schuepp, Fritz und MacDonald), auch unter Bezugnahme auf die ungetrübte Atmosphäre (Black, Bonython und Prescott) zugrunde. Mit getrennten Faktoren für einen nach hoher und nach mittelhoher und niedriger Bewölkung aufgeteilten Bedeckungsgrad (Kusmin, Albrecht) konnte die Berechnung aus Bewölkungsangaben verbessert werden.

Diesen linearen Beziehungen steht ein anderer Typ von Formeln (Thams, Matzke, Nicolet und Dogniaux, Hinzpeter) gegenüber, der als eine Funktion höheren Grades dem nicht linearen Verlauf der Bezugskurve, insbesondere in den Bereichen niedriger relativer Sonnenscheindauer, besser gerecht wird. Eine Formel des Ångström-Typs mit einer Konstanten, die mit der relativen Sonnenscheindauer variiert (Stolley), verfolgt den gleichen Zweck.

Der Vergleich der verschiedenen Berechnungsformeln am Beispiel von Potsdam (58) bestätigt die schon im Abschn. 2.6.2.3. vorgebrachten Einwände: Formeln des Ångström-Typs erfordern die Verwendung einer sich jahreszeitlich ändernden Konstanten und eine Bezugslinie, die durch den Schwerpunkt des statistisch ermittelten Kollektivs verläuft. Die geringste Streuung, besonders bei kleiner relativer Sonnenscheindauer, weisen die Formeln 2. Grades auf. Es schien daher geboten, die auf dem Hohenpeißenberg gegebenen Verhältnisse an Hand der Formel von Hinzpeter zu überprüfen und die dabei auftretenden Streuungen mit denen zu vergleichen, die sich bei der hier durchgeführten Berechnung nach Formel [1] ergaben. Mit dem Februar und dem Juli wurden für diesen Vergleich zwei Monate ausgewählt, die im Winter die höchste und im Sommer die kleinste mittlere Abweichung (Tab. 36b) zeigten. Wie Tab. 37 erkennen läßt, vermag die Berechnung nach Hinzpeter das Ergebnis nicht zu verbessern. Vielmehr werden die mittleren Abweichungen im Februar von 9.5 auf 11.8%, im Juli von 5.1 sogar auf 18.1% heraufgesetzt, und einzelne, früher schon herausfallende Monate (z. B. Februar 1956, Juli 1959) weichen auch hier viel stärker vom Durchschnitt ab. Allgemein fallen die Sommerwerte viel zu hoch aus.

Dieses abweichende Ergebnis erklärt sich daraus, daß eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendung der für Flachlandstationen im Binnenland gültigen und brauchbaren Beziehung, ein annähernd linearer Verlauf der Abhängigkeit bei einer relativen Sonnenscheindauer zwischen etwa 30 und 100%, der auch Grundlage der von Hinzpeter verbesserten Formel ist (siehe die Bezugskurven für Potsdam in (47), dort. Abb. 10a und b, für Gotha in (45), dort. Abb. 3., für Bochum (46), dort. Abb. 4), für Höhenlagen wegen der ganz anderen Trübungsverhältnisse nicht zutrifft. Auch für die norddeutsche Küstenstation Greifswald konnte Matzke eine solche lineare Abhängigkeit nicht ableiten (siehe 44, dort. Abb. 12). Für die Höhenstation Hohenpeißenberg ist ein linearer Anstieg der Bezugskurve nur angenähert bei mittleren Stufen der relativen Sonnenscheindauer gegeben, ihre Anfangs- und Endpunkte sind nicht mit dem statistischen Befund bei den Stufen 0 und 100% identisch. Für die graphisch zu ermittelnden theoretischen Bezugspunkte G_0 und G_{10} (siehe Tab. 36a) reicht aber eine einfachere Formel vom Ångström-Typ aus.

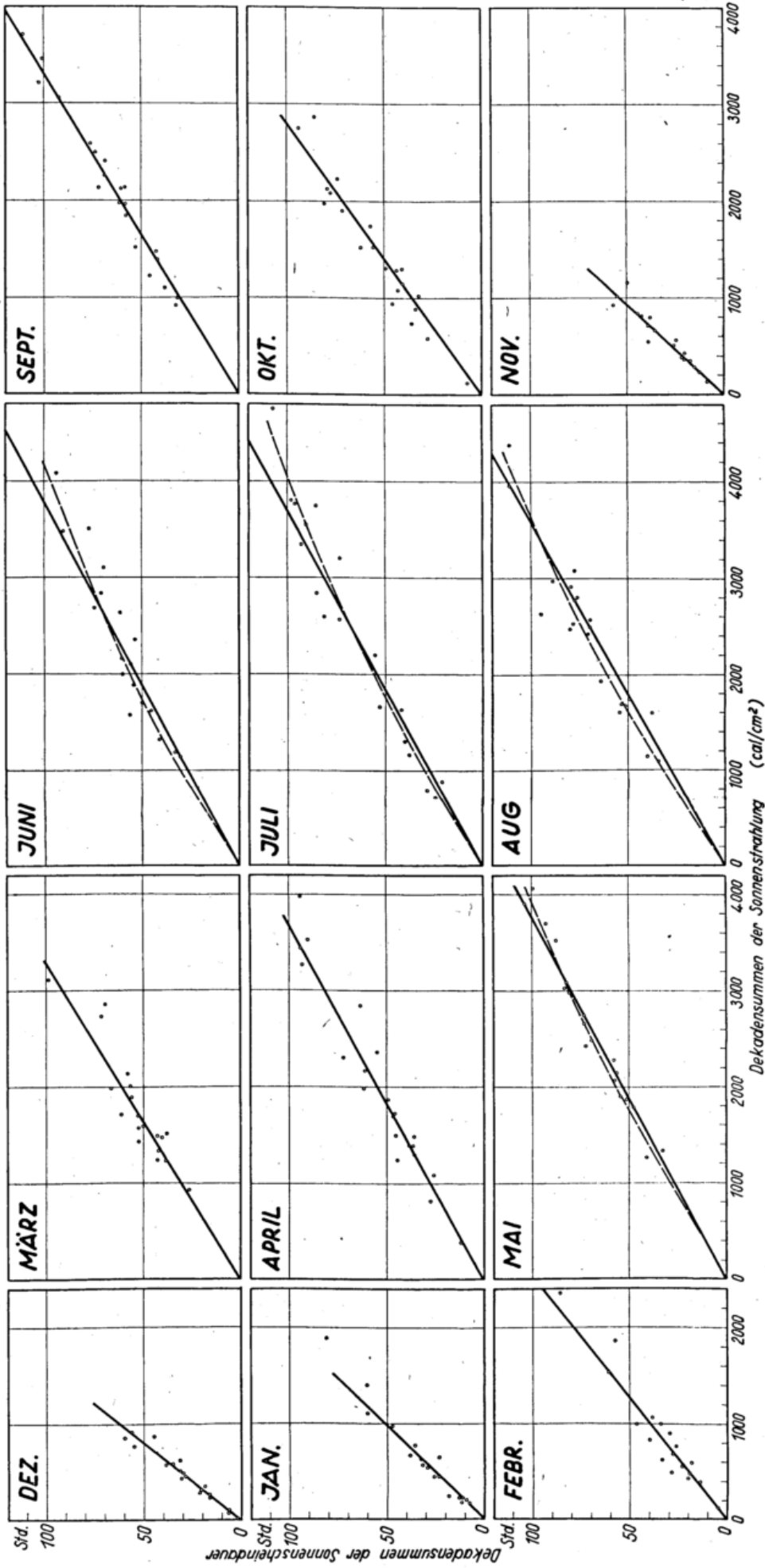


Abb. 24
Beziehungen der Sonnenstrahlung zur wirklichen Sonnenscheindauer (nach Dekadensummen 1953—1959)

2.6.3. Beziehungen zur wirklichen Sonnenscheindauer

Einige Autoren (z. B. Ukrainzew, Thams und Zenone) haben es vorgezogen, die Beziehungen der Globalstrahlung und ihrer Komponenten zur Sonnenscheindauer auf die wirklich gemessenen Stunden zu beziehen, d. h. ohne sie als Prozente der möglichen Dauer umzurechnen. Auch bei dieser Korrelation wird der Ansatz von Tagessummen immer mit einer gewissen Unsicherheit behaftet bleiben, weil die jeweils herrschende Trübung den Anteil der Himmelstrahlung erheblich variieren kann. Bei Zusammenfassung nach Dekaden- oder Monatssummen gleichen sich jedoch diese Unterschiede in der Trübung weitgehend aus. Die Bezugslinien zeigen einen angenähert geradlinigen Verlauf und lassen dann ebenfalls die Ableitung von Strahlungswerten aus der Sonnenscheindauer nach einfachen Regressionsgleichungen zu.

2.6.3.1. Sonnenstrahlung

Die Beziehungen der wirklichen Sonnenscheindauer (S) zur Sonnenstrahlung (J_S) (Abb. 24) lassen sich durch eine gerade Linie darstellen, die den Koordinaten-Nullpunkt schneidet und eine von Monat zu Monat sich

ändernde Neigung zeigt. Sie kann durch die Gleichung

$$J_S = K \cdot S \quad [3]$$

ausgedrückt werden, worin $K = \frac{10}{\text{tg } \alpha}$ eine sich monatlich ändernde Konstante (Tab. 38) ist. Allein in den Sommermonaten scheint eine schwache Krümmung der Bezugslinien, wie sie durch die gestrichelten Linien angedeutet ist, den durch Messung belegten Dekadensummen noch besser zu entsprechen. Die Dekadensummen der Sonnenstrahlung auf die horizontale Fläche fallen dann noch um 5–10% höher aus, als sie mit Hilfe der geradlinigen Bezugslinie sich ergeben.

2.6.3.2. Globalstrahlung

Auch die Beziehungen der wirklichen Sonnenscheindauer (S) zur Globalstrahlung (G_S) lassen sich durch gerade Linien darstellen, deren Neigung sich von Monat zu Monat ändert und deren Schnittpunkt mit der Ordinate dem Betrag der Globalstrahlung bei bedecktem Himmel (G_{10}) entspricht (Abb. 25). Diese Beziehungen entsprechen der Gleichung

$$G_S = Q_S S + G_{10}, \quad [4]$$

deren Konstanten Q_S und G_{10} in Tab. 39,a in ihrer

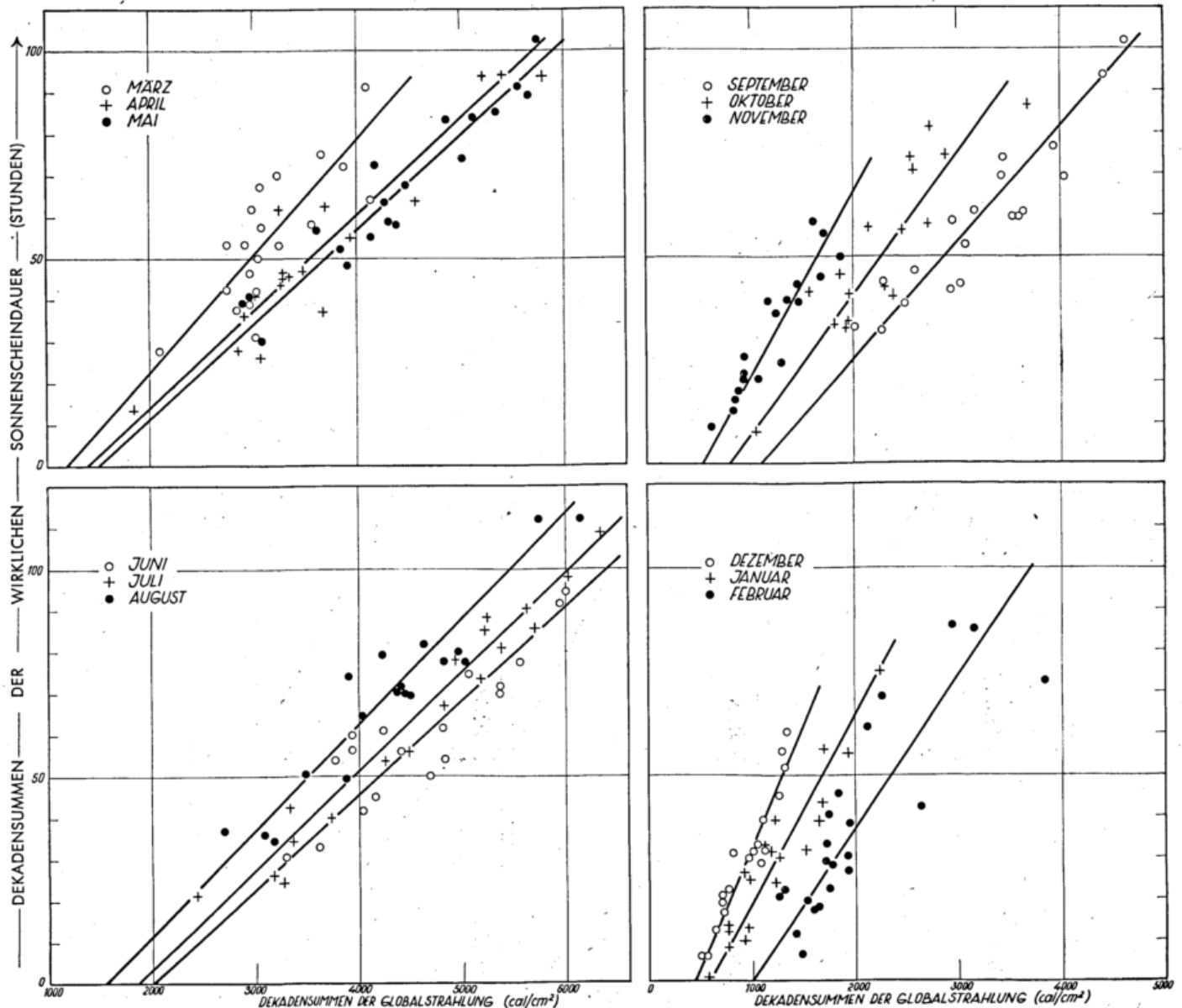


Abb. 25
Beziehungen der Globalstrahlung zur wirklichen Sonnenscheindauer (nach Dekadensummen 1953–1959)

jahreszeitlichen Abhängigkeit wiedergegeben sind. Wird S als mittlere Tagessumme eingesetzt, so ergibt sich, da G_{10} ebenfalls einem Tagesmittel der Himmelsstrahlung entspricht, G_{10} als Tagessumme. Zur Ableitung von Dekaden- oder Monatssummen ist von der entsprechenden Summe der Sonnenscheindauer auszugehen und der Faktor G_{10} mit der entsprechenden Zahl der Tage zu vervielfachen. Die nach dieser Formel berechneten Summen der Globalstrahlung weichen von den gemessenen wiederum nur in Einzelfällen, und zwar in den gleichen Monaten wie bei der Berechnung nach der relativen Sonnenscheindauer, um mehr als 10%, häufig jedoch weniger als 5% ab (Tab. 39). Die durchschnittlichen Abweichungen liegen von Januar bis April zwischen 5 und 8%, in den übrigen Monaten zwischen 3 und 5%, die mittleren Abweichungen in den entsprechenden Jahreszeiten zwischen 7.8 und 10.6% bzw. 4.1 und 6.4% der gemessenen Werte. Sie unterscheiden sich nur wenig von den bei Berechnung nach der relativen Sonnenscheindauer ermittelten Werten der mittleren Abweichung (Tab. 36), liegen im Sommer und Winter meist etwas darunter, in den Übergangsmo-naten etwas höher als diese. Heraus fällt der hohe Betrag von 10.6% im Februar. Er mag, wie das ungewöhnlich kalte Jahre 1956 mit -19.3% vermuten läßt, durch Unsicherheiten in der Messung der Sonnenscheindauer bei häufig bereifter Kugel begründet sein. Bei den Jahressummen liegen durchschnittliche und mittlere Abweichungen nur um 0.2 bzw. um 0.1% höher als bei der Berechnung nach der relativen Sonnenscheindauer.

Von der Voraussetzung ausgehend, daß im Mittel über längere Zeiträume die Globalstrahlung eine einfache Funktion der wirklichen Sonnenscheindauer ist, wurde, z. B. von Thams und Zenone (57), die Berechnung auf Grund der Beziehung

$$G = Q \cdot S \quad [5]$$

vorgeschlagen, wobei ein Grundanteil der Himmelsstrahlung bei bedecktem Himmel nicht mehr besonders in Rechnung gestellt wird. Auch diese Beziehung wur-

de überprüft. Aus den gemessenen Summen des Zeitraums 1953 — 1959 ergeben sich für $Q = G : S$ die in der Tab. 39,b aufgeführten Quotienten, denen zum Vergleich die nach (57) in der Magadinoebene gefundenen Werte beigelegt sind. Sie liegen dort unter der Einwirkung der stärkeren Dunstbildung in der Niederung meist wesentlich niedriger als die für die Höhenlage gültigen Werte. Bei Berechnung nach dieser Methode ergeben sich jedoch erwartungsgemäß, besonders für stärker vom Mittel abweichende Monate, untragbar hohe Abweichungen von den Meßwerten, die oftmals 25% übersteigen und im Februar 1959 sogar 52% ausmachen. Auch die aus den berechneten Monatssummen zusammengefaßten Jahreswerte weichen viel stärker ab als bei den anderen Berechnungsarten, das Jahr 1959 sogar bis zu einer um 14.5% zu hohen Strahlungssumme. Dementsprechend erweisen sich auch die Werte der durchschnittlichen und der mittleren Abweichung als viel zu hoch, um noch für die Extrapolation von Strahlungswerten Anwendung zu finden. Eine Gleichung der allgemeinen Form $a = bx$ entspricht wohl den Voraussetzungen zur Ableitung der Sonnenstrahlung, nicht aber der Globalstrahlung mit ihren Anteilen der Himmelsstrahlung, die eine Gleichung von der allgemeinen Form $a = bx + c$ voraussetzt.

2.6.4. Extrapolation von Jahressummen der Globalstrahlung

Für die Berechnung von Monats- oder Jahressummen der Globalstrahlung nach der Sonnenscheindauer bieten sich zwei nahezu gleichwertige Verfahren an, die Ableitung aus der relativen Sonnenscheindauer gem. Abschn. 2.6.2.2 und die Ableitung aus der wirklichen Sonnenscheindauer gem. Abschn. 2.6.3.2, wenn eine Gleichung von der allgemeinen Form $G = QS + H$ zugrundegelegt wird. Mit H werden den jeweiligen, der Sonnenscheindauer proportionalen Anteilen der Sonnenstrahlung noch Anteile der Himmelsstrahlung zugefügt, die der durchschnittlichen Globalstrahlung bei bedecktem Himmel, trübe Tage ausgenommen, entspre-

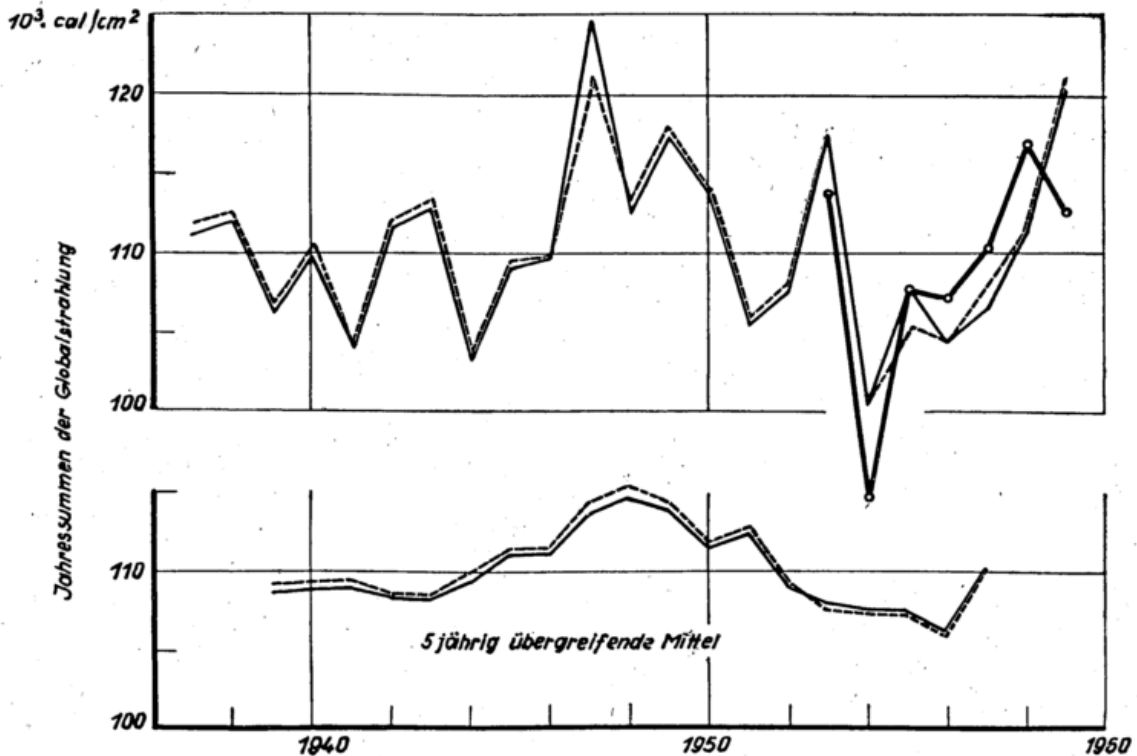


Abb. 26
 Jahressummen der Globalstrahlung, berechnet aus
 ————— relativer Sonnenscheindauer
 - - - - - wirklicher Sonnenscheindauer
 o ——— o Gemessene Werte

chen. Die Berechnung wurde hier nur an Hand gemessener Werte der Sonnenscheindauer, rückwirkend bis 1937, durchgeführt.

Die für den Zeitraum 1937—1959 aus der relativen Sonnenscheindauer berechneten Monatssummen sind in Tab. 40 wiedergegeben. Die aus den einzelnen Monatssummen durch Addition zusammengefaßten Jahressummen, sowohl die nach der relativen als auch nach der wirklichen Sonnenscheindauer berechneten, sind in Abb. 26 graphisch aufgetragen. Für den nach Solarimetermessungen vergleichbaren Zeitabschnitt 1953—1959 sind die gemessenen Werte beigegefügt. Eine Glättung wurde durch 5jährig übergreifende Mittelung vorgenommen. Die Ganglinien bestätigen, auch in extremen Jahren, die Gleichwertigkeit beider Berechnungsverfahren, zumal sie von gleichen Meßwerten ausgehen. Ihr Verlauf deckt sich erwartungsgemäß weitgehend mit der aus Bewölkungsdaten abgeleiteten Sonnenscheindauer (Abb. 7a).

2.7. Relativwerte der Globalstrahlung

2.7.1. Idealwerte der Globalstrahlung

Klimatologische Vergleiche von Strahlungsmessungen haben, als Äquivalent zur astronomisch möglichen Sonnenscheindauer, Bezugswerte zur Voraussetzung, die frei von allen örtlichen Einflüssen, die extrem mögliche Bestrahlungsstärke zum Ausdruck bringen. In früheren Arbeiten hat man hierfür „Höchstwerte“ aus einer längeren Beobachtungsreihe ermittelt, daraus eine Jahreskurve abgeleitet und die aktuellen Tagessummen auf diese bezogen. Es bedarf einer sehr langen Reihe, um mit dieser Methode wirklich definitive Höchstwerte zu finden, die dennoch bei extremen Situationen immer wieder übertroffen werden können, außerdem aber immer durch die gegebenen (örtlich, regional, zonal bedingten) Trübungsverhältnisse beeinflusst bleiben. Damit wird aber ein wesentliches Merkmal des Strahlungsklimas, der Trübungsgrad, bei regionalen Vergleichen ausgeschaltet.

Ein anderes Bezugsmaß, die extraterrestrische Bestrahlungsstärke, entspricht dem von der Sonne ausgehenden Strahlungsstrom im Wellenlängenbereich von 0.3 bis 3μ , dem Empfindlichkeitsbereich unserer Pyranometer, bevor er in die Erdatmosphäre eindringt und dort durch Absorption, Reflexion, Brechung und diffuse Zerstreuung geschwächt wird. Den Bezugswerten wird damit die Bedeutung theoretischer Grenzwerte zuerkannt, die an der Erdoberfläche nie erreicht werden. Für die Beurteilung des gesamten Energieumsatzes innerhalb der Atmosphäre ist die extraterrestrische Bestrahlungsstärke unerläßlich. Soll jedoch das Relativmaß nur die veränderlichen und witterungsbedingten Einflüsse zum Ausdruck bringen, so werden die extraterrestrischen Werte dieser Forderung nicht gerecht. Das Verhältnis der gemessenen Globalstrahlung zur extraterrestrischen Bestrahlung, von Fukui (67) als Transmissionsquotient auch zur Kennzeichnung eines Klimaeinflusses vorgeschlagen, schließt noch einen veränderlichen Anteil ein, der durch die Zerstreuung der Sonnenstrahlung an den Luftmolekülen hervorgerufen wird und mit der durchstrahlten Luftmasse einen virtuellen Jahresgang aufweist, der nicht mehr Ausdruck einer strahlungsklimatologischen Situation ist (68).

Als theoretische Bezugswerte hat Collmann (59) Idealwerte berechnet, die sich auf eine wasserdampf- und staubfreie Atmosphäre, die sogenannte Rayleigh-Atmosphäre beziehen. In ihrem Jahresgang hängen die Idealwerte von der Sonnenhöhe (Sonnendeklination) und der Lage des Beobachtungsortes (geographische Breite und Seehöhe) ab. Zur Berechnung der Idealwerte wurden für die Himmelsstrahlung des Rayleigh-Himmels zunächst die von Bernhardt (61) angege-

benen Näherungswerte benutzt. Die daraus abgeleiteten Diagramme von Tagessummen der Idealwerte für verschiedene geographische Breiten (64) stehen als Grundlagen für weltweite strahlungsklimatologische Vergleiche zur Verfügung. Nachdem von Deirmendjian und Sekera (63) neue Werte für die Himmelsstrahlung der Rayleigh-Atmosphäre angegeben wurden, hat Collmann eine Neuberechnung durchgeführt (60). Diese Werte beziehen sich nur auf das Flachland bzw. 760 mm Luftdruck. Auf unsere Bitte hin berechnete Collmann Idealwerte auch für die Höhe des Hohenpeißenberges, wobei diese Höhenlage erstmals sowohl für die Sonnenstrahlung als auch für die Himmelsstrahlung berücksichtigt wurde. Für die Ableitung dieser Werte gibt Collmann folgende Erläuterungen:

„Zur Gewinnung der Sonnenstrahlung wurden zunächst die Luftmassen $M = 1, 1.5, 2, \dots, 8, 10$, wie sie in (60) verwendet wurden, mit dem mittleren Luftdruck von 676.5 mm (Epoche 1881—1925) auf den Hohenpeißenberg umgerechnet. Zu diesen Werten von M wurden aus einer doppelt-logarithmischen Darstellung der direkten Sonnenstrahlung von (60) die für den Hohenpeißenberg gültigen Werte der direkten Sonnenstrahlung J_m entnommen. Sie gelten dann für dieselben Sonnenhöhen, die zu den obigen Werten von M gehören, bzw. für dieselben, jetzt aber relativen Werte der Luftmasse m . Mit den genannten Sonnenhöhen γ^\odot wurden die Werte von J_m auf die Horizontale umgerechnet (Tab. 41).

Die Berechnung der für den Hohenpeißenberg gültigen Himmelsstrahlung des Rayleigh-Himmels war umständlicher. Um die von Deirmendjian und Sekera in (63, Tab. II) veröffentlichten Werte der relativen Himmelsstrahlung verwenden zu können, mußte zunächst die für den Hohenpeißenberg gültige normale optische Weglänge τ bestimmt werden. Deirmendjian hat in seinem Bericht (62) eine Tabelle von τ für verschiedene Wellenlängen λ und von 10 zu 10 km fortschreitende Höhenstufen H gegeben. Um sie benutzen zu können, mußte der Luftdruck vom Hohenpeißenberg auf Grund der speziellen, in (62) verwendeten NACA-Atmosphäre (dort, Tab. 1) in H umgewandelt werden. Es ergab sich für 676.5 mm Hg Luftdruck eine Höhe von 920 m. Mit dieser Höhe wurden die Werte von τ der Tab. 5 in (62) für die verschiedenen Wellenlängen interpoliert. (Auf Grund der Angaben von Deirmendjian durfte die Interpolation für $\log \tau$ linear geschehen). In doppelt logarithmischer Darstellung von τ gegen λ wurden dann zu den in (63) verwendeten Werten von τ die für den Hohenpeißenberg gültigen Werte von λ bestimmt, die an Stelle der für Seehöhe gültigen Werte (63, S. 387) zu treten haben. Damit wurden die Werte der relativen Himmelsstrahlung H_λ in Tab. II von Deirmendjian und Sekera auf den Hohenpeißenberg übertragbar.

Die Werte von H_λ für Albedo 0.0 wurden für die in (63) verwendeten 4 verschiedenen Werte von $\cos z$ doppelt-logarithmisch gegen λ aufgetragen. Aus diesen Kurven wurden für die laufenden λ -Werte der Tab. V von (63) die Größen H_λ entnommen, mit den in (60) verwendeten Werten der extraterrestrischen Sonnenstrahlung nach Johnson multipliziert — womit die Tab. V von (63) auf den Hohenpeißenberg umgerechnet war — und numerisch integriert. Die so gewonnenen Werte der Himmelsstrahlung H_0 (d. i. für Albedo 0%) wurden gegen $m = \sec z$ doppelt-logarithmisch aufgetragen. Aus dieser Darstellung wurden für die 8 Hauptluftmassen von (60) die zugehörigen Werte der Himmelsstrahlung entnommen, in $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ umgewandelt und auf die I.P.S. 1956 umgerechnet. Die Ergebnisse bringt Tab. 41. In der Tabelle sind zum Vergleich die für das Meeressniveau geltenden Werte aus (60) aufgeführt und der Quotient Hohenpeißenberg/

Meeresniveau gebildet (aus nicht abgerundeten Werten). Wie ersichtlich, wird erst für relative Luftmassen $m \geq 6$, bzw. Sonnenhöhen unter 10° , eine Erhöhung der Idealwerte von 1% überschritten und auch bei $m = 10$, bzw. $\gamma \odot \approx 5^\circ$ noch keine Erhöhung von 2% erreicht.

Wie in (60) wurden die Idealwerte durch eine Näherungsformel dargestellt. Als beste Werte der Hilfskonstanten ergaben sich:

$$c = 0.787; q = 0.80.$$

Den Vergleich der so gewonnenen Formelwerte G_{F0} mit den Idealwerten G_{Rgh} gibt Tab. 42.

Mit Hilfe der Näherungsformel konnten wieder aus den erweiterten Tabellen 1 und 8 von Milankovitch (65) die Tagessummen der Idealwerte bestimmt werden. Sie sind in Tab. 43 zusammengestellt. Zum Vergleich sind noch die für die gleiche geographische Breite, aber für einen Druck von 760 mm Hg geltenden Werte der Globalstrahlung angeführt und die Quotienten Hohenpeißenberg/Meeresniveau gebildet (aus nicht abgerundeten Werten). Wie ersichtlich, liegt die Erhöhung der Tagessummen der Idealwerte den größten Teil des Jahres unter 1%.

Nach den für einzelne Stichtage berechneten Tagessummen der Tab. 43 wurde in Abb. 8 der Jahresgang der Idealstrahlung, auf die in dieser Arbeit allgemein verwendete verbesserte Smithsonian-Skala umgerechnet, dargestellt und diesem die Bezugswerte der Tab. 24 für den 1. und 16. jeden Monats zum Vergleich mit den durchschnittlichen und höchsten Tagessummen entnommen.

2.7.2. Durchschnitts-, Extrem- und Häufigkeitswerte

Relativwerte der Globalstrahlung, die in Prozenten ausgedrückten Quotienten der gemessenen Werte zu den Idealwerten der Globalstrahlung, erleichtern, wie die relative Sonnenscheindauer, witterungsklimatologi-

sche, zeitliche und regionale Vergleiche der Strahlungsverhältnisse. Die jahreszeitlichen Schwankungen sowie die zonalen und durch die Seehöhe gegebenen Unterschiede der auf eine horizontale, ebene, schwarze Empfangsfläche einfallenden kurzwelligigen Strahlungsenergie werden bereits durch die Bezugswerte berücksichtigt. Zunehmende Sonnenhöhe und Tageslänge erhöhen die Idealstrahlung; mit zunehmender Seehöhe wächst der Anteil der direkten Sonnenstrahlung, und die Himmelsstrahlung wird etwas herabgesetzt. Die Relativwerte bringen allein den Einfluß der Bewölkung und der Lufttrübung als Auswirkung des Tageswetters und witterungsklimatischer Gegebenheiten zum Ausdruck und kennzeichnen damit das Strahlungsklima eines Ortes in bezug auf seine wettermäßige Abhängigkeit besser als es Mittelwerte der gemessenen Strahlungssummen vermögen.

Der Jahresgang der Relativwerte nach Monatsmitteln (s. a. Tab. 23) und deren Vergleich mit Stationen im Flachland (Abb. 27,a) zeigt für den Hohenpeißenberg als besonderes Merkmal einer Höhenstation des Alpenvorlandes die Überlegenheit des Zeitraums vom Herbst bis zum Frühjahr. Das Jahresmittel liegt mit 52% um 5–10% höher als bei den übrigen Stationen. Von besonderem Interesse ist ein Vergleich der Anomalien des strahlungsreichen Jahres 1959 in prozentualen Abweichungen der normalen Relativwerte von den Durchschnittswerten (Abb. 27,b). Der Strahlungsüberschuß umfaßte im norddeutschen Raum die Sommer- und Herbstmonate, er begünstigte am Alpenrand die Winter- und Herbstmonate. Dieser Zeitraum hebt sich auch bei den extremen Monatsmitteln der ganzen Reihe (Tab. 44) mit Höchstwerten bei 70% (Febr./März, Sept./Okt.) heraus. Bei den Tiefstwerten fällt, wie bei den Durchschnittswerten, der November mit nur 36% auf. Die Häufigkeitsverteilung von Stufenwerten (Abb. 10) kennzeichnet den Gebirgseinfluß mit einem zweiten, z. T. sogar dominierenden Gipfel im Bereich hoher Relativwerte während des ganzen Jahres.

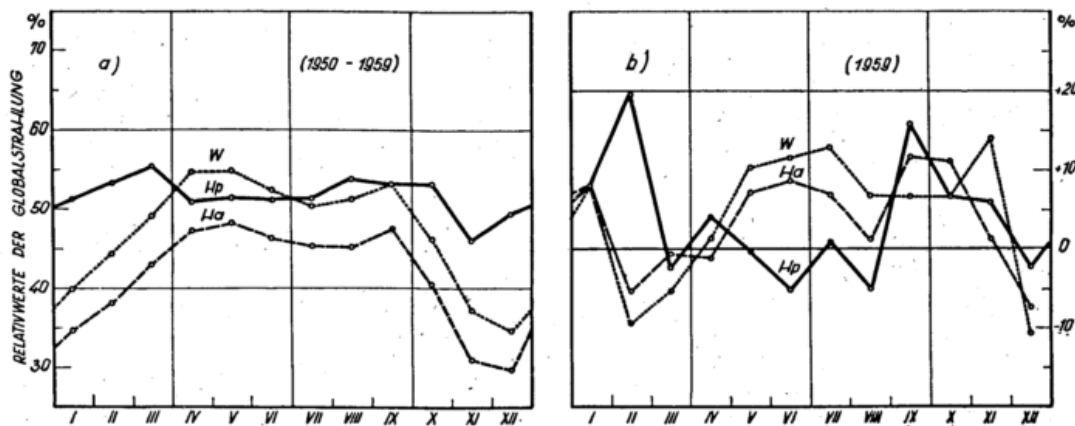


Abb. 27
Relativwerte der Globalstrahlung: a) Jahresgang der Durchschnittswerte (1950–1959), b) 1959 in Abweichung von den Durchschnittswerten; Hp = Hohenpeißenberg, Ha = Hamburg, W = Wyk auf Föhr

Die relativen Tagessummen werden im allgemeinen den Idealwert 100% nicht erreichen. Um so bemerkenswerter ist, daß in der Zeit von Dezember bis März einzelne Tage mit unwahrscheinlich hohen Relativwerten in der Stufe 95–100% vorgekommen sind. Anfangs bestehende Zweifel an der Realität solch hoher Bestrahlungsstärken — die bei unbeachtetem Reifansatz auf der Glasglocke des Solarimeters auch vorgetäuscht sein könnten — wurden durch einen neuerlichen Vergleich der Meßanordnung mit dem Prüfaggregat der Strahlungszentrale beim Meteorologischen Observatorium Hamburg behoben. Extrem hohe Tagessummen (z. B. 24. März 1958, 18./19. Jan. 1957, 2. Jan. 1955 : 100%) sind

an Tagen zu erwarten, wo bei ungestörter Sonneneinstrahlung auch die Himmelsstrahlung durch Reflexion an Bänken hoher Bewölkung (Cs, Ci spi) merkbar erhöht sind. Dieser zusätzliche, durch die Idealstrahlung nicht erfassbare Anteil kommt bei geeigneten Wetterlagen, d. h. bei tief liegender Inversion, auf den Bergen über der Dunstgrenze ungehindert zur Einstrahlung. Auch die bei Schneebedeckung gesteigerte Albedo der Erdoberfläche kann infolge multipler Reflexion an der Wolkenuntergrenze einzelne relative Tagessummen beträchtlich heraufsetzen. Der aus der Theorie sich ergebende Effekt, daß an Strahlungstagen die Himmelsstrahlung in höheren Lagen geringer ist

als in tieferen Lagen, kann nur für eindeutig wolkenlose Tage gelten, nicht aber für Tage, an denen mit einem überhöhten Anteil an den Wolken reflektierter Strahlung zu rechnen ist. Es muß mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß die registrierten Werte der Globalstrahlung in besonderen Fällen den theoretischen Grenzwert von 100% der Idealstrahlung sogar geringfügig überschreiten. In tieferen Lagen sind Relativwerte der Stufe 95—100% nicht zu erwarten. Als absolute Höchstwerte wurden in Hamburg 86.4% (Februar), in Lissabon 93.5% (November) erreicht.

Die mittleren monatlichen Maxima (Tab. 45) liegen, wie die Mittelwerte (Abb. 27,a), im Winter höher, im Sommer tiefer. Mit 94% im Januar ist die Tendenz dieses Monats zu Tagen mit extrem hoher Strahlungsintensität eindrucksvoll dokumentiert (siehe auch die Häufigkeit von Stufenwerten über 90% dieses Monats in Abb. 13). Auch im Sommer liegen die Höchstwerte jedes Monats durchschnittlich über 80%, haben aber im Beobachtungszeitraum noch nie unter 71% gelegen. Selbst in den Monaten relativer Strahlungsarmut (November, Dezember) brachten die Höchstwerte durchschnittlich über 85%, immer aber mehr als 80% der möglichen Energiewerte. Gegenüber Hamburg liegen die mittleren Maxima um 10% (Mai) bis 20% (November) höher, in Lissabon werden nur während der warmen Jahreszeit höhere Relativwerte erreicht.

2.7.3. Beziehungen zur relativen Sonnenscheindauer

Relativwerte der Sonnenscheindauer (S_R) und der Globalstrahlung (G_R) bringen das Verhältnis der effektiven zu den zeitlich und örtlich möglichen Höchstwerten zum Ausdruck. Beide Relativgrößen in Beziehung zueinander gesetzt, lassen eine für das Strahlungsklima eines Ortes charakteristische Aussage erwarten. Die Relation G_R/S_R nach Monatswerten des Zeitraums 1953—1959 (Abb. 28) zeigt die Bezugspunkte in einem ver-

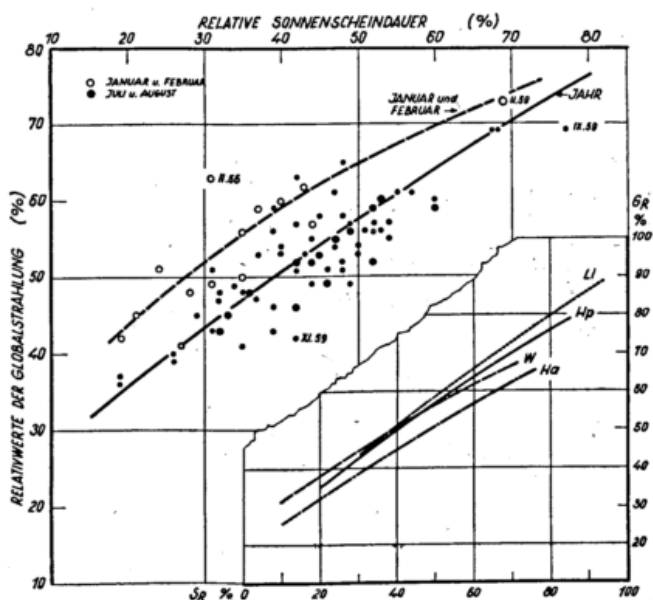


Abb. 28

Zusammenhang zwischen relativer Globalstrahlung und relativer Sonnenscheindauer (1953—1959). In der rechten unteren Ecke: Vergleich der Jahreskurven von Hohenpeißenberg (Hp), Hamburg (Ha), Wyk auf Föhr (W) und Lissabon (Li)

hältnismäßig breit streuenden Band. Gleichartige Darstellungen liegen nur für Hamburg und Lissabon (60) und für Wyk (42) vor. Vergleichsmöglichkeiten aus höheren Lagen sind nicht gegeben. Im Flachland scheint allgemein die Streubreite der Bezugspunkte geringer zu sein als in der Höhe, wo ganze Witterungsabschnitte, vorherrschend im Winter, die Dunstobergrenze schon

unter den Beobachtungsort absinken lassen. Die Meßwerte nähern sich dann den Idealwerten der Strahlung. In tieferen Lagen wirkt sich dagegen die Dunstabsorption immer — je nach Art und Menge des Aerosols mehr oder weniger stark — aus. Andererseits kann im Bereich niedriger Relativwerte der Sonnenscheindauer die Strahlungsmenge durch hohe Anteile der Himmelsstrahlung erheblich heraufgesetzt werden. In der Höhe und im Meeresklima von Wyk wirken sich diese viel stärker aus als im flachen Binnenland mit seiner stärker getrübtten Atmosphäre. So zeigt die ausgleichende Kurve des Jahresdurchschnitts auf dem Hohenpeißenberg gegenüber Hamburg (Abb. 28, rechts unten) in allen Stufen der Sonnenscheindauer um 5—8% höhere Bestrahlungsstärken an. Im Vergleich zu Wyk ist eine höhere Intensität nur noch an sonnigen Tagen gegeben, während bei stärkerer Bewölkung die Bestrahlung an der Küste eher noch etwas intensiver ist. Den relativen Bestrahlungsstärken in subtropischen Breiten (Lissabon) kommen die Hohenpeißenberger Werte um 1% bei niederen bis 3% bei höheren Relativwerten der Sonnenscheindauer nahe.

Die in der Abb. 28 besonders markierten Bezugspunkte aus den Monaten Januar und Februar und deren ausgleichende Kurve deuten auf einen Jahresgang der Beziehung hin. Bei gleicher relativer Sonnenscheindauer liegen die winterlichen Strahlungsintensitäten bis etwa 9% höher als im Jahresdurchschnitt oder in den Sommermonaten Juli und August, die ebenfalls gekennzeichnet sind. Die für jeden einzelnen Monat des Zeitraums 1953—1959 berechneten Quotienten, deren vollständige Wiedergabe (Tab. 46) erstmals eine Beurteilung der Güte dieser Beziehung ermöglicht, lassen mit ihren Durchschnittswerten diesen Jahresgang deutlich hervortreten. Von hohen Werten im Winter, die sowohl höheren Anteilen der Himmelsstrahlung als auch einer höheren Intensität der Globalstrahlung entsprechen können, sinken die Verhältniszahlen von 1.77 im Februar bis auf 1.12 und 1.11 in der Zeit von August bis Oktober ab, wo die höher hinaufreichende Dunsttrübung die Strahlungsintensität stärker herabsetzt. Im Sommer bleibt auch die Streuung der Monatsquotienten von Jahr zu Jahr, ausgedrückt durch die mittlere Abweichung, viel geringer. Die Verhältnisse in der Höhe nähern sich dann mehr denen im Flachland mit ihrer ständigen Dunsttrübung. Im Winter weist der Dezember mit einer mittleren Abweichung von nur 0.07 ebenfalls auf eine bemerkenswerte Konstanz der Strahlungsbedingungen hin. Dagegen schließen November, Januar und Februar Witterungsperioden von viel stärker wechselnden Trübungscharakter ein. Dem November 1953, dessen Quotient 1.07 eine besonders starke Strahlungsminderung anzeigt, stehen einige Januar- und Februarmonate mit mehr als doppelt so hohen relativen Strahlungswerten gegenüber, Monate mit nur geringer Sonnenscheindauer, deren Bestrahlungsstärken durch ungewöhnlich hohe Anteile der Himmelsstrahlung (z. B. Februar 1955, So : Hi = 25 : 75) heraufgesetzt wurden.

Erkennt man diesen aus einer verhältnismäßig kurzen Beobachtungsperiode abgeleiteten Quotienten einen Repräsentativcharakter zu und bringt sie mit den aus einem 23jährigen Zeitraum errechneten Mittelwerten der relativen Sonnenscheindauer (Tab. 2,c) in Beziehung, so läßt sich der Jahresgang im Verhältnis beider Relativwerte durch einen Polygonzug gem. Abb. 29 darstellen. Dabei tritt der Gegensatz einzelner Jahreszeiten deutlich hervor: Bei gleicher relativer Sonnenscheindauer weist der Hochwinter bis zu 18% höhere Strahlungsintensitäten auf als der Vollherbst und Vorwinter, und der Frühling und Frühsommer erhält eine bis zu 8% intensivere Bestrahlung als der Herbst. Um gleiche Relativwerte der Globalstrahlung zu erreichen, ist im Sommer und Herbst eine etwa 15% längere re-

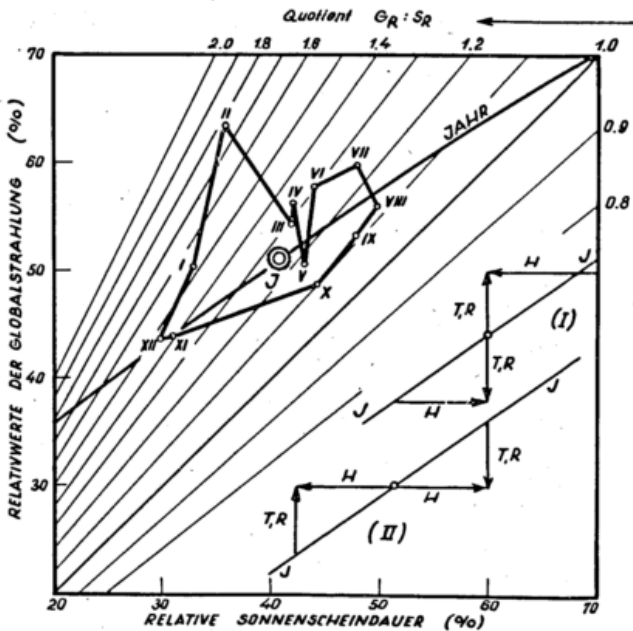


Abb. 29

Beziehungen zwischen relativer Globalstrahlung und relativer Sonnenscheindauer nach Monatsmittelwerten im Jahresgang (1953—1959). In der rechten unteren Ecke: Komponentenanalyse; Erläuterungen im Text

relative Sonnenscheindauer erforderlich als im Winter oder 5% mehr als im Frühling. Im Frühling und Sommer weisen März, April, Juni und Juli infolge der häufigeren Einbrüche frischer polarer Luftmassen intensivere Bestrahlung auf als z. B. der Mai oder die Zeit von August bis Oktober, die zu beständigeren Schönwetterlagen neigen.

Das Verhältnis der Relativwerte der Globalstrahlung zu relativen Sonnenscheindauer, durch die vorherrschende Lufttrübung, durch Wolkenart, -dichte und -verteilung, in besonderen Fällen auch durch die Albedo der Erdoberfläche charakteristisch variiert, läßt eine Analyse dieser Beziehung nach den wirksamen Komponenten zu (siehe die schematische Darstellung in Abb. 29, rechts unten). Entsprechen alle Zeitabschnitte dem durchschnittlichen Verhalten gem. Abb. 28, so würden deren Bezugspunkte auf der den Jahresdurchschnitt kennzeichnenden Bezugslinie J — J liegen. Bei gleicher relativer Sonnenscheindauer (I) kann die zugleich gemessene Globalstrahlung je nach ihrer Intensität höhere oder niedrigere Relativwerte aufweisen. Intensitätsschwankungen der Globalstrahlung werden hervorgerufen durch unterschiedliche Lufttrübung (T), die sich auf die Intensität der direkten Sonnenstrahlung auswirkt, oder durch zusätzliche wechselnde Anteile diffus zerstreuter oder reflektierter Strahlung (R) von Wolkenpartien, welche die Sonne nicht abdecken. Die Energieäquivalente können aber auch durch entsprechende, höhere oder geringere Anteile der diffusen Himmelsstrahlung (H) geliefert werden. Gleiche relative Globalstrahlung (II) kann mit verschiedenen Graden der Wolkenabdeckung koordiniert sein, wenn die Unterschiede an direkter Bestrahlung entweder durch ausgleichende Anteile diffuser Strahlung (H) oder durch unterschiedliche Intensität (Lufttrübung (T) bzw. Reflexanteile von nicht abdeckenden Wolkenpartien (R)) kompensiert werden. Je geringer die direkte Bestrahlung, desto stärker überwiegt die Komponente H, um schließlich bei bedecktem Himmel die Energiezufuhr allein zu bestreiten. Die Himmelsstrahlung kann dabei noch erheblich durch die Albedo der Erdoberfläche variiert werden. Die Komponenten T, R und H auch quantitativ zu trennen, setzt die Hinzuziehung einer weiteren Bezugsgröße voraus, etwa der Himmelsstrahlung in ihrem Verhältnis zur Idealstrahlung.

Werden die Relativwerte der Globalstrahlung allein infolge unterschiedlicher Durchlässigkeit der Luft als eine Art Trübungsmaß verwendet, bleibt die Auswirkung wechselnder Anteile reflektierter Strahlung unberücksichtigt. Versuche, die relative Globalstrahlung mit anderen, hauptsächlich durch die Lufttrübung beeinflussten Erscheinungen, z. B. dem Himmelsblau, in Zusammenhang zu bringen (66), mußten darum unbefriedigend bleiben. Erst die Zusammenschau mit der relativen Sonnenscheindauer kann Einblick in die charakteristischen Zustände und Anomalien der Globalstrahlung geben.

2.7.4. Beziehungen zur Bewölkung

Auch die Beobachtungsdaten des Bewölkungsgrades beruhen auf einer Abschätzung der Himmelsbedeckung in Prozenten und lassen eine brauchbare Beziehung zu den Relativwerten der Globalstrahlung erwarten. Die Gleichwertigkeit beider Größen ist nur in der Zeit niedrigen Sonnenstandes eingeschränkt, wenn die Strahlungssumme sich nur auf die Dauer des Strahlungstages (von Sonnenaufgang bis -untergang) bezieht, die mittlere Tagesbewölkung aber mit den Beobachtungen von 7 bis 21 Uhr noch dunkle Tagesabschnitte einschließt. Ordnet man alle nach Tagessummen der Globalstrahlung berechneten Relativwerte monatsweise nach Zehnerstufen des Tagesmittels der Bewölkung, so lassen sich die Durchschnittswerte aller Stufen gut durch eine ausgleichende Kurve darstellen (Abb. 30), von der die einzelnen Bezugspunkte nur wenig abweichen. Die Streuung ist geringer und der Kurvenverlauf eindeutiger, als es bei den vorhergehenden gleichartigen Darstellungen, z. B. dem Verhältnis der in mittleren Tagessummen ausgedrückten Globalstrahlung zur Bewölkung (Abb. 16), der Fall war. Die Lage der einzelnen, von Monat zu Monat und von Jahreszeit zu Jahreszeit nur noch geringfügig abweichenden Bezugslinien im Koordinatensystem hängt nur noch von den jahreszeitlichen Änderungen der Lufttrübung und des Bewölkungscharakters ab. Auch die in Abb. 16 hervortretenden Teilkollektive sind, allerdings in abgeschwächtem Maße, angedeutet. Stärkere Abweichungen von dem hier abgeleiteten Verlauf sind nur bei großräumigen Vergleichen und den auch kleinräumig sich stärkstens auswirkenden vertikalen Differenzierungen des Gebirgsklimas zu erwarten. Wieder zeigen sich die in Prozenten der Idealstrahlung ausgedrückten Relativwerte der Globalstrahlung bei vergleichender Betrachtung anderen Meßgrößen überlegen.

2.7.5. Abhängigkeit von der Großwetterlage

In witterungsklimatologischer Sicht sind noch spezifische Durchschnittswerte der relativen Globalstrahlung in Abhängigkeit von einzelnen Wettertypen von Interesse. Alle im Relativmaß ausgedrückten Tagessummen wurden, analog zu Abschn. 1.7., nach Großwetterlagen geordnet und für jede Gruppe Monats- und Jahresmittel gebildet (Tab. 47). Werte, die das Mittel aller Tage um 10% überschreiten, wurden hervorgehoben. Mit den Mittelwerten der spezifischen Sonnenscheindauer (Tab. 13) ist erwartungsgemäß eine Parallelität derart gegeben, daß Wetterlagen mit einer über- bzw. unterschiedlichen relativen Sonnenscheindauer zugleich auch gleichsinnig abweichende Relativwerte der Globalstrahlung aufweisen. Über die relative Häufigkeit der verschiedenen Großwetterlagen von 1949 bis 1958 gibt Tab. 47b Auskunft.

Hohe Relativwerte verzeichnen alle Wetterlagen mit absinkender Luftbewegung. Dazu gehören die kontinentalen Hochdrucklagen (HM, BM) und die Föhnerscheinungen am Nordrande der Alpen auslösenden Lagen mit südlicher Strömungskomponente (SW-, S-,

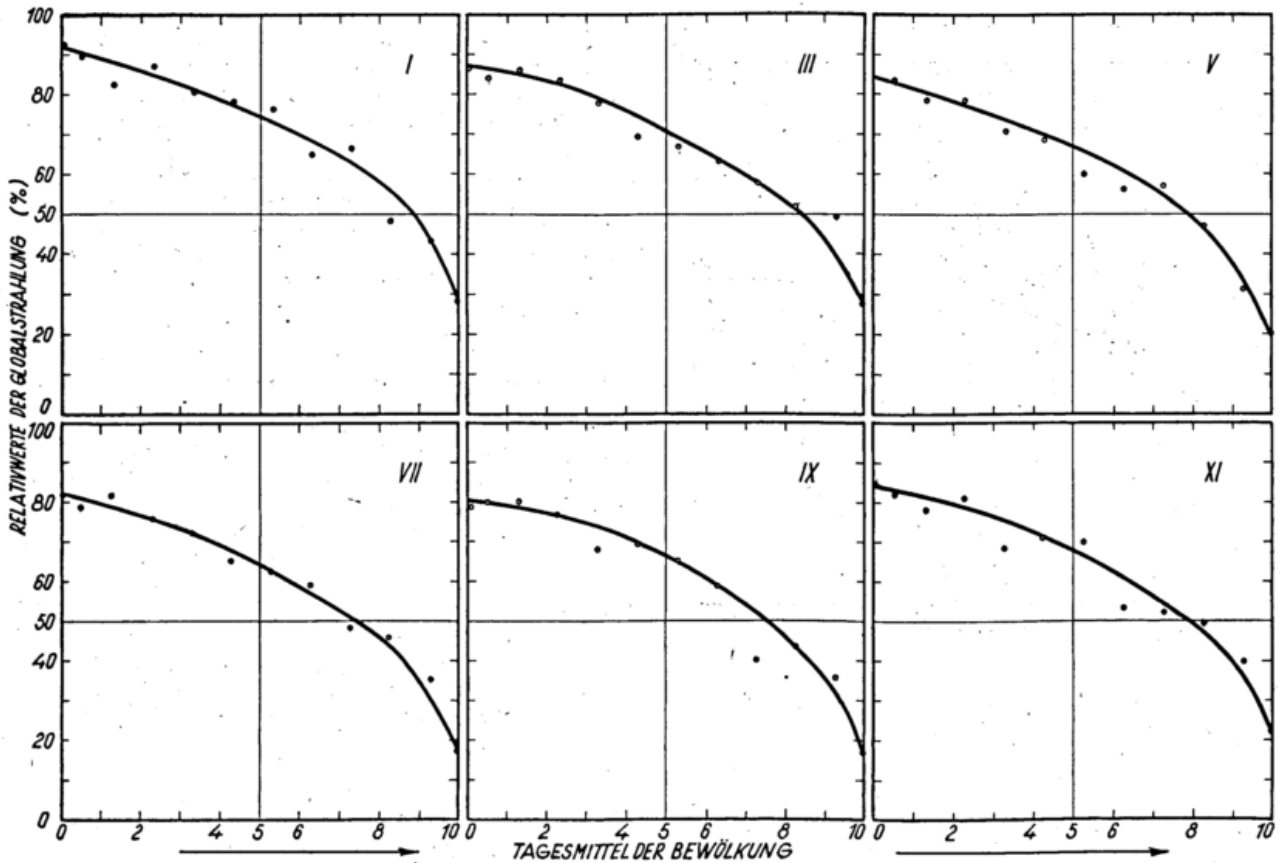


Abb. 30
 Relativwerte der Globalstrahlung in Abhängigkeit von der
 mittleren Tagesbewölkung (1953—1959)

SE-Lagen). Auch die Troglagen über Westeuropa und den Britischen Inseln (TrW, TB) zeigen häufig föhnigen Einschlag und liegen mit ihren Relativwerten meist über dem Durchschnitt. Ein Hoch über den Britischen Inseln (HB) oder über dem Nordmeer (HN) bringt höhere Strahlungssummen, wenn sich dabei mit antizyklonaler Strömung über Süddeutschland eine Zufuhr trockener kontinentaler Luft einstellt oder bei gleichzeitiger Tiefdrucktätigkeit über dem westlichen Mittelmeer am Alpennordrand föhniges Absinken einsetzt. Die als E-Lagen wirksamen abgeschlossenen Hochdruckgebiete über dem Nordmeer und Fennoskandien (HNF, HF), bei denen nach Süddeutschland ebenfalls kontinentale Luftmassen zugeführt werden, vermögen die Relativwerte nur in der wärmeren Jahreszeit zu erhöhen.

Auffallend niedrige Relativwerte treten bei zyklonalen NW-, N- und NE-Lagen sowie bei der Troglage und beim Tiefdruckgebiet über Mitteleuropa (TrM, TM) mit einem Strahlungsdefizit von 9—13% im Jahresdurchschnitt in Erscheinung. Der Strahlungsgenuß wird bei diesen Lagen durch dichte, hochreichende und am Alpenrande stauende Niederschlagsbewölkung auf rund 40%, im Spätherbst sogar bis unter 20% der Idealwerte gedrosselt. Die Analogie zu den Abweichungen der spezifischen Sonnenscheindauer von den Durchschnittswerten ist sowohl für die zu hohen wie für die zu niedrigen Relativwerte der Globalstrahlung gegeben, ohne daß die Himmelsstrahlung diese Abweichungen wesentlich abwandelt oder ausgleicht.

Die von Leistner für Wyk (42) abgeleiteten Beziehungen der relativen Globalstrahlung zu den Tageswettertypen sind nur bedingt vergleichbar, weil ihnen eine andere Klassifikation der Wetterlagen zugrundeliegt, zeigen aber gleichsinnige Abweichungen von den Jahresdurchschnittswerten. Hohe Relativwerte sind bei kontinentalen Hochdrucklagen mit Absinkvorgängen und bei Zufuhr kontinentaler Luftmassen, niedrige

Relativwerte mit Aufgleitvorgängen und der Zufuhr maritimer Luftmassen gegeben, deren höherer Feuchtegehalt die Wolkenbildung begünstigt.

Es bleibt noch zu klären, auf welche Ursachen die Erhöhung oder Minderung der Bestrahlungsstärke bei verschiedenen Situationen zurückzuführen ist. Schon die für die einzelnen Monate und Wetterlagen berechneten Quotienten der relativen Globalstrahlung (G_R) zur relativen Sonnenscheindauer (S_R) (Tab. 47c) lassen erkennen, daß z. B. die zentralen Hochdrucklagen (niedrige Quotienten) ihren Strahlungsüberschuß einer überdurchschnittlichen Sonnenscheindauer, die Föhnlagen (höhere Quotienten) aber auch einer erhöhten Strahlungsintensität verdanken. Eine Analyse aller Wetterlagen im Hinblick auf die den Strahlungsgenuß variierenden Komponenten ist wieder durch eine Darstellung der G_R/S_R -Abhängigkeit unter Einbeziehung der Quotienten und der Kurve des Jahresdurchschnitts nach Abb. 28 als zusätzlichem Koordinatensystem möglich (Abb. 31). Relativ niedrige Strahlungsintensitäten kennzeichnen die zentralen Hochdruckgebiete und Wetterlagen mit maritimer Warmluft aus gemäßigten oder subtropischen Breiten (SW, BM). Die Föhnlagen (S, SE) bewirken trotz der Südströmung eine Erhöhung der Strahlungsintensität infolge des Absinkprozesses. Alle Wetterlagen, die polare oder arktische Luftmassen einsteuern, sind durch eine viel intensivere Globalstrahlung gekennzeichnet, obwohl sie bei viel stärkerer Bewölkung eine erhebliche Einbuße an direkter Sonnenbestrahlung bewirken. Die Intensitätssteigerung ist bei Zufuhr von Luftmassen maritimen Ursprungs (TrM, TM, N, TB) noch höher als bei Lagen mit Zufuhr kontinentaler Kaltluft (HN, HNF) deren höhere Bestrahlungsstärken mehr auf eine überdurchschnittliche Sonnenscheindauer zurückzuführen sind. Stellt man der G_R/S_R -Beziehung (Abb. 31) noch die den einzelnen Stufen der relativen Sonnenscheindauer im Jahresdurchschnitt zugeordnete Anteile der Himmelsstrahlung

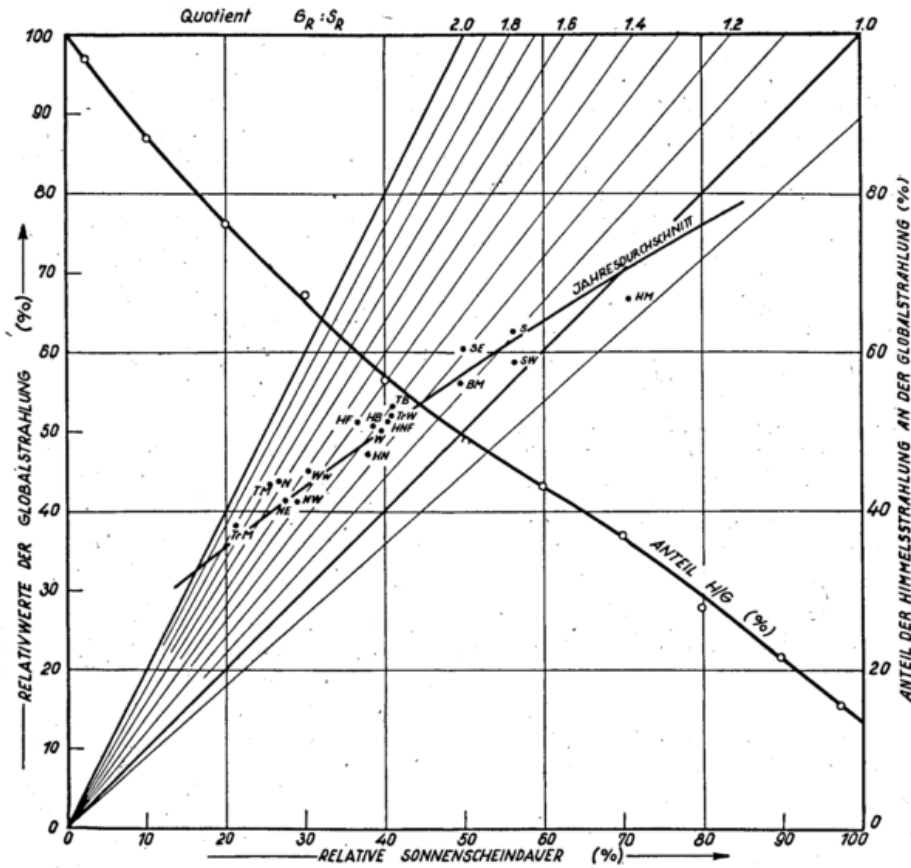


Abb. 31
Einfluß der Großwetterlagen auf die Beziehungen der Relativ-
werte der Globalstrahlung zur relativen Sonnenscheindauer
(1953—1959), Jahresmittel

an der Globalstrahlung gegenüber, so wird ersichtlich, wie erheblich die Himmelsstrahlung an der Erhöhung der Strahlungsintensität im Bereich geringer Sonnenscheindauer beteiligt ist.

Diesem aus Jahresdurchschnitten abgeleiteten Verhalten ist bei einzelnen Wetterlagen noch ein Jahresgang überlagert. Während sich z. B. bei der W-Lage

(Abb. 32a) Relativwerte der Globalstrahlung und Quotienten in allen Monaten nur wenig ändern, zeigt die NE-Lage (Abb. 32b) im Winter und Frühling gegenüber dem Sommer und Herbst zwar eine erhebliche Herabsetzung der relativen Sonnenscheindauer, aber eine deutliche Steigerung der Bestrahlungsstärke durch hohe Anteile der Himmelsstrahlung.

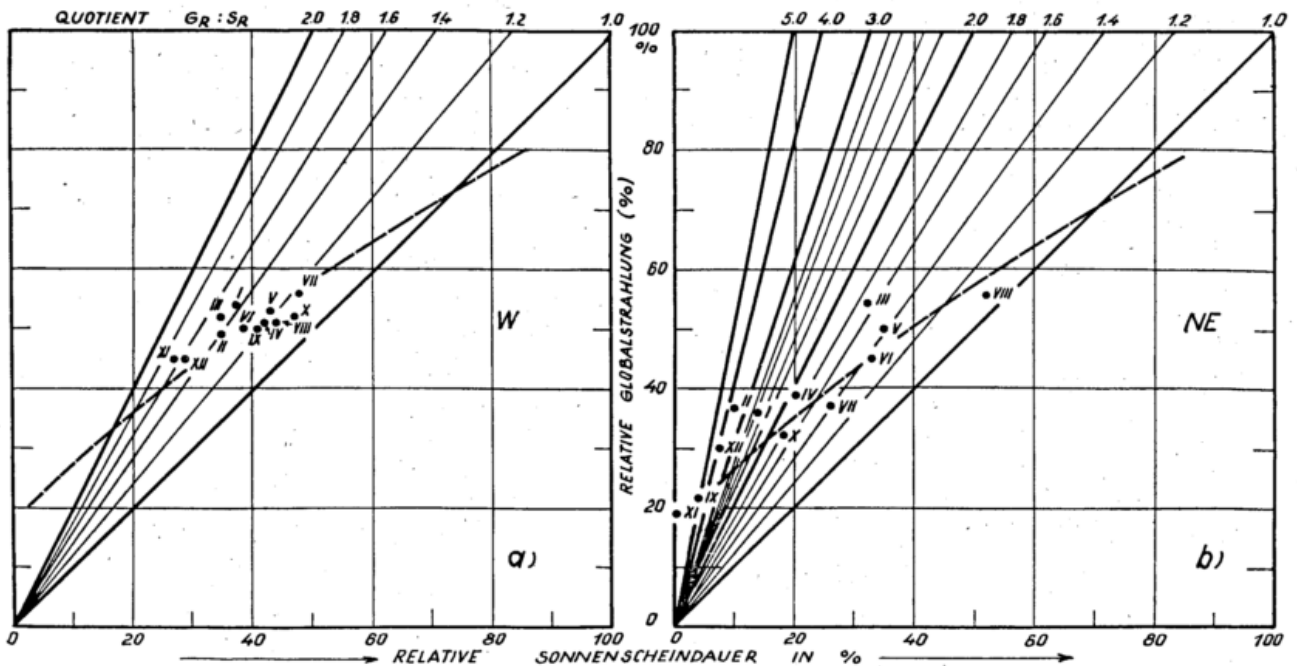
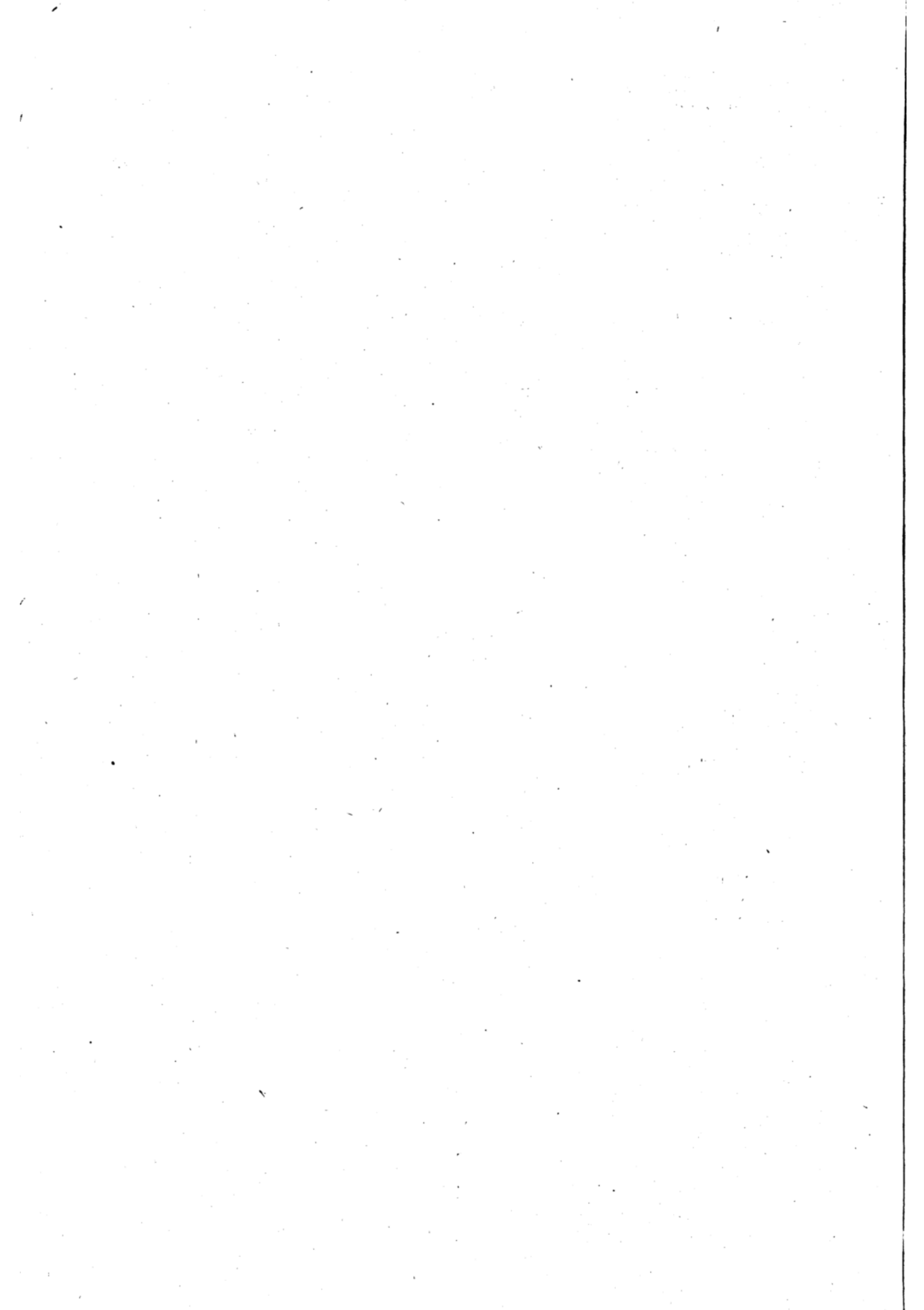


Abb. 32
Jahresgang im Einfluß der Großwetterlagen auf die
Beziehungen G_R/S_R
a) West-Lage, b) Nordost-Lage

Literatur

- (1) Grebe, H.: Temperaturverhältnisse des Observatoriums Hohenpeißenberg. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 36, 12—39 (1957)
- (2) Hauer, H.: Klima und Wetter der Zugspitze. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 16, 36—41 (1950)
- (3) Kleinschmidt, E.: Handbuch der meteorologischen Instrumente. Berlin 1935, S. 187
- (4) Deutscher Wetterdienst: Anleitung für die Beobachter an den Wetterbeobachtungsstellen des Deutschen Wetterdienstes. Ausg. f. d. Klimadienst. 6. Aufl. Bad Kissingen 1951, S. 34
- (5) Marten, W.: Zur Frage der Sonnenscheinautographen und der Zuverlässigkeit ihrer Angaben. Tät.-Ber. Preuß. Meteor. Inst. 1911, 168—179
- (6) Schulze, A.: Die Auswertung der Registrierungen des Sonnenscheinschreibers Campbell-Stokes. Meteor. Rdschr. 13, 31—32 (1960)
- (7) Bider, M.: Über die Genauigkeit der Registrierungen des Sonnenscheinautographen Campbell-Stokes. Arch. Meteor. Geoph. Bioklimat. B 9, 199—230 (1958)
- (8) Steinhauser, F., Eckel, O. u. Sauberer, F.: Klima und Bioklima von Wien. T. I. Ergebnisse der langjährigen Meßreihen an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien. Wien 1955
- (9) Reidat, R.: Klimadaten für Bauwesen und Technik. Dt. Wetterd. Nr. 5, Clausthal. Hambg. 1955 (Masch.-Schr. vervielf.)
- (10) Grunow, J.: Die Abschirmung des Sonnenscheins durch Talnebel im Alpenvorland. Wetter u. Leben 9, 99—104 (1957)
- (11) Reichsamt für Wetterdienst: Klimakunde des Deutschen Reiches. Bd. 2, Tabellen. Berlin 1939
- (12) Beobachtungen des meteorologischen Observatoriums Innsbruck i. d. J. 1946, 1932 u. 1933. Inst. f. Meteor. u. Geophys. d. Universität Innsbruck 1947
- (13) Kanton Basel-Stadt: Statist. Jb. 35 (1955)
- (14) Aus dem Klima-Archiv des Zentralamts des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach a. M.
- (15) Weickmann, H.: Singularitäten der Temperatur nach den Beobachtungen der Societas Meteorologica Palatina auf dem Hohenpeißenberg. Meteor. Rdsch. 1, 517—519 (1948)
- (16) Hofmann, A.: Luftkörperhäufigkeit in Südwestdeutschland und Singularitäten. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 12, 257—263 (1950)
- (17) Grunow, J.: Kritische Nebelfroststudien. Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat. B 4, 389—419 (1953)
- (18) Reidat, R.: Arbeitsblätter zur Ermittlung des Sonnenstandes und der Besonnungsdauer. Ann. Meteor. 7, 321—337 (1955/56)
- (19) Mörikofer, W. u. Nagel, E.: Über die Beziehung zwischen Sonnenscheindauer und Bewölkung. Verh. Schweizer. Naturf. Ges. Bern 1952, 112—113
- (20) Steinhauser, F.: Über die Beziehungen zwischen Sonnenscheinregistrierungen und Bewölkungsschätzungen und ihre Verwertungsmöglichkeit für die Berechnung der Sonnenscheindauer aus Bewölkungsbeobachtungen. Wetter u. Leben 6, 139—145 (1954)
- (21) Hartmann, W.: Sonnenscheindauer und Bewölkung. Meteor. Rdsch. 13, 45—50 (1960)
- (22) Nagel, E. La relation entre la nébulosité et la durée d'insolation et ses conséquences pour la climatologie appliquée de la Suisse. Ann. Schweizer. Zentralanst. 92, Anh. Nr. 8 (1955)
- (23) Lauscher, F.: Zur Frage: „Sonnenschein + Bewölkung = 100%?“ Wetter u. Leben 9, 143—146 (1957)
- (24) Grunow, J.: Über die Beziehungen zwischen Sonnenscheindauer und Bewölkung. Meteor. Rdsch. 11, 127—131 (1958)
- (25) Meißner, O.: Zur Frage nach der Überschätzung der Bewölkung. Meteor. Z. 60, 33 (1943)
- (26) Perl, G.: Über die Beziehung zwischen Tagesmittel der Bewölkung und relativer Sonnenscheindauer in drei verschiedenen Klimagebieten der Schweiz. Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat. B 1, 75—100 (1948)
- (27) Robitzsch, M.: Die Schätzung der Bewölkungsgrade. Das Wetter, 40, 28—31 (1923)
- (28) Heß, R. u. Brezowsky, H.: Katalog der Großwetterlagen Europas. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 33 (1952)
- (29) Deutscher Wetterdienst: Die Großwetterlagen Mitteleuropas. Offenbach a. M., monatlich
- (30) Maede, H. u. Matzke, H.: Wetterlagenbedingte oder spezifische Sonnenscheindauer in Greifswald. Z. Meteor. 5, 304—312 (1951)
- (31) Huber, A.: Sonnenschein an Niederschlagstagen. Gerlands Beitr. Geophys. 33 (Köppen-Bd. II), 118—124 (1931)
- (32) Steinhauser, F.: Die Sonnenscheindauer an Niederschlagstagen in Österreich. Wetter u. Leben 8, 95—104 (1956) — Das Klima des Salzkammergutes. Wetter u. Leben 10, 119—131 (1958)
- (33) Flohn, H.: Witterung und Klima in Mitteleuropa. Stuttgart 1954
- (34) Conrad, V.: Höhenlage und Sonnenscheindauer an Niederschlagstagen. Wetter u. Leben 9, 1—4 (1957)
- (35) Steinhauser, F.: Die säkularen Änderungen der Sonnenscheindauer in den Ostalpen. Jber. Sonnblick-Verein 51—53, 3—27 (1953—1955)
- (36) Stapf, H.: Ergebnisse der Eichungen von Robitzsch-Aktinographen. Meteor. Z. 55, 407—410 (1938)
- (37) Heigel, K.: Über die Wasseraufnahme von Chlorcalcium und Blaugel. Meteor. Rdsch. 12, 165 (1959)
- (38) UGGI: News Letter, Nr. 11, 371—373 (1955)
- (39) Olbers, W.: Die Meßgenauigkeit des Bimetall-Strahlungsschreibers nach Robitzsch. Techn. Mitt. Instr. Abt. MANWD, Nr. 20 (1951)
- (40) MacDonald, T. H. and Foster, N. B.: Pyrheliometer calibration program of the U. S. Weather Bureau. Monthly Weather Rev. 82, 219—227 (1954)
- (41) Sauberer, F. u. Dirmhirn, J.: Das Strahlungsklima. In: F. Steinhauser, O. Eckel u. F. Lauscher: Klimatographie von Österreich. Österr. Akad. Wiss., Denkschr. d. Gesamtakad. 3, 13—102 (1958)
- (42) Leistner, W.: Jahresverlauf der Globalstrahlung sowie der Relativwerte für Wyk auf Föhr und die Beziehung dieser zu meteorologischen Elementen und Tageswettertypen. Z. Meteor. 11, 353—367 (1957)
- (43) Deutscher Wetterdienst: Beilage zum Medizin-Meteor. Ber. Dt. Wetterd., Strahlungswerte. Meteor. Observat. Hamburg und freundliche Mitteilung des Meteor. Observat. Hamburg

- (44) Matzke, H.: Beiträge zur Kenntnis der Globalstrahlung in Greifswald. Abh. Meteor. u. Hydrol. Dienst d. DDR 2, Nr. 16 (1953)
- (45) Schöne, W.: Die Globalstrahlung in Gotha. Z. Meteor. 11, 199—211 (1957)
- (46) Berg, H.: Ergebnisse von Messungen der Globalstrahlung in Bochum. Z. Meteor. 3, 153—161 (1949)
- (47) Hinzpeter, H.: Studie zum Strahlungsklima von Potsdam. Veröff. Meteor. u. Hydrol. Dienst d. DDR Nr. 10 (1953)
- (48) Sydow, E.: Die Globalstrahlung in Oberstdorf und auf dem Nebelhorn. Meteor. Rdsch. 1, 336—339 (1947/48)
- (49) Schedler, A.: Ein Beitrag zur Kenntnis der Global- und Himmelsstrahlung im Hochgebirge der Alpen. Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat. B 4, 14—25 (1952)
- (50) Sauberer, F.: Zur Abschätzung der Globalstrahlung in verschiedenen Höhenstufen der Alpen. Wetter u. Leben 7, 22—29 (1955)
- (51) Obenland, E.: Über den Gebirgsföhn. Heimatkunde f. d. Landkr. Sonthofen. 20. H. (1953), S. 10, Tab. 1
- (52) Turner, H.: Über das Licht- und Strahlungsklima einer Hanglage der Ötztaler Alpen bei Obergurgl und seine Auswirkung auf das Mikroklima und auf die Vegetation. Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat. B 8, 273—325 (1958)
- (53) Ångström, A.: Report on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation. Rep. Int. Meteor. Conf. of Directors..., Utrecht, Sept. 1923, Kon. Nederl. Meteor. Inst. 112, 75 (1924)
- (54) Prohaska, F.: Die Globalstrahlung in Davos. Gerlands Beitr. Geophys. 59, 247—275 (1943)
- (55) Untersteiner, N.: Glazial-meteorologische Untersuchungen im Karakorum. I. Strahlung. Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat. B 8, 1—30 (1958)
- (56) Dirmhirn, J.: Untersuchungen der Himmelsstrahlung in den Ostalpen mit besonderer Berücksichtigung ihrer Höhenabhängigkeit. Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat. B 2, 301—346 (1951)
- (57) Thams, J. C. u. Zenone, E.: Über Sonnenscheindauer und Globalstrahlung auf der Magadinoebene unter besonderer Berücksichtigung des Tabakanbaues. Landw. Jb. Schweiz N. F. 1, 139—180 (1952)
- (58) Hinzpeter, H.: Vergleichende Prüfung von Formeln zur Berechnung von Globalstrahlungssummen. Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat. B 9, 60—72 (1958)
- (59) Collmann, W.: Idealwerte der Globalstrahlung. Ann. Meteor. 6, 117—122 (1953/54)
- (60) Collmann, W.: Verbesserte Idealwerte der Globalstrahlung. Ann. Meteor. 8, 179—186 (1958)
- (61) Bernhardt, F.: Die sekundär-diffuse Strahlung in einer Rayleigh-Atmosphäre. Z. Meteor. 6, 257—271 (1952) u. 7, 78—85 (1953)
- (62) Deirmendjian, D.: Attenuation of Light in the Earth's Atmosphere and related Problems. Air Force Cambridge Res. Center, Cambridge, Mass. Sci. Rep., No. 1, Contract AF 19 (122) — 239 (1952)
- (63) Deirmendjian, D. and Sekera, Z.: Global Radiation resulting from multiple scattering in a Rayleigh Atmosphere. Tellus 6, 382—398 (1954)
- (64) Collmann, W.: Diagramme zum Strahlungsklima Europas. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 42 (1958)
- (65) Milankovitch, M.: Handbuch der Klimatologie von Köppen-Geiger, Bd. 1, A. 1930
- (66) Collmann, W.: Zur Frage des Zusammenhangs zwischen Himmelsblau und Globalstrahlung. Meteor. Rdsch. 13, 159 (1960)
- (67) Fukui, E.: Transmission ratio, a climatological expression of solar penetration through the atmosphere. Geophys. Mag., Tokyo 23, 429—436 (1952)
- (68) Grunow, J.: Die relative Globalstrahlung, eine Maßzahl der vergleichenden Strahlungsklimatologie. Wetter u. Leben 13, 47—56 (1961)
- (69) Thams, J. C.: Der Einfluß von Bewölkungsmenge und -art auf die Größe der diffusen Himmelsstrahlung. Geofis. pura e appl. 48, 181—192 (1961)



Tab.1

Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen der Sonnenscheindauer (Std.), 1937-1959

Beob. Jahr	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Wi.	Fr.	So.	He.	Kl. Veg.	Gr. Veg.
1937	129	63	118	156	256	255	258	195	142	156	88	69	1885	285	530	708	386	769	1262
1938	64	152	222	126	201	244	230	172	191	133	147	64	1946	285	549	646	471	675	1164
1939	74	143	106	212	96	236	253	237	148	79	94	89	1767	281	414	726	321	585	1182
1940	86	103	127	184	200	247	234	224	163	122	90	54	1834	278	511	705	375	681	1252
1941	75	85	155	106	161	242	231	201	193	81	78	67	1675	214	422	674	352	634	1134
1942	59	48	129	162	217	240	230	248	212	181	42	116	1884	174	508	718	435	687	1309
1943	112	141	207	195	218	150	266	235	(140)	164	65	42	(1935)	369	620	651	(369)	634	(1204)
1944	107	71	71	165	206	178	202	261	151	102	68	91	1673	220	442	641	321	586	1163
1945	80	94	127	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(1816)	265	-	-	-	-	-
1946	-	-	-	(235)	192	158	256	190	205	128	95	56	-	-	-	604	428	606	(1236)
1947	82	75	104	226	208	270	272	314	240	207	58	31	2087	213	538	856	505	750	1530
1948	91	89	216	192	246	222	163	179	197	135	122	117	1969	211	654	564	454	631	1199
1949	120	171	171	192	138	225	303	229	230	187	55	73	2094	408	501	757	472	666	1317
1950	55	116	189	130	264	292	251	232	119	139	71	49	1907	244	583	775	329	807	1288
1951	67	82	82	185	169	193	249	225	171	129	62	134	1748	198	436	667	362	611	1192
1952	103	82	109	183	188	226	298	234	118	95	74	46	1756	319	480	758	287	712	1247
1953	65	98	244	218	235	160	211	264	200	120	156	123	2094	209	697	635	476	606	1288
1954	57	76	185	104	184	169	159	184	163	161	116	68	1626	256	473	512	440	512	963
1955	119	53	150	179	225	174	153	208	161	152	94	74	1742	240	554	535	407	552	1100
1956	71	89	128	128	235	123	234	186	203	167	53	90	1707	234	491	543	423	592	1109
1957	106	98	168	166	146	232	177	201	132	222	97	106	1851	294	480	610	451	555	1054
1958	117	85	150	129	229	216	252	235	206	126	53	98	1894	308	508	703	385	697	1267
1959	102	204	147	213	225	189	250	202	286	194	118	84	2214	390	585	641	598	664	1365

Wi. = Dez.-Febr. So. = Juni-Aug. Kl. Veg. = Mai-Juli
 Fr. = März-Mai He. = Sept.-Nov. Gr. Veg. = April-Sept.

Tab. 2

Durchschnitts- und Extremwerte der Sonnenscheindauer, 1937-1959

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Wi.	Fr.	So.	He.	Kl. Veg.	Gr. Veg.
a) Effektiv mögliche Sonnenscheindauer in Stunden																			
(Schaltjahr)	268	278	359	410	471	479	484	442	373	324	274	258	4420 (4430)	804 (814)	1240	1405	971	1434	2659
b) Wirkliche Sonnenscheindauer in Stunden																			
Mittlere	88	101	150	172	202	211	233	222	181	144	86	79	1868	267	523	665	411	646	1219
Größte	129	204	244	235	264	292	303	314	286	222	156	134	2214	408	697	856	598	807	1530
i. Jahre	1937	1959	1953	1946	1950	1950	1949	1947	1959	1957	1953	1951	1959	1949	1953	1947	1959	1950	1947
in % d. Mittels	146	202	162	136	129	138	130	142	158	154	181	170	119	153	133	129	146	125	126
Kleinste	55	48	71	106	96	123	153	172	118	79	42	31	1626	174	414	512	287	512	963
i. Jahre	1950	1942	1944	1941	1939	1956	1955	1938	1952	1939	1942	1947	1954	1942	1939	1954	1952	1954	1954
in % d. Mittels	62	48	47	62	47	58	66	78	65	55	49	39	87	65	79	77	70	79	79
Schwankungs- breite (%)	84	154	115	74	82	80	64	64	93	99	132	131	32	88	54	52	76	46	47
c) Wirkliche Dauer in % der effektiv möglichen Dauer (relative Dauer)																			
Mittlere	33	36	42	42	43	44	48	50	48	44	31	30	42	33	42	47	42	45	46
Größte	48	73	68	57	56	61	63	71	77	69	57	52	50	51	56	61	62	56	58
Kleinste	21	17	20	26	20	26	32	39	32	24	15	12	37	22	33	36	30	36	36
Max. -Min.	27	56	48	31	36	35	31	32	45	45	42	40	13	29	23	25	32	20	22
Mitrl. Abwchg.	8.7	13.9	13.2	9.4	8.6	9.1	8.6	6.5	11.2	11.9	11.2	11.0	3.6	8.9	13.5	15.3	10.6	15.6	14.5
d) Tägliche Dauer in Stunden																			
Eff. mögliche	8.6	9.8	11.6	13.7	15.2	16.0	15.6	14.3	12.4	10.4	9.1	8.3	12.1	8.9	13.5	15.3	10.6	15.6	14.5
Mittlere	2.8	3.6	4.8	5.8	6.5	7.0	7.6	7.2	6.0	4.6	2.9	2.5	5.1	3.0	5.7	7.3	4.5	7.0	6.7
Größte	4.2	7.3	7.9	7.8	8.5	9.7	9.8	10.1	9.5	7.2	5.2	4.3	6.1	4.9	8.1	9.9	6.6	9.3	9.0
Kleinste	1.8	1.7	2.3	3.4	3.1	4.1	4.9	5.5	3.9	2.5	1.4	1.0	4.5	1.5	2.9	4.8	2.6	4.0	4.2
Schwankungs- breite	2.4	5.6	5.6	4.4	5.4	5.6	4.9	4.6	5.6	4.7	3.8	3.3	1.6	3.4	5.2	5.1	4.0	5.3	4.8

Wi. = Dez.-Febr.

So. = Juni-Aug.

Kl. Veg. = Mai-Juli

Fr. = März-Mai

He. = Sept.-Nov.

Gr. Veg. = April-Sept.

Tab. 3

Vergleich von Durchschnittswerten der Sonnenscheindauer

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Seehöhe (m)	(Lit.)
Hohenpeißenberg. Mittlere Monatssummen in Stunden, reduziert auf München (1891-1930)	73	105	135	157	193	205	229	227	169	128	76	61	1758		
reduziert auf Zugspitze (1900-1949)	91	99	143	153	191	202	221	216	166	127	88	68	1765		
(1901-1930)	89	98	134	140	181	182	201	214	158	125	86	60	1668		
Anteil Z	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7			
Hohenpeißenberg. Mittlere Monatssummen in Stunden, reduziert auf München (1891-1930) und Zugspitze (1901-1930) mit gleitendem Anteil Z	84	100	134	149	188	198	221	223	163	126	83	60	1729		
Desgl., in % der effektiv möglichen Dauer	31	36	37	36	40	41	46	50	44	39	30	23	39		
Mittlere tägliche Sonnenscheindauer in Stunden	2.7	3.6	4.3	4.9	6.0	6.4	6.8	7.1	5.4	4.1	2.7	1.9	4.7	975	(10)
Hohenpeißenberg, 1891-1930	2.1	3.1	3.7	4.6	5.7	6.0	6.5	6.7	4.7	3.5	2.0	1.2	4.2	560	(11)
Weilheim-Ammerniederung, 1891-1930	1.7	3.1	4.3	5.4	6.8	7.3	7.8	7.5	5.8	4.0	1.9	1.2	4.7	538	(2)
München, 1891-1930	3.8	4.6	4.6	4.4	5.0	4.6	5.0	5.4	5.2	5.2	4.2	3.1	4.6	2962	(11)
Zugspitze, 1901-1930	3.9	4.7	4.9	4.8	5.3	5.1	5.5	5.5	5.5	5.2	4.3	3.5	4.9		(2)
Zugspitze, 1900-1949	2.4	2.9	3.3	4.1	5.7	5.5	5.6	5.1	4.2	3.2	2.6	1.9	3.9	1618	(11)
Schneekoppe, 1909-1930	1.6	2.4	3.3	4.6	6.6	6.7	6.5	5.9	4.2	2.9	2.1	1.3	4.0	822	(11)
Kl.Feldberg, 1891-1930	2.0	2.5	3.1	4.3	6.3	6.5	5.9	5.3	4.1	3.0	1.9	1.4	3.9	1150	(11)
Brocken, 1896-1930	2.7	3.4	4.8	5.8	6.5	7.0	7.6	7.2	5.9	4.5	2.9	2.5	5.1	975	(11)
Hohenpeißenberg, 1937-1956	2.5	3.1	4.6	5.1	5.8	6.3	6.7	6.2	5.0	4.2	2.7	2.5	4.6	1493	(14)
Feldberg/Schw., 1937-1956	1.7	2.5	4.1	5.3	6.8	6.8	7.6	6.7	5.1	3.7	1.6	1.6	4.4	921	(14)
Wasserkuppe, 1937-1956	1.8	2.8	4.2	5.6	7.6	8.0	8.5	7.8	5.9	3.8	2.1	1.3	5.0	202	(8)
Wien, 1891-1930	2.2	3.7	4.8	5.1	6.2	6.2	6.4	6.4	5.6	4.5	2.8	1.7	4.6	582	(12)
Innsbruck, 1906-1930	2.1	3.0	4.5	5.2	6.2	7.5	7.8	7.0	5.4	3.5	2.1	1.6	4.7	318	(13)
Basel, 1938-1955	1.3	2.5	3.5	5.1	7.2	7.3	7.2	6.4	4.7	2.7	1.5	0.9	4.2	103	(11)
Frankfurt, 1891-1930	1.3	2.3	3.5	5.4	7.6	7.9	7.4	6.7	4.8	3.2	1.8	1.1	4.4	57	(11)
Berlin, 1891-1930	1.1	2.0	3.1	5.2	6.7	6.3	5.7	5.8	4.7	2.8	1.3	0.6	3.8	29	(11)
Hamburg, 1891-1930															

() Reihe auf die angegebene Periode reduziert.

Tab.4

Häufigkeit von Stufenwerten der Monatssummen der Sonnenscheindauer, 1937-1959

Stunden	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
11 - 20												
21 - 30												
31 - 40												1
41 - 50		1									1	3
51 - 60	3	1									4	2
61 - 70	3	1									3	4
71 - 80	4	3	1							1	3	2
81 - 90	2	6	1							1	1	3
91 - 100	1	3			1					1	5	2
101 - 110	4	1	3	2						1		1
111 - 120	4	1	1						2	1	2	2
121 - 130	1		4	4		1				3	1	1
131 - 140					1				2	3		1
141 - 150		2	3		1	1			2		2	
151 - 160		1	1	1		2	2		1	2		
161 - 170			1	3	2	1	1		3	3		
171 - 180		1	1	1		2	1	2	1			
181 - 190			2	3	2	1		2	1	2		
191 - 200				3	1	1		2	2	1		
201 - 210		1	1		4		1	4	4	2		
211 - 220			1	3	2	1	1		1			
221 - 230			1	1	3	3	1	3	1	1		
231 - 240				1	2	3	4					
241 - 250			1		1	3	2	2	1			
251 - 260					1	1	5					
261 - 270					1		1	2				
271 - 280						1	1					
281 - 290									1			
291 - 300						1	1					
301 - 310							1					
311 - 320								1				

Die mit gekennzeichneten Stufen schließen den Mittelwert des betreffenden Monats ein.

Tab. 5

Mittlere Zahl der Tage mit Sonnenschein von bestimmter Dauer, 1937-1959

Stunden	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
a) in Stufen nach Stunden												
0.0	10.7	7.7	5.4	4.2	3.9	2.6	2.6	2.3	3.5	6.7	10.3	11.0
0.1 - 1.0	4.0	3.6	3.0	3.1	2.5	2.8	2.2	2.7	2.9	3.0	3.6	4.2
1.1 - 2.0	1.9	2.3	2.3	1.8	2.1	1.8	1.5	1.5	1.9	2.1	2.9	2.6
2.1 - 3.0	1.9	1.5	2.1	1.6	1.3	1.6	1.6	1.5	1.2	1.5	1.7	1.7
3.1 - 4.0	1.8	1.9	2.1	2.3	2.2	1.9	1.9	1.8	1.8	1.6	1.6	1.4
4.1 - 5.0	1.8	1.8	2.1	1.5	1.8	1.8	1.8	1.4	1.6	2.0	1.4	1.7
5.1 - 6.0	1.8	1.4	1.7	1.7	1.2	1.7	1.3	1.8	1.7	1.7	1.4	1.9
6.1 - 7.0	2.1	1.4	1.7	1.6	1.5	1.9	1.5	1.4	1.4	1.6	1.0	1.5
7.1 - 8.0	2.3	1.2	1.4	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.7	1.7	2.0	3.4
8.1 - 9.0	2.3	1.7	1.9	1.7	2.0	1.3	1.5	2.1	1.9	2.5	2.6	1.6
9.1 - 10.0	0.4	2.5	3.0	1.7	1.7	1.2	1.7	2.4	3.2	3.7	0.6	
10.1 - 11.0		1.3	3.2	1.9	2.0	1.3	2.0	1.8	3.0	2.9		
11.1 - 12.0			1.1	1.8	1.5	1.4	1.9	2.9	2.5	0.0		
12.1 - 13.0				2.3	1.8	1.1	2.0	2.9	1.5			
13.1 - 14.0				1.1	2.1	2.0	2.0	2.4	0.2			
14.1 - 15.0					1.7	2.8	3.0	0.6				
15.1 - 16.0					0.1	1.2	0.9					
Längste Dauer	9.3	10.6	12.0	14.0	15.3	15.8	15.6	14.6	13.4	11.2	9.5	8.5
b) in Stufen nach % der eff. mögl. Dauer												
< 3	11.9	9.0	6.6	5.3	5.0	3.7	3.5	3.4	4.2	7.4	11.3	13.5
3 - 7	1.2	1.5	1.7	1.9	1.7	1.9	1.5	1.7	1.7	1.6	1.6	1.4
8 - 12	1.6	1.2	1.0	1.1	1.6	1.2	1.1	1.1	1.6	1.1	1.3	0.9
13 - 17	0.9	1.2	1.4	1.3	1.0	1.5	1.5	0.8	0.9	1.2	1.2	1.1
18 - 22	1.0	0.9	1.5	1.1	1.3	1.4	1.2	1.4	0.8	0.9	1.4	1.0
23 - 27	0.7	0.8	1.0	1.6	1.6	1.5	1.4	1.3	0.9	0.6	0.6	0.8
28 - 32	0.8	0.8	0.9	1.2	1.4	1.5	1.4	1.0	1.3	1.3	0.9	0.6
33 - 37	0.6	0.9	1.5	1.1	0.9	1.3	1.2	1.5	1.0	0.7	0.7	0.6
38 - 42	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.5	1.2	1.2	1.0	0.9	0.8	0.6
43 - 47	0.8	0.9	1.2	1.1	1.3	1.2	1.0	0.8	1.0	1.1	0.8	0.6
48 - 52	0.7	0.9	0.9	1.2	1.0	1.0	1.1	0.8	0.8	0.7	0.5	0.8
53 - 57	1.0	0.4	1.1	1.0	1.3	1.3	1.4	1.3	0.8	0.7	0.6	0.6
58 - 62	0.6	0.6	0.6	1.0	1.8	1.0	1.5	1.5	1.0	0.9	0.8	0.7
63 - 67	0.6	1.0	0.8	1.3	1.2	1.0	1.3	1.6	1.4	0.8	0.7	1.1
68 - 72	1.0	0.8	1.0	1.1	1.3	1.0	1.3	1.7	1.2	1.2	0.6	0.4
73 - 77	0.7	0.5	0.9	1.1	1.4	1.1	1.6	1.2	1.7	0.8	1.1	0.6
78 - 82	1.0	0.8	1.4	1.2	1.0	1.0	1.7	1.6	1.7	1.3	0.7	0.7
83 - 87	1.1	0.7	1.9	1.4	1.5	1.7	1.2	1.8	2.1	1.5	0.7	0.7
88 - 92	1.1	0.7	2.1	2.0	1.9	2.1	2.0	2.2	2.4	2.1	1.0	1.0
93 - 97	0.9	1.9	2.0	1.7	1.6	1.9	2.7	2.6	2.1	2.8	1.6	1.8
> 97	1.7	1.8	0.4	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4	1.4	1.1	1.5

Die mit gekennzeichneten Stufen schließen den Mittelwert des betreffenden Monats ein.

Tab. 6

Wahrscheinlichkeit einer täglichen Sonnenscheindauer, 1937-1959

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
a) von mehr als n Stunden in %												
n = 0,0	65,4	72,8	82,6	86,0	87,4	91,4	91,6	92,6	88,4	78,2	65,5	64,5
1,0	52,5	60,5	72,9	75,7	79,4	82,0	84,5	84,0	78,7	68,7	53,6	50,9
2,0	46,3	52,0	65,5	69,7	72,6	76,0	79,7	79,0	72,4	61,8	44,0	42,5
3,0	40,3	46,6	58,7	64,4	68,4	70,7	74,6	74,3	68,4	57,0	38,3	37,1
4,0	34,4	39,9	51,9	56,6	61,2	64,3	68,5	68,4	62,3	51,8	33,0	32,6
5,0	28,7	33,6	45,2	51,7	55,5	58,4	62,6	63,9	57,0	45,4	28,2	27,2
6,0	22,9	28,6	39,7	46,0	51,6	52,6	58,4	58,1	51,4	40,0	23,3	21,0
7,0	16,1	23,7	34,2	40,7	46,8	46,3	53,5	53,6	46,7	34,8	17,3	16,1
8,0	8,7	19,5	29,7	35,0	41,6	43,3	48,4	48,7	41,0	29,4	10,6	5,2
9,0	1,3	13,4	23,5	29,4	35,1	36,7	43,5	41,9	34,7	21,3	2,0	
10,0		4,6	13,9	23,6	29,7	32,7	38,1	34,2	24,0	9,4		
11,0			3,6	17,3	23,2	28,3	31,6	28,4	14,0	0,0		
12,0				11,3	18,4	23,6	25,5	19,1	5,7			
13,0				3,7	12,6	20,0	19,1	9,7	0,7			
14,0					5,8	13,3	12,6	1,9				
15,0					0,3	4,0	2,9					
b) von mehr als n % der möglichen Dauern												
n = 97	1,7	1,8	0,4	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	0,4	1,4	1,1	1,5
93 - 97	2,6	3,7	2,4	1,9	1,7	2,1	2,9	3,0	2,5	4,2	2,7	3,3
88 - 92	3,7	4,4	4,5	3,9	3,6	4,2	4,9	5,2	4,9	6,3	3,7	4,3
83 - 87	4,8	5,1	6,4	5,3	5,1	5,9	6,1	7,0	7,0	7,8	4,4	5,0
78 - 82	5,8	5,9	7,8	6,5	6,1	6,9	7,8	8,6	8,7	9,1	5,1	5,7
73 - 77	6,5	6,4	8,7	7,6	7,5	8,0	9,4	9,8	10,4	9,9	6,2	6,3
68 - 72	7,5	7,2	9,7	8,7	8,8	9,0	10,7	11,5	11,6	11,1	6,8	6,7
63 - 67	8,1	8,2	10,5	10,0	10,0	10,0	12,0	13,1	13,0	11,9	7,5	7,8
58 - 62	8,7	8,8	11,1	11,0	11,8	11,0	13,5	14,6	14,0	12,8	8,3	8,5
53 - 57	9,7	9,2	12,2	12,0	13,1	12,3	14,9	15,9	14,8	13,5	8,9	9,1
48 - 52	10,4	10,1	13,1	13,2	14,1	13,3	16,0	16,8	15,6	14,2	9,4	9,9
43 - 47	11,2	11,0	14,3	14,3	15,4	14,5	17,0	17,6	16,6	15,3	10,2	10,5
38 - 42	12,3	12,1	15,4	15,4	16,5	16,0	18,2	18,8	17,6	16,2	11,0	11,1
33 - 37	12,9	13,0	16,9	16,5	17,4	17,3	19,4	20,3	18,6	16,9	11,7	11,7
28 - 32	13,7	13,8	17,8	17,7	18,8	18,8	20,8	21,3	19,9	18,2	12,6	12,3
23 - 27	14,4	14,6	18,8	19,3	20,4	20,3	22,2	22,6	20,8	18,8	13,2	13,1
18 - 22	15,4	15,5	20,3	20,4	21,7	21,7	23,4	24,0	21,6	19,7	14,6	14,1
13 - 17	16,3	16,7	21,7	21,7	22,7	23,2	24,9	24,8	22,5	20,9	15,8	15,2
8 - 12	17,9	17,9	22,7	22,8	24,3	24,4	26,0	25,9	24,1	22,0	17,1	16,1
3 - 7	19,1	19,4	24,4	24,7	26,0	26,3	27,5	27,6	25,8	23,6	18,7	17,5
3	31,0	28,4	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0

Die Stufenlinien grenzen Häufigkeitsbereiche von 25, 50, 75 %, bzw. % aller Tage eines Monats ab.

Tab. 7

Häufigkeit der Aufeinanderfolge von n Tagen, 1937-1959

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
a) ohne Sonnenschein												
n = 1	3.4	2.3	2.4	2.5	2.0	1.5	1.5	1.9	2.0	2.6	3.5	3.1
2	1.3	1.2	0.9	0.5	0.5	0.6	0.4	0.3	0.3	0.5	1.6	1.5
3	0.8	0.7	0.1	0.2	0.2		0.1		0.1	0.2	0.5	0.6
4	0.2	0.1	0.1	0.1			0.1		0.1	0.2	0.3	0.3
5	0.1			0.1	0.1					0.2	0.1	0.2
6	0.2	0.1	0.1						0.1	0.1	0.2	0.3
7											0.1	0.2
8			0.1							0.1	0.1	0.1
b) mit mindestens 8 Stunden Sonnenschein												
n = 1	1.0	1.0	2.3	2.5	2.7	2.0	2.1	2.5	1.7	2.3	1.5	1.0
2	0.4	0.4	0.8	1.3	1.3	1.2	1.2	2.1	0.5	0.9	0.5	0.3
3	0.3	0.4	0.4	0.5	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.3	0.1	0.1
4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.3	0.3	0.8	0.6	0.6	0.2	0.1	
5		0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1
6		0.1	0.1	0.1	0.2	0.1		0.2	0.1	0.2		
7		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1		0.1		
8		0.2			0.1	0.1	0.1	0.1	0.1			
9				0.1	0.1	0.1		0.1	0.1	0.1		
10			0.1			0.1			0.1			
11								0.2	0.1			
12						0.1	0.1					
13												
14							0.1					
15												
16								0.1				
17									0.1			

Die Stufenlinien kennzeichnen Zeitabschnitte, in denen, von unten gerechnet, alle zwei Jahre einmal, alle Jahre einmal und alle Jahre wenigstens zweimal Perioden mehrerer aufeinanderfolgender Tage durchschnittlich zu erwarten sind.

Tab. 8

Mittlere Stundensummen pro Monat für die Zeit von 11 - 13 Uhr

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	(Lit.)
Wien	17.6	21.2	30.4	31.9	38.9	37.8	<u>41.6</u>	41.3	37.1	28.1	16.5	<u>13.5</u>	(8)
Hohenpeißenberg	24.0	24.4	32.4	30.6	31.7	32.4	37.6	37.9	<u>38.4</u>	31.8	23.0	<u>22.7</u>	
Zugspitze	31.5	31.7	29.5	32.2	30.8	<u>23.6</u>	29.3	32.5	36.6	<u>43.2</u>	26.2	33.2	(2)

Tab. 9

Mittlere Stundensummen der Sonnenscheindauer des Vor- und Nachmittags, 1938-1959

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Vormittag	1.33	1.80	2.40	2.92	3.38	3.56	3.78	3.65	3.00	2.21	1.42	1.27
Nachmittag	1.43	1.93	2.49	2.82	3.07	3.37	3.65	3.51	3.10	2.42	1.44	1.29
Δ Vorm. - Nachm.	-0.10	-0.13	-0.09	0.10	0.31	0.19	0.13	0.14	-0.10	-0.21	-0.02	-0.02

Tab. 10

Summen aus relativer Sonnenscheindauer und Bewölkung, beide ausgedrückt in %, 1937-1959

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	(Lit.)
Hohenpeißenberg	107	106	108	112	112	112	112	111	108	108	102	104	110	
Zugspitze	103	105	106	109	109	109	108	107	106	107	104	102	106	nach (2) berechnet
Nordalpen, Berge	102	104	107	110	111	112	111	110	108	106	103	102	107	nach (20) berechnet
München	92	96	100	105	106	108	109	109	103	102	95	91	104	nach (11) berechnet
Nordalpen, Niederung	98	102	103	106	108	109	109	108	105	102	100	99	106	nach (20) berechnet

Tab. 11

Abhängigkeit der Summe relative Sonnenscheindauer plus Bewölkung (S + B)
in Prozenten vom Tagesmittel der Bewölkung, 1950-1956

Bewölkungs- stufe	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Fr.	So.	He.	Wi.
0.0	100	99	94	97		98	90	93	93	83	99	95	94	94	95	90	98
0.3 - 0.7	92	86	91	100	100	100	99	99	98	96	101	101	98	97	99	98	97
1.0 - 1.7	109	96	106	102	104	104	107	107	102	107	106	108	105	104	106	105	105
2.0 - 2.7	116	91	109	110	105	106	111	109	101	112	114	114	108	107	109	108	107
3.0 - 3.7	108	118	110	112	110	106	115	116	109	121	106	117	111	108	114	112	114
4.0 - 4.7	101	101	107	115	117	120	114	114	113	105	109	114	111	114	115	110	106
5.0 - 5.7	121	109	107	116	108	111	119	114	114	112	110	119	114	110	115	112	118
6.0 - 6.7	104	98	110	111	115	113	105	113	101	98	106	96	108	112	110	102	99
7.0 - 7.7	110	116	105	113	120	121	111	114	105	114	99	108	112	113	114	107	110
8.0 - 8.7	113	113	120	124	121	115	116	117	106	114	116	103	115	122	116	115	109
9.0 - 9.7	109	106	117	114	110	109	111	114	113	108	103	104	110	114	112	108	107
10.0	101	103	104	102	104	102	100	101	102	102	102	103	102	107	102	102	103

Fr. = März-Mai He. = Sept.-Nov.
So. = Juni-Aug. Wi. = Dez.-Febr.

Tab.12

Gang der Jahreswerte der Summe
relative Sonnenscheindauer plus Bewölkung, 1937-1959

Jahr	S + B	Jahr	S + B
1937	112	1949	108
1938	107	1950	109
1939	109	1951	107
1940	110	1952	111
1941	111	1953	110
1942	112	1954	109
1943	111	1955	109
1944	112	1956	109
1945/46	108	1957	108
1947	113	1958	113
1948	109	1959	110
		<hr/>	
		1937/59	110

Tab. 13

Abhängigkeit der Sonnenscheindauer von der Großwetterlage, 1937-1959

Zirkulation Großwettertyp Großwetterlage	zonal			gemischt			überwiegend meridional										Jahreszeit						
	W	BM	H	HM	SW	NW	HN	HB	N	T	TM	TB	TrW	S	SE	SE	E	HNF	NE	NE	(S-E)	W'w	
																							W
a) Mittlere spezifische Sonnenscheindauer in % der möglichen Dauer																							
Jan.	33	26	60	60	55	20	39	37	23	15	14	33	28	50	31	28	32	28	9	20	Wi.		
Febr.	32	42	87	47	47	28	46	36	10	18	25	28	37	44	36	20	20	20	7	30			
März	36	55	80	44	44	24	44	37	26	18	28	49	52	54	48	37	47	26	30				
April	41	61	67	54	47	24	39	27	23	24	44	48	40	81	50	47	38	22	42				
Mai	39	60	76	76	53	24	20	36	35	23	24	49	39	69	53	46	45	32	(78)				
Juni	40	55	71	71	61	31	46	48	30	21	40	34	45	(59)	45	50	54	27	31				
Juli	46	70	76	76	58	36	47	27	(35)	31	33	47	56	(71)	57	46	46	40	43				
Aug.	45	56	69	63	63	32	64	67	(10)	39	23	57	37	(88)	(45)	66	66	49	43				
Sept.	45	50	72	67	67	39	54	37	20	18	15	54	62	64	67	47	44	42	32				
Okt.	45	48	62	61	61	39	35	40	8	24	19	52	50	58	58	34	41	17	19				
Nov.	31	25	46	51	51	30	18	20	82	11	32	34	35	50	34	30	18	1	28				
Dez.	28	30	49	65	65	9	37	19	22	16	25	36	33	52	33	19	6	12	22				
Nov.-Febr.	31	31	60	54	54	23	35	28	34	15	24	33	33	49	34	24	19	7	25				
März-Mai	39	59	74	50	50	32	34	33	28	22	32	49	44	68	50	43	43	27	50				
Juni-Aug.	44	60	72	61	61	33	52	47	25	30	32	46	46	73	30	58	33	39	39				
Sept.-Okt.	45	49	67	64	64	39	45	44	14	21	17	53	56	61	62	40	42	30	26				
Jahr	38	48	68	57	57	30	41	36	27	22	27	43	43	52	42	40	33	24	47				
b) Relative Häufigkeit der Großwetterlagen während des Zeitraumes 1937-1959																							
Jan.	23	4	8	7	10	4	4	2	3	5	3	1	1	5	4	10	2	4	4				
Febr.	25	5	11	6	6	4	4	4	3	5	3	2	1	2	4	5	9	4	2				
März	19	6	9	5	7	4	4	8	6	3	2	2	1	4	7	4	6	3	3				
April	20	9	6	4	7	5	5	6	4	7	1	3	6	2	4	4	2	7	2				
Mai	14	3	7	3	5	3	3	6	5	4	3	5	4	1	5	4	8	11	2				
Juni	24	7	13	2	6	9	9	8	4	5	2	1	4	1	1	1	1	7	3				
Juli	28	8	10	2	14	4	4	1	1	6	3	6	4	1	1	2	1	8	2				
Aug.	30	10	8	6	9	1	1	2	2	4	1	4	6	1	1	6	10	10	4				
Sept.	22	6	13	6	10	4	4	5	2	6	1	1	2	5	3	3	2	3	6				
Okt.	22	8	14	6	4	4	4	4	2	4	3	1	5	3	6	8	1	4	2				
Nov.	20	10	8	6	6	3	3	3	3	5	3	3	4	6	5	3	3	1	6				
Dez.	23	11	8	6	7	2	2	4	2	4	3	3	2	5	3	8	1	4	4				
Nov.-Febr.	22.7	7.5	8.7	6.7	7.2	3.2	3.3	3.3	2.8	4.8	3.0	2.2	2.0	4.5	4.0	6.5	3.8	3.2	4.0				
März-Mai	17.6	6.0	7.3	4.0	6.3	4.0	6.7	5.0	4.7	4.7	2.0	3.3	3.7	2.3	5.3	4.0	5.3	7.0	1.7				
Juni-Aug.	27.3	8.3	10.3	3.3	9.7	4.7	3.7	1.7	5.0	2.0	3.7	4.7	4.7	0.7	0.7	3.0	0.7	8.3	2.7				
Sept.-Okt.	22.0	7.0	13.5	6.0	7.0	4.0	4.5	2.0	5.0	2.0	2.0	1.0	3.5	4.0	4.5	5.5	1.5	3.5	4.0				
Jahr	22.5	7.2	9.6	5.1	7.6	3.9	4.4	2.9	4.8	2.3	2.7	3.3	3.3	2.9	3.6	4.8	3.0	5.5	3.1				

Tab. 13 (Fortsetzung)

Zirkulation Großwettertyp Großwetterlage	zonal			gemischt				überwiegend meridional										Jahreszeit	
	W	H		SW	NW	HN	HB	N	TrM	TM	TB	S		SE	E	NE	(S-E) · Ww		
		BM	HM									SW	NW						TrW
c) Verhältnis der spezifischen zur mittleren relativen Sonnenscheindauer (%)																			
Jan.	100	79	182	166	61	118	112	70	46	42	100	85	152	94	85	97	27	61	Wi.
Febr.	89	117	242	131	78	128	100	28	50	69	76	103	122	100	56	56	19	83	
März	86	131	191	105	57	105	88	62	43	67	117	124	129	114	88	112	62	71	
April	98	145	159	128	112	93	64	55	57	105	114	95	192	119	112	90	52	100	Fr.
Mai	91	140	177	123	56	46	84	82	54	56	114	91	161	123	107	105	74	(182)	
Juni	91	125	161	138	70	104	109	68	48	91	77	102	(134)	102	114	123	61	70	
Juli	96	146	158	121	75	98	56	(73)	65	69	98	117	(148)	.	119	96	83	90	So.
Aug.	90	112	138	126	64	128	134	(20)	78	46	114	74	(176)	(90)	132	.	98	86	
Sept.	94	104	150	140	81	113	77	42	37	31	113	129	133	140	98	92	88	67	He.
Okt.	92	98	127	124	80	71	82	16	49	39	106	102	118	118	70	84	35	39	
Nov.	100	81	148	165	97	58	64	268	35	103	110	113	161	110	97	58	3	90	Wi.
Dez.	85	91	149	197	279	112	58	67	48	76	109	100	158	100	58	18	40	67	
Nov.-Febr.	94	94	182	164	127	106	85	103	45	73	100	100	149	103	73	58	21	76	Wi.
März-Mai	93	141	176	119	76	81	79	66	52	76	117	105	162	119	102	102	64	119	Fr.
Juni-Aug.	94	128	153	130	70	111	100	53	64	68	98	98	155	64	123	70	83	83	So.
Sept.-Okt.	94	102	140	134	81	94	92	29	44	35	111	117	127	129	84	88	62	54	He.
Jahr	90	114	162	136	88	97	86	64	52	64	102	102	124	100	95	78	57	112	Jahr

Geklammerte Werte durch weniger als 5 Einzelfälle belegt.

Tab. 14

Relative Sonnenscheindauer bei Westwetterlagen und deren relative Häufigkeit, 1951-1959

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Wi.	Fr.	So.	He.
a) Relative Sonnenscheindauer																	
Wa (antizyklonal)	60	65	56	53	53	51	50	57	58	77	61	55	57	58	54	54	78
Wz (zyklonal)	39	37	34	17	28	34	42	42	34	34	19	26	35	31	31	41	42
Ws (südlich)	20	20	13	37	0	25	0	20	0	0	13	24	21	20	23	23	0
W	42	31	36	46	40	39	44	46	46	50	24	29	40	32	40	44	70
b) Relative Häufigkeit (%)																	
Wa	3	0	4	7	5	9	8	12	9	6	2	4	6	2	5	10	4
Wz	16	10	10	1	5	6	22	19	10	10	6	20	11	13	6	16	8
Ws	1	7	3	2	0	5	0	3	0	0	4	6	2	4	1	3	0
W	20	17	17	10	10	20	30	34	19	16	12	30	20	20	12	28	12

Wi. = Nov.-Febr. So. = Juni-Aug.
 Fr. = März-Mai He. = Sept.-Okt.

Tab. 15

Sonnenscheindauer an Niederschlagstagen, 1937-1959

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Wi.	Fr.	So.	He.	Kl. Veg.	Gr. Veg.
a) Mittlere Sonnenscheindauer in % der eff. mögl. Dauer	33	36	42	42	43	44	48	50	48	44	31	31	42	33	42	47	41	45	46
Alle Tage																			
Tage mit Niederschlag	35	35	36	41	43	43	57	47	43	40	24	22	38	30	40	49	34	48	45
" 0.0 mm																			
" 0.1 - 1.0 mm	24	22	32	34	45	42	41	51	32	25	22	16	31	21	37	44	30	43	41
" 1.1 - 10.0 mm	12	14	15	20	25	26	31	29	25	15	12	10	19	12	20	28	17	27	26
" > 10.0 mm	6	4	8	8	12	21	19	20	14	7	4	2	14	4	10	20	10	18	17
Zusammenfassung																			
Niederschlag \geq 0.0 mm	18	19	22	27	30	29	33	33	27	20	16	13	24	17	26	32	21	31	30
" \geq 0.1 mm	15	16	19	23	27	27	30	30	24	17	14	11	21	14	24	29	18	28	27
b) Mittlere Sonnenscheindauer in Stunden																			
Alle Tage	2.8	3.6	4.8	5.8	6.5	7.0	7.6	7.2	6.0	4.6	2.9	2.6	5.1	3.0	5.7	7.3	4.5	7.0	6.7
Tage mit Niederschlag	3.0	3.4	4.1	5.6	6.5	6.8	9.0	6.7	5.4	4.1	2.2	1.9	4.7	2.7	5.4	7.7	3.7	7.4	6.6
" 0.0 mm																			
" 0.1 - 1.0 mm	2.1	2.2	3.7	4.7	6.8	6.8	6.3	7.3	4.0	2.6	2.0	1.4	3.8	1.9	5.0	6.8	2.9	6.6	5.9
" 1.1 - 10.0 mm	1.0	1.4	1.7	2.8	3.8	4.2	4.9	4.1	3.1	1.6	1.1	0.8	2.3	1.1	2.7	4.5	1.8	4.2	3.7
" > 10.0 mm	0.5	0.4	0.9	1.1	1.8	3.3	3.0	2.8	1.8	0.7	0.3	0.2	1.7	0.4	1.3	3.1	1.0	2.8	2.5
Zusammenfassung																			
Niederschlag \geq 0.0 mm	1.6	1.8	2.5	3.7	4.5	4.7	5.3	4.7	3.3	2.1	1.4	1.1	2.9	1.5	3.5	4.9	2.2	4.8	4.4
" \geq 0.1 mm	1.3	1.6	2.2	3.2	4.1	4.4	4.6	4.3	3.0	1.8	1.3	1.0	2.6	1.3	3.2	4.6	1.9	4.4	3.9
c) Mittlere Sonnenscheindauer an Niederschlagstagen in % der mittl. Sonnenscheindauer																			
Tage mit Niederschlag	107	97	85	97	100	98	119	93	90	81	77	72	91	92	95	105	82	106	99
" 0.0 mm																			
" 0.1 - 1.0 mm	74	62	76	82	104	96	85	102	68	57	71	53	75	63	89	94	64	95	89
" 1.1 - 10.0 mm	36	40	35	48	58	60	66	57	52	31	38	32	46	37	48	60	41	60	56
" > 10.0 mm	18	12	19	19	27	47	40	39	30	13	11	6	33	13	24	42	23	40	37
Zusammenfassung																			
Niederschlag \geq 0.0 mm	56	52	52	64	69	66	70	66	55	46	50	43	58	51	63	68	49	68	65
" \geq 0.1 mm	45	45	45	55	63	62	62	60	50	38	45	37	51	43	57	62	43	62	59

Wi. = Dez.-Febr.
Fr. = März-Mai

So. = Juni-Aug.
He. = Sept.-Nov.

Kl. Veg. = Mai-Juli
Gr. Veg. = April-Sept.

Tab. 16

Vergleich der Sonnenscheindauer an Niederschlagstagen

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	(Lit.)	Periode
a) in % des Mittels aller Tage														
Hohenpeißenberg	45	45	45	55	63	62	62	60	50	38	45	37		1937-1959
Obertheinebene (Ludwigshafen)	20	22	19	33	27	29	28	29	29	25	39	43	(31)	1921-1930
Nordbayern (Bamberg)	48	28	29	39	42	52	39	46	36	42	42	42	"	"
Südbayern (München)	37	23	18	37	29	40	29	35	29	22	44	30	"	"
Alpengebiet (Partenkirchen)	23	16	23	38	40	50	41	35	33	21	22	18	"	"
Wien	62		57			67			57		62		(32)	(1940-1950
Innsbruck	40		49			68			49		40		"	außer 1945)
Feuerkogel	42		49			64			49		42		"	"
b) in Stunden														
Hohenpeißenberg	1.3	1.6	2.2	3.2	4.1	4.4	4.6	4.3	3.0	1.8	1.3	1.0		
Obertheinebene	0.5	1.1	1.8	2.6	3.4	3.7	4.1	3.5	2.5	1.3	0.9	1.5		
Nordbayern	0.8	1.2	2.1	3.0	4.4	4.6	5.0	4.7	3.0	2.1	1.1	0.6		
Südbayern	1.1	1.9	2.0	3.2	4.3	5.6	5.2	5.0	3.5	2.1	1.8	0.7		
Alpengebiet	1.1	1.3	2.4	2.6	3.3	3.9	4.2	3.8	3.1	1.9	1.5	1.7		
Wien	0.9	1.6	2.4	3.5	4.6	6.0	6.3	5.2	3.6	2.6	1.3	1.3		
Innsbruck	0.9	1.4	2.0	2.9	4.2	4.5	4.8	4.6	3.6	2.2	1.0	0.9		
Feuerkogel	1.5	1.5	1.6	3.5	3.9	4.0	4.1	4.0	3.1	1.9	1.2	1.0		

Tab.17

Relative Sonnenscheindauer an Niederschlagstagen (%), 1937-1959;
Verhältnis der Sommer- zu den Winterwerten

			So.	Wi.	So.	Wi.
			Mai - Aug.	Nov. - Febr.		
Mittel aller Tage			46.3	32.8	1.41	
Niederschlagstage mit		0.0 mm	47.4	28.8	1.65	
"	"	0.1 - 1.0 mm	44.3	21.2	2.09	
"	"	1.1 - 10.0 mm	27.4	12.1	2.27	
"	"	> 10.0 mm	18.2	4.0	4.55	
Zusammenfassung						
Alle Tage mit		≡ 0.0 mm	31.2	16.7	1.87	
"	"	≡ 0.1 mm	28.6	14.1	2.03	

Tab. 18

Sonnenscheindauer (%) an Niederschlagstagen

geordnet nach Stufen der Niederschlagshöhe und nach Großwetterlagen, 1937-1959

Großwettertyp Großwetterlage	W	HK		SW	NW	N				T	S			SE	E		NE	S-E	
	W	BM	HM	SW	NW	HN	HB	N	TrM	TM	TB	TrW	S	SE	HF	HNF	NE	Ww	
Tagesmenge des Niederschlags 0,0 mm	Jan.	28	15	44	37	23	96	94	2	25		34	38	32	48	37	47	0	14
	Febr.	36	19	72	32	44	58	5		32	30			18	46	20	0	83	
	März	22	32	76	45	21	28	49	51	29	29	33		7	37	70	30	15	28
	April	37	52	0	40	35	46	21	41	61	6	64	35	54	42	24	67	40	86
	Mai	34	40	75	57	73	39	38	40	23	13	62	48		47	68	37	40	
	Juni	41	66	57		1	39	60	9	16	35	28	67				81	36	20
	Juli	50	46	73		56	56			69	66	49	78					54	
	Aug.	48	56		31	39	87	23		53		53	9			50		42	45
	Sept.	47	19	54		41	50	18		43		32		61	68	46	66	73	31
	Okt.	44	62	26	49		32			88		42	32	1	43	26		26	31
	Nov.	36	25	27	4	0	33	18	1	0	31		5	29	33	14	5		15
	Dez.	25	10	42	14	3	15	85	81	4	22	53	0	28	24	6	6	49	36
0,1 - 1,0 mm	Jan.	34	24	29	53	28	36	14	44	5	0	0		21	12	7	6	3	33
	Febr.	25	7	48	26	19	28	24	17	17	38	34	44	24	25	12	10	13	6
	März	31	44	18	40	18	25	36	44	27	22		82	63	21	25	45	11	32
	April	30	44	53	53	40	23	34	40	32	55	36	27		18	23	26	19	53
	Mai	52	59	62	51		44	27	39	47	38	40	32	58	66	41	49	36	
	Juni	34	67	56		34	43	11	11	53	55		71	55		69		29	42
	Juli	46	52	40	48	26	9		37	53	38	42	60				40	24	57
	Aug.	53	47	61	50	56		11	62	35	40	85	69			62		43	3
	Sept.	31	18	48	41	30	30	28	15	32	48	25	68	49	34	29	78	2	39
	Okt.	29	15	17	45	2	21	29		17	26		37	51	42	18	0	7	46
	Nov.	32	11	2	42	9	12	19	32	24	8	27	17	43	31		27	1	22
	Dez.	25	8	4	27	16	36	21	26	5	16	0	35	58	30	16	0	3	66
1,1 - 10,0 mm	Jan.	21	12	16	4	10	5	6	10	8	7		20	9	17	11	0	2	7
	Febr.	21	4	62	17	7	10	10	9	1	34	10	21	0	26	1	12	7	18
	März	18	17		12	10	26	2	18	15	16		38	2	24	9	21	8	17
	April	28	27	19	37	23	10	20	13	15	45	11	23		31	17	3	13	
	Mai	37	30	41	37	12	27	25	25	16	7	32	22		40	21	12	15	
	Juni	32	20	49	36	18	24	21	60	19	30	25	34	39	31	29	40	19	20
	Juli	32	40	53	59	26	40			33	32	26	40			8	14	24	18
	Aug.	29	40	35	38	19	60		25	38	38	41	28		29	36		25	34
	Sept.	29	20	37	30	25	19	22	19	12	16	69	43	29	5	60	12	32	25
	Okt.	24	7	7	26	11	12	15	11	18	17	0	35	10	19	4	12	10	7
	Nov.	9	11	1	22	7	24	5	7	11	29	30	9	15	9		20	0	16
	Dez.	16	3	11	18	4	1	3	7	9	9	22	0	27	0	14		10	7
> 10,0 mm	Jan.	8		0	22	4			0	0	0			8	0				
	Febr.	5	0			15	0		0	2	0						0	0	
	März	1	0	0	1	16	0	16	11	16	22			0	25	1	17	5	0
	April	0	62	12	0	12	1	1	0	3		25	13		0	38		5	13
	Mai	9	44	0	16	5	14	1	10	7	11	28	28		1	21	10	7	
	Juni	21	13	32	62	7	34	24	1	10	27		32			44	37	8	20
	Juli	23	6	21	36	14	11	13	30	15	15	37	31	50		38	31	1	43
	Aug.	21	24	29	11	16	2		22	13	3	39	17			35		17	28
	Sept.	13	0	0	85	11	23	1	11	10	2		40	30		22	0		7
	Okt.	8	0	0	1	23	0	28	3	11	0				1			2	0
	Nov.	1	0		0	4	0		2	1	0	15		0	19	0	0		
	Dez.	1			0	0	0			8	0		0		0	0		0	15

Unterstrichelte Werte sind durch weniger als 5 % aller Fälle dieser Gruppe belegt.

Tab. 19

Differenzen zwischen berechneten und beobachteten Jahressummen der Sonnenscheindauer
nach der Häufigkeit von Stufenwerten, 1937-1959

Abweichung bis zu + bzw.	18	37	56	93	130	186	> 186 Std. > 10 % *)	Mittlere	Maximale	
	1	2	3	5	7	10		Std.	Abweichung % *)	
Berechnet nach:										
Monatsmitteln der Bewölkung	6	2	3	4	3	2	1	82	4.4	200
Jahresmitteln der Bewölkung	2	6	5	4	1	3		77	4.1	176
Häufigkeit der Großwetterlagen	6	2	2	4	2	4	1	102	5.5	227

*) als Prozentsatz der mittl. Jahressumme von 1868 Std. (vgl. Tab. 2).

Tab.20

Monats- und Jahressummen der Sonnenscheindauer (Std.),
berechnet aus a) Monats- und b) Jahresmitteln der Bewölkung, 1881-1959

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	
													a)	b)
1881	123	136	165	139	245	211	310	225	160	81	137	103	2035	2077
1882	177	186	226	238	236	230	218	186	108	123	96	106	2130	2210
1883	91	89	129	160	226	192	213	283	164	130	129	67	1873	1901
1884	145	144	194	160	268	163	261	287	254	100	121	80	2177	2215
1885	212	139	126	250	202	302	281	212	201	113	60	101	2199	2254
1886	88	117	208	205	236	139	276	208	224	162	88	70	2021	2033
1887	158	161	158	238	165	302	300	270	175	117	88	75	2207	2210
1888	131	72	133	139	264	244	179	221	146	159	110	170	1968	2038
1889	110	58	126	164	198	220	208	194	138	107	112	62	1697	1724
1890	113	141	190	184	236	177	203	194	175	156	47	98	1914	1945
1891	118	195	122	152	184	201	169	186	239	185	112	121	1984	2122
1892	83	75	187	209	207	182	261	274	172	104	80	83	1917	1905
1893	96	100	190	299	170	240	183	305	131	149	52	199	2034	2033
1894	142	114	190	226	170	192	276	212	134	113	104	90	1963	2033
1895	78	115	144	176	193	172	261	274	287	123	88	54	1965	1945
1896	118	158	133	111	193	182	232	141	153	152	55	67	1695	1772
1897	70	97	104	148	165	264	194	177	146	165	274	129	1933	1856
1898	123	89	151	148	137	187	203	318	231	126	121	142	1976	2033
1899	104	170	205	127	160	249	203	256	116	191	129	111	2021	2122
1900	51	89	133	164	160	216	286	194	205	152	66	108	1824	1816
1901	139	114	115	193	250	211	242	239	168	143	96	77	1987	2033
1902	110	78	190	172	151	216	256	194	190	78	101	98	1834	1856
1903	174	145	208	131	245	187	184	217	209	146	44	108	1998	2077
1904	118	75	108	144	207	235	315	252	116	91	85	98	1844	1861
1905	99	92	108	160	207	225	286	217	123	81	66	88	1752	1768
1906	110	78	144	193	174	177	223	248	164	211	126	59	1907	1945
1907	72	89	172	184	264	206	198	248	239	146	110	93	2021	2033
1908	180	92	162	144	212	287	261	199	194	259	99	101	2190	2259
1909	150	94	147	242	250	192	198	212	190	162	71	80	1988	2033
1910	86	106	154	201	198	192	198	225	153	159	60	90	1822	1856
1911	147	106	154	197	184	206	358	301	216	178	118	93	2258	2298
1912	88	124	154	193	188	211	305	172	108	120	93	162	1918	1994
1913	121	184	197	184	245	225	169	225	160	168	74	88	2040	2122
1914	78	83	122	271	141	196	198	274	164	123	82	96	1828	1945
1915	67	106	93	172	221	273	288	186	186	104	88	77	1801	1812
1916	70	109	129	217	240	187	237	248	168	162	80	85	1932	1949
1917	70	142	118	135	297	321	261	239	235	117	71	111	2117	2122
1918	147	145	183	160	287	216	237	225	190	123	118	80	2111	2166
1919	75	100	133	135	283	254	189	305	242	107	58	101	1982	1945
1920	91	184	183	131	188	192	232	168	108	165	118	54	1814	1905

Tab. 20 (Fortsetzung)

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	
													a)	b)
1921	102	122	240	172	250	225	329	261	228	217	145	93	2513	2431
1922	91	128	154	139	283	220	256	265	104	49	71	98	1858	1856
1923	43	67	133	193	240	153	310	283	201	146	93	46	1908	1856
1924	110	72	151	131	231	206	247	164	198	178	96	126	1910	1949
1925	134	128	111	164	240	249	232	208	153	159	68	83	1929	1945
1926	94	94	93	234	174	168	189	292	216	133	134	44	1865	1901
1927	83	142	187	123	226	235	237	230	160	149	82	90	1944	1989
1928	86	141	169	187	198	225	290	217	149	165	80	75	1982	1994
1929	118	153	180	148	198	196	261	221	257	152	88	96	2068	2122
1930	172	161	165	164	174	297	183	248	160	130	99	64	2017	2077
1931	83	75	187	160	264	259	228	172	119	201	80	85	1913	1901
1932	134	127	176	184	207	235	213	287	179	113	77	124	2056	2082
1933	104	97	187	164	165	201	290	287	220	168	52	75	2010	2033
1934	91	164	136	254	287	235	324	256	250	146	123	80	2346	2343
1935	75	89	212	152	250	316	334	239	220	62	101	96	2146	2122
1936	83	115	180	131	198	230	242	278	164	94	104	139	1958	1994
1937	123	78	115	176	245	240	237	199	153	143	60	57	1826	1812
1938	64	150	262	148	226	254	242	194	183	159	137	70	2053	2077
1939	72	136	126	184	122	244	237	221	172	78	77	88	1757	1812
1940	94	92	140	184	207	240	213	199	153	120	77	77	1796	1816
1941	86	81	154	119	165	240	194	168	190	74	80	75	1626	1635
1942	91	72	140	148	184	225	203	252	183	159	47	77	1781	1812
1943	83	136	205	180	212	148	281	248	138	168	58	52	1909	1901
1944	91	72	83	164	198	177	179	234	142	97	49	88	1574	1595
1945	91	86	129	(172)	(215)	220	286	181	153	143	88	46	(1810)	(1812)
1946	126	45	154	246	179	153	266	203	209	130	80	67	1860	1856
1947	88	70	79	205	198	244	286	314	235	191	49	36	1995	1945
1948	70	89	201	193	236	240	194	208	201	126	110	119	1987	1994
1949	129	164	151	193	146	225	319	230	224	178	68	85	2112	2166
1950	67	111	180	148	259	297	261	243	131	146	66	59	1968	1945
1951	70	75	100	201	174	196	276	243	175	172	66	132	1880	1901
1952	102	72	126	168	184	244	286	230	119	104	68	52	1755	1728
1953	62	108	258	209	226	139	232	243	179	130	134	108	2028	2077
1954	62	72	169	135	212	187	169	186	168	156	93	62	1671	1680
1955	102	56	158	184	221	182	174	212	175	133	82	62	1741	1768
1956	64	112	129	127	245	139	228	177	216	143	47	88	1715	1728
1957	107	89	162	180	179	220	194	190	138	217	60	95	1831	1850
1958	88	86	136	123	193	197	209	216	187	136	33	90	1694	1718
1959	91	200	126	197	212	160	242	190	286	188	107	83	2082	2112

Tab.21

Ableitung von Umrechnungsfaktoren

a) Ableitung von Umrechnungsfaktoren für die Flächeneinheiten nach Registrierungen des Pyranographen
Robitzsch Nr. 1 121 919 (1953 bis Jan. 1956) aus Parallelregistrierungen mit dem Pyranographen Moll-Gorczyński

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Umrechnungsfaktoren	4.82	4.53	4.55	4.63	4.72	4.81	4.83	4.70	4.61	4.66	4.69	5.01
Eichfaktor	24.9	26.5	26.4	25.9	25.4	25.0	24.9	25.5	26.1	25.7	25.6	24.0
Jahresgang der Umrechnungsfaktoren nach Stapf	4.0	4.1	4.3	4.5	4.8	4.8	4.8	4.6	4.4	4.2	4.0	3.9

b) Ableitung von Umrechnungsfaktoren für die nach Flächenwert-Eichung ermittelten Energiewerte des Pyranographen
Robitzsch Nr. 1 322 205 (mit Casparisscheibe) aus Parallelregistrierungen mit dem Pyranographen Moll-Gorczyński
(Mai 1957 bis März 1958)

	Jan.	Febr.	März	Mai	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Monatssummen Robitzsch in Prozent des Moll	92	98	94	89	80	84	87	83	96	97

Monats-, Jahres- und Jahreszeitsummen der Globalstrahlung, der Himmelsstrahlung und der direkten Sonnenstrahlung
in cal/cm² auf die horizontale Fläche

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Wi.	Fr.	So.	He.	Kl. Veg.	Gr. Veg.		
a) Globalstrahlung																					
1948	3 000	5 417	8 798	9 849	10 550	11 405	10 660	8 794	5 866	3 340	2 442		105 422	10 859	29 197	44 413	20 885	38 847		35 273 18 000	
1949	2 720	5 120	9 144	9 656	15 530	16 672	16 549	13 571	8 551	6 354	3 076	2 374	109 317	10 350	34 330	46 792	17 981	48 751	80 529	42 323 75 406	
1950	2 970	4 683	7 426	10 639	12 161	14 466	15 395	12 827	9 250	6 538	3 503	3 274	103 192	10 027	30 286	42 652	19 291	42 002	74 798	46 833 79 225	
1951	3 794	5 239	7 445	11 312	13 920	15 134	17 779	14 074	7 006	5 599	3 190	2 258	106 750	12 307	32 677	46 987	15 795	46 833	79 225	42 224 79 158	
1952	3 618	5 548	11 424	12 164	14 350	13 222	14 652	14 438	10 332	6 101	4 806	3 234	113 889	11 424	37 938	42 312	21 239	42 224	79 158	35 580 64 224	
1953	3 180	4 794	9 412	8 487	11 884	11 630	12 066	11 181	8 976	6 398	4 018	2 368	94 394	11 208	29 783	34 877	19 392	41 607	76 520	41 942 75 655	
1954	3 984	4 150	9 420	11 972	14 925	24 458	12 224	13 383	9 658	7 003	3 832	2 703	107 712	10 502	36 317	40 065	20 493	41 607	76 520	41 580 75 106	
1955	3 011	6 565	8 967	10 484	14 856	11 140	15 946	12 735	10 494	7 230	2 882	3 017	107 327	12 279	34 307	39 821	20 606	41 942	75 655	41 580 75 106	
1956	4 187	4 981	10 034	11 712	11 803	16 328	13 449	13 054	8 759	8 916	3 765	3 314	110 302	12 185	33 548	42 832	21 437	41 580	75 106	48 161 85 016	
1957	4 372	4 875	10 427	11 024	15 501	16 043	16 617	14 716	11 115	6 255	2 857	3 091	116 893	12 561	36 952	47 376	20 226	48 161	85 016	41 286 78 102	
1958	4 119	7 300	8 782	12 066	13 783	12 958	14 545	12 054	12 695	7 664	4 071	2 781	112 818	14 510	34 631	39 557	24 430	41 286	78 102		
b) Himmelsstrahlung																					
1953	2 066	3 144	3 818	5 366	5 584	7 628	6 670	5 650	4 146	3 166	2 062	1 516	48 780	6 726	15 121	18 558	8 498	18 851	33 773	19 882 34 446	
1954	1 922	3 135	4 905	5 436	6 435	7 595	6 256	6 168	4 246	2 764	2 106	1 548	52 516	6 450	16 776	20 019	9 116	20 286	36 136	19 882 34 446	
1955	1 899	3 912	4 556	5 368	5 915	6 682	6 687	5 929	3 477	2 437	1 822	1 554	50 238	7 359	15 839	19 298	7 736	19 284	34 058	19 882 34 446	
1956	1 982	2 551	4 102	5 022	6 340	6 195	6 646	6 086	4 434	2 456	1 715	1 517	49 076	6 087	15 464	18 927	8 635	19 181	34 723	19 882 34 446	
1957	1 898	2 781	4 620	6 021	7 001	7 451	7 734	6 030	4 352	3 451	1 818	1 458	54 615	6 196	17 642	21 214	9 621	22 186	38 588	19 882 34 446	
1958	2 059	1 588	4 283	4 437										5 103			8 221				
c) Direkte Sonnenstrahlung																					
1953	1 114	1 650	5 594	3 121	5 947	5 445	5 337	5 537	5 064	3 771	2 059	974	45 613	4 483	14 662	16 319	10 894	16 729	30 451	22 343 44 714	
1954	2 062	1 015	4 515	6 536	8 490	6 864	5 968	7 215	5 411	4 239	1 728	1 154	55 197	4 051	19 541	20 047	11 378	21 322	40 484	16 729 30 451	
1955	1 112	2 654	4 411	5 116	8 941	4 459	9 259	6 806	7 017	4 792	1 060	1 463	57 090	4 920	18 468	20 524	12 869	22 659	41 598	22 343 44 714	
1956	2 205	2 430	5 931	6 690	5 463	10 133	6 804	6 969	4 325	6 431	2 046	1 796	61 223	6 098	18 084	23 906	12 802	22 399	40 384	22 343 44 714	
1957	2 473	2 091	5 807	5 093	8 500	8 593	8 882	8 686	6 763	2 804	1 634	1 634	62 275	6 360	19 310	26 162	10 606	25 975	46 428	22 343 44 714	
1958	2 063	5 711	4 497	7 630										9 408			16 209				

Wi. = Dez.-Febr.
Fr. = März-Mai

So. = Juni-Aug.
He. = Sept.-Nov.

Kl. Veg. = Mai-Juli
Gr. Veg. = April-Sept.

Tab. 23

Monatssummen von Global-, Sonnen- und Himmelsstrahlung

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Wi.	Fr.	So.	He.	Kl. Veg.	Gr. Veg.
a) Idealsstrahlung (cal/cm²)																			
	6 993	9 887	16 563	21 782	27 205	28 297	28 206	24 394	18 228	12 870	7 855	5 882	208 222	22 821	65 550	80 898	38 953	83 708	148 112
b) Mittel- und Extremwerte der Globalstrahlung, 1949-1959 (cal/cm²)																			
Mittelwerte	3 541	5 334	9 207	10 857	13 569	14 234	15 150	13 152	9 766	6 844	3 552	2 811	108 001	11 656	33 633	42 517	20 161	42 935	76 713
Max. Monatssummen im Jahre	4 372	7 300	11 424	12 164	15 530	16 672	17 779	14 716	12 695	8 916	4 806	3 314	116 893	14 510	37 938	47 376	24 430	48 751	85 016
Abw. v. Mittel (%)	1958	1959	1953	1953	1950	1950	1952	1958	1959	1957	1953	1957	1958	1959	1953	1958	1959	1950	1958
	23	37	24	12	15	17	17	12	30	30	35	22	8	25	13	11	21	14	11
Min. Monatssummen im Jahre	2 720	4 150	7 426	8 487	10 550	11 140	11 405	10 660	7 006	5 599	2 857	2 258	94 394	10 027	29 197	34 877	15 795	35 580	64 224
Abw. v. Mittel (%)	1950	1955	1951	1954	1949	1956	1948	1948	1952	1952	1958	1952	1954	1951	1949	1954	1952	1954	1954
	23	22	19	22	22	22	25	19	28	18	20	20	13	14	13	18	22	17	16
Schwankungsbreite (%)	46	59	43	34	37	39	42	31	58	48	55	42	21	39	26	29	43	31	27
c) Mittelwerte nach Solarimeterbeobachtungen (April 1953 bis März 1959) (cal/cm²) und Anteil an der Jahressumme (%)																			
Globalstrahlung	3 809	5 444	9 507	10 973	13 886	13 804	14 159	13 251	9 889	6 984	3 693	2 955	108 354	12 208	34 367	41 214	20 566	41 489	75 963
	3.5	5.2	8.8	10.1	12.8	12.8	13.0	12.2	9.1	6.4	3.4	2.7	100	11.3	31.7	38.1	18.9	38.3	70.9
Sonnenstrahlung	1 838	2 592	5 126	5 643	7 684	6 848	7 372	7 333	5 794	4 162	1 780	1 457	57 641	5 887	18 454	21 554	11 736	21 904	40 676
	3.1	4.5	8.9	9.8	13.3	11.8	12.7	12.7	10.4	7.2	3.1	2.5	100	10.2	32.0	37.4	20.4	38.0	70.5
Abw. vom Mittel (%) der Monatssummen:	34	120	16	31	16	48	26	20	21	55	54	24	8	59	6	21	9	19	14
Maximal	40	61	14	45	29	35	28	25	25	32	42	33	21	31	20	24	10	24	25
Minimal	1 971	2 852	4 381	5 330	6 202	6 956	6 787	5 918	4 095	2 822	1 913	1 498	50 731	6 321	15 913	19 660	8 830	19 945	35 287
Himmelsstrahlung	3.9	5.6	8.6	10.5	12.2	13.7	13.4	11.7	8.1	5.6	3.8	2.9	100	12.3	31.8	38.7	17.2	39.3	69.5
Abw. vom Mittel (%) der Monatssummen:	5	37	12	13	13	10	14	4	8	22	10	4	8	16	11	8	9	11	9
Maximal	4	44	13	11	10	11	8	5	15	14	10	7	4	19	5	6	12	6	4
Minimal	54	55	57	50	51	49	50	54	54	54	47	50	52	54	52	51	53	50	51
Global Sonne Himmel	26	26	31	26	28	24	26	30	32	32	23	25	28	26	28	27	30	28	27
	28	29	26	24	23	25	24	24	22	22	24	25	24	28	24	24	23	24	24
d) Relativwerte (%) von der Idealsstrahlung (April 1953 bis März 1959)																			
Global	54	55	57	50	51	49	50	54	54	54	47	50	52	54	52	51	53	50	51
Sonne	26	26	31	26	28	24	26	30	32	32	23	25	28	26	28	27	30	28	27
Himmel	28	29	26	24	23	25	24	24	22	22	24	25	24	28	24	24	23	24	24
e) Anteile der Sonnen- und der Himmelsstrahlung an der Globalstrahlung (%)																			
Sonne	48	48	54	51	55	50	52	55	59	60	48	49	53	48	54	52	57	52	54
Himmel	52	52	46	49	45	50	48	45	41	40	52	51	47	52	46	48	43	48	46
Wi. = Dez.-Febr. So. = Juni-Aug. Kl. Veg. = Mai-Sept. Fr. = März-Mai He. = Sept.-Nov. Gr. Veg. = April-Sept.																			

Tab. 24

Mittlere und absolut höchste Tagessummen von Global-, Sonnen- und Himmelsstrahlung,
April 1953 bis März 1959

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Idealstrahlung:												
mittlere	225	353	534	725	878	942	910	785	608	415	262	190
am 1. d. Monats	191	283	440	642	816	933	946	865	702	508	326	211
am 16. d. Monats	222	362	536	734	887	952	919	793	609	416	257	188
Globalstrahlung:												
mittlere	123	194	306	366	448	<u>460</u>	457	428	329	225	123	95
höchste	253	406	586	711	789	<u>846</u>	<u>889</u>	757	576	450	266	194
Sonnenstrahlung:												
mittlere	59	92	165	188	<u>248</u>	228	238	237	193	134	59	<u>47</u>
höchste	219	330	513	631	<u>703</u>	<u>766</u>	675	670	501	388	224	<u>164</u>
Himmelsstrahlung:												
mittlere	64	102	141	178	200	<u>232</u>	219	191	136	91	64	<u>48</u>
höchste	157	237	264	318	354	<u>398</u>	348	324	269	215	146	<u>88</u>

Tab. 25

Vergleich von mittleren Tagessummen der Globalstrahlung ($\text{cal/cm}^2 \cdot \text{d}$)

Ort	Seehöhe (m)	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Periode	Benutztes Instrument	(Lit.)
Küstengebiet: Wyk auf Föhr	7	50	109	213	350	445	446	420	356	267	141	59	33	241	1950-1956	Pyranograph Rob.	(42)
Hamburg	14	49	103	198	312	402	407	403	336	247	132	58	33	224	1950-1956	Solarimeter M.-G.	(43)
Greifswald	25/20	37	86	198	316	437	490	450	375	253	134	50	28	239	1931-1949	Pyranograph Rob.	(44)
Greifswald	20	39	95	199	321	445	451	429	353	247	137	50	27	233	1949-1956	Pyranograph Rob.	(45)
Norddeutsches Flachland:																	
Bochum	118	42	88	178	287	331	389	354	312	220	118	59	30	199	1938-1944	Pyranograph Rob.	(46)
Potsdam	106	52	104	194	295	423	460	428	353	250	139	65	42	195	1911-1940	Reduziert	(47)
Potsdam	106	60	103	196	299	400	465	422	338	256	119	66	40	230	1937-1942	Pyranograph Rob.	(47)
Potsdam	106	53	112	231	325	432	444	435	380	279	155	62	40	246	1949-1956	Solarimeter M.-G.	(45)
Mitteldeutschland: Gotha	357	56	123	219	328	420	425	409	345	248	148	66	42	236	1949-1956	Pyranograph Rob.	(45)
Alpenvorland: Wien	203	64	131	217	325	407	448	446	386	286	159	67	48	206	1938-1956	Pyranograph Rob., seit 1948: Sternpyranograph	(41)
Hohenpeißenberg	1005	114	189	297	362	437	475	491	424	325	221	118	91	296	1949-1959	Pyranograph Rob.,	
Hohenpeißenberg	1005	106	183	289	351	434	462	489	421	310	210	117	88	289	1949-1956	ab 1953: Solarimeter M.-G.	
Alpenrand: Oberstdorf	811	85	135	226	310	352	368	380	333	254	170	93	69	231	1940-1946	Pyranograph Rob.	(48)
Nebelhorn	1929	124	205	287	396	455	435	405	361	302	232	145	109	288	1940-1945	Pyranograph Rob.	(48)
Zentralalpen: Davos	1561	132	212	336	448	485	505	495	415	327	232	147	112	321	1931-1950	Pyranograph Rob.	(49)
Hochserfaus	1807	132	223	360	460	546	593	553	443	377	265	144	117	352	1948-1950	Pyranograph Rob.	(49)
Sonnblick	3106	148	237	355	471	540	567	528	436	365	269	168	124	350	1937-1946	Pyranograph Rob.	(41)

Tab. 26

Häufigkeit der Tagessummen der Globalstrahlung (%), Mai 1948 bis 1959

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
a) Stufenwerte (cal/cm ² ·d)												
< 30	8.1	0.6	0.3	0.7	0.3				0.3	2.3	5.3	11.8
30 - 49	10.7	3.9	1.2	1.5	1.9		0.3	0.5	1.4	4.3	12.5	18.0
50 - 99	27.7	12.3	5.9	6.0	1.6	1.7	3.1	2.4	5.2	15.0	26.0	25.8
100 - 199	40.1	37.7	18.2	14.2	11.0	9.1	7.8	12.0	17.2	20.3	44.0	44.4
200 - 299	13.4	32.0	19.4	15.2	11.8	11.4	10.5	11.5	13.1	28.0	12.2	
300 - 399		13.2	28.1	18.8	10.6	13.0	12.7	15.3	25.6	27.2		
400 - 499		0.3	24.6	13.0	16.9	16.2	14.2	17.6	26.4	2.9		
500 - 599			2.3	19.7	19.6	14.4	16.1	25.2	10.8			
600 - 699				10.6	19.1	17.5	17.2	15.4				
700 - 799				0.3	6.9	9.2	17.5	2.1				
> 800					0.3	7.5	0.6	0.0				

b) Wahrscheinlichkeit einer Tagessumme der Globalstrahlung von mehr als n cal/cm²·d in %

n = < 30	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
30 - 49	91.9	99.4	99.7	99.3	99.7	100.0	100.0	100.0	99.7	97.3	94.7	88.2
50 - 99	81.2	95.5	98.5	97.8	97.8	100.0	99.7	99.5	98.3	93.4	82.2	70.2
100 - 199	53.5	83.2	92.6	91.8	96.2	98.3	96.6	97.1	93.1	78.4	56.2	44.4
200 - 299	13.4	45.5	74.4	77.6	85.2	89.2	88.8	85.1	75.9	58.1	12.2	
300 - 399		13.5	55.0	62.4	73.4	77.8	78.3	73.6	62.8	30.1		
400 - 499		0.3	26.9	43.6	62.8	64.8	65.6	58.3	37.2	2.9		
500 - 599			2.3	30.6	45.9	48.6	51.4	40.7	10.8			
600 - 699				10.9	26.3	34.2	36.3	15.5				
700 - 799				0.3	7.2	16.7	18.1	2.1				
> 800					0.3	7.5	0.6	0.0				

Die eingerahmten Werte schließen den Durchschnittswert ein, die Stufenlinien begrenzen die Bereiche mit mehr als 25, 50, 75 % Häufigkeit.

Tab.27

Prozentuale Häufigkeit von Stufenwerten der Tagessummen der Sonnen- und der Himmelsstrahlung,
April 1953 bis März 1959

Stufenwerte (cal/cm ² ·d)	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
a) Sonnenstrahlung												
0	<u>34.4</u>	22.5	11.2	14.5	12.4	10.6	7.5	3.2	8.9	17.7	<u>37.8</u>	<u>30.7</u>
1 - 50	24.8	<u>27.8</u>	<u>18.7</u>	<u>20.1</u>	<u>12.9</u>	<u>20.2</u>	<u>18.9</u>	<u>21.0</u>	<u>23.9</u>	<u>22.1</u>	21.1	28.1
51 - 100	12.3	10.7	12.2	10.6	11.8	7.8	10.2	6.5	5.0	5.9	11.1	18.5
101 - 150	11.3	11.2	6.6	10.6	8.6	6.7	8.6	10.8	7.8	7.5	11.7	20.1
151 - 200	12.9	7.7	9.1	7.3	4.3	7.3	7.0	8.6	7.2	7.5	15.0	2.6
201 - 250	4.3	10.1	9.1	3.4	4.9	8.9	5.4	5.4	10.6	12.9	3.3	
251 - 300		6.4	7.1	4.5	5.9	4.5	7.0	8.1	6.1	17.2		
301 - 350		3.6	10.2	5.0	4.3	5.0	7.0	4.8	7.2	5.4		
351 - 400			10.7	5.6	6.5	5.6	5.3	6.4	8.9	3.8		
401 - 450			4.1	2.8	3.2	5.0	3.8	8.1	7.2			
451 - 500			0.5	6.7	8.1	2.2	1.6	8.1	6.6			
501 - 550			0.5	5.0	4.3	5.6	2.1	3.2	0.5			
551 - 600				2.8	4.8	2.8	5.4	4.8				
601 - 650				1.1	5.9	3.3	6.4	0.5				
651 - 700					1.6	1.7	3.8	0.5				
701 - 750					0.5	1.7						
751 - 800						1.1						
b) Himmelsstrahlung												
< 25	4.3									0.5	3.9	11.8
26 - 50	30.7	16.6	6.1	1.7	1.6		0.5		3.9	19.4	31.7	43.0
51 - 100	<u>54.3</u>	29.6	24.4	12.2	6.5	3.3	7.5	5.4	27.7	<u>44.6</u>	<u>54.4</u>	<u>45.2</u>
101 - 150	10.2	<u>42.6</u>	23.9	21.1	18.8	11.6	12.4	21.5	25.6	26.9	10.0	
151 - 200	0.5	10.1	<u>27.9</u>	21.7	19.3	16.2	15.6	<u>28.5</u>	<u>30.6</u>	7.0		
201 - 250		1.1	15.2	<u>28.8</u>	<u>26.9</u>	<u>27.3</u>	21.0	26.9	10.0	1.6		
251 - 300			2.5	13.4	21.0	25.0	<u>29.6</u>	16.1	2.2			
301 - 350				1.1	4.8	14.4	12.4	1.6				
351 - 400					1.1	2.2	1.0					

Tab. 28

Mittlere Tagesgänge in Stundensummen von Global-, Sonnen- und Himmelsstrahlung (cal/cm²·h),
April 1953 bis März 1959

Wahre Ortszeit	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
a) Globalstrahlung												
3 - 4 Uhr					0	0	0					
4 - 5 "				0	1	2	2	0				
5 - 6 "			0	2	6	8	7	4	1			
6 - 7 "		0	3	9	16	17	16	13	6	1	0	
7 - 8 "	1	4	12	19	27	27	26	23	15	7	1	0
8 - 9 "	6	12	23	28	37	38	36	33	25	16	7	4
9 - 10 "	13	21	33	38	46	45	44	43	34	25	13	10
10 - 11 "	19	30	40	44	50	50	50	49	39	31	19	15
11 - 12 "	23	31	43	46	51	54	53	53	44	34	23	18
12 - 13 "	23	32	44	45	50	52	52	50	46	34	22	18
13 - 14 "	19	26	39	43	46	48	50	47	40	30	18	16
14 - 15 "	13	21	32	36	40	40	43	41	33	24	13	10
15 - 16 "	6	12	22	27	32	31	33	33	24	15	6	4
16 - 17 "	1	4	11	17	24	26	24	23	15	7	1	0
17 - 18 "		0	2	8	15	14	15	12	5	1	0	
18 - 19 "			0	2	6	8	7	3	1			
19 - 20 "				0	1	1	1	0				
20 - 21 "					0	0	0					
Summe:												
Vormittag	62	98	154	186	234	241	234	218	164	114	63	47
Nachmittag	62	95	150	178	214	220	225	209	164	111	60	48
Differenz:												
Vorm.-Nachm.	0	3	4	8	20	21	9	9	0	3	3	1
b) Sonnenstrahlung												
3 - 4 Uhr					0	0						
4 - 5 "				0	0	0	0	0				
5 - 6 "			0	1	3	3	3	1	0			
6 - 7 "		0	1	4	9	9	7	6	3	0	0	
7 - 8 "	0	2	6	9	16	14	13	12	8	3	0	0
8 - 9 "	3	6	12	14	22	20	19	18	14	9	3	1
9 - 10 "	6	10	18	20	27	25	24	24	20	15	6	5
10 - 11 "	9	14	23	24	29	27	27	27	24	20	10	8
11 - 12 "	11	15	24	25	29	29	30	31	27	22	11	9
12 - 13 "	11	15	24	24	28	26	30	29	28	22	11	9
13 - 14 "	10	13	22	23	25	24	27	27	24	20	8	8
14 - 15 "	6	10	18	18	22	20	23	24	20	15	6	5
15 - 16 "	3	6	11	14	17	14	16	19	14	9	3	2
16 - 17 "	0	1	5	8	12	10	11	12	8	3	0	0
17 - 18 "		0	1	3	7	5	7	6	2	0		
18 - 19 "			0	0	2	2	2	1	0			
19 - 20 "				0	0	0	0	0				
20 - 21 "						0						
Summe:												
Vormittag	29	47	84	97	135	127	123	119	96	69	30	23
Nachmittag	30	45	81	90	113	101	116	118	98	69	28	24
Differenz:												
Vorm.-Nachm.	-1	2	3	7	22	26	7	1	-2	0	2	-1
Differenz der Sonnenscheindauer:												
Vorm.-Nachm.	0,6	1,0	0,5	0,3	2,5	2,8	0,3	0,4	1,4	1,3	0,3	0,4
c) Himmelsstrahlung												
3 - 4 Uhr					0	0	0					
4 - 5 "				0	1	1	1	0				
5 - 6 "			0	1	4	5	5	3	0	0		
6 - 7 "		0	2	5	7	9	9	7	3	1	0	
7 - 8 "	0	3	7	9	11	13	13	11	7	3	1	0
8 - 9 "	3	7	11	14	15	17	18	15	11	6	4	2
9 - 10 "	7	11	15	18	18	20	20	20	12	10	7	6
10 - 11 "	10	14	17	20	21	24	22	21	17	12	10	7
11 - 12 "	13	16	18	22	22	25	23	22	18	13	11	9
12 - 13 "	11	16	19	21	22	25	23	21	18	12	11	9
13 - 14 "	10	14	17	20	21	24	23	19	15	11	9	8
14 - 15 "	7	11	15	18	18	21	20	17	13	9	7	5
15 - 16 "	3	6	10	14	15	18	16	15	10	6	4	2
16 - 17 "	1	3	6	9	12	14	13	11	7	3	1	0
17 - 18 "		0	2	5	8	10	9	6	3	1	0	
18 - 19 "			0	1	4	5	4	2	0			
19 - 20 "				0	1	2	1	0				
20 - 21 "					0	0	0					
Summe:												
Vormittag	33	51	70	89	99	114	111	99	68	45	33	24
Nachmittag	32	50	69	88	101	119	109	91	66	42	32	24
Differenz:												
Vorm.-Nachm.	1	1	1	1	-2	-5	2	8	2	3	1	0

Tab. 29

Differenzen der Halbtagssummen Vormittag minus Nachmittag
in Abhängigkeit von der relativen Sonnenscheindauer (cal/cm²), April 1953 bis März 1959

Stufen der relativen Sonnenscheindauer (%)	März	Juni	Sept.	Dez.
a) Globalstrahlung				
0 - 5	80	42	10	- 13
6 - 35	- 23	-329	-137	42
36 - 65	179	549	184	- 2
66 - 85	26	504	124	- 51
86 - 100	32	136	72	- 10
b) Sonnenstrahlung				
0 - 5	24	30	3	- 2
6 - 35	- 36	-192	-190	36
36 - 65	200	477	198	- 6
66 - 85	- 64	703	77	- 67
86 - 100	30	266	73	- 16
c) Himmelsstrahlung				
0 - 5	56	12	7	- 11
6 - 35	11	-137	53	6
36 - 65	- 21	72	- 14	4
66 - 85	90	-199	47	16
86 - 100	2	-130	- 1	6

Tab. 30

Mittlere und extreme Tagessummen der Globalstrahlung (cal/cm²·d)
in Abhängigkeit von der Bewölkung, 1953-1959

Tagesmittel der Bewölkung		Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
0	Mittel	251	299	439	(610)	(680)	(750)	(735)	(637)	477	330	(225)	154
	Maximum	<u>281</u>	366	500				748	671	518	441		156
	Minimum	231	268	393	603					432	305		150
0,3 - 0,7	Mittel	230	317	456	642	728	838	724	639	506	349	209	165
	Maximum	251	378	513	<u>715</u>	793	846	791	<u>760</u>	<u>579</u>	<u>452</u>	252	195
	Minimum	191	247	381	<u>584</u>	650	831	651	538	440	319	181	151
1,0 - 1,7	Mittel	211	297	456	604	693	766	756	662	488	330	197	158
	Maximum	253	375	<u>587</u>	671	795	805	<u>793</u>	722	549	391	251	174
	Minimum	186	237	390	548	642	728	692	578	407	278	152	150
2,0 - 2,7	Mittel	202	273	430	637	687	779	699	545	466	345	194	158
	Maximum	237	356	474	692	785	809	787	642	545	413	220	178
	Minimum	176	224	384	567	615	717	598	456	334	279	171	144
3,0 - 3,7	Mittel	201	323	393	550	629	669	675	573	417	308	185	165
	Maximum	225	<u>408</u>	523	676	<u>816</u>	849	784	724	542	428	<u>267</u>	187
	Minimum	140	<u>252</u>	260	379	408	453	550	460	340	211	138	129
4,0 - 4,7	Mittel	194	234	389	540	605	647	601	527	428	294	181	138
	Maximum	248	333	457	677	727	817	745	672	479	356	232	186
	Minimum	121	157	274	282	455	538	420	298	326	215	120	102
5,0 - 5,7	Mittel	172	259	357	512	530	655	580	522	410	251	182	127
	Maximum	208	340	550	668	725	<u>851</u>	786	688	502	381	231	148
	Minimum	142	135	270	352	291	490	380	327	311	136	67	87
6,0 - 6,7	Mittel	142	179	351	413	502	575	548	451	365	191	143	111
	Maximum	228	311	506	611	712	800	730	638	515	417	227	174
	Minimum	10	63	88	161	150	332	272	161	168	74	51	23
7,0 - 7,7	Mittel	144	215	308	417	499	537	464	431	248	220	183	99
	Maximum	225	324	443	593	678	710	677	612	436	380	246	187
	Minimum	78	102	168	232	270	342	279	227	62	32	113	20
8,0 - 8,7	Mittel	112	163	268	348	433	466	432	389	286	226	127	91
	Maximum	204	247	446	528	638	737	633	656	391	288	205	<u>201</u>
	Minimum	23	104	108	131	234	231	239	111	114	129	39	17
9,0 - 9,7	Mittel	95	154	260	322	283	342	327	288	214	137	109	78
	Maximum	182	325	467	663	587	588	630	491	401	305	187	163
	Minimum	35	70	93	136	109	127	111	119	59	21	43	23
10,0	Mittel	64	111	121	149	174	201	161	150	150	79	59	48
	Maximum	190	243	365	500	520	421	382	243	237	176	179	141
	Minimum	14	29	26	29	34	53	41	68	26	27	14	13
10,0 (bedeckt)	Mittel	52	93	81	89	101	138	94	124	67	64	50	34
	Maximum	107	237	139	211	183	245	151	187	120	131	116	77

Geklammerte Werte nicht ausreichend belegt.

Tab.31

Mittlere Tagessummen der Sonnenstrahlung und der Himmelsstrahlung ($\text{cal/cm}^2 \cdot \text{d}$)
bei verschiedenen Bewölkungsstufen

Tagesmittel der Bewölkung	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
a) Sonnenstrahlung												
0	203	246	365	(520)	(600)	(665)	(655)	(537)	410	320	(200)	131
0,3 - 1,7	186	255	387	533	580	693	612	532	432	286	173	131
2,0 - 3,7	150	221	311	426	486	522	518	432	340	250	134	127
4,0 - 5,7	133	151	258	242	396	429	394	320	256	187	115	84
6,0 - 7,7	64	78	164	194	254	295	261	239	158	119	76	50
8,0 - 9,7	23	44	104	120	105	122	115	95	67	45	35	19
10,0	3	8	13	14	18	16	6	8	3	3	3	5
b) Himmelsstrahlung												
0	27	40	71	(90)	(80)	(85)	(80)	(100)	64	40	(25)	(21)
0,3 - 1,7	39	50	72	94	129	109	141	122	73	52	34	31
2,0 - 3,7	51	95	94	161	171	192	175	141	106	74	58	36
4,0 - 5,7	56	94	154	175	180	227	225	209	154	92	44	51
6,0 - 7,7	77	123	155	213	245	260	253	209	172	108	85	55
8,0 - 9,7	75	114	114	215	233	260	252	219	168	110	80	56
10,0	57	103	109	142	148	190	130	148	92	80	56	43
10,0 (bedeckt)	51	99	81	93	98	140	95	113	67	66	51	34

Geklammerte Werte nicht ausreichend belegt.

Tab. 32

Verhältnis der Strahlungsintensitäten bei bedecktem Himmel zu denen bei wolkenlosem Himmel (%)

	Seehöhe (m)	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Bezug (Lit.)
a) Globalstrahlung														
Hohenpeissenberg	1005	21	31	(18)	15	(15)	(18)	(13)	19	14	19	22	22	Tab. 30
Ostalpen	1000	29			28			26			24			(41)
Davos	1561	65	59	57	60	52	48	49	43	49	47	52	58	(54)
Ostalpen	2000	38			39			33			30			(41)
Ostalpen	3000	48			53			42			38			(41)
Karakorum	4000							50						(55)

b) Globalstrahlung bei verschiedenen Witterungs- und Bodenzuständen

Nebel, Schneedecke	27	37											23	37
Tiefe Wolken, Schneedecke	37	47											25	44
Nebel, ohne Schneedecke	24												26	26
Tiefe Wolken, ohne Schneedecke	35	44			21	23					33	27	27	27
Hohe Wolken, ohne Schneedecke												52		
Nebel, Schneefall	17	20	17	23							13	17	17	23
Tiefe Wolken, Schneefall	24	32	24	18								13	23	23
Mittelhohe Wolken, Schneefall	(37)	50	35									35	50	50
Nebel, Regen	10	11	11	11	10	10	14	12	10	10	15	15	11	11
Tiefe Wolken, Regen	17	19	10	11	17	17	22	16	12	12	20	17	20	20
Mittelhohe Wolken, Regen	17	23	25	25	26	26	24	23	22	24	24	28	26	26

Geklammerte Werte nicht ausreichend belegt.

Tab. 33

Prozentuale Anteile der Sonnenstrahlung an der Globalstrahlung.

Differenzen zwischen entgegengesetzten Jahreszeiten (Abweichungen bis maximal in ‰)

Bereich der relativen Sonnenscheindauer	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
20 - 60 ‰	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
	1	3	3	5	2	4	1	3	3	5	2	4
	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni
80 - 100 ‰	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+
	1	1	2	5	4	5	1	1	2	5	4	5
	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-
	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.

Tab. 34

Verhältnis der Energie der Himmelstrahlung bei wolkenlosem Himmel zu der bei bedecktem Himmel (‰), 1953-1959

Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
57	42	78	102	93	70	88	77	89	69	61	78

Tab. 35

Mittlere und extreme Tagessummen der Globalstrahlung (cal/cm². d)
in Abhängigkeit von der relativen Sonnenscheindauer, 1953-1959

Stufen der relativen Sonnenscheindauer		Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
0 - 5	Mittel	70	115	127	148	140	189	148	158	116	77	61	41
	Maximum	158	241	322	322	282	<u>359</u>	300	238	238	170	146	83
	Minimum	10	29	26	29	35	<u>53</u>	41	68	26	21	14	13
6 - 15	Mittel	105	145	193	231	256	313	289	226	177	128	91	73
	Maximum	142	189	367	323	409	<u>426</u>	374	303	277	170	127	101
	Minimum	50	99	76	131	190	200	208	127	61	86	57	42
16 - 25	Mittel	105	178	248	318	319	368	368	288	238	161	107	94
	Maximum	152	240	342	421	466	<u>511</u>	446	364	316	208	159	107
	Minimum	72	132	168	200	161	190	182	161	162	117	67	80
26 - 35	Mittel	141	189	293	357	390	450	428	371	292	218	142	93
	Maximum	190	243	368	500	460	530	<u>549</u>	491	375	278	168	108
	Minimum	107	147	190	251	206	319	284	271	228	136	107	67
36 - 45	Mittel	133	210	357	397	443	482	464	401	342	224	154	117
	Maximum	161	281	412	506	513	<u>562</u>	545	539	417	287	199	131
	Minimum	114	135	276	315	390	342	383	304	248	173	120	91
46 - 55	Mittel	152	247	347	455	520	524	528	434	360	239	174	127
	Maximum	179	321	405	546	607	587	<u>653</u>	543	402	322	206	144
	Minimum	116	167	295	376	446	513	469	322	311	193	134	102
56 - 65	Mittel	183	269	397	489	546	592	586	497	385	267	175	137
	Maximum	210	344	506	564	608	<u>688</u>	658	612	464	354	205	163
	Minimum	142	200	288	368	495	485	526	390	340	211	126	116
66 - 75	Mittel	193	276	408	542	601	672	637	569	428	300	198	159
	Maximum	245	408	478	663	725	<u>800</u>	705	688	513	380	239	187
	Minimum	140	181	310	495	408	533	546	456	334	232	163	122
76 - 85	Mittel	200	293	434	560	669	719	708	586	448	319	209	157
	Maximum	237	340	523	677	816	<u>851</u>	784	672	514	360	246	187
	Minimum	161	247	340	452	613	605	585	500	393	239	152	134
86 - 95	Mittel	211	293	443	614	700	744	729	636	488	346	195	157
	Maximum	253	375	587	715	795	<u>836</u>	793	760	579	452	267	195
	Minimum	164	237	364	527	621	661	627	528	374	258	168	129
96 - 100	Mittel	234	307	443	631	746	811	739	625	538	333	211	164
	Maximum	281	378	513	671	793	<u>846</u>	787	673	566	428	252	186
	Minimum	186	254	393	588	705	803	690	564	503	272	164	152

Tab. 36

Faktoren zur Berechnung der Globalstrahlung (nach Abschn. 2.6.2.2)

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
a) Faktoren zur Berechnung von mittleren monatlichen Tagessummen der Globalstrahlung aus der relativen Sonnenscheindauer nach Monatssummen, abgeleitet aus der Beobachtungsperiode 1953-1959												
G_{10} (cal/cm ² ·d)	60	100	120	140	150	200	185	155	110	80	55	45
Q _R	1.9	2.5	4.1	5.8	7.0	6.9	6.5	5.6	4.4	2.9	2.0	1.4
G_0 (cal/cm ² ·d, theoret.)	250	350	570	720	850	890	835	715	550	370	255	185
α	0.240	0.285	0.210	0.195	0.176	0.225	0.221	0.215	0.200	0.217	0.217	0.243
												Mittel: 0.220

b) Abweichungen der berechneten von den gemessenen mittleren monatlichen Tagessummen der Globalstrahlung (in % der gemessenen Werte)

1953	- 9.5	- 5.6	8.2	7.9	8.0	- 6.1	- 0.4	5.4	0.9	- 4.8	5.5	7.6
1954	- 2.6	- 0.6	9.8	2.8	10.3	13.9	2.6	8.2	1.5	7.6	3.8	6.5
1955	11.8	- 0.5	- 3.8	- 1.0	1.0	- 6.9	- 0.3	- 3.1	- 7.1	- 4.2	- 3.7	- 1.8
1956	14.6	- 21.6	- 8.9	- 6.8	4.3	2.2	- 2.1	- 5.0	0.6	- 2.3	- 3.2	- 4.4
1957	0.2	4.9	- 3.9	- 5.2	- 4.1	- 2.9	- 3.9	- 3.8	- 10.0	- 4.1	- 0.8	- 7.3
1958	0	1.5	- 13.6	- 13.4	- 3.9	- 5.0	- 3.9	- 5.3	- 5.5	3.8	- 2.8	- 3.0
1959	- 2.5	3.9	- 0.2	9.2	8.4	8.1	10.8	5.6	5.5	2.2	1.9	- 0.5
Durchschn. Abweichung	5.9	5.5	6.9	6.6	5.7	6.4	3.4	5.2	4.4	4.1	3.1	4.4
Mittlere Abweichung	8.7	9.5	8.7	8.2	7.0	8.0	5.1	5.8	6.0	4.8	3.7	5.6

Tab. 37

Vergleich der Abweichungen bei der Berechnung von Monatssummen der Globalstrahlung nach Abschn. 2.6.2.2 mit der Berechnung nach Hinzpeter (in % gemessenen Werte)

	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	Durchschn. Abweichung	Mittlere Abweichung
Februar									
Relative Sonnenscheindauer	35	28	19	31	35	31	69		
Zahl der bedeckten Tage	9	13	15	13	6	11	5		
Berechn. nach Abschn. 2.6.2.2	- 5.6	- 0.4	- 0.5	-21.6	4.9	1.5	3.9	5.5	9.5
Berechn. nach Hinzpeter (58)	- 5.6	- 2.4	- 0.4	-24.3	7.9	- 0.4	- 2.6	6.2	11.8
$\alpha' = 0.437, \alpha = 0.282$									
Juli									
Relative Sonnenscheindauer	44	33	32	49	36	52	52		
Zahl der bedeckten Tage	4	8	7	3	8	3	3		
Berechn. nach Abschn. 2.6.2.2	- 0.4	2.6	- 0.3	- 2.1	- 3.9	- 3.9	10.8	3.4	5.1
Berechn. nach Hinzpeter (58)	12.3	20.2	14.9	13.5	9.7	11.7	27.6	15.7	18.1
$\alpha' = 0.400, \alpha = 0.187$									

Tab. 38

Konstante $K = \frac{10}{\text{tg } \alpha}$ zur Berechnung der Sonnenstrahlung aus der Sonnenscheindauer

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
K	18.8	25.1	32.7	36.3	37.2	37.5	37.0	35.5	33.1	27.8	18.9	15.8

Tab. 39

Faktoren zur Berechnung von mittleren monatlichen Tagessummen der Globalstrahlung aus der wirklichen Sonnenscheindauer nach Dekaden- oder Monatsmitteln, abgeleitet aus der Beobachtungsperiode 1953-1959

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
a) Nach der Gleichung $G_S = Q_S \cdot S + G_{10}$													
Q_S	22	27	36	43	44	44	42	39	36	29	22	17	
G_{10}	60	100	120	140	150	200	185	155	110	80	55	45	
Abweichungen der berechneten von den gemessenen Werten (in % der gemessenen Werte)													
1953	- 9.7	- 3.3	8.7	11.4	4.2	- 1.5	- 0.3	4.4	1.7	- 2.5	5.6	7.5	3.1
1954	- 2.3	1.5	9.3	1.9	6.8	13.5	2.7	6.7	2.2	10.4	4.6	7.5	6.6
1955	11.0	2.1	- 3.4	- 0.6	- 2.6	- 5.8	- 0.4	- 3.5	- 6.1	- 1.7	- 3.2	- 1.6	- 2.1
1956	12.1	- 19.3	- 7.5	- 7.6	1.0	2.5	- 2.4	- 5.6	0.9	1.2	- 2.0	- 3.1	- 2.7
1957	- 0.4	9.0	- 3.3	- 3.8	- 7.0	- 1.2	- 2.8	- 3.9	- 9.2	- 0.4	- 0.2	- 3.8	- 2.3
1958	0.7	6.2	- 14.9	- 12.2	- 5.9	- 4.1	- 2.3	- 5.9	- 4.3	- 2.6	- 4.6	- 1.4	- 4.5
1959	- 0.8	13.1	2.1	10.1	4.7	1.4	10.0	4.5	6.2	4.8	3.9	1.1	7.5
Durchschn. Abweichung	5.3	7.8	7.0	6.8	4.6	4.3	3.0	4.9	4.4	3.4	3.4	3.9	4.1
Mittlere Abweichung	7.8	10.6	8.8	8.7	5.4	6.4	4.6	5.4	5.6	5.0	4.1	4.9	4.9
b) nach der Gleichung $G = Q \cdot S$													
Q	41.6	54.4	58.4	68.3	65.6	75.8	69.2	61.8	53.3	43.4	38.2	31.9	
n. Thams u. Zenone (Magadino-Ebene, Tessin)	33.5	38.4	48.3	53.4	65.4	60.0	57.0	52.7	48.9	43.1	34.2	30.4	
Abweichungen der berechneten von den gemessenen Werten (in % der gemessenen Werte)													
1953	- 25.3	- 4.1	23.1	22.4	7.5	- 8.3	- 0.3	13.0	3.2	- 14.6	24.0	21.4	5.3
1954	- 25.4	- 13.5	14.8	- 16.4	1.4	10.4	- 8.8	2.0	1.9	9.4	8.7	- 8.2	0
1955	24.1	- 30.6	- 7.1	2.1	- 0.8	- 8.7	- 13.4	- 3.8	- 6.3	- 5.8	- 6.0	- 12.6	- 5.4
1956	- 1.8	- 26.2	- 16.6	- 16.6	3.8	- 16.1	1.6	- 9.7	9.8	0.3	- 29.8	- 4.9	- 6.7
1957	5.6	6.9	- 2.2	- 3.2	- 17.2	7.7	- 8.8	- 4.7	- 15.6	8.2	- 1.5	2.1	- 3.1
1958	11.3	- 5.2	- 16.2	- 20.2	- 9.4	2.2	5.0	- 1.2	4.1	- 12.6	- 29.2	1.1	- 4.5
1959	3.1	52.0	- 2.1	20.6	7.4	10.8	18.9	3.7	26.6	9.8	10.8	- 4.0	14.5
Durchschn. Abweichung	13.8	19.8	11.9	14.5	6.8	9.2	8.1	5.4	9.6	8.7	15.7	7.8	5.6
Mittlere Abweichung	18.4	27.7	15.0	17.8	9.2	10.7	11.0	7.3	13.6	10.5	20.6	11.0	7.6

Tab. 40

Monatssummen der Globalstrahlung,
berechnet aus der relativen Sonnenscheindauer (cal/cm²)

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
1937	4 681	4 340	7 905	10 800	16 368	16 980	16 399	12 431	8 310	6 789	3 570	2 480	111 053
1938	3 286	6 580	11 470	9 600	13 981	16 560	15 221	11 563	10 170	6 076	4 890	2 480	111 877
1939	3 503	6 440	7 409	13 260	8 990	16 140	16 399	14 167	8 580	4 650	3 690	2 883	106 111
1940	3 751	5 510	8 184	12 030	13 981	16 560	15 407	13 671	9 120	5 797	3 630	2 263	109 904
1941	3 503	4 900	9 176	8 730	12 028	16 560	15 221	13 144	10 170	4 712	3 330	2 511	103 985
1942	3 162	3 976	8 308	11 160	14 632	16 350	15 221	14 539	10 830	7 440	2 550	3 379	111 547
1943	4 340	6 300	11 098	12 390	14 632	12 420	16 833	14 167	8 310	7 161	3 090	2 077	112 818
1944	4 154	4 640	6 262	11 160	13 981	13 860	14 198	15 035	8 580	5 270	3 150	2 945	103 235
1945	3 627	5 096	8 184	(11 520)	(14 632)	(15 540)	(17 639)	(11 935)	(8 730)	(6 448)	(3 570)	(2 170)	109 091
1946	(4 619)	(3 920)	(9 176)	14 130	13 547	12 840	16 399	12 276	10 560	5 983	3 750	2 356	109 556
1947	3 627	4 704	7 285	13 950	14 198	17 580	17 019	17 143	11 880	8 246	2 910	1 922	120 464
1948	3 875	5 162	11 346	12 210	15 934	15 510	12 369	11 935	10 290	6 169	4 350	3 379	112 529
1949	4 526	7 140	9 703	12 210	10 943	15 720	18 445	13 826	11 490	7 595	2 850	2 666	117 114
1950	3 100	5 656	10 447	9 600	16 802	18 630	16 213	14 012	7 530	6 355	3 210	2 232	113 787
1951	3 348	4 816	6 634	12 030	12 462	14 280	16 027	13 671	9 360	6 076	3 030	3 658	105 392
1952	4 092	4 930	7 533	11 850	13 113	15 720	18 228	14 012	7 380	5 177	3 330	2 170	107 535
1953	3 286	5 264	12 369	13 410	15 500	12 840	14 601	15 221	10 440	5 797	5 070	3 472	117 270
1954	3 100	4 760	10 323	8 730	13 113	13 260	12 400	12 090	9 120	6 882	4 170	2 511	100 459
1955	7 254	4 144	9 052	11 850	15 066	13 440	12 183	12 958	8 970	6 696	3 690	2 666	107 969
1956	3 441	5 162	8 184	9 780	15 500	11 370	15 624	12 090	10 560	7 068	2 790	2 883	104 452
1957	4 216	5 264	9 703	11 160	11 377	15 930	12 989	12 617	7 920	8 587	3 750	3 100	106 613
1958	4 402	4 984	9 052	9 600	14 973	15 300	16 213	14 012	10 560	6 510	2 790	3 007	111 403
1959	4 030	7 616	8 804	13 260	15 066	14 070	16 213	12 803	13 470	7 874	4 170	2 790	120 436

In Klammern: Summen der Sonnenscheindauer aus Bewölkungsmitteln nach Abschn. 1, 9 berechnet.

Tab.41

Idealwerte der direkten Sonnenstrahlung, der Himmelsrichtung und der Globalstrahlung
auf dem Hohenpeißenberg (cal/cm².min nach IPS 1956)

m	1	1,5	2	3	4	6	8	10
J _m ·Hp	1.830	1.757	1.700	1.606	1.529	1.409	1.316	1.244
H _o ·Hp	0.082	0.075	0.069	0.060	0.053	0.045	0.038	0.034
G _{Rgh} ·Hp	1.912	1.244	0.916	0.592	0.430	0.272	0.194	0.148
G _{Rgh} ·M	1.897	1.238	0.911	0.586	0.426	0.268	0.191	0.145
H _p /M (1 = 100 %)	1.008	1.005	1.006	1.010	1.010	1.014	1.014	1.017

m = relative Luftmasse

J_m·Hp = Bestrahlungsstärke der direkten Sonnenstrahlung für Hohenpeißenberg

H_o·Hp = " der Himmelsstrahlung für Hohenpeißenberg, für Albedo 0 %

G_{Rgh}·Hp = " der Globalstrahlung für Rayleigh-Atmosphäre für Hohenpeißenberg

G_{Rgh}·M = " der Globalstrahlung für Rayleigh-Atmosphäre für Meeresniveau

Tab.42

Vergleich zwischen Idealwerten und Formelwerten der Globalstrahlung
für den Hohenpeißenberg (cal/cm².min)

m	1	1,5	2	3	4	6	8	10
G _{Rgh}	1.912	1.244	0.916	0.592	0.430	0.272	0.194	0.148
G _{Fo}	1.910	1.248	0.919	0.592	0.430	0.271	0.194	0.148
G _{Rgh} /G _{Fo} (1 = 100 %)	1.001	0.997	0.997	1.001	1.000	1.002	1.000	1.001

Tab.43

Tagessummen der Idealwerte der Globalstrahlung
für den Hohenpeißenberg (cal/cm².d nach IPS 1956)

Datum	21.3.	13.4.	6.5.	29.5.	22.6.	15.7.	8.8.	31.8.
G _{Rgh} ·Hp	569	718	843	926	953	921	835	709
G _{Rgh} ·M	565	714	838	920	948	916	830	705
H _p /M (1 = 100 %)	1.007	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006
Datum	23.9.	16.10.	8.11.	30.11.	22.12.	13.1.	4.2.	26.2.
G _{Rgh} ·Hp	562	416	292	214	186	214	295	421
G _{Rgh} ·M	558	413	289	211	184	212	292	418
H _p /M (1 = 100 %)	1.007	1.008	1.009	1.011	1.011	1.011	1.009	1.008

Tab.44

Extreme Monatsmittel der Relativwerte der Globalstrahlung, Mai 1948 bis Oktober 1960

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Höchste im Jahre	62 1958	<u>73</u> 1959	69 1953	56 1956	60 1950	63 1950	65 1952	60 1958	69 1959	69 1957	61 1953	65 1953
Tiefste im Jahre	40 1950	42 1955	46 1951	39 1954	39 1949	39 1956	40 1948	43 1948	38 1952	44 1952	<u>36</u> <u>1958</u>	39 1952

Tab. 45

Mittlere monatliche Maxima von Tageswerten
der Relativwerte der Globalstrahlung

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Periode
Hohenpeißenberg	94,0	89,0	90,1	87,4	84,3	83,1	83,0	81,3	84,7	86,6	86,3	87,6	1953-1959
Hamburg		72,0			74,9			67,6			67,0) 1950-1957,) November
Lissabon		88,3			88,7			88,6			87,0) 1949-1956

Hamburg und Lissabon nach Collmann (60)

Tab. 46

Quotienten der relativen Globalstrahlung zur
relativen Sonnenscheindauer nach Monatswerten, 1953-1959

Jahr	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
1953	2,13	1,60	1,02	1,06	1,06	1,39	1,18	0,98	1,02	1,27	1,07	1,36	
1954	<u>2,14</u>	1,71	1,10	1,50	1,10	1,17	1,36	1,10	1,11	1,00	1,21	1,54	
1955	1,30	<u>2,21</u>	1,36	1,25	1,08	1,42	1,34	1,17	1,23	1,15	1,44	<u>1,55</u>	
1956	1,52	2,03	1,37	1,50	1,08	<u>1,50</u>	1,14	<u>1,24</u>	1,04	1,10	<u>1,95</u>	1,43	
1957	1,50	1,43	1,30	1,35	<u>1,39</u>	1,21	<u>1,61</u>	1,18	<u>1,37</u>	1,02	1,37	1,44	
1958	1,44	1,58	<u>1,50</u>	<u>1,64</u>	1,16	1,27	1,14	1,13	1,11	1,26	1,89	1,43	
1959	1,59	1,06	1,32	1,07	1,06	1,18	1,00	1,06	0,90	1,00	1,24	1,47	
Mittel	1,52	1,77	1,28	1,34	1,17	1,31	1,25	1,12	1,11	1,11	1,45	1,46	1,31
Mittlere Abwei- chung	0,37	0,40	0,17	0,22	0,12	0,13	0,20	0,09	0,15	0,12	0,34	0,07	

