

Berichte
des
Deutschen Wetterdienstes

Nr. 177

**Kleinskalige Variabilität
der Sonnenstrahlung**

von

REINHARD TRAPP und FRITZ KASTEN

(mit 3 Tabellen und 52 Abbildungen)

Offenbach am Main 1988
Im Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln
des Bundesministers für Forschung und Technologie unter dem
Förderkennzeichen 03E8543A/4 gefördert.
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

ISSN 0072-4130
ISNB 3-88148-244-X

Herausgeber und Verlag:
Deutscher Wetterdienst, Frankfurter Straße 135, D-6050 Offenbach a. M.

Der Nachdruck, die fotomechanische Wiedergabe oder eine sonstige Vervielfältigung sind auch auszugsweise nur mit schriftlicher Genehmigung des Verlages gestattet.

Anschrift der Verfasser:
Dr. Fritz Kasten; Dipl.-Met. Reinhard Trapp
Deutscher Wetterdienst
Meteorologisches Observatorium Hamburg
Frahmredder 95
2000 Hamburg 65

INHALTSVERZEICHNIS	Seite
Zusammenfassung/Abstract	4
1. Einleitung	5
2. Ausgangsdaten	6
2.1 Strahlungsmeßnetz und benutzte Strahlungsgrößen	6
2.2 Mittelwerte und Häufigkeitsverteilungen der relativen Globalstrahlung	7
3. Räumliche Korrelation der relativen Globalstrahlung	8
3.1 Berechnung der Korrelationskoeffizienten	8
3.2 Korrelationszeitraum und Jahreszeit	9
3.3 Stationsabstand	10
3.4 Geographische Lage	11
3.5 Orientierung der Stationspaare	12
4. Zweidimensionale Häufigkeitsverteilungen der relativen Globalstrahlung	12
5. Einfluß der Windrichtung auf die relative Globalstrahlung	14
5.1 Orographisch stark gegliedertes Gebiet	15
5.2 Mittelgebirgsrand	16
5.3 Flachland und Küste	17
6. Räumliche Verteilung der Globalstrahlung	18
Literaturverzeichnis	20
Tabellenverzeichnis	21
Abbildungsverzeichnis	22
Tabellen	25
Abbildungen	29

ZUSAMMENFASSUNG

Aufgrund der Daten, die an den 28 Strahlungsmeßstationen des Deutschen Wetterdienstes in den 4 Jahren 1982-1985 gewonnen wurden, wird die kleinräumige Variabilität der täglichen relativen Globalstrahlung (rG) untersucht. Die Häufigkeitsverteilungen der rG aus mindestens 20-jährigen Meßreihen an vier Stationen unterscheiden sich nur wenig von den aus o.g. 4-jähriger Reihe. Der Korrelationskoeffizient (KK) der rG von jeweils zwei Stationen wird in Abhängigkeit von der Länge des Korrelationszeitraumes und der Jahreszeit bestimmt. Die Abhängigkeit des KK vom Stationsabstand wird nach der geographischen Lage und gegenseitigen Orientierung monatsweise dargestellt. Zweidimensionale Häufigkeitsverteilungen der rG verdeutlichen das gleichzeitige Auftreten von vorgegebenen Werten der rG an zwei Stationen in den einzelnen Jahreszeiten. Der Zusammenhang der rG mit der Windrichtung im 850 hPa-Niveau wird für drei Gebiete mit unterschiedlicher Orographie untersucht. Schließlich werden Monatskarten der rG in der BR Deutschland entworfen und in Karten der monatlichen Globalstrahlung konvertiert.

ABSTRACT

Based on the data obtained at the 28 radiometric stations of Deutscher Wetterdienst in the 4 years 1982-1985, the small-scale variability of daily relative global radiation (rg) is investigated. The frequency distributions of the rg of at least 20-year measuring series at four stations differ but slightly from the above-mentioned 4-year series. The correlation coefficient (cc) of the rg of two stations each is determined as function of the length of the correlation time interval and the season. The dependence on stations' distance of the cc is presented according to geographical location and orientation of the stations to each other month by month. Two-dimensional frequency distributions of the rg illustrate the simultaneous appearance of given values of the rg at two stations in the various seasons. The connection of the rg with wind direction at the 850 hPa level is investigated for three areas of different orography. Finally, monthly maps of the rg in the F.R. of Germany are drawn and converted to maps of monthly global radiation.

1. EINLEITUNG

Zur langfristigen Deckung des Energiebedarfs wird neben anderen Energieformen auch die Ausnutzung der Sonnenenergie beitragen. Das natürliche Angebot an einfallender Sonnenstrahlung wird durch langjährige Meßreihen ermittelt, die insbesondere vom Strahlungsmeßnetz des Deutschen Wetterdienstes gewonnen werden. Mit Hilfe der Daten des Meßnetzes läßt sich die großräumige Verteilung des Strahlungsklimas in der Bundesrepublik Deutschland darstellen.

Die Stationsdichte des Strahlungsmeßnetzes kann aus wirtschaftlichen Gründen nicht beliebig erhöht werden. Um dennoch das Strahlungsklima im regionalen und lokalen Bereich abschätzen zu können, sollen unter Berücksichtigung der topographischen und klimatischen Bedingungen geeignete statistische Verfahren bereitgestellt werden, mit deren Hilfe kleinräumige Abweichungen von den vorgegebenen Daten des Strahlungsmeßnetzes ermittelt werden können.

Während der Ausbau der nationalen Strahlungsmeßnetze und darauf fußend die Darstellung der großräumigen Verteilung der Sonnenstrahlung im Laufe der vergangenen zehn Jahre erheblich vorangetrieben worden ist, gibt es über die kleinskalige Veränderlichkeit nur vereinzelte Untersuchungen, insbesondere in Canada, der Schweiz und Österreich.

2. AUSGANGSDATEN

2.1 Strahlungsmeßnetz und benutzte Strahlungsgrößen

Grundlage für die Untersuchung der kleinräumigen Variabilität der Sonnenstrahlung bilden die im Strahlungsmeßnetz des Deutschen Wetterdienstes gewonnenen Daten [1,2]. Dieses Netz umfaßt heute 28 Stationen, die der geographischen und klimatischen Gliederung entsprechend über das Bundesgebiet verteilt sind (Abb. 1). Die fachliche Überprüfung der Meßwerte erfolgt zentral im Meteorologischen Observatorium Hamburg, wo die Strahlungsdaten aller Stationen in Form von Stundensummen auf Magnetband archiviert werden und zur weiteren Auswertung zur Verfügung stehen.

Die folgenden Untersuchungen beziehen sich hauptsächlich auf den Zeitraum von 1982 bis 1985, weil erst ab 1982 alle heutigen Stationen des Meßnetzes ganzjährig in Betrieb waren. Aus diesem 4-jährigen Zeitraum lassen sich keine strahlungsklimatologischen Aussagen ableiten. Jedoch sind statistische Aussagen über die Variabilität der Sonnenstrahlung im mesoskaligen Bereich möglich; denn der Abstand von einer Station zur nächstgelegenen Station beträgt im Mittel nur 83 km, und für einen Vergleich von 2 Stationen mit einem Abstand unter 300 km stehen insgesamt 187 Stationspaare zur Verfügung.

Als Maß für die Sonnenstrahlung wird der tägliche Wert der relativen Globalstrahlung G/G_0 benutzt. Er ist definiert als Quotient aus der Tagessumme der gemessenen Globalstrahlung G und der extraterrestrischen Sonnenstrahlung G_0 , die an demselben Ort als Globalstrahlung einfallen würde, wenn es keine Atmosphäre gäbe. G_0 wird aus astronomischen Daten, der geographischen Breite des Ortes und der Solarkonstante $I_0 = 1,367 \text{ kWm}^{-2}$ [3] berechnet.

Wie in [4] dargestellt, ist die Globalstrahlung als Summe von direkter und diffuser Sonnenstrahlung, die auf eine horizontale Empfangsebene einfallen, ein besonders hinsichtlich der Solarenergienutzung geeignetes Maß zur Quantifizierung der Sonnenstrahlung an einem Ort bzw. zum Vergleich der Sonnenstrahlung an verschiedenen Orten. Da sie erst ab einem Bedeckungsgrad von $6/8$ deutlich von der Bewölkung abhängt [5], ist ihr zeitlicher Verlauf ziemlich stetig. Durch die Normierung mit G_0 wird die Amplitude des astronomisch bedingten Jahresganges und die Abhängigkeit von der geographischen Breite beträchtlich verringert.

2.2 Mittelwerte und Häufigkeitsverteilungen der relativen Globalstrahlung

Die Ergebnisse von Messungen der Globalstrahlung an den Stationen des Deutschen Wetterdienstes sind in [1,4] ausführlich dargestellt.

Eine Übersicht über die Werte der relativen Globalstrahlung G/G_0 für den Zeitraum 1982–1985 an den 28 Stationen gibt Tab. 1 a, b in Form von Monats- bzw. Jahreszeitenmittelwerten. Der Tabelle ist zu entnehmen, daß sich beim Jahresgang der Monatsmittel die Minima und Maxima nur noch um etwa den Faktor 2 unterscheiden. Bei der Globalstrahlung hingegen treten Faktoren der Größenordnung 10 auf.

Zur Berechnung der Häufigkeitsverteilungen der relativen Globalstrahlung wurde diese zunächst in Klassen eingeteilt. Die Klassenbreite $\Delta(G/G_0)$ wurde mit 0,08 so gewählt, daß sie für alle vorkommenden Umfänge der Stichproben benutzt werden kann.

Von 4 typischen Stationen des Meßnetzes, von denen langjährige Meßreihen zur Verfügung stehen, sind die Häufigkeitsverteilungen von G/G_0 jeweils für einen längeren und einen kürzeren Zeitraum dargestellt: Abb. 2a Bergstation Hohenpeißenberg (HP), Abb. 3a Mittelgebirgsstation Würzburg (WZ), Abb. 4a Flachlandstation Braunschweig (BG) und Abb. 5a Inselstation Norderney (NY).

Die Häufigkeitsverteilungen von G/G_0 an den Stationen Würzburg, Braunschweig und Norderney haben ein ähnliches Aussehen, allerdings treten in Braunschweig infolge des höheren mittleren Bedeckungsgrades die größeren Werte von G/G_0 seltener auf als an den Stationen Würzburg und Norderney.

Die Höhenlage der Station Hohenpeißenberg (990 m über NN) bewirkt, daß die Form der Häufigkeitsverteilung an dieser Station von der an den anderen Stationen abweicht. Häufige Wolkenfreiheit und, wie in [2] dargestellt, ein im Vergleich zu anderen Stationen kleiner Trübungsfaktor nach Linke, der ein Maß für die Gesamtschwächung der direkten Sonnenstrahlung beim Durchlaufen der Atmosphäre ist, haben zur Folge, daß das Maximum der Häufigkeitsverteilung zu größeren Werten von G/G_0 verschoben und zudem wesentlich deutlicher ausgeprägt ist als an den anderen Stationen.

Die Unterschiede der Verteilungen der relativen Globalstrahlung hinsichtlich der beiden untersuchten Zeiträume sind im allgemeinen gering. An den beiden süddeutschen Stationen Hohenpeißenberg und Würzburg bleibt der Mittelwert in beiden Zeiträumen nahezu unverändert. An der Station Hohenpeißenberg ist die Häufigkeit extrem hoher relativer Globalstrahlung ($> 0,72$) im kürzeren Zeitraum verringert, Fälle mit $0,56 < G/G_0 < 0,72$ treten stattdessen häufiger auf als im Zeitraum 1957–1985. Die Abnahme der Häufigkeiten von $0,40 < G/G_0 < 0,56$ an der Station wird hauptsächlich durch eine Zunahme der Fälle mit $0,64 < G/G_0 < 0,72$ kompensiert.

An der Station Braunschweig ist der Mittelwert von G/G_0 im Zeitraum 1982-1985 gegenüber dem Zeitraum 1966-1985 durch eine Zunahme der Fälle mit $0,48 < G/G_0 < 0,62$ um 0,01 erhöht. Eine Abnahme des Mittelwertes an der Station Norderney um 0,005 wird hauptsächlich durch eine Abnahme der Fälle mit $G/G_0 > 0,62$ verursacht, die durch Zunahme der Fälle mit mittleren bis hohen G/G_0 nicht ausgeglichen werden kann.

In den Abb. 2b, 3b, 4b und 5b sind für die genannten 4 Stationen die Häufigkeitsverteilungen nach Jahreszeiten getrennt für den Zeitraum 1982-1985 dargestellt. Die Verteilungen im Frühling (März, April, Mai) weisen mit Ausnahme der Station Norderney zwei Maxima auf, die durch ein relatives Minimum bei der G/G_0 -Klasse um 0,52 getrennt sind. Im Fall der Station Norderney ist statt des Minimums nur ein flacherer Anstieg der Häufigkeit festzustellen. An den Stationen Braunschweig und Würzburg ist das Hauptmaximum bei den kleineren G/G_0 -Werten zu finden, an den Stationen Norderney und Hohenpeißenberg bei den größeren.

Die Verteilung von G/G_0 im Sommer (Juni, Juli August) läßt sich bei allen 4 Stationen durch ein Maximum charakterisieren, welches sich bei hohen G/G_0 -Werten befindet. Im Herbst (September, Oktober, November) ist die Verteilung von G/G_0 durch einen unstetigen und von Station zu Station unterschiedlichen Verlauf gekennzeichnet. Auffällig ist das an der Station Hohenpeißenberg besonders häufige Auftreten von G/G_0 -Werten der Klasse um 0,68.

Im Winter (Dezember, Januar, Februar) treten ähnlich wie im Frühling an allen Stationen zweigipfelige Verteilungen auf. Mit Ausnahme der Station Hohenpeißenberg ist dabei das Maximum bei kleineren Werten von G/G_0 deutlich stärker ausgeprägt als das bei großen G/G_0 -Werten.

3. RÄUMLICHE KORRELATION DER RELATIVEN GLOBALSTRAHLUNG

3.1 Berechnung der Korrelationskoeffizienten

Ein oft benutztes Maß für die Güte des Zusammenhangs zweier Datensätze ist der Korrelationskoeffizient. Geht man davon aus, daß zwischen den zu untersuchenden Größen ein linearer Zusammenhang besteht, so kommt der in Gleichung (1) definierte lineare Korrelationskoeffizient R als Gütemaß in Frage:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ix} T_{iy} - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n T_{ix} \right) \left(\sum_{i=1}^n T_{iy} \right)}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n T_{ix}^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n T_{ix} \right)^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n T_{iy}^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n T_{iy} \right)^2 \right]}} \quad (1)$$

mit n = Anzahl der Tage im Zeitraum, für den R berechnet wird,
 T_{ix} = Tageswerte der relativen Globalstrahlung am i -ten Tag
 an der Station x ,
 T_{iy} = Tageswerte der relativen Globalstrahlung am i -ten Tag
 an der Station y .

Voraussetzungen für eine Anwendung der linearen Korrelation sind:

- eine Normalverteilung der Größen in den beiden Datensätzen,
- die Datenunabhängigkeit innerhalb eines Datensatzes,
- der Einfluß einer nicht berücksichtigten Größe auf die Korrelation muß vernachlässigbar sein,
- die Anzahl der Fälle muß genügend groß sein ($n \geq 30$).

Die im vorliegenden Fall zu untersuchenden Zeitreihen der relativen Globalstrahlung an den verschiedenen Stationen erfüllen die oben genannten Voraussetzungen nicht in jedem Fall völlig. Da sich in solchen Fällen die Verletzung einer Voraussetzung aber bei allen Korrelationen ähnlich auswirkt und das Schwergewicht der Untersuchung beim Vergleich der Korrelationen verschiedener Stationspaare liegt, ist die Gefahr von Fehlinterpretationen gering.

3.2 Korrelationszeitraum und Jahreszeit

Für ausgewählte Stationspaare wurde untersucht, wie sich der Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung mit der Länge des Korrelationszeitraumes und mit der Jahreszeit ändert. Dazu wurde R für gleitende Zeiträume der Länge 5 Tage (Pentade), 11 Tage ("Dekade"), 31 Tage (Monat), 91 Tage (Vierteljahr) und 183 Tage (Halbjahr) berechnet und jeweils dem mittleren Tag des betreffenden Zeitraums zugeordnet.

In Abb. 6 sind die Jahresgänge der Korrelation für die Stationen Hohenpeißenberg (HP, 990 m ü. NN) und Weißenburg (WB, 428 m ü. NN) dargestellt, deren Abstand 136 km beträgt. Abb. 7 bringt die entsprechenden Kurven für das Stationspaar Braunschweig (BG, 83 m ü. NN) und Hamburg-Sasel (Sa, 49 m ü. NN), Stationsabstand 151 km. Der kürzeste hier aufgeführte Zeitraum ist 31 Tage; für kürzere Zeiträume streuen die R -Werte zu stark.

Auch für den Zeitraum von 31 Tagen ist der Verlauf von R bei beiden Stationspaaren noch sehr unruhig. Im Fall des Stationspaares HP-WB ist jedoch bereits zu erkennen, daß im Sommerhalbjahr die relative Globalstrahlung an den beiden Stationen besser korreliert ist als im Winterhalbjahr. Verlängert man den gleitenden Korrelationszeitraum, so wird der Verlauf geglättet, und ein Jahresgang von R ist deutlich zu erkennen. Maximale Werte von R treten im Sommerhalbjahr auf, minimale im Winter. Hauptursache des ausgeprägten Jahresgangs der Korrelation HP-WB ist die Höhenlage der Station Hohenpeißenberg. Ein derartiger, in allen untersuchten Jahren ähnlicher Verlauf von R ist beim Stationspaar BG-SA nur schwach angedeutet, allerdings treten auch hier die höheren Korrelationskoeffizienten im Sommerhalbjahr auf.

Die Sonderstellung der Bergstation Hohenpeißenberg wurde bereits bei der Verteilung der relativen Häufigkeiten der Klassen von G/G_0 festgestellt (Abb. 2a, b),

Um die Streuung der monatlichen Korrelationen zu reduzieren, werden im folgenden die Einzelmonate der Jahre 1982-1985 jeweils zu einem Datensatz zusammengefaßt. Dadurch erhöht sich die Anzahl der bei jeder Korrelation berücksichtigten Datenpaare von rund 30 auf rund 120; das bedeutet eine Halbierung des Mutungsbereiches für den Korrelationskoeffizienten bei einer Sicherheit von 95%, wenn die anfangs genannten Voraussetzungen erfüllt sind.

3.3 Stationsabstand

Um den Einfluß des Abstandes zweier Stationen auf die Korrelation der relativen Globalstrahlung abzuschätzen, wurde für den Zeitraum 1982-1985 der Korrelationskoeffizient R für alle 187 Stationspaare mit einem Abstand $a < 300$ km berechnet.

In Abb. 8 ist R in Abhängigkeit von a dargestellt. Wie zu erwarten, verringert sich R mit wachsendem Abstand a . Ab $a = 200$ km wird R in der Mehrzahl der Fälle kleiner als 0,7, und die Korrelation ist nur noch unbefriedigend. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt Neuwirth [6] bei einer Untersuchung von Stationen in Österreich, die unterhalb 1000 m ü. NN liegen. Es ist jedoch festzuhalten, daß die Werte von R stark streuen, so daß Korrelationskoeffizienten von 0,7 sowohl bei einem Stationsabstand von 140 km als auch bei 280 km auftreten können.

Führt man die gleiche Untersuchung monatsweise durch, erhält man die in Abb. 9a (Januar bis Juni) und 9b (Juli bis Dezember) dargestellten Ergebnisse. Demnach ist im Winterhalbjahr mit Ausnahme des Monats Februar die Abnahme des Korrelationskoeffizienten mit zunehmendem Stationsabstand deutlicher ausgeprägt als im Sommerhalbjahr. So sind in den Monaten Januar und November alle R -Werte ab einem Abstand von 220 km kleiner als 0,7. Im April, dem Monat mit den im Mittel besten Korrelationen, liegen auch bei größerem Abstand die meisten Korrelationskoeffizienten über 0,7.

Die im Winter oft schlechte Korrelation kann neben meteorologischen auch meßtechnische Ursachen haben: Pyranometrische Messungen sind meistens mit einem cos-Fehler behaftet, der sich bei niedrigen Sonnenhöhen und damit flachen Einfallswinkeln besonders bemerkbar macht. Außerdem kommt es vor, daß im Winter trotz Belüftung durch Ansatz von Tau und Reif die Meßwerte verfälscht werden. Bei niedrigen Temperaturen können die Meßergebnisse auch durch Nullpunktverschiebung (thermischer Offset) beeinträchtigt werden.

3.4 Geographische Lage

Wie bereits festgestellt, nehmen die Werte des Korrelationskoeffizienten mit zunehmendem Abstand ab, streuen aber stark. Um zu untersuchen, ob die bei gleichem Abstand auftretenden Unterschiede der R-Werte zufällig oder orographisch bzw. meteorologisch bedingt sind, werden die 187 untersuchten Stationspaare in zwei Gruppen eingeteilt. Als Einteilungskriterium wird die geographische Lage des jeweiligen Stationspaares gewählt. Stationspaare im norddeutschen Raum, zu dem Gelsenkirchen GE als südlichste Station gezählt wird, gehören zur einen Gruppe. Zur anderen Gruppe gehören alle Stationspaare im Mittelgebirgs- bzw. Voralpenraum; in dieser Gruppe ist Kassel CS die nördlichste Station. Stationspaare, die dieses Einteilungskriterium nicht erfüllen, werden im folgenden nicht berücksichtigt.

Wegen der geringeren Stationsdichte und der kleineren räumlichen Ausdehnung des Gebiets umfaßt die Gruppe der norddeutschen Stationen nur 42, die der süddeutschen hingegen 98 Stationspaare. Die beiden Gruppen unterscheiden sich auf zweifache Weise: Norddeutschland ist relativ eben (Ausnahme: Braunlage BL im Harz) und besitzt maritimes Klima, während der süddeutsche Raum durch orographisch starke Gliederung und eine nach Süden hin zunehmende Kontinentalität des Klimas gekennzeichnet ist.

In Abb. 10 a-1 sind die Ergebnisse dargestellt. Um die Stationspaare identifizieren zu können, wird der jeweilige Wert von R durch die Übereinander geschriebenen, aus jeweils 2 Buchstaben bestehenden Stationskürzel markiert, wobei sich der genaue Wert von R jeweils im geometrischen Mittelpunkt der insgesamt 4 Buchstaben befindet. Korrelationskoeffizienten kleiner als 0,3 sind in die Abbildungen nicht aufgenommen.

Vergleicht man die Korrelationskoeffizienten nord- und süddeutscher Stationspaare, (Abb. 10a-1), so erhält man folgendes Ergebnis: Da der Jahresgang der Korrelation in Süddeutschland stärker ausgeprägt ist als in Norddeutschland, treten in den Monaten Juli, August und September in Süddeutschland, in den Monaten November und Januar in Norddeutschland die höheren Korrelationskoeffizienten auf. Bei gleichem Abstand streuen besonders in den Wintermonaten die R-Werte süddeutscher Stationspaare mehr, als dies bei den norddeutschen der Fall ist.

Im Norden fallen Stationspaare, bei denen die Inselstationen List (LY) und Norderney (NY) beteiligt sind, durch eine vorwiegend schlechte Korrelation auf. Im November jedoch ist die Korrelation mit diesen Stationen bis zu einem Abstand von ca. 200 km als besonders gut zu bezeichnen.

Von den beiden Bergstationen im Strahlungsmeßnetz fällt die norddeutsche Harzstation Braunlage (BL) weniger durch schlechte Korrelation auf als die süddeutsche Bergstation Hohenpeißenberg (HP). Besonders im Winterhalbjahr sind die Korrelationen mit Hohenpeißenberg deutlich schlechter als bei anderen süddeutschen Stationspaaren. Ähnliches gilt in der süddeutschen Gruppe auch für Korrelationen mit der am Nordrand der Alpen gelegenen Station Konstanz (KS).

3.5 Orientierung der Stationspaare

Ein weiterer Schritt bei dem Versuch, die auftretenden Korrelationskoeffizienten zu systematisieren, ist die Unterscheidung nach der jeweiligen Orientierung der Verbindungslinie zwischen den beiden korrelierten Stationen. Dieser Differenzierung liegt die Annahme zugrunde, daß sich die mittlere Zugrichtung der synoptischen Systeme und der damit verbundenen Bewölkung, die einen entscheidenden Einfluß auf die relative Globalstrahlung hat, auf die Korrelation unterschiedlich orientierter Stationspaare auch unterschiedlich auswirkt.

Zu diesem Zweck wurden die Stationspaare in 4 Gruppen eingeteilt, welche den Orientierungen West-Ost (W-E), Nord-Süd (N-S), Nordwest-Südost (NW-SE) und Nordost-Südwest (NE-SW) entsprechen. Dabei wurden Abweichungen bis zu $22,5^\circ$ von der jeweiligen Orientierung zugelassen; die Untersuchung wurde monatsweise durchgeführt.

Der Vergleich der Orientierungen W-E und N-S zeigt, daß W-E ausgerichtete Stationspaare oft besser korreliert sind als N-S ausgerichtete Stationspaare gleichen Abstands. Besonders deutlich wird dies im Monat Juli (Abb. 11a,b), mit Ausnahme des Stationspaares Hamburg-Sasel - Norderney (SA-NY). Von den Orientierungen NW-SE und NE-SW (Abb. 11c,d) sind die NW-SE orientierten Stationspaare meistens besser korreliert.

Die Abb. 12a-d zeigen die entsprechenden Korrelationen im Oktober. Sie sind im allgemeinen deutlich schwächer als im Juli und streuen stärker. Ganz ähnliches Verhalten wird in den nachfolgenden Monaten November bis Januar angetroffen. Ab Februar werden die Korrelationen wieder besser und erreichen bereits im April etwa die gleiche Güte wie im oben gezeigten Beispiel-Monat Juli.

4. ZWEIDIMENSIONALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNGEN DER RELATIVEN GLOBALSTRAHLUNG

Mit Hilfe der zweidimensionalen Häufigkeitsverteilung der Tageswerte der relativen Globalstrahlung können die Strahlung an zwei Stationen über einen längeren Zeitraum simultan dargestellt und Aussagen über die Häufigkeit von Strahlungswerten an einer Station in Abhängigkeit von den Strahlungswerten an der anderen Station gemacht werden.

Die relative Globalstrahlung wurde in Klassen der Breite $0,04 = 4\%$ eingeteilt und für jeden Tag die Klassenunterschiede zwischen beiden Stationen festgestellt. Fallen die Werte an beiden Stationen in dieselbe Klasse, so ist die Differenz zwischen den beiden Werten kleiner als $0,04$. Gehören die beiden Werte zu benachbarten Klassen, liegt die Differenz Δ zwischen den beiden Werten der relativen Globalstrahlung im Bereich $0,00 < \Delta < 0,08$.

Um die jahreszeitlichen Unterschiede zu verdeutlichen, wurden die Sommermonate (Juni, Juli, August) und die Wintermonate (Dezember, Januar, Februar) der Jahres 1982-1985 jeweils zu einem Datensatz zusammengefaßt. Für die beiden Stationspaare Konstanz - Stuttgart und Bremen - Norderney ist das Ergebnis dieser Untersuchung in Form von Häufigkeitsmatrizen in den Abb. 13a, b und Abb. 14a, b für die genannten Jahreszeiten dargestellt. Angegeben ist die Anzahl der Tage im Untersuchungszeitraum, an denen die jeweilige Kombination von Klassen der relativen Globalstrahlung auftraten. So findet man z.B. auf der von links unten nach rechts oben verlaufenden Diagonale die Anzahl der Tage, an denen an beiden Stationen die Werte der relativen Globalstrahlung derselben Klasse angehören. Beim Stationspaar Konstanz (KS) - Stuttgart (SU) sind das im Sommer 72 Tage (Abb. 13a) und im Winter 70 Tage (Abb. 13b), das sind jeweils rund 20% aller Tage in diesen Jahreszeiten. Ähnlich wie bei den einfachen Häufigkeitsverteilungen treten die größten Häufigkeiten im Sommer bei großen Werten von G/G_0 auf, im Winter bei kleinen Werten.

Die Summe der Fälle oberhalb der Diagonalen bedeutet die Häufigkeit der Kombinationen, die die Bedingung G/G_0 (SU) > G/G_0 (KS) erfüllen; sie beträgt im Winter (Abb. 13b) 41% aller Fälle. Die entsprechende Häufigkeit der Kombinationen mit G/G_0 (SU) < G/G_0 (KS), also unterhalb der Diagonalen, ist 39%, also praktisch gleich groß. Diese Häufigkeitsverteilung spiegelt sich in den Mittelwerten der relativen Globalstrahlung im Winter wider: 0,340 in Stuttgart, 0,324 in Konstanz.

Auch im Sommer sind die Mittelwerte von G/G_0 in Stuttgart und Konstanz etwa gleich groß: 0,476 und 0,492. Jedoch ist in dieser Jahreszeit die Häufigkeit der Fälle, für die G/G_0 (SU) > G/G_0 (KS) gilt (Abb. 13a), nur 30% und damit deutlich kleiner als die Häufigkeit 50% für die Bedingung G/G_0 (SU) < G/G_0 (KS). Dies ist ein Beispiel dafür, daß die Häufigkeitsverteilungen mehr Information liefern als die Mittelwerte: gleiche Mittelwerte können aus ganz verschiedenen Häufigkeitsverteilungen resultieren.

Ferner ist die Streuung der Fälle um die Diagonale im Winter (Abb. 13b) stärker als im Sommer (Abb. 13a), d.h. im Winter treten häufiger größere Differenzen der relativen Globalstrahlung zwischen den beiden Stationen auf.

Diese jahreszeitlichen Unterschiede spiegeln sich auch in den berechneten Korrelationskoeffizienten R wider. Im Sommer ergibt sich $R = 0,79$, im Winter nur 0,54. Nun war oben festgestellt worden, daß die Anzahl der Tage mit etwa gleicher relativer Globalstrahlung an beiden Stationen im Sommer und Winter fast gleich ist (72 bzw. 70 Tage). Die Ursache für den höheren Korrelationskoeffizienten im Sommer ist deshalb in der geringeren Streuung.

Auch beim Stationspaar Bremen (BN) - Norderney (NY) liegen die am häufigsten auftretenden Kombinationen im Sommer (Abb. 14a) bei hohen und im Winter (Abb. 14b) niedrigen Werten der relativen Globalstrahlung.

Die Häufigkeit der Tage, an denen G/G_0 (BN) < G/G_0 (NY) gilt, ist im Winter (Abb. 14b) etwa gleich der Häufigkeit für den umgekehrten Fall (40%). Auch die winterlichen Mittelwerte von G/G_0 sind etwa gleich (0,303 in Bremen, 0,311 in Norderney).

Im Sommer jedoch ist der Mittelwert von Norderney (0,466) deutlich größer als in Bremen (0,429). An 54% aller Sommertage ist G/G_0 an der Station Norderney um mindestens eine Klasse größer, an 30% um mindestens eine Klasse kleiner als an der Station Bremen.

Im Gegensatz zum Stationspaar Konstanz-Stuttgart ist jedoch beim Stationspaar Bremen - Norderney der Korrelationskoeffizient R im Sommer mit 0,68 niedriger als im Winter mit 0,76. Eine möglichen Ursache könnte sein, daß die Häufigkeit der Fälle mit ähnlichen G/G_0 an beiden Stationen (Werte auf der Diagonale in Abb. 14a, b) im Sommer mit 15% geringer ist als mit 20% im Winter.

5. EINFLUSS DER WINDRICHTUNG AUF DIE RELATIVE GLOBALSTRAHLUNG

Die relative Globalstrahlung G/G_0 an einem gegebenen Ort wird im wesentlichen durch die Bewölkung einschließlich Nebel bestimmt. Diese wiederum hängt sowohl von der Großwetterlage und den dazugehörigen Frontensystemen als auch von lokalen oder regionalen Gegebenheiten ab.

Eine über Land ziehende Luftmasse und ihre mitgeführte Bewölkung wird durch die Orographie, z.B. Wolkenbildung durch erzwungene Hebung an Gebirgen, oder den Untergrund, z.B. Wolkenbildung durch Küstenkonvergenz beim Übergang vom Wasser zum Land, beeinflusst. Während zur Bestimmung der Großwetterlage die Windrichtung im 500 hPa-Druckniveau ein wesentlicher meteorologischer Parameter ist, hängt die Ausbildung lokaler Effekte eher von der Anströmrichtung in der Grenzschicht ab. Als Indikator, der sowohl die großräumigen als auch die die Bewölkung betreffenden kleinräumigen Effekte erfaßt, wurde die Windrichtung im 850 hPa-Niveau, also am Oberrand der planetaren Grenzschicht, gewählt. Diese wird an 5 aerologischen Stationen des DWD gemessen. In der vorliegenden Untersuchung wurden nur die aerologischen Sondierungen zum 1200 UT benutzt.

Vergleicht man die relative Globalstrahlung mehrerer benachbarter Stationen in Abhängigkeit von der Windrichtung während eines längeren Zeitraums miteinander, so werden der Mittelwert dieser Stationen bei einer bestimmten Windrichtung hauptsächlich durch die Großwetterlage, die Differenzen zwischen den Stationen durch unterschiedliche lokale Gegebenheiten verursacht. Im Folgenden werden für drei orographisch unterschiedlich strukturierte Gebiete die Ergebnisse einer derartigen Untersuchung vorgestellt.

Für den Zeitraum 1982-1985 wurden für jede Jahreszeit für jeweils 8 Windrichtungssektoren die mittlere relative Globalstrahlung an der jeweiligen Station und der Korrelationskoeffizient der relativen Globalstrahlung an 2 Stationen des jeweiligen Gebietes berechnet.

Da für den Zeitraum von nur vier Jahren keine dem langjährigen Mittel entsprechende Verteilung der Großwetterlagen, die hier durch die 850-hPa-Windrichtung charakterisiert werden, zu erwarten ist, sind klimatologische Aussagen nicht möglich. Ein Vergleich der Stationen untereinander kann aber aufzeigen, wie variabel die Sonnenstrahlung auch bei gleicher Großwetterlage sein kann, wenn orographische Einflüsse eine Rolle spielen.

5.1 Orographisch stark gegliedertes Gebiet

Als Beispiel für ein orographisch stark gegliedertes Gebiet wurde der Südwesten des Bundesgebiets gewählt. Die Stationen Weißenburg (WB) am Südwestrand der Fränkischen Alb, Konstanz (KS) im Alpenvorland in Nähe des Bodensees und Freiburg (FG) am Westrand des Schwarzwaldes im Oberrhein-Tal liegen auf einem Halbkreis mit einem Radius von ca. 130 km um die zentral gelegene Station Stuttgart (SU) im Schwäbisch-Fränkischen Stufenland (s. Abb. 1).

Die Abhängigkeit der relativen Globalstrahlung und des Korrelationskoeffizienten von der an der aerologischen Station Stuttgart gemessenen Windrichtung im 850-hPa-Niveau ist in den Abb. 15a, b für die verschiedenen Jahreszeiten dargestellt. Unter der Abszisse ist zusätzlich die Anzahl der Tage mit Wind aus dem entsprechenden Windrichtungssektor aufgeführt.

Im Frühling und im Sommer hat die Abhängigkeit der relativen Globalstrahlung von der Windrichtung an allen Stationen einen ähnlichen Verlauf. Die gut ausgeprägten Maxima treten im Frühling bei Wind aus E-SE, im Sommer bei Wind aus SE-S auf. Minima sind im Frühling bei Wind aus W-NW, im Sommer bei Wind aus NW-NE zu finden.

Im Herbst fehlt ein allen Stationen gemeinsames Maxima. Ein Minimum tritt jedoch bei Wind aus N auf. Es ist zwar nur durch wenige Fälle belegt; da es jedoch bei allen Stationen auftritt, kann es als gegeben betrachtet werden. Im Winter findet sich das Maximum bei E-Wind, das Minimum bei Wind aus SW-NW ist nicht an allen Stationen gleich gut ausgebildet. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen sind im Frühling und Sommer geringer als im Herbst und Winter.

Im Vergleich zu den anderen Stationen sind die Extremwerte an der Station Weißenburg besonders deutlich ausgeprägt. Ursache hierfür könnte die Lage der Station im Luv der Fränkischen Alb bei west- bis nordwestlicher Anströmung sein. Die durch erzwungene Hebung verursachte Wolkenbildung vergrößert Menge und Dicke der bei diesen Windrichtungen meist starken Bewölkung noch weiter. Die Leelage der Station bei Anströmung aus östlichen bis südlichen Richtungen führt durch Absinken der Luft zur Wolkenauflösung.

Ähnliche orographische Verhältnisse liegen an der Station Stuttgart nordwestlich der Schwäbischen Alb vor. Tatsächlich ist der Verlauf der relativen Globalstrahlung in Abhängigkeit von der Windrichtung dem an der Station Weißenburg sehr ähnlich. Dies macht sich auch bei der Korrelation (Abb. 15b) bemerkbar. Im Vergleich zu den Stationspaaren SU-FG und SU-KS ist der Korrelationskoeffizient des Stationspaares SU-WB bei den Windrichtungssektoren mit maximaler bzw. minimaler relativen Globalstrahlung deutlich höher.

Bei der Station Konstanz fällt auf, daß sie in allen Jahreszeiten bei Wind aus westlichen Richtungen den im Vergleich zu den anderen Stationen höchsten Mittelwert von G/G_0 aufweist. Dies ist besonders im Herbst mit einem zeitlichen Anteil der Tage mit Westwind von einem Drittel bemerkenswert; denn in dieser Jahreszeit liegt der in Konstanz über alle Windrichtungen gemittelte Wert von G/G_0 mit 0,363 am niedrigsten, während er z.B. in Stuttgart 0,410 beträgt.

Für die Station Freiburg läßt sich mit dieser Untersuchung ein Einfluß der Orographie auf die Mittelwerte der relativen Globalstrahlung nicht in allen Jahreszeiten nachweisen. Dies könnte dadurch erklärt werden, daß sich im Oberrheintal oft ein Windsystem ausbildet, das von der Grundströmung, die in diesem Fall durch die 850 hPa-Windrichtung an der Station Stuttgart charakterisiert ist, weitgehend entkoppelt ist [7]. Der Vergleich von Konstanz und Freiburg zeigt aber, daß im Herbst und Winter bei Windrichtungen aus NE bis S-SW der Mittelwert von G/G_0 in Freiburg höher ist als in Konstanz. Bei W-Wind jedoch, wenn FG im Luv des Schwarzwaldes liegt, ist der Mittelwert von G/G_0 an der Station Freiburg geringer.

Vergleicht man die Korrelationen der drei Stationspaare untereinander, ergibt sich, daß in den meisten Fällen die Korrelation SU-WB am besten ist. Bei Wind aus dem SW-Sektor ist das Stationspaar SU-FG aber auch recht gut korreliert. Im Herbst und im Winter ist das Stationspaar SU-KS deutlich schlechter korreliert als die beiden anderen. In diesen Jahreszeiten sind sowohl die Unterschiede zwischen den Stationspaaren als auch die Änderungen mit der Windrichtung größer als im Frühling und Sommer.

5.2 Mittelgebirgsrand

Die drei Stationen Osnabrück (OS), Bad Lippspringe (LP) und Kassel (CS) liegen am Nordrand des Mittelgebirges (s. Abb. 1). Zwischen Osnabrück als nördlichster Station und Bad Lippspringe erstreckt sich in NW-SE-Richtung der Teutoburger Wald, der die nach Westen offene Münsterländer Bucht nach Norden hin begrenzt. Osnabrück liegt nördlich des Teutoburger Waldes, Bad Lippspringe an der östlichen Spitze der Münsterländer Bucht. In südöstlicher Verlängerung der Verbindungslinie zwischen diesen beiden Stationen liegt die Mittelgebirgsstation Kassel. Der Abstand OS-LP beträgt 74 km, der Abstand LP-CS 68 km. Die Windrichtung im 850 hPa-Niveau wurde an der aerologischen Station Hannover gemessen; der Vergleich der drei Stationen ist in Abb. 16 dargestellt.

Für alle Stationen gilt folgendes: Im Frühling treten die höchsten Werte von G/G_0 bei Windrichtungen aus NE und aus SE auf. Diese beiden Maxima sind durch ein Nebenminimum bei E-Wind getrennt, das Hauptminimum findet sich bei W-Wind. Auch im Sommer und im Winter ergeben sich bei W-Wind die kleinsten Werte von G/G_0 , maximale Werte treten in diesen Jahreszeiten bei SE-Wind auf. Der Verlauf im Herbst ist durch Maxima bei N- und bei S-Wind und durch Minima bei Windrichtungen aus E und aus W charakterisiert.

Beim Vergleich der Stationen untereinander fällt auf, daß die Station Bad Lippspringe zu allen Jahreszeiten bei den Windrichtungen von W bis NW die geringste relative Globalstrahlung aufweist, bei Wind aus E bis SE aber die höchste. Beides ist mit der Lage der Station in der Ostspitze der Münsterländer Bucht zu erklären: Bei westlichen Windrichtungen wird die Luft wegen fehlender Ausweichmöglichkeiten in verstärktem Maße zum Aufsteigen gezwungen, was vermehrte Wolkenbildung zur Folge hat. Bei Windrichtungen aus E bis SE bewirkt die Lage im Lee des Eggegebirges, daß sich ein Teil der Bewölkung beim Absinken auflöst.

Die im Vergleich zu den anderen Stationen hohen Werte von G/G_0 an der Station Kassel bei W-Wind sind z.T. dadurch zu erklären, daß die mit erhöhter Bewölkung verbundenen Störungen beim Überqueren des Mittelgebirges einen Teil der Wetterwirksamkeit eingebüßt haben und die Station in abgeschwächter Form erreichen.

Die Korrelation des Stationspaares OS-LP (Abb. 16b) ist mit Ausnahme der Windrichtungen NW bis NE immer besser als die des Stationspaares LP-CS. Besonders groß wird der Unterschied im Herbst und im Winter.

5.3 Flachland und Küste

Das Norddeutsche Flachland ist ein orographisch nur schwach gegliedertes Gebiet. Dennoch haben die aus diesem Raum ausgewählten Stationen Norderney (NY), Bremen (BN) und Braunschweig (BG) unterschiedliche, für Norddeutschland typische Umgebungen (s. Abb.1). Norderney ist eine der Küste vorgelagerte Inselstation mit maritimem Klima, Bremen eine typische Flachlandstation und Braunschweig eine Station am Nordrand des Mittelgebirges, wo das Klima bereits zunehmend kontinental geprägt ist. Die drei Stationen liegen auf einer von NW nach SE verlaufenden Linie; der Abstand BN-NY beträgt 130 km, der zwischen BN und BG 140 km. Die 850 hPa-Windrichtung wurde an der aerologischen Station Hannover gemessen.

Der Vergleich dieser drei Stationen ist in Abb. 17 dargestellt. Im Frühling treten maximale Werte von G/G_0 bei Wind aus dem NE-Sektor (in BG aus SE) auf, minimale Werte bei W-Wind (in BN aus SW). Im Sommer sind die Maxima bei Wind aus E-SE zu finden, minimale Werte ergeben sich in NY bei SW-Wind, in BN bei W-Wind und in BG bei NW-Wind. Im Herbst gibt es keine ausgeprägten Extrema, alle Stationen weisen aber bei Wind aus N und S relative Maxima auf. Der Verlauf von G/G_0 im Winter ist durch minimale Werte bei SW-W-Wind und durch das Fehlen eines Hauptmaximums charakterisiert.

Beim Vergleich der Stationen untereinander fällt auf, daß die Station NY in allen Jahreszeiten zwar den relativ höchsten, über alle Windrichtungen gemittelten Wert von G/G_0 besitzt, bei Wind aus S-SW aber z.T. deutlich geringere Werte aufweist als die Station BG. Hierfür gibt es zwei Gründe:

Zum einen liegt die Station BG bei S- und SW-Wind im Lee des Harzes und des Weserberglandes, was einen im Mittel geringeren Bedeckungsgrad verursacht, als dies bei anderen Windrichtungen der Fall ist. Die Luvlage bei Wind aus NW bis NE hat umgekehrt zur Folge, daß BG bei diesen Windrichtungen im Vergleich zu den anderen Stationen die geringste relative Globalstrahlung aufweist.

Zum anderen entfällt bei ablandigen Windrichtungen der Vorteil einer Inselstation bzgl. des Strahlungsgenusses, der bei auflandigem Wind eine wichtige Rolle spielt. Besonders in den wärmeren Jahreszeiten, wenn die Wassertemperatur tagsüber deutlich unter der der Festlandsoberfläche liegt, ist die durch thermische Konvektion hervorgerufene Wolkenbildung über dem Meer merklich schwächer als über Land. Erreicht die Luft aber die Küste, so bildet sich landeinwärts wegen der vergrößerten Bodenreibung ein Luftstau, der die meistens sehr feuchte Luft zum Aufsteigen zwingt und zur Wolkenbildung führt. Dies dürfte auch die Ursache dafür sein, daß bei W-Wind an der Station BN zu allen Jahreszeiten der Mittelwert der relativen Globalstrahlung am geringsten ist.

Die Abhängigkeit der Korrelation von der Windrichtung (Abb. 17b) ist bei den Stationspaaren BN-BG und BN-NY insbesondere in den Übergangsjahreszeiten Frühling und Herbst sehr ähnlich. Die höchsten Korrelationen treten dann bei Windrichtungen aus E-S auf, niedrige bei SW-W-Wind. Das Stationspaar BN-NY ist, außer im Winter, bei Wind aus N-NE sehr schlecht korreliert.

6. RÄUMLICHE VERTEILUNG DER GLOBALSTRAHLUNG

Ausgangsdaten für eine Kartierung der Globalstrahlung sind die in Tab. 1a aufgeführten Monatsmittel der Tageswerte der relativen Globalstrahlung G/G_0 im Zeitraum 1982-1985 an den 28 Stationen des Strahlungsmeßnetzes. Auch hier gilt wegen der Kürze des Untersuchungszeitraums, daß die Ergebnisse keine klimatologische Gültigkeit haben können, wie sie etwa in [8] und [9] erreicht wird. Jedoch ergeben sich viele Gemeinsamkeiten mit diesen Karten.

Die Verwendung der relativen Globalstrahlung hat insbesondere für die Interpolation den Vorteil, daß der Einfluß der geographischen Breite auf Sonnenhöhe und Tageslänge eliminiert wird und als wesentlicher Parameter für die Strahlung nur die Bewölkung eingeht. Diese wiederum ist, wie in Kap. 4.2 gezeigt wurde, in starkem Maße von den Eigenschaften des Untergrundes abhängig. Die orographische Gliederung und der Küstenverlauf sind daher geeignete Orientierungshilfen bei der Interpolation von Zwischenwerten der relativen Globalstrahlung, wenn ein mathematisches Interpolationsverfahren wegen der Inhomogenität des Geländes nicht anwendbar ist.

Ausgehend von den Meßwerten an den Stationen wurde G/G_0 für die Schnittpunkte eines Gitternetzes mit den Maschenweite 10° in E-W-Richtung (ca. 70 km) und $0,5^\circ$ in N-S-Richtung (ca. 56 km) interpoliert. An diesen rund 80 Gitterpunkten wurde dann aus der relativen Globalstrahlung G/G_0 durch Multiplikation mit der dieser geographischen Breite entsprechenden mittleren monatlichen Tagessumme der extraterrestrischen Strahlung G_0 (Tab. 2) die Globalstrahlung G berechnet.

Die mittlere räumliche Verteilung der relativen Globalstrahlung im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland in den Monaten März, Juni, September und Dezember ist in den Abb. 18a bis 18d dargestellt. Die aus diesen Karten berechneten Verteilungen der mittleren monatlichen Tagessummen der Globalstrahlung selbst sind in Abb. 19a bis 19d wiedergegeben.

Wie erwähnt, spiegeln die Karten der relativen Globalstrahlung die meteorologischen Einflußgrößen, insbesondere die Bewölkung wider, während in die Isopyrenfelder der Globalstrahlung zusätzlich die geographische Breite und damit auch die astronomische Jahreszeit eingehen. Deshalb ergeben die beiden Darstellungsarten verschiedene Isolinienmuster. Der Unterschied wird besonders deutlich im Dezember (Abb. 18d und 19d), weil in diesem Monat die Abhängigkeit der extraterrestrischen Sonnenstrahlung von der geographischen Breite am stärksten ist.

Im ganzen gesehen sind sich die G/G_0 -Verteilungen in den vier Monaten viel ähnlicher als die G -Karten. Da die G/G_0 -Karten hier jedoch nur als Hilfsmittel verwendet wurden, werden im folgenden nur die Ergebniskarten von G beschrieben.

Im März treten in Schleswig-Holstein und im Ruhrgebiet die geringsten Globalstrahlungswerte um $2,1 \text{ kWhm}^{-2}$ auf. Die höchsten Werte $2,8 \text{ kWhm}^{-2}$ werden im Alpenvorland erreicht.

Im Juni verlaufen die Isopyren der Tagessumme in Norddeutschland nahezu küstenparallel, wobei die Globalstrahlung landeinwärts abnimmt. Minimale Werte ergeben sich in einem streifenförmigen Gebiet, das sich ähnlich wie im März vom Niederrhein ($G = 4,5 \text{ kWhm}^{-2}$) über das südliche Münsterland bis ins östliche Schleswig-Holstein ($G = 4,7 \text{ kWhm}^{-2}$) erstreckt. Die höchsten Werte weist das westliche Alpenvorland ($5,5 \text{ kWhm}^{-2}$) auf. Wie auch in den anderen Monaten erstreckt sich das Gebiet mit hohen Globalstrahlungswerten keilförmig bis zur Mainlinie.

Im September ist die Verteilung der Globalstrahlung in Norddeutschland ähnlich wie im März mit minimalen Werten in Schleswig-Holstein ($2,6 \text{ kWhm}^{-2}$) und im Gebiet Münsterland-Niederrhein ($2,7 \text{ kWhm}^{-2}$). Die höchsten Tagessummen mit über $3,4 \text{ kWhm}^{-2}$ treten westlich der Fränkischen Alb auf.

Der Verlauf der Isopyren im Dezember ist im wesentlichen breitenparallel mit einem Anstieg der Globalstrahlung von Werten unter $0,4 \text{ kWhm}^{-2}$ in Schleswig-Holstein auf Werte über $0,7 \text{ kWhm}^{-2}$ im Alpenvorland. Daher steigt auch der Gradient der Isopyren von Norden nach Süden an.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Hamburg (1978-86): Ergebnisse von Strahlungsmessungen in der Bundesrepublik Deutschland sowie von speziellen Meßreihen am Meteorologischen Observatorium Hamburg, Bd. 1-10 (wird fortgesetzt).
2. Kasten, F.; Dehne, K.; Behr, H.D.; Bergholter, U. (1984): Die räumliche und zeitliche Verteilung der diffusen und direkten Sonnenstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland. BMFT-FB-T84-125.
3. World Meteorological Organization (1982): Commission for Instruments and Methods of Observation, Abridged final report of the eighth session (1981). Secretariat of the World Meteorological Organization, WMO no. 590, Genf, 71-75.
4. Kasten, F.; Golchert, H.J. (1981): Statistik der Globalstrahlung an acht Stationen des Deutschen Wetterdienstes. Ber. Deutsch. Wetterdienst Nr. 156.
5. Kasten, F.; Czeplak, G. (1980): Solar and terrestrial radiation dependent on the amount and type of cloud. Solar Energy 24, no. 2, 177-189.
6. Neuwirth, F. (1981): Die Abhängigkeit der relativen Globalstrahlung von Zeit und Ort in Österreich. Arch. Meteor. Geophys. Biokl., Ser. B, 29, 253-268.
7. Malberg, H. (1986): Die topographischen Auswirkungen des Oberrheingrabens auf die Strömungs-, Temperatur-, Feuchte- und Luftdruckverhältnisse im Vergleich zum synoptischen Grundzustand während MESOCLIP. Meteor. Rundschau 39, No. 6, 188-196.
8. Golchert, H.J. (1981): Mittlere monatliche Globalstrahlungsverteilungen in der Bundesrepublik Deutschland. Meteor. Rundschau 34, Nr. 5, 143-151.
9. Kasten, F.; Golchert, H.J.; Dogniaux, R.; Lemoine, M. (1984): Atlas über die Sonnenstrahlung Europas, Band I: Globalstrahlung auf die horizontale Empfangsebene. 2. verb. u. erw. Aufl., hrsg. v. W. Palz. Verlag TÜV Rheinland.

TABELLENVERZEICHNIS

Seite

<p>Tab. 1a: Monatsmittel der Tageswerte der relativen Globalstrahlung G/G_0 in % im Zeitraum 1982-1985</p>	<p>25</p>
<p>Tab. 1b: Jahreszeiten- und Jahresmittel der Tageswerte der relativen Globalstrahlung G/G_0 in % im Zeitraum 1982-1985</p>	<p>27</p>
<p>Tab. 2: Monatsmittel der Tagessummen der extraterrestrischen Sonnenstrahlung auf die Horizonte in $Wh \cdot m^{-2}$ in Abhängigkeit von der geographischen Breite</p>	<p>28</p>

Abb. 1:	Karte der Stationen des Strahlungsmeßnetzes des Deutschen Wetterdienstes	29
Abb. 2a:	Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der relativen Globalstrahlung in den Zeiträumen 1957-1985 und 1982-1985 in Hohenpeißenberg	30
Abb. 2b:	Häufigkeitsverteilungen der relativen Globalstrahlung in den einzelnen Jahreszeiten im Zeitraum 1982-1985 in Hohenpeißenberg	30
Abb. 3a:	Wie Abb. 2a, jedoch in Würzburg	31
Abb. 3b:	Wie Abb. 2b, jedoch in Würzburg	31
Abb. 4a:	Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der relativen Globalstrahlung in den Zeiträumen 1966-1985 und 1982-1985 in Braunschweig	32
Abb. 4b:	Häufigkeitsverteilungen der relativen Globalstrahlung in den einzelnen Jahreszeiten im Zeitraum 1982-1985 in Braunschweig	32
Abb. 5a:	Wie Abb. 4a, jedoch in Norderney	33
Abb. 5b:	Wie Abb. 4b, jedoch in Norderney	33
Abb. 6:	Jahresgang der Korrelationskoeffizienten R der Tageswerte der relativen Globalstrahlung für das Stationspaar Hohenpeißenberg/Weißenburg für gleitende Zeiträume von 31 (oben), 91 (Mitte) und 183 (unten) Tage	34
Abb. 7:	Wie Abb. 6, jedoch für das Stationspaar Braunschweig/Hamburg-Sasel	35
Abb. 8:	Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985 in Abhängigkeit vom Abstand a der Stationspaare	36
Abb. 9a:	Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung, im Zeitraum 1982-1985, getrennt nach Monaten, in Abhängigkeit vom Abstand a der Stationspaare; Januar bis Juni	37
Abb. 9b:	Wie Abb. 9a, jedoch Juli bis Dezember	38

	Seite
Abb. 10a: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, getrennt nach norddeutschen (oben) und süddeutschen (unten) Stationspaaren, in Abhängigkeit vom Abstand a der Stationspaare. Monat Januar	39
Abb. 10b: Wie Abb. 10a, jedoch Februar	40
Abb. 10c: März	41
Abb. 10d: April	42
Abb. 10e: Mai	43
Abb. 10f: Juni	44
Abb. 10g: Juli	45
Abb. 10h: August	46
Abb. 10i: September	47
Abb. 10j: Oktober	48
Abb. 10k: November	49
Abb. 10l: Dezember	50
Abb. 11a: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, Monat Juli, west-östlich orientierte Stationspaare	51
Abb. 11b: Wie Abb. 11a, jedoch nord-südlich orientierte Stationspaare	51
Abb. 11c: Wie Abb. 11a, jedoch nordwest-südöstlich orientierte Stationspaare	52
Abb. 11d: Wie Abb. 11a, jedoch nordost-südwestlich orientierte Stationspaare	52
Abb. 12a: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, Monat Oktober, west-östlich orientierte Stationspaare	53
Abb. 12b: Wie Abb. 12a, jedoch nord-südlich orientierte Stationspaare	53
Abb. 12c: Wie Abb. 12a, jedoch nordwest-südöstlich orientierte Stationspaare	54
Abb. 12d: Wie Abb. 12a, jedoch nordost-südwestlich orientierte Stationspaare	54

Abb. 13a: Zweidimensionale Häufigkeitsverteilung der relativen Globalstrahlung G/G_0 an den Stationen Konstanz und Stuttgart im Sommer	55
Abb. 13b: Wie Abb. 13a, jedoch im Winter	56
Abb. 14a: Zweidimensionale Häufigkeitsverteilung der relativen Globalstrahlung G/G_0 an den Stationen Bremen und Norderney im Sommer	57
Abb. 14b: Wie Abb. 14a, jedoch im Winter	58
Abb. 15a: Relative Globalstrahlung als Funktion der Windrichtung im 850 hPa-Niveau, getrennt nach Jahreszeiten. Stationen Stuttgart, Konstanz, Freiburg, Weißenburg	59
Abb. 15b: Korrelationskoeffizient der relativen Globalstrahlung als Funktion der Windrichtung im 850 hPa-Niveau, getrennt nach Jahreszeiten. Korrelation von Stuttgart mit Konstanz, Freiburg und Weißenburg	60
Abb. 16a: Wie Abb. 15a, jedoch Stationen Osnabrück, Bad Lippspringe, Kassel	61
Abb. 16b: Wie Abb. 15b, jedoch Korrelation von Bad Lippspringe mit Osnabrück und Kassel	62
Abb. 17a: Wie Abb. 15a, jedoch Stationen Bremen, Braunschweig, Norderney	63
Abb. 17b: Wie Abb. 15b, jedoch Korrelation von Bremen mit Braunschweig und Norderney	64
Abb. 18a: Verteilung der relativen Globalstrahlung G/G_0 in der Bundesrepublik Deutschland im März	65
Abb. 18b: Wie Abb. 18a, jedoch im Juni	66
Abb. 18c: Wie Abb. 18a, jedoch im September	67
Abb. 18d: Wie Abb. 18a, jedoch im Dezember	68
Abb. 19a: Verteilung der Globalstrahlung G in der Bundesrepublik Deutschland im März	69
Abb. 19b: Wie Abb. 19a, jedoch im Juni	70
Abb. 19c: Wie Abb. 19a, jedoch im September	71
Abb. 19d: Wie Abb. 19a, jedoch im Dezember	72

Tab. 1a: Monatsmittel der Tageswerte der relativen Globalstrahlung G/G_0 in % im Zeitraum 1982-1985

Station	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
List	31,7	35,4	36,6	44,3	44,8	44,8	46,8	48,5	38,4	31,7	29,7	25,2
Schleswig	29,5	36,1	35,3	42,8	43,5	43,8	48,1	50,0	39,3	32,8	29,5	25,2
Norderney	29,6	38,0	39,2	47,2	44,8	45,3	47,1	47,4	40,1	34,9	31,7	26,4
Hamburg-Sasel	27,0	33,4	33,4	41,2	40,4	40,3	45,6	45,5	37,4	32,9	29,4	23,1
Bremen	31,0	36,5	35,9	41,4	40,3	40,7	44,2	43,6	38,9	34,0	30,2	23,9
Braunschweig	30,8	36,6	37,1	42,3	41,0	42,5	46,3	46,4	40,6	33,1	31,9	25,3
Osnabrück	28,7	37,0	35,7	41,9	39,3	42,3	45,2	45,8	39,4	34,8	30,2	25,1
Bocholt	27,8	37,8	35,6	43,2	38,8	41,6	45,6	44,5	38,2	37,1	30,9	25,5
Bad Lippspringe	28,5	40,6	35,2	40,7	38,5	39,5	44,7	44,6	37,5	33,1	30,5	25,7
Braunlage	28,4	42,2	36,5	39,3	36,0	38,8	45,0	43,0	37,1	32,9	29,6	26,0
Gelsenkirchen	29,6	37,2	33,8	40,7	36,7	38,7	43,3	42,1	36,7	34,8	29,5	25,8
Kassel	28,7	38,9	37,1	42,6	39,3	42,0	46,6	46,2	39,7	33,3	28,4	24,6
Bonn	28,0	38,3	34,5	40,8	35,8	40,6	45,3	44,1	39,2	36,5	33,4	27,5
Gießen	25,6	38,2	36,3	43,8	38,3	43,3	47,6	45,1	40,6	33,2	26,5	22,4
Coburg	28,3	40,4	36,1	42,4	40,7	44,3	49,8	46,2	42,4	34,1	28,5	24,5
Geisenheim	25,7	37,5	38,0	44,0	38,1	45,1	48,8	45,5	42,0	33,6	26,7	24,5
Würzburg	31,1	40,1	39,6	45,0	40,9	47,0	50,2	46,4	45,1	37,1	30,9	26,8
Trier	25,2	39,3	38,0	43,1	37,7	44,7	51,0	46,1	41,7	35,1	28,5	24,6
Mannheim	28,1	39,5	38,2	44,1	39,4	45,6	49,7	45,8	43,2	35,1	31,0	26,0

(Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite)

Tab. 1a (Fortsetzung)

Station	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
Nürnberg	26,5	39,5	37,0	42,8	39,1	44,4	49,5	46,0	44,5	36,5	30,9	25,9
Saarbrücken	24,9	38,2	38,2	42,3	37,8	45,3	52,2	46,4	42,3	34,7	29,8	26,0
Weißenburg	33,4	43,3	41,1	44,7	40,9	45,9	51,3	46,8	46,5	40,0	34,3	29,3
Stuttgart	31,6	39,6	38,6	44,4	39,5	46,4	49,9	46,3	45,3	39,3	38,5	31,4
Passau	31,6	41,9	40,7	43,1	45,7	45,2	51,5	47,8	45,0	39,2	32,1	27,7
Weihenstephan	35,0	42,3	41,1	44,8	44,8	46,9	52,1	47,0	44,7	38,6	31,4	30,2
Freiburg	29,2	38,4	40,1	43,5	39,0	47,1	51,4	47,7	44,4	39,0	30,4	29,3
Hohenpeißenberg	42,1	46,6	48,2	47,2	44,8	46,2	52,8	46,7	49,1	49,4	42,1	41,8
Konstanz	29,7	37,8	42,2	46,6	42,6	47,6	52,7	37,4	43,7	37,9	27,3	30,2

Tab. 1b: Jahreszeiten- und Jahresmittel der Tageswerte der relativen Globalstrahlung G/G_0 in % im Zeitraum 1982-1985.

Definition der Jahreszeiten:

Winter: Dezember, Januar, Februar

Frühling: März, April, Mai

Sommer: Juni, Juli, August

Herbst: September, Oktober, November

Station	WINTER	FRÜHLING	SOMMER	HERBST	Jahr
List	30,6	41,9	46,7	33,2	38,2
Schleswig	30,1	40,5	47,3	33,9	38,0
Norderney	31,1	43,7	46,6	35,6	39,3
Hamburg-Sasel	27,7	38,3	43,8	33,2	35,8
Bremen	30,3	39,2	42,9	34,4	36,7
Braunschweig	30,7	40,1	45,1	35,2	37,8
Osnabrück	30,1	39,4	44,5	34,8	37,2
Bocholt	30,1	39,2	43,9	35,4	37,2
Bad Lippspringe	31,3	38,1	43,0	33,7	36,6
Braunlage	31,9	37,2	42,3	33,2	36,2
Gelsenkirchen	30,7	37,0	41,4	33,7	35,7
Kassel	30,9	39,6	45,0	33,8	37,4
Bonn	31,1	37,0	43,4	36,4	37,0
Gießen	28,4	39,4	45,4	33,4	36,7
Coburg	30,8	39,7	46,8	34,6	38,0
Geisenheim	29,0	40,0	46,5	34,1	37,3
Würzburg	32,4	41,8	47,9	37,7	40,0
Trier	29,4	39,6	47,3	35,1	37,9
Mannheim	30,9	41,0	47,0	36,4	38,9
Nürnberg	30,4	39,6	46,7	37,3	38,5
Saarbrücken	29,4	39,4	48,0	35,6	38,1
Weißenburg	35,1	42,2	48,0	40,3	41,5
Stuttgart	34,1	40,8	47,5	41,0	40,9
Passau	33,5	43,2	48,2	38,8	41,0
Weihenstephan	35,6	43,7	48,7	38,2	41,6
Freiburg	32,1	40,8	48,8	37,9	39,9
Hohenpeißenberg	43,4	46,7	48,6	46,9	46,4
Konstanz	32,4	43,8	49,3	36,3	40,5

Tab. 2: Monatsmittel der Tagessummen der extraterrestrischen Sonnenstrahlung auf die Horizontale in $\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}$ in Abhängigkeit von der geographischen Breite

Breite in Grad	JAN	FEB	MÄR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
47.0	3104	4646	6856	9154	10873	11625	11225	9778	7671	5376	3515	2664
47.2	3070	4613	6828	9136	10866	11623	11221	9764	7647	5345	3481	2631
47.4	3036	4579	6799	9117	10858	11621	11216	9750	7622	5313	3447	2597
47.6	3002	4546	6771	9099	10850	11619	11211	9735	7598	5282	3413	2564
47.8	2968	4513	6743	9080	10842	11617	11206	9721	7573	5250	3379	2530
48.0	2934	4479	6715	9062	10834	11615	11201	9707	7549	5218	3345	2497
48.2	2900	4446	6686	9043	10826	11612	11196	9692	7524	5187	3311	2463
48.4	2866	4412	6658	9024	10817	11610	11191	9678	7499	5155	3278	2430
48.6	2832	4378	6629	9005	10809	11607	11186	9663	7474	5123	3244	2396
48.8	2798	4345	6600	8986	10801	11605	11181	9649	7449	5091	3210	2363
49.0	2765	4311	6571	8967	10792	11602	11175	9634	7424	5059	3176	2330
49.2	2731	4278	6543	8948	10784	11600	11170	9619	7399	5027	3142	2297
49.4	2697	4244	6514	8928	10775	11597	11165	9604	7373	4995	3109	2264
49.6	2663	4210	6485	8909	10766	11594	11159	9589	7348	4963	3075	2231
49.8	2630	4177	6455	8889	10758	11592	11154	9574	7322	4931	3041	2198
50.0	2596	4143	6426	8870	10749	11589	11148	9558	7297	4898	3007	2165
50.2	2562	4109	6397	8850	10740	11586	11142	9543	7271	4866	2974	2132
50.4	2529	4075	6368	8830	10731	11583	11136	9528	7245	4834	2940	2099
50.6	2495	4042	6338	8810	10722	11580	11131	9512	7220	4802	2906	2066
50.8	2462	4008	6309	8790	10713	11577	11125	9497	7194	4769	2873	2033
51.0	2429	3974	6279	8770	10703	11574	11119	9481	7168	4737	2839	2001
51.2	2395	3940	6250	8750	10694	11571	11113	9465	7142	4704	2806	1968
51.4	2362	3906	6220	8730	10685	11568	11107	9449	7115	4672	2772	1936
51.6	2329	3872	6190	8710	10675	11565	11101	9434	7089	4639	2739	1904
51.8	2295	3838	6160	8689	10666	11562	11095	9418	7063	4607	2705	1871
52.0	2262	3804	6130	8669	10656	11558	11088	9401	7036	4574	2672	1839
52.2	2229	3770	6100	8648	10647	11555	11082	9385	7010	4541	2638	1807
52.4	2196	3736	6070	8627	10637	11552	11076	9369	6983	4509	2605	1775
52.6	2163	3702	6040	8607	10627	11549	11069	9353	6957	4476	2572	1743
52.8	2130	3668	6010	8586	10617	11545	11063	9336	6930	4443	2538	1711
53.0	2097	3634	5980	8565	10608	11542	11057	9320	6903	4410	2505	1680
53.2	2065	3600	5949	8544	10598	11538	11050	9303	6876	4377	2472	1648
53.4	2032	3566	5919	8523	10588	11535	11044	9287	6849	4345	2439	1616
53.6	1999	3532	5888	8501	10578	11531	11037	9270	6822	4312	2405	1585
53.8	1967	3498	5858	8480	10568	11528	11031	9253	6795	4279	2372	1554
54.0	1934	3464	5827	8459	10557	11524	11024	9236	6768	4246	2339	1523
54.2	1902	3430	5797	8437	10547	11521	11017	9219	6741	4213	2306	1492
54.4	1869	3396	5766	8416	10537	11517	11011	9202	6713	4179	2273	1461
54.6	1837	3362	5735	8394	10527	11514	11004	9185	6686	4146	2240	1430
54.8	1805	3328	5704	8373	10516	11510	10997	9168	6658	4113	2208	1399
55.0	1773	3294	5673	8351	10506	11507	10990	9151	6631	4080	2175	1369
55.2	1741	3260	5642	8329	10496	11503	10984	9134	6603	4047	2142	1338
55.4	1709	3226	5611	8307	10485	11500	10977	9116	6575	4014	2109	1308

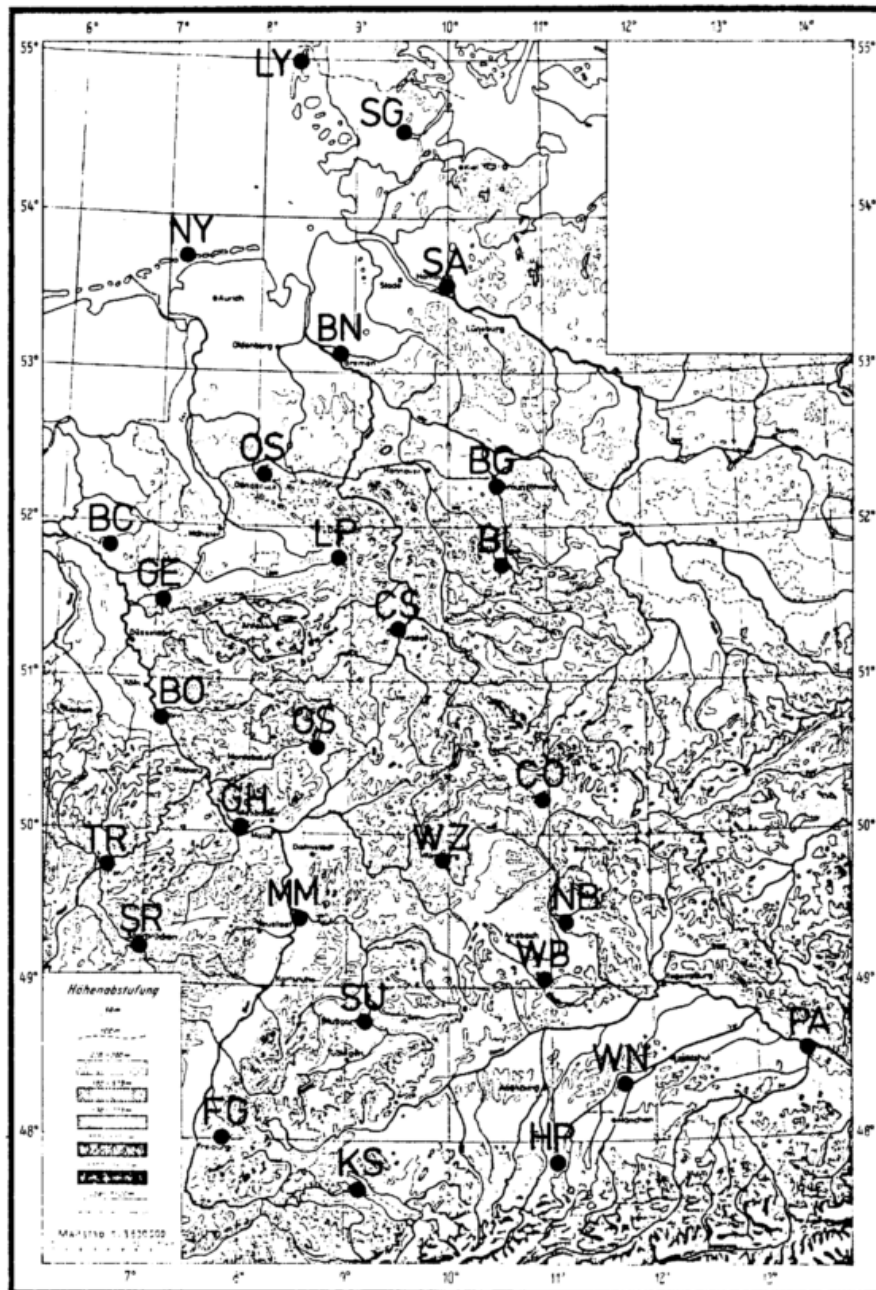


Abb. 1: Karte des Strahlungsmeßnetzes des Deutschen Wetterdienstes

BC = Bocholt	BG = Braunschweig	BL = Braunlage
BN = Bremen	BO = Bonn	CO = Coburg
CS = Kassel	FG = Freiburg	GE = Gelsenkirchen
GH = Geisenheim	GS = Gießen	HP = Hohenpeißenberg
KS = Konstanz	LP = Bad Lippspringe	LY = List auf Sylt
MM = Mannheim	NB = Nürnberg	NY = Norderney
OS = Osnabrück	PA = Passau	SA = Hamburg-Sasel
SG = Schleswig	SR = Saarbrücken	SU = Stuttgart
TR = Trier	WB = Weißenburg	WN = Weihenstephan
WZ = Würzburg		

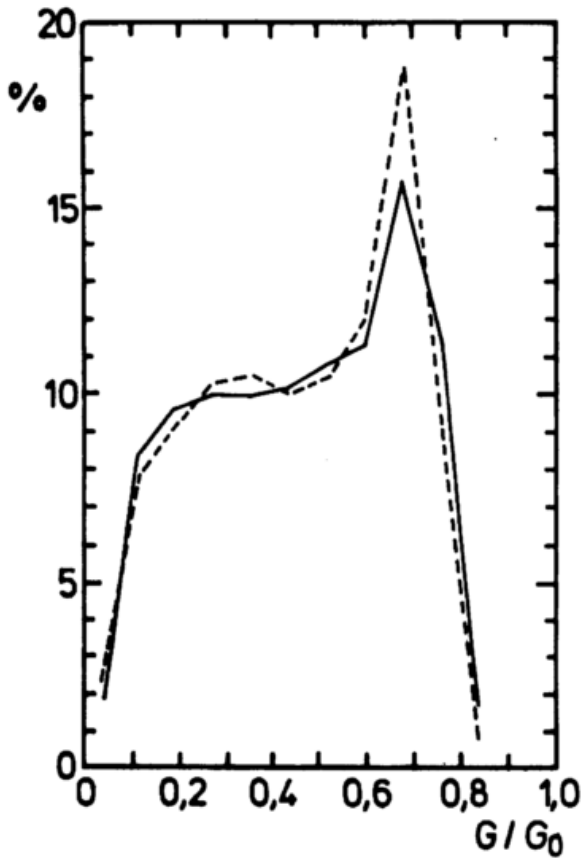


Abb. 2a:

Verqleich der Häufigkeitsverteilungen der relativen Globalstrahlung in den Zeiträumen 1957-1985 und 1982-1985 in Hohenpeißenberg

— 1957-1985, Mittel 0,466
 - - - - 1982-1985, Mittel 0,464

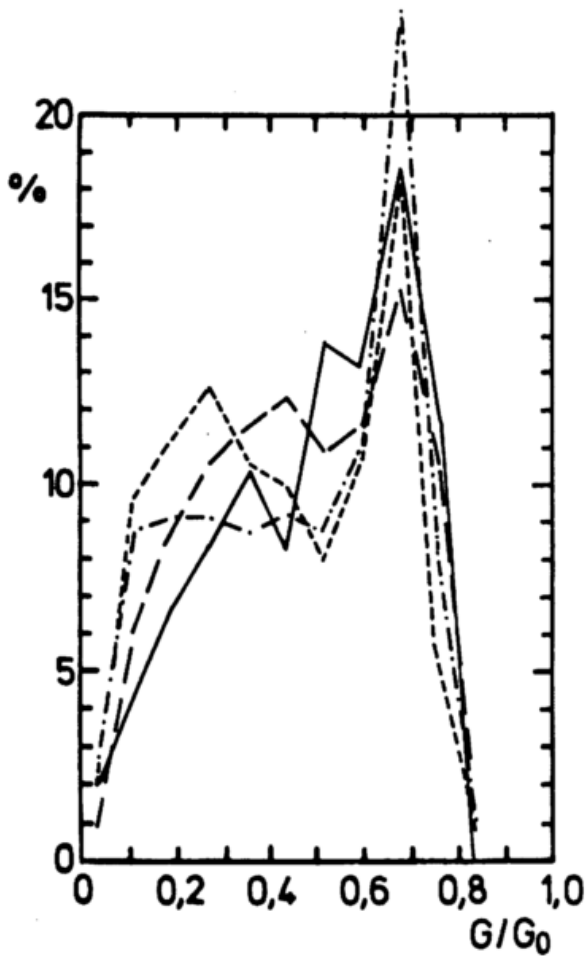


Abb. 2b:

Häufigkeitsverteilungen der relativen Globalstrahlung in den einzelnen Jahreszeiten im Zeitraum 1982-1985 in Hohenpeißenberg

- - - - Frühling, Mittel 0,467
 — Sommer, Mittel 0,486
 - · - · - Herbst, Mittel 0,469
 - - - - Winter, Mittel 0,434

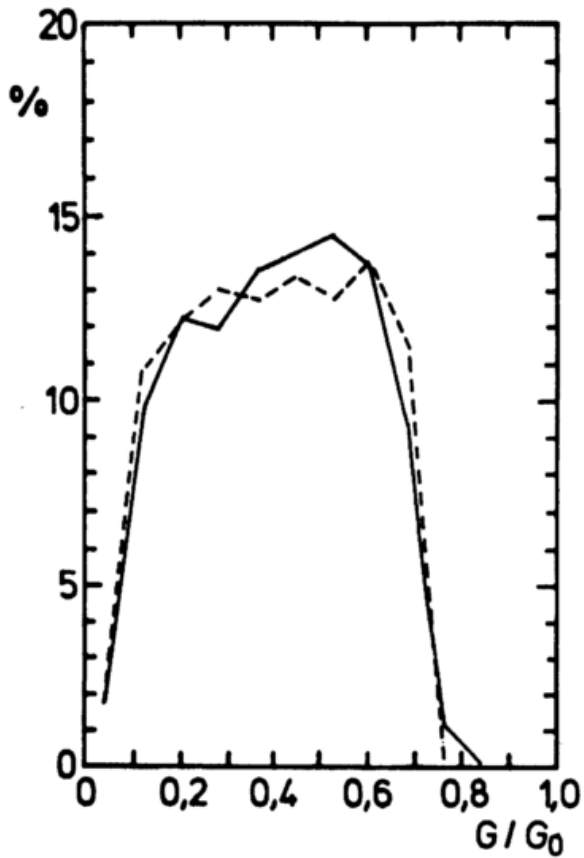


Abb. 3a:

Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der relativen Globalstrahlung in den Zeiträumen 1957-1985 und 1982-1985 in Würzburg

- 1957-1985, Mittel 0,402
- - - 1982-1985, Mittel 0,400

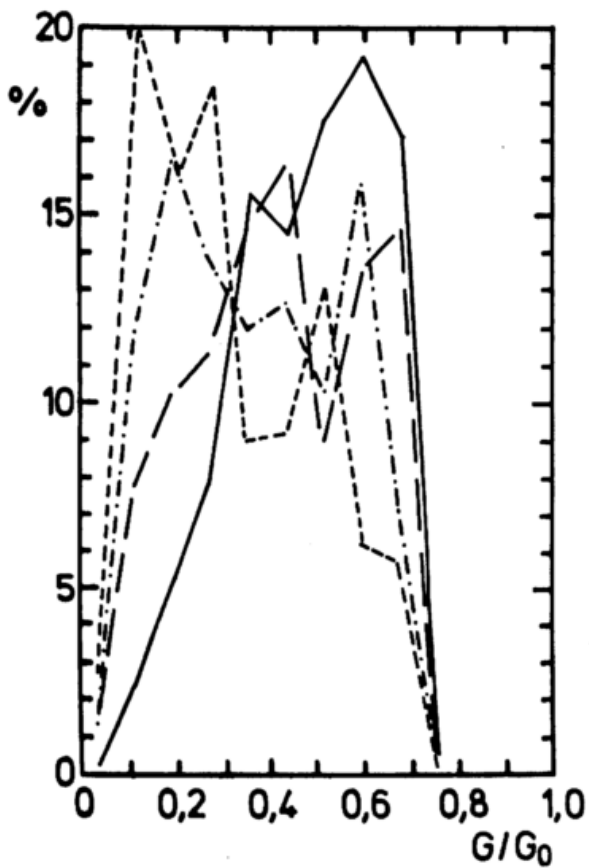


Abb. 3b:

Häufigkeitsverteilungen der relativen Globalstrahlung in den einzelnen Jahreszeiten im Zeitraum 1982-1985 in Würzburg

- Frühling, Mittel 0,418
- - - Sommer, Mittel 0,479
- . - . Herbst, Mittel 0,377
- . - - Winter, Mittel 0,324

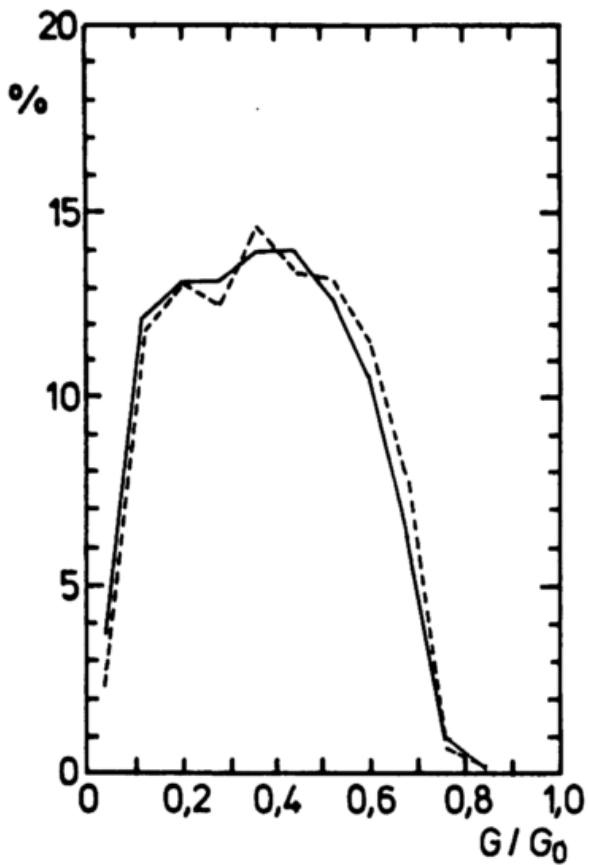


Abb. 4a:

Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der relativen Globalstrahlung in den Zeiträumen 1966-1985 und 1982-1985 in Braunschweig

— 1966-1985, Mittel 0,368
 - - - 1982-1985, Mittel 0,378

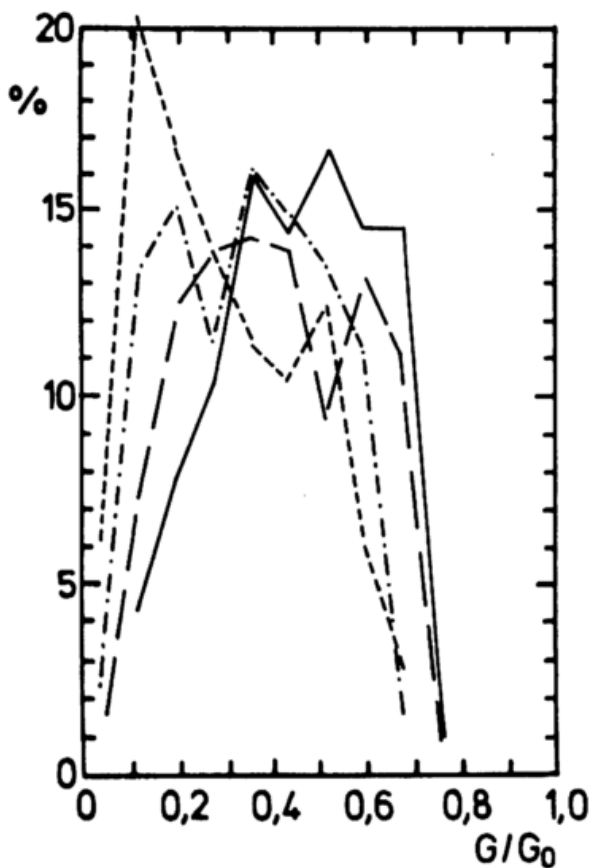


Abb. 4b:

Häufigkeitsverteilungen der relativen Globalstrahlung in den einzelnen Jahreszeiten im Zeitraum 1982-1985 in Braunschweig

— — — Frühling, Mittel 0,401
 — Sommer, Mittel 0,451
 - · - · - Herbst, Mittel 0,352
 - - - Winter, Mittel 0,307

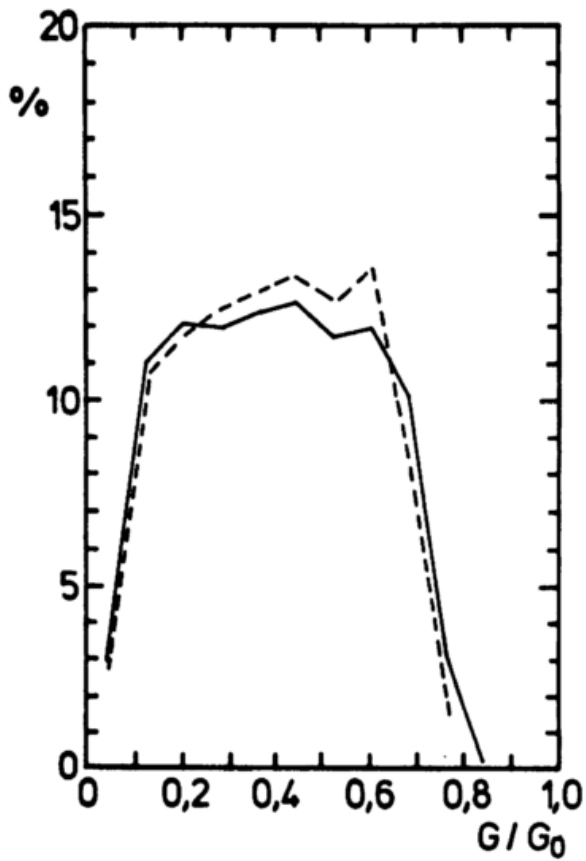


Abb. 5a:

Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der relativen Globalstrahlung in den Zeiträumen 1966-1985 und 1982-1985 in Norderney

— 1966-1985, Mittel 0,398
 - - - 1982-1985, Mittel 0,393

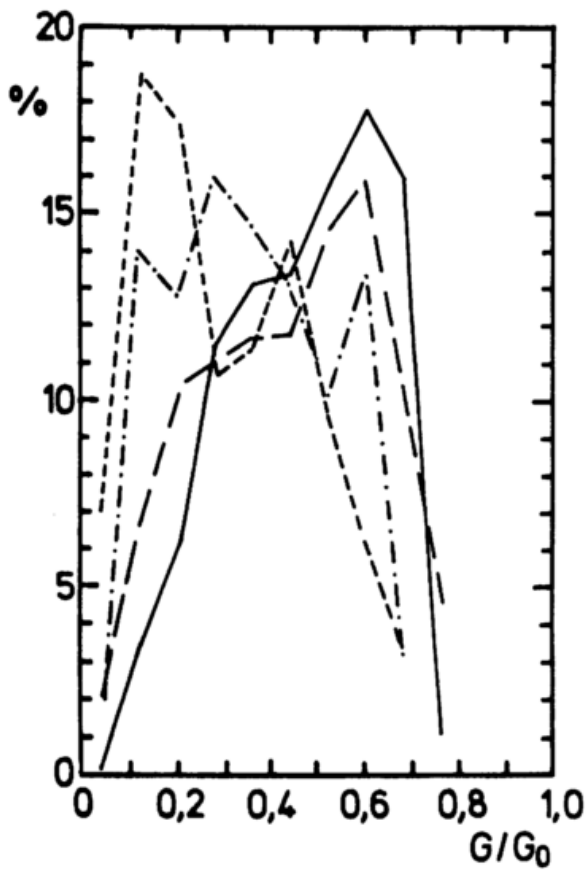


Abb. 5b:

Häufigkeitsverteilungen der relativen Globalstrahlung in den einzelnen Jahreszeiten im Zeitraum 1982-1985 in Norderney

— — — Frühling, Mittel 0,437
 - - - Sommer, Mittel 0,466
 - · - · - Herbst, Mittel 0,356
 - - - Winter, Mittel 0,311

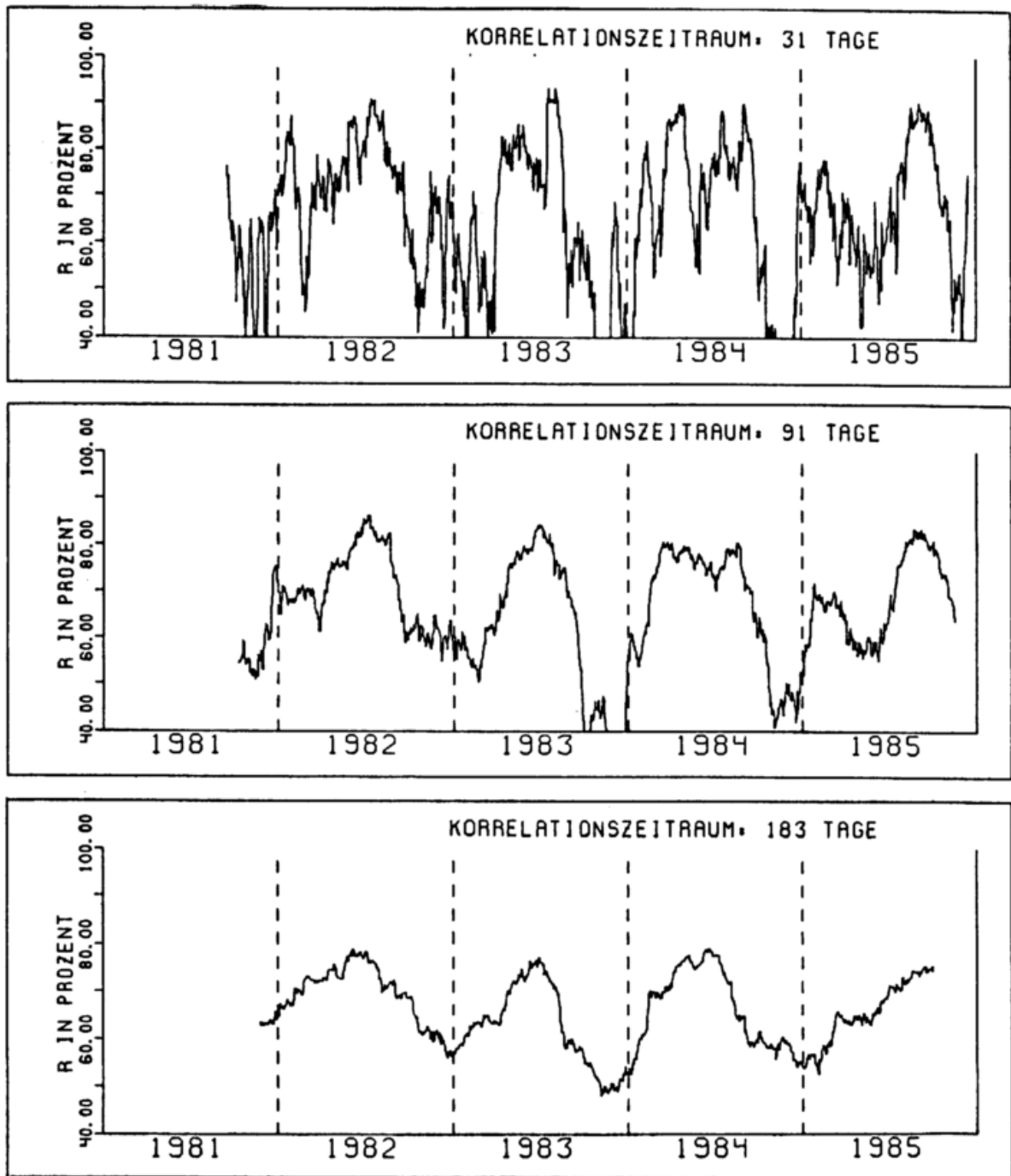


Abb. 6: Jahresgang des Korrelationskoeffizienten R der Tageswerte der relativen Globalstrahlung für das Stationspaar Hohenpeißenberg/Weißenburg für gleitende Zeiträume von 31 (oben), 91 (Mitte) und 183 (unten) Tage

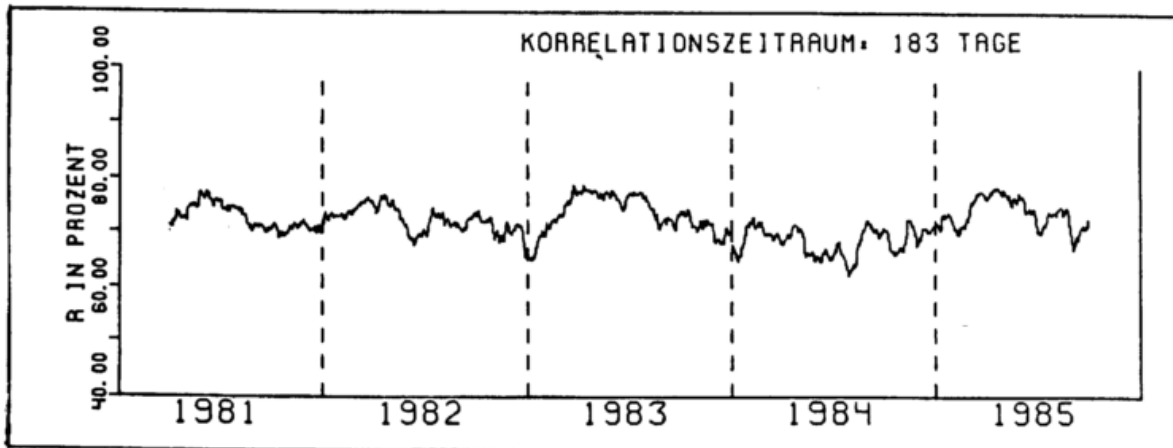
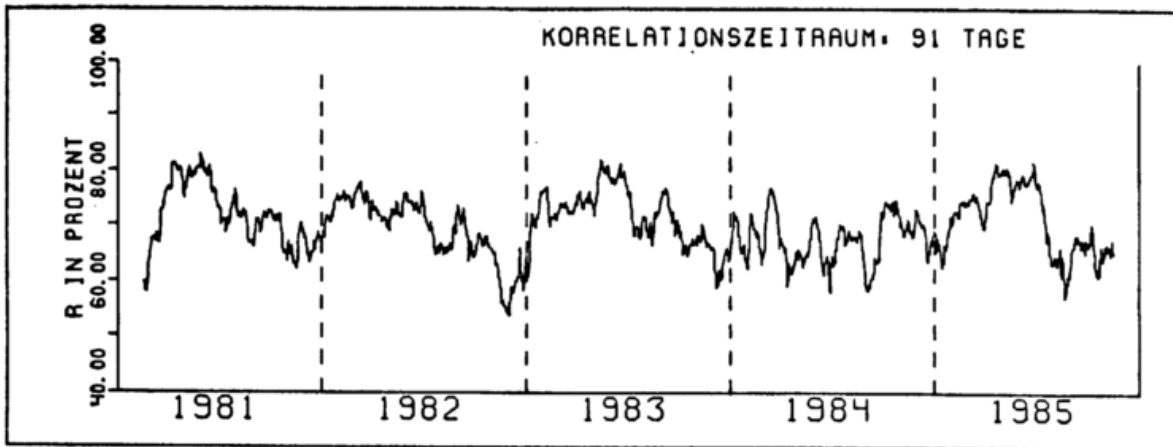
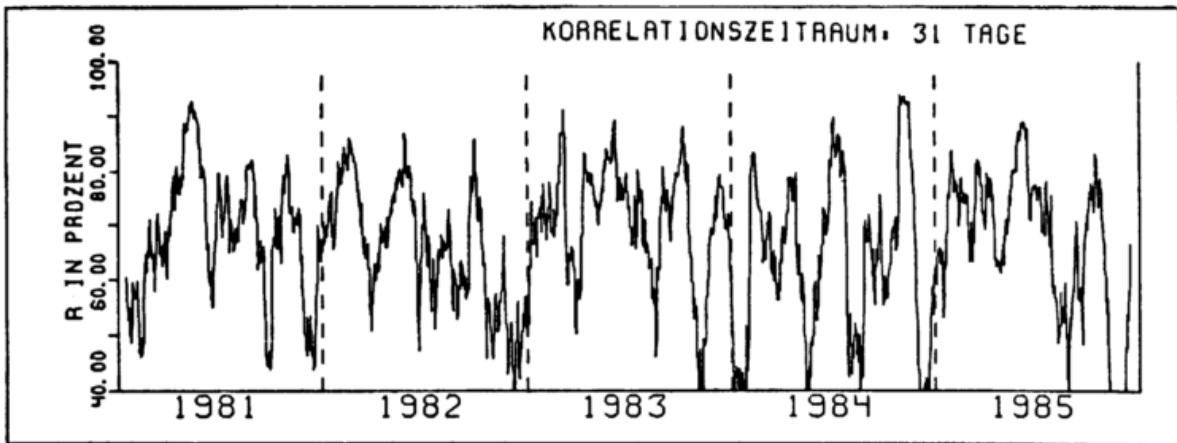


Abb. 7: Jahresgang der Korrelationskoeffizienten R der Tageswerte der relativen Globalstrahlung für das Stationspaar Braunschweig/Hamburg-Sasel für gleitende Zeiträume von 31 (oben), 91 (Mitte) und 183 (unten) Tage

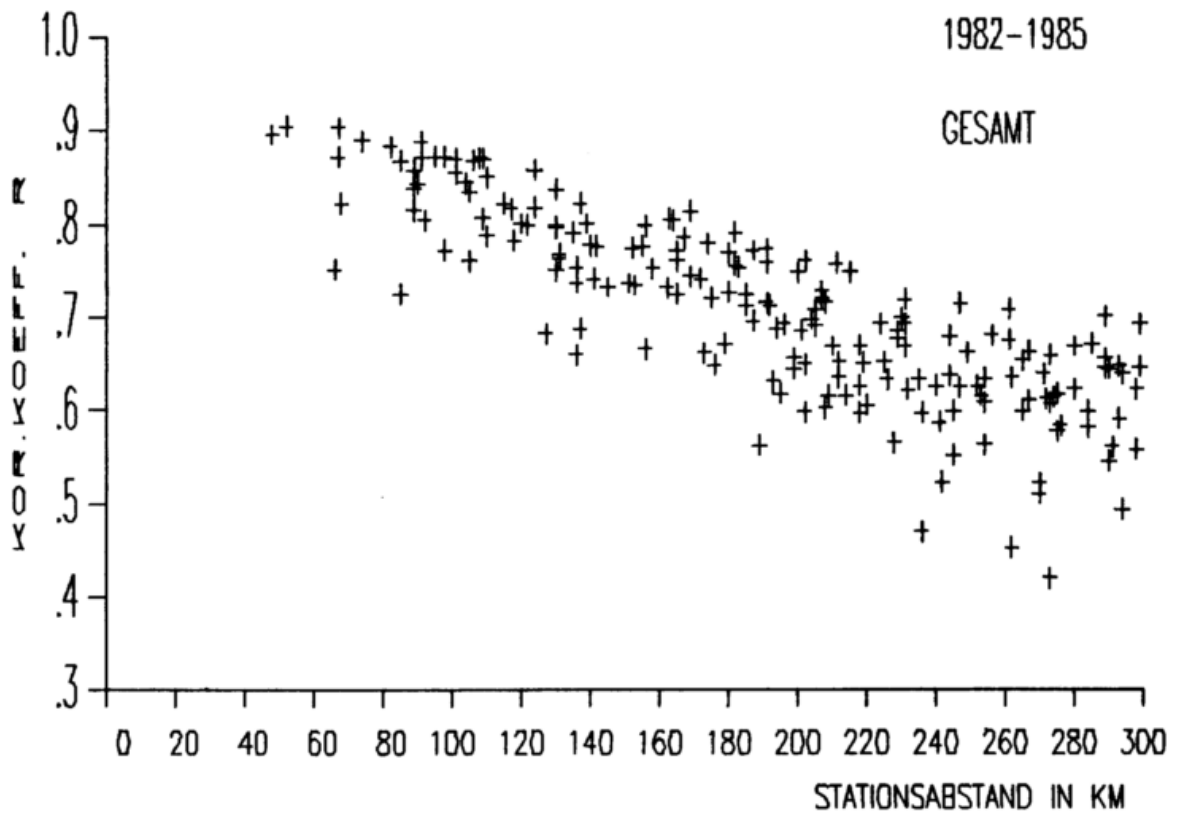


Abb. 8: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985 in Abhängigkeit vom Abstand a der Stationspaare

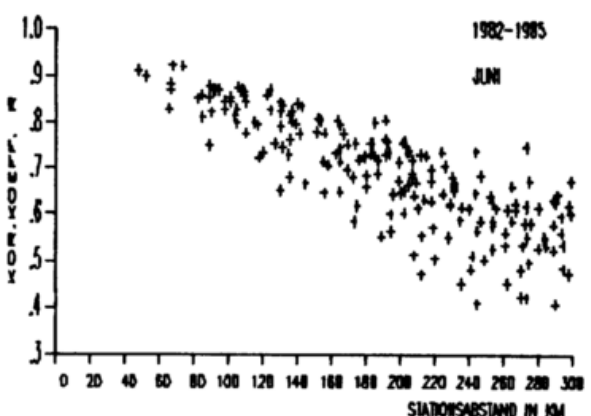
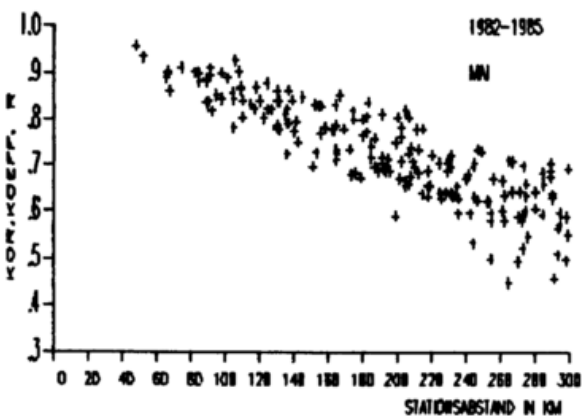
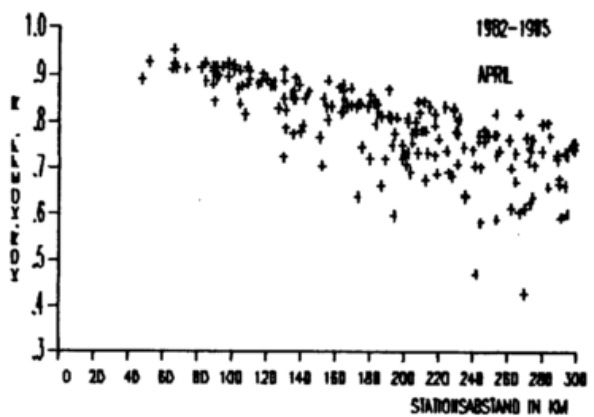
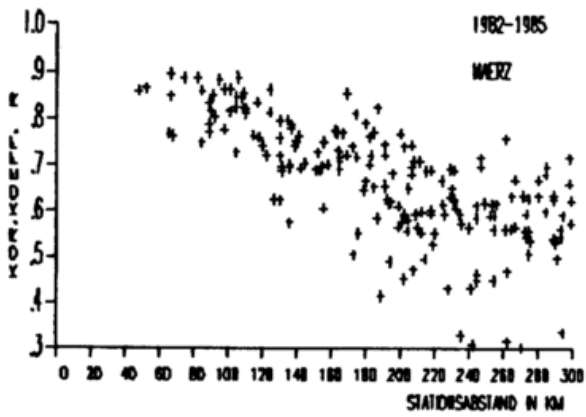
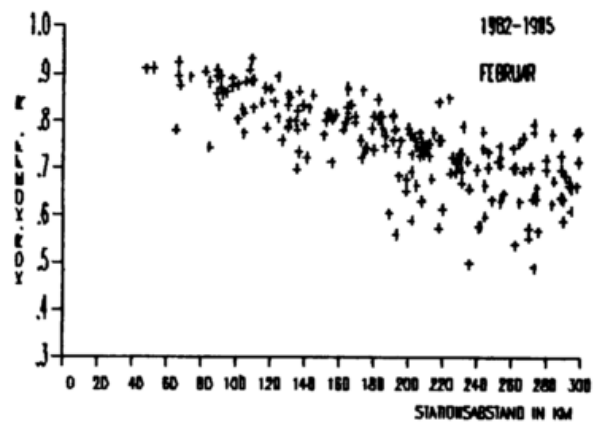
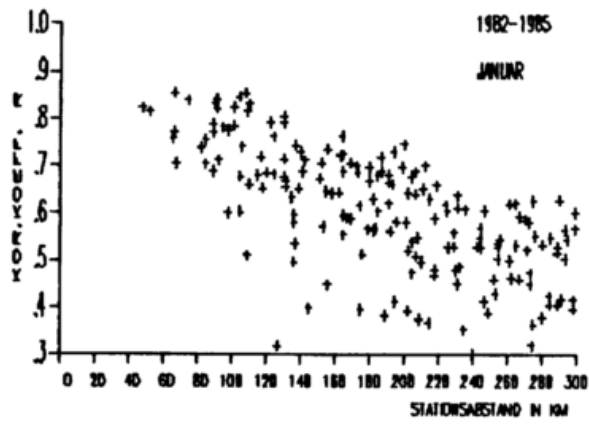


Abb. 9a: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, getrennt nach Monaten, in Abhängigkeit vom Abstand a der Stationspaare; Januar bis Juni

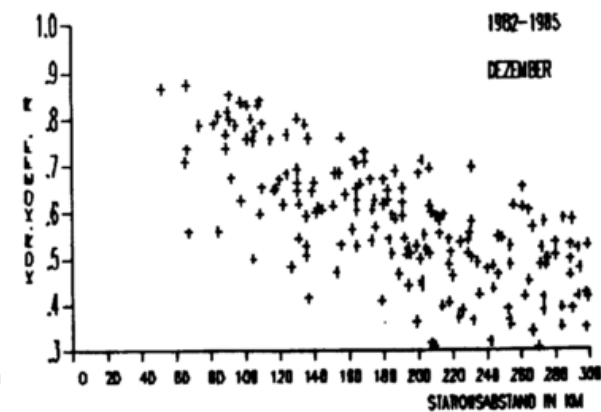
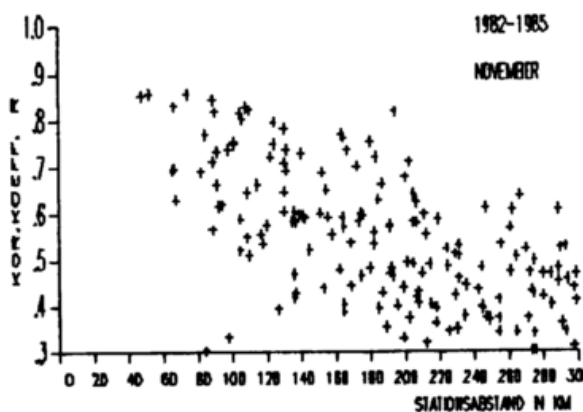
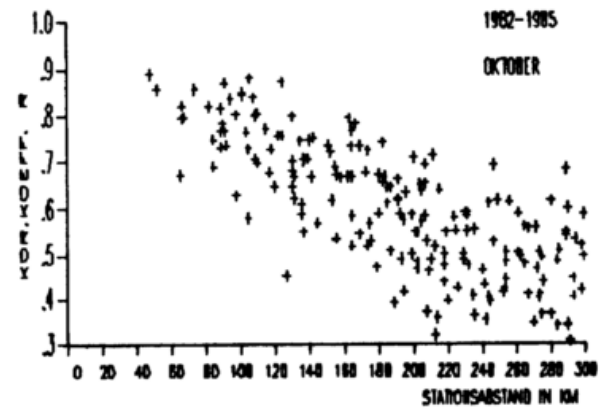
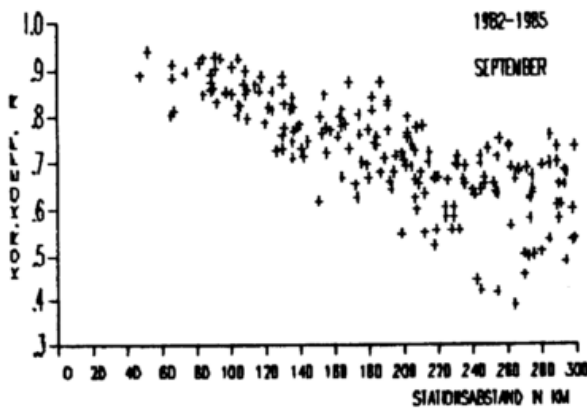
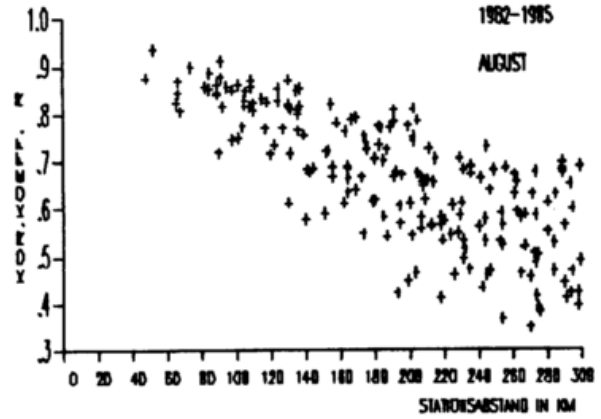
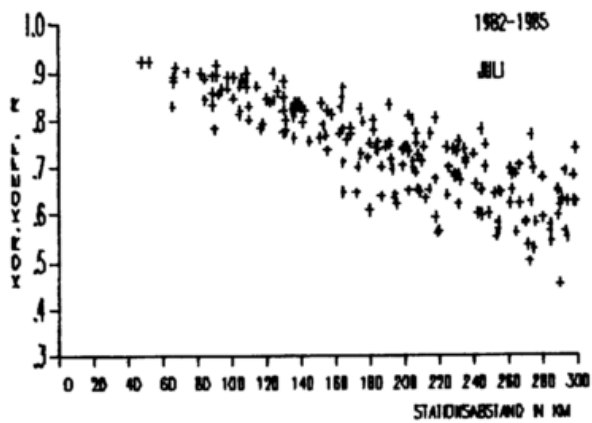


Abb. 9b: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, getrennt nach Monaten, in Abhängigkeit vom Abstand a der Stationspaare; Juli bis Dezember

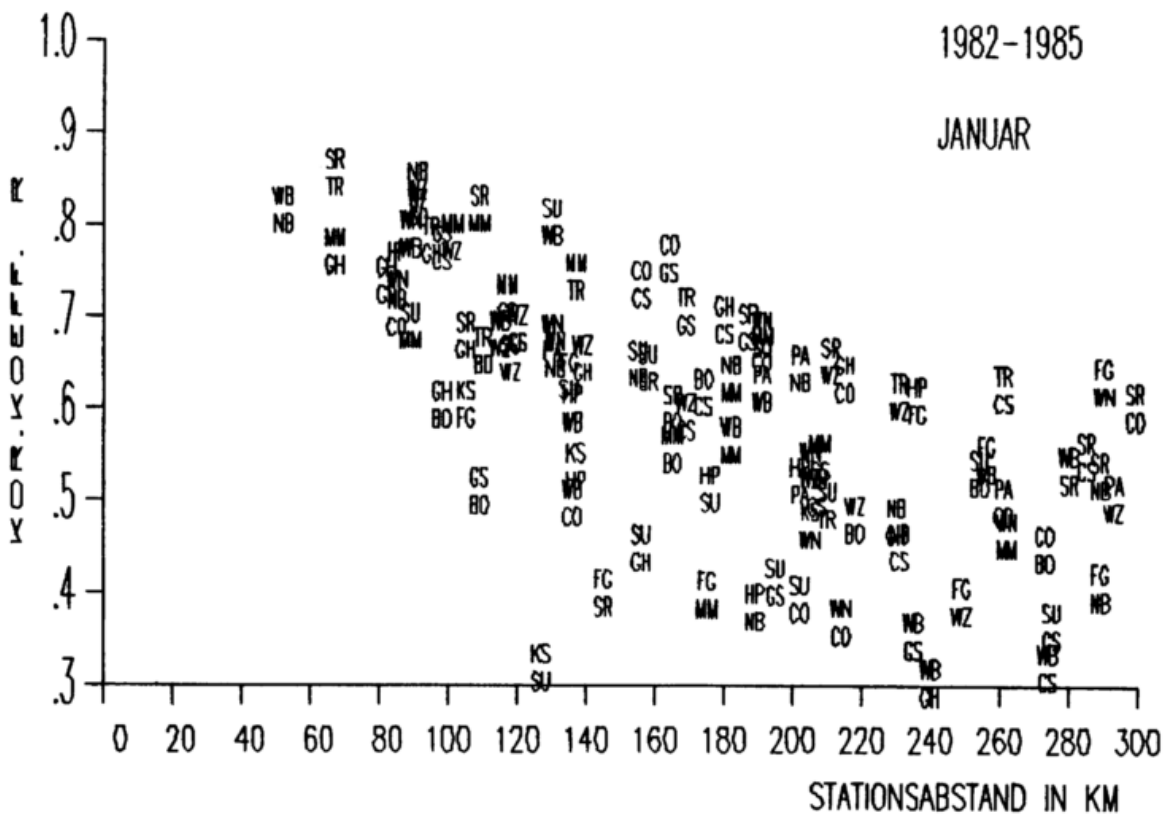
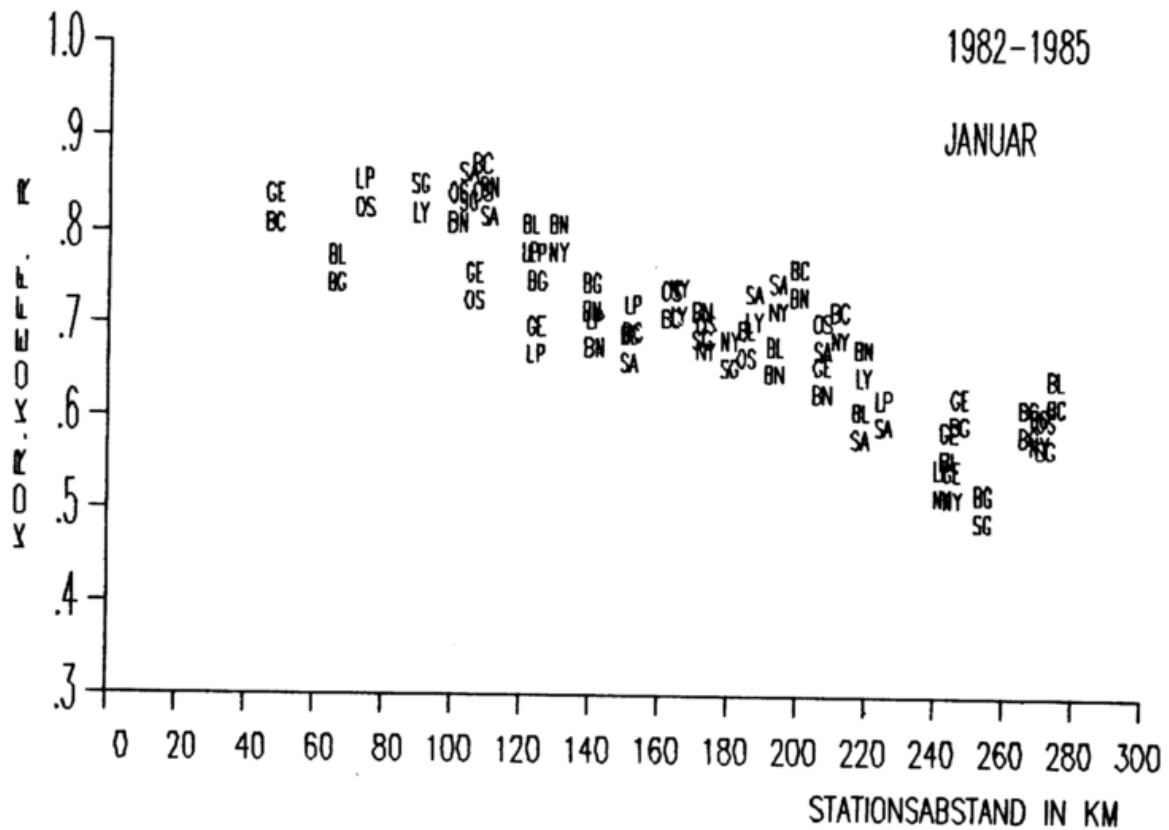


Abb. 10a: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, getrennt nach norddeutschen (oben) und süddeutschen (unten) Stationspaaren, in Abhängigkeit von ihrem Abstand a. Monat Januar

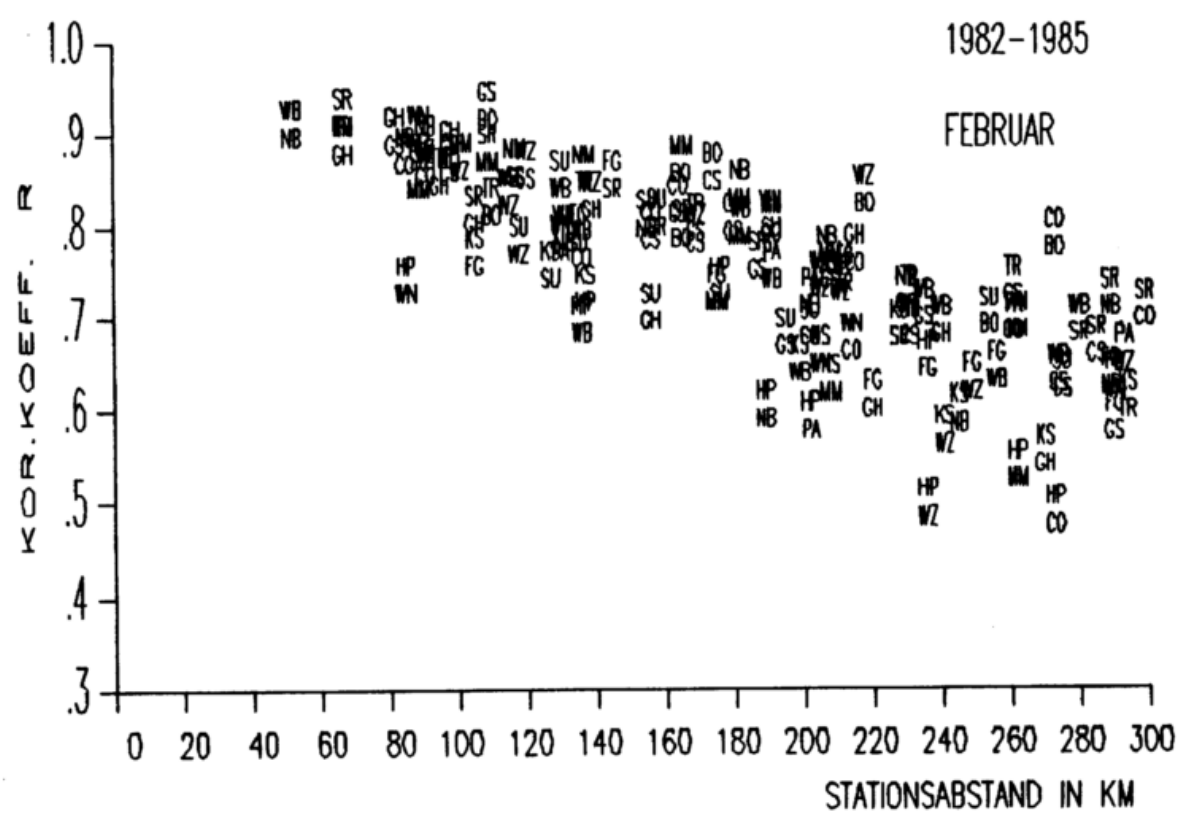
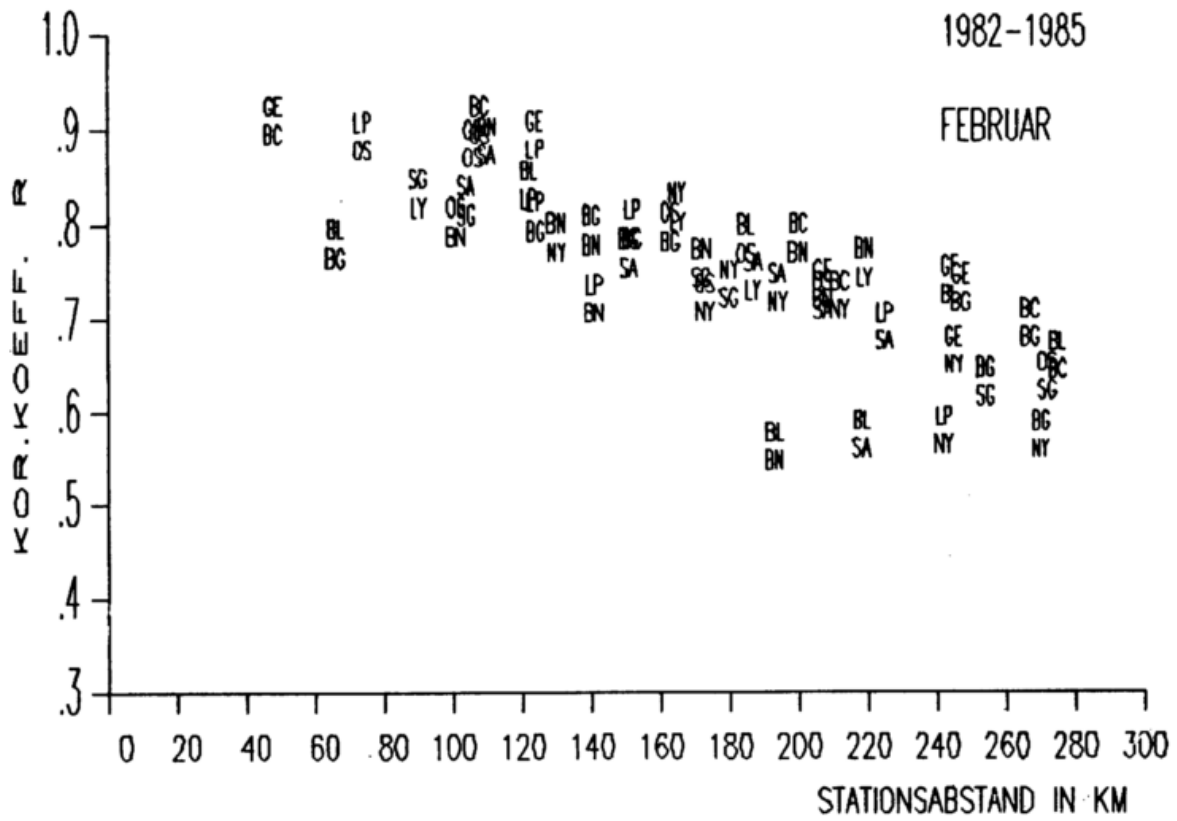


Abb. 10b: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, getrennt nach norddeutschen (oben) und süddeutschen (unten) Stationspaaren, in Abhängigkeit von ihrem Abstand a. Monat Februar

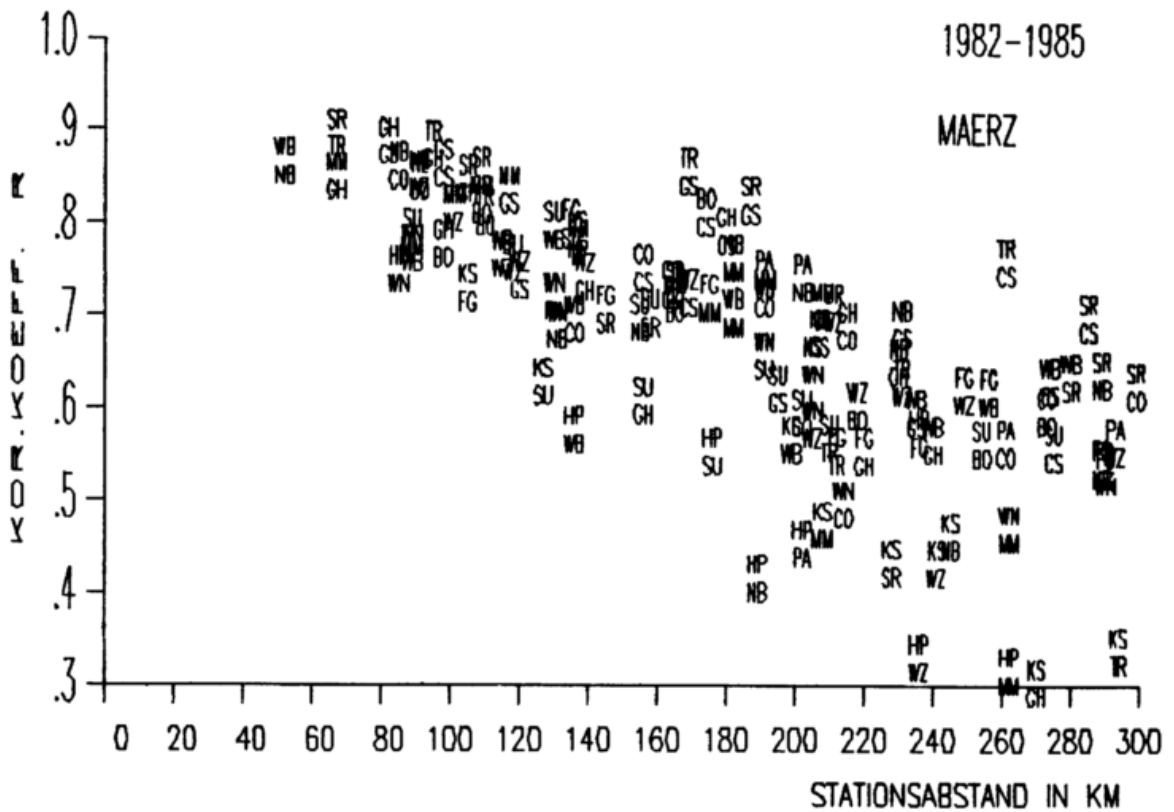
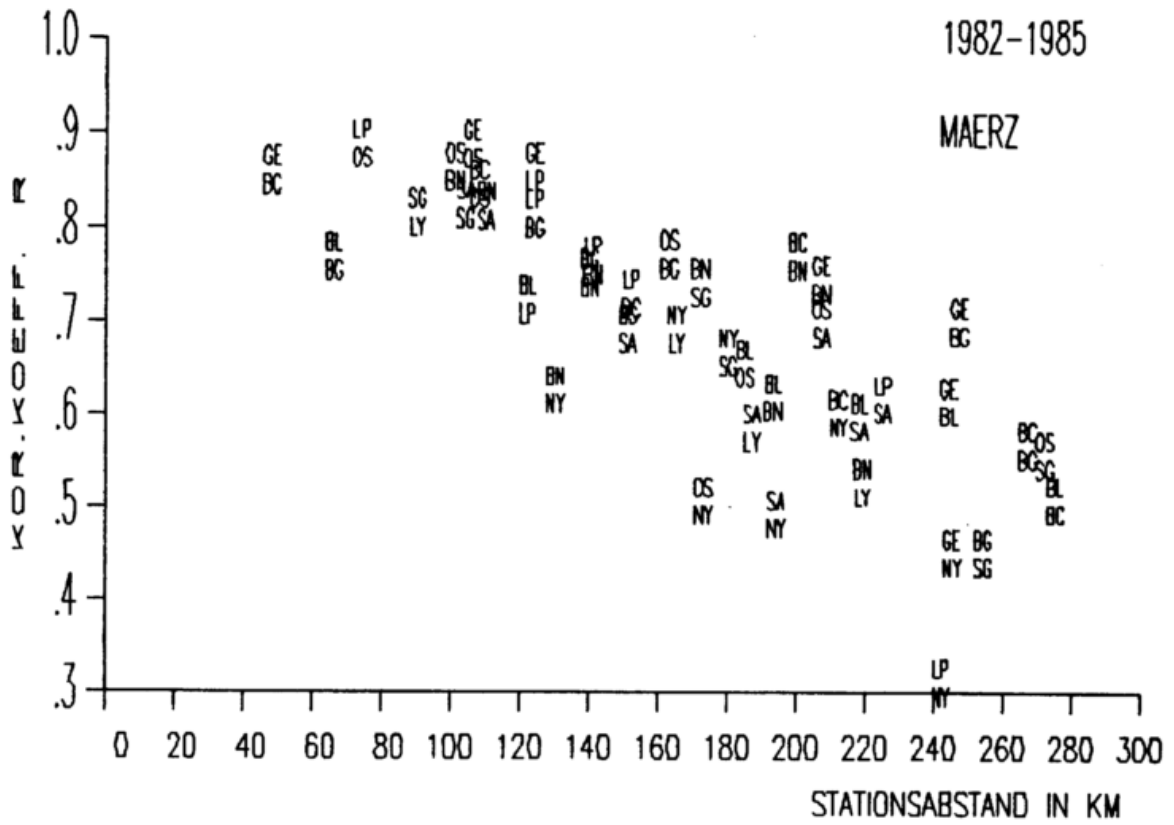


Abb. 10c: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, getrennt nach norddeutschen (oben) und süddeutschen (unten) Stationspaaren, in Abhängigkeit von ihrem Abstand a . Monat März

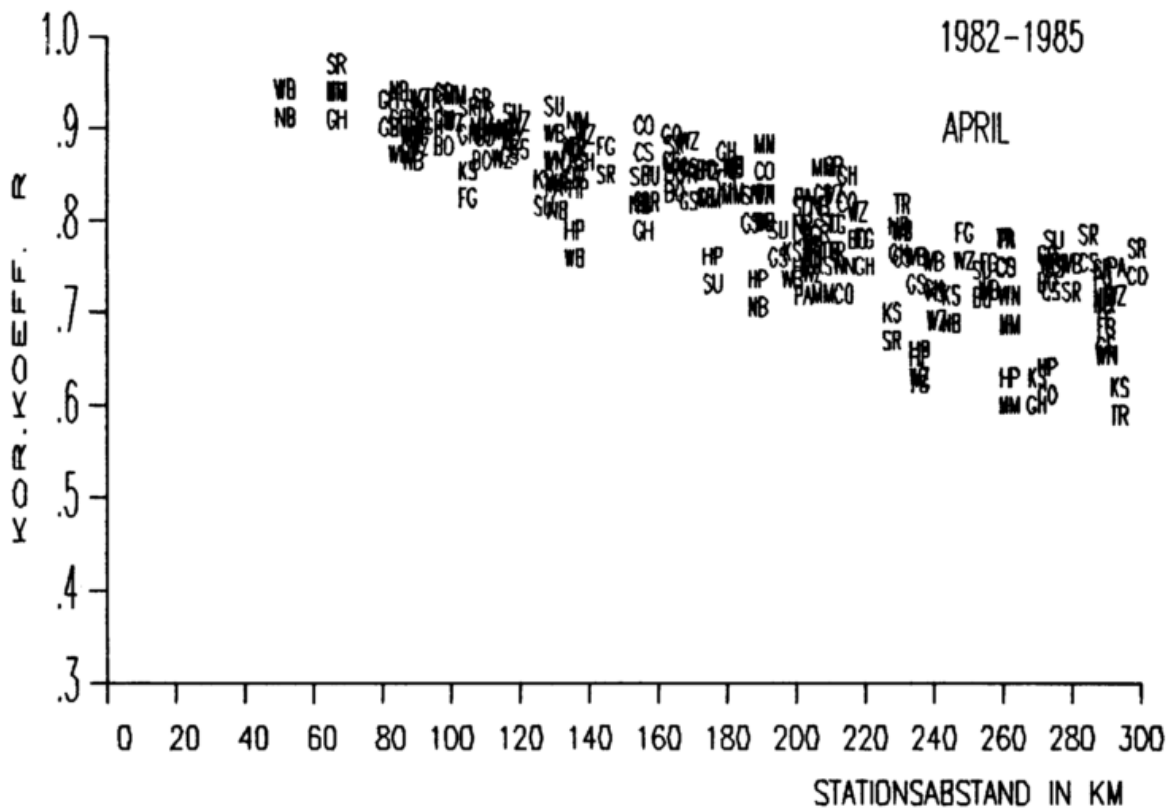
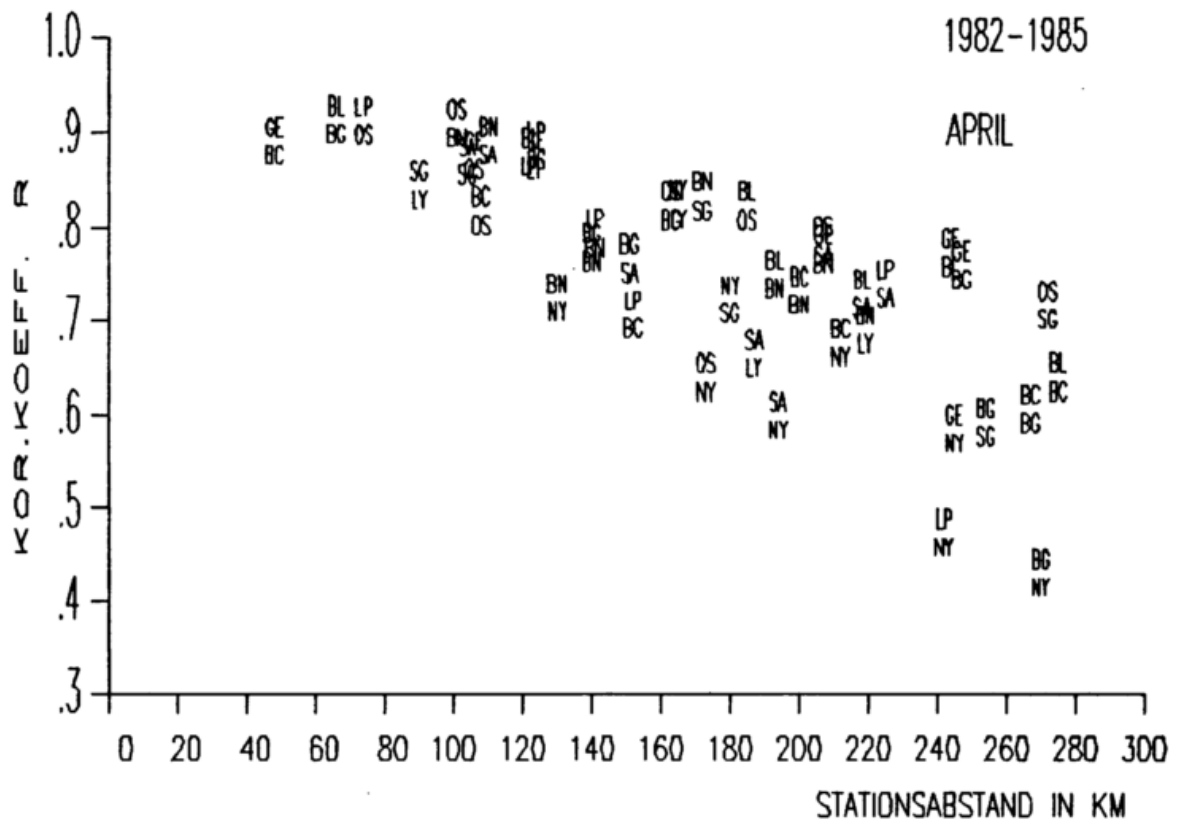


Abb. 10d: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, getrennt nach norddeutschen (oben) und süddeutschen (unten) Stationspaaren, in Abhängigkeit von ihrem Abstand a. Monat April

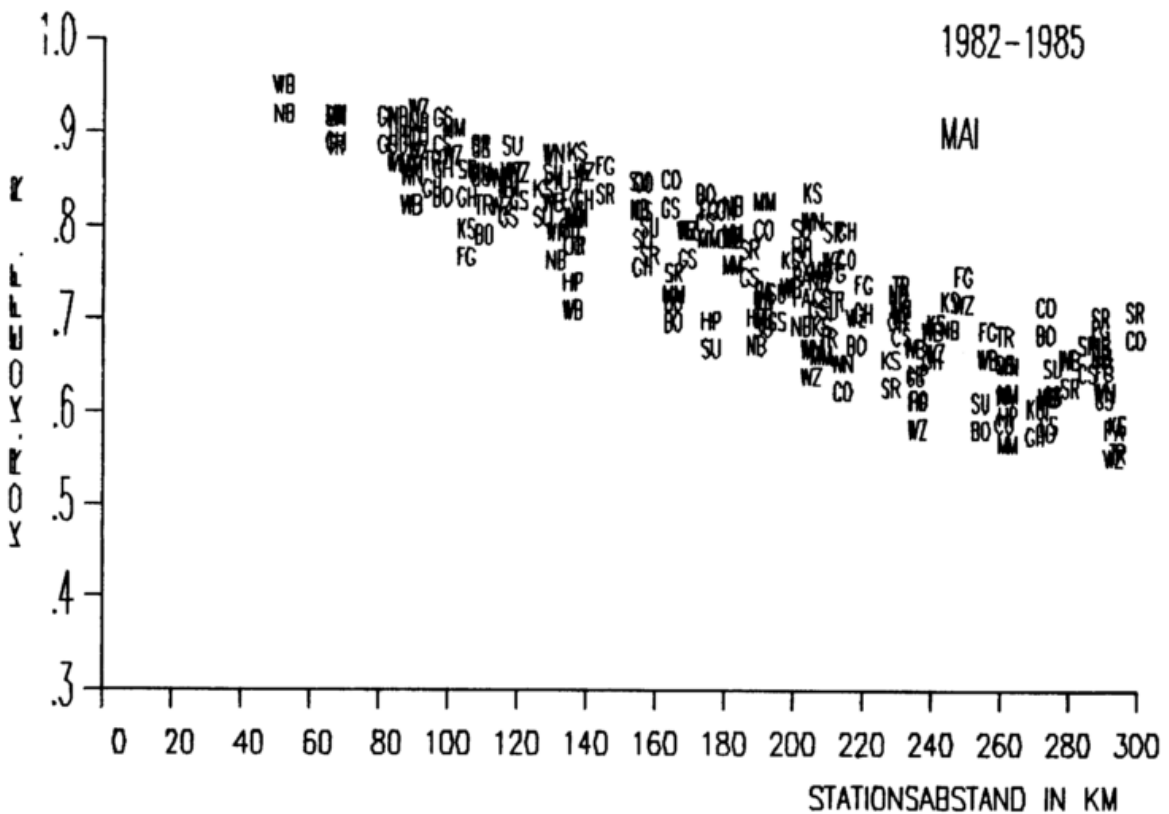
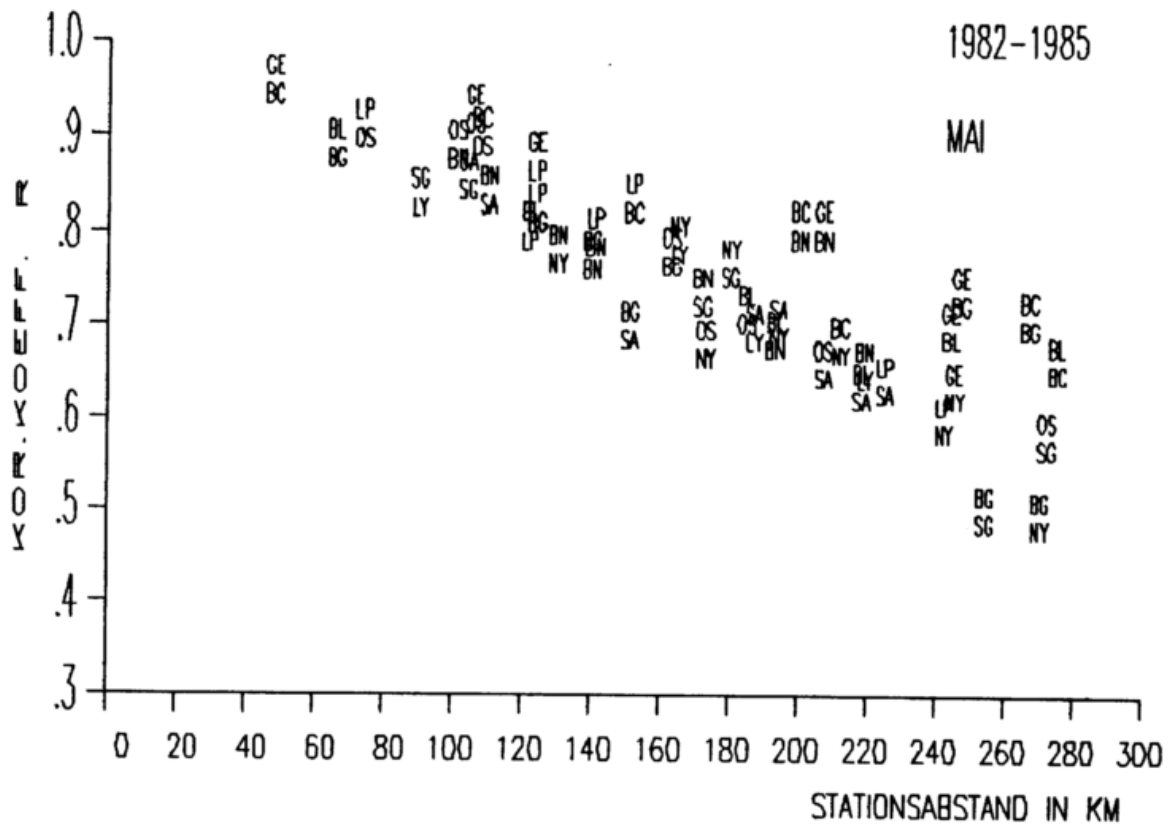


Abb. 10e: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, getrennt nach norddeutschen (oben) und süddeutschen (unten) Stationspaaren, in Abhängigkeit von ihrem Abstand a . Monat Mai

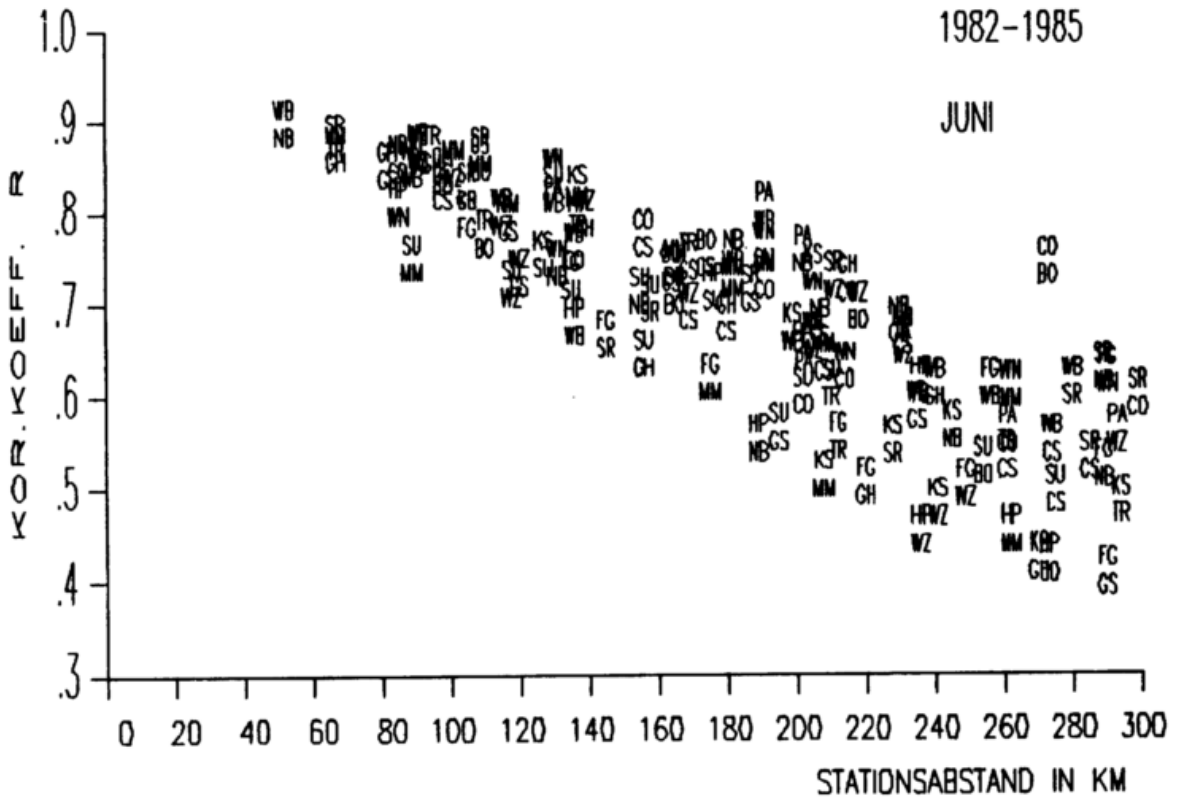
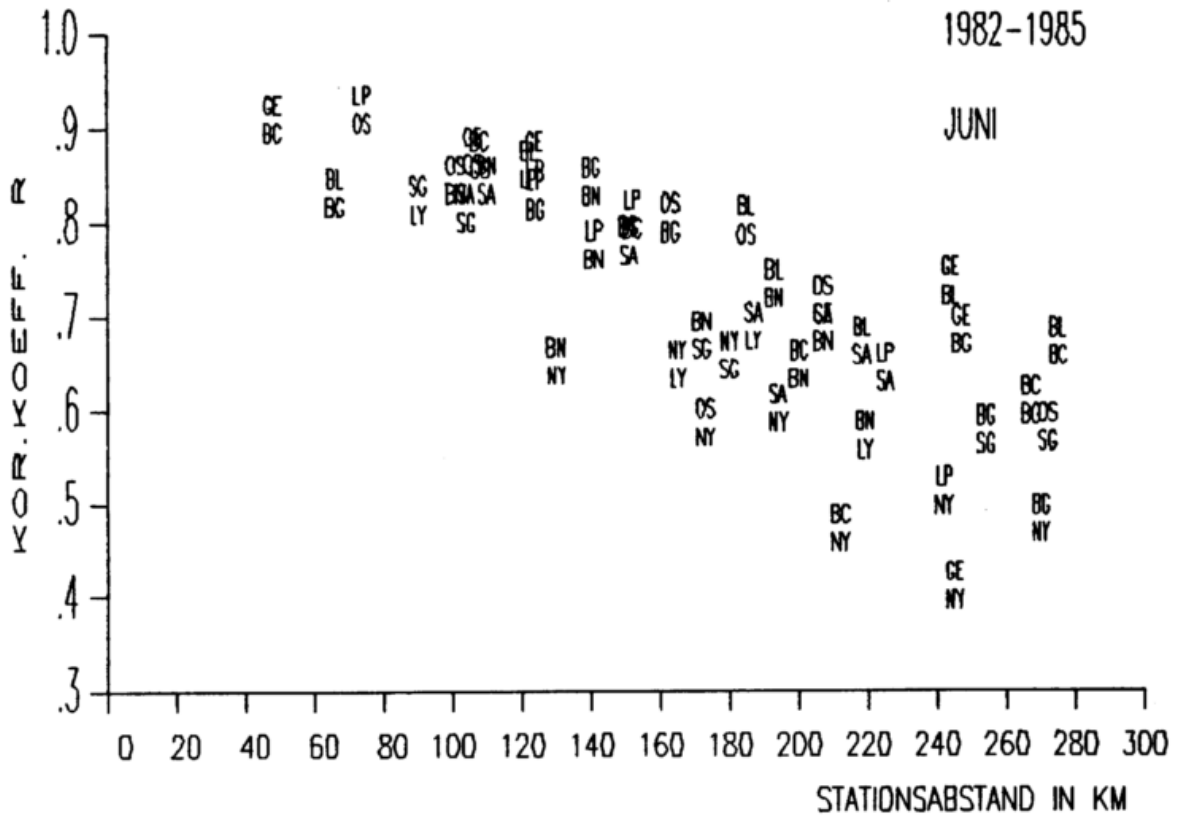


Abb. 10f: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, getrennt nach norddeutschen (oben) und süddeutschen (unten) Stationspaaren, in Abhängigkeit von ihrem Abstand a. Monat Juni

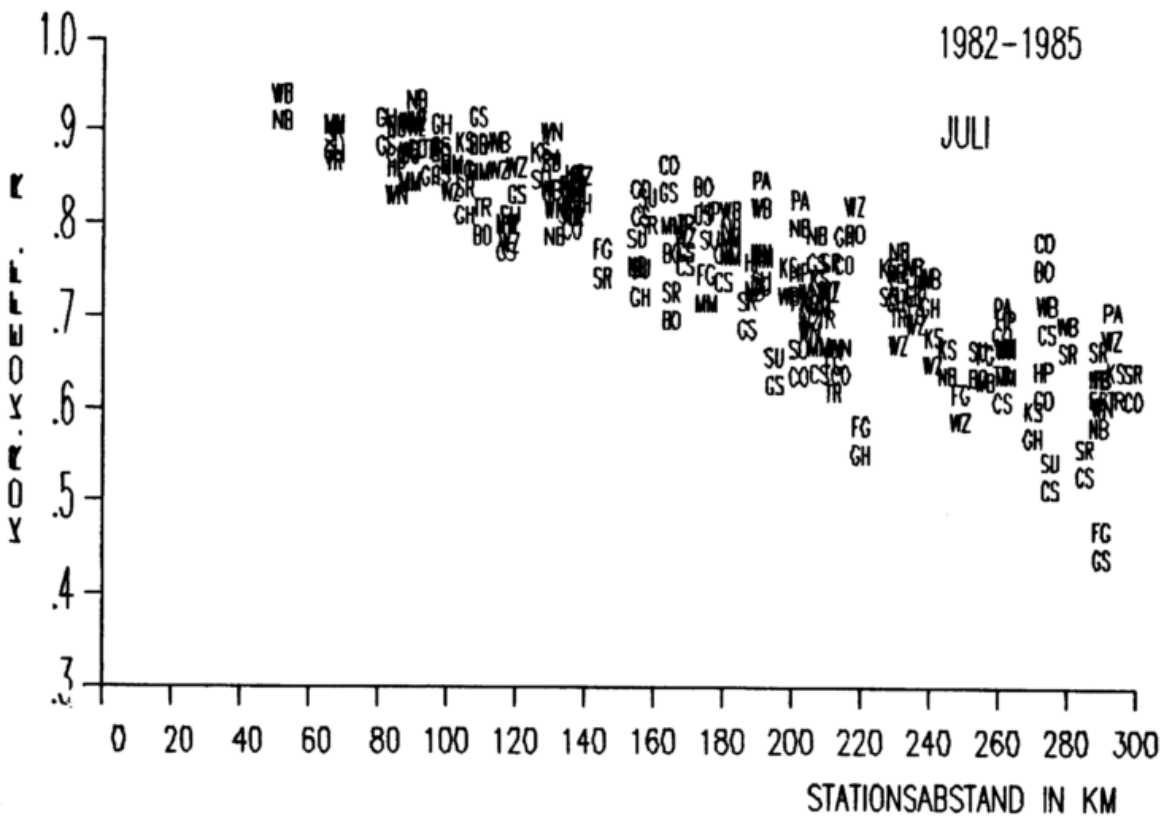
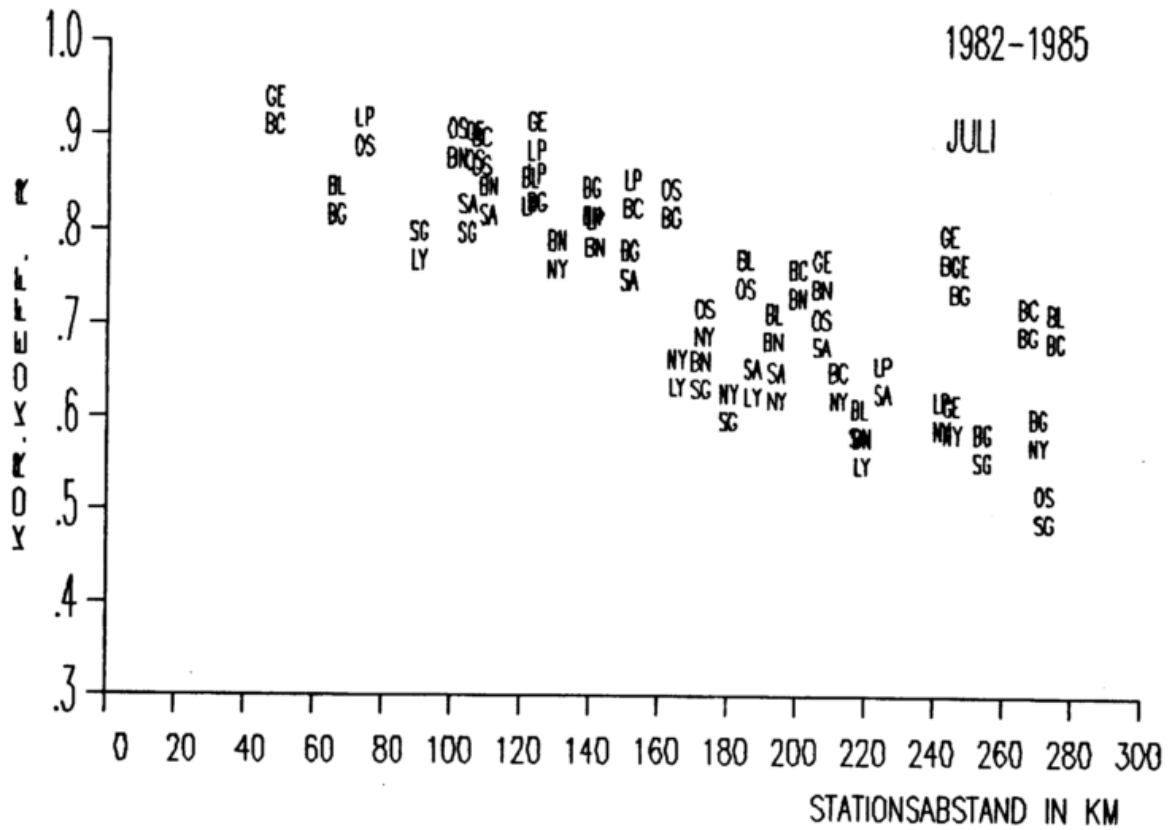


Abb. 10g: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, getrennt nach norddeutschen (oben) und süddeutschen (unten) Stationspaaren, in Abhängigkeit von ihrem Abstand a. Monat Juli

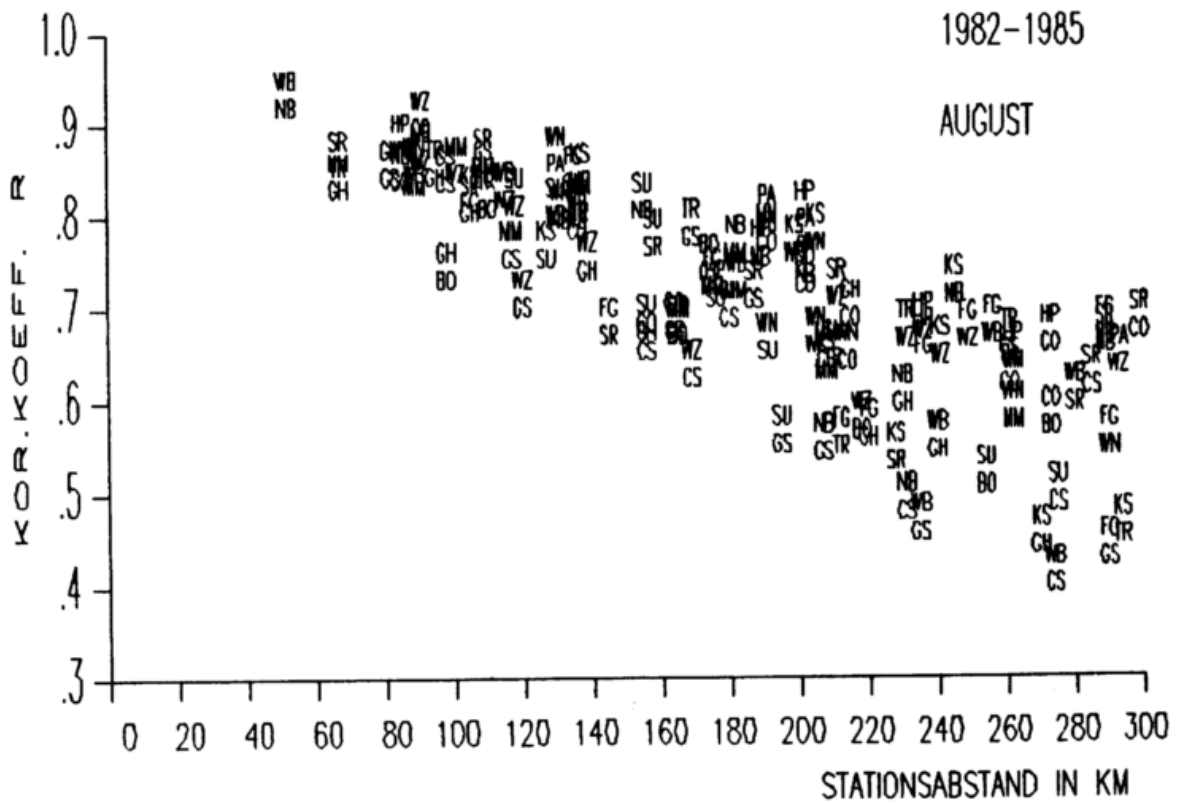
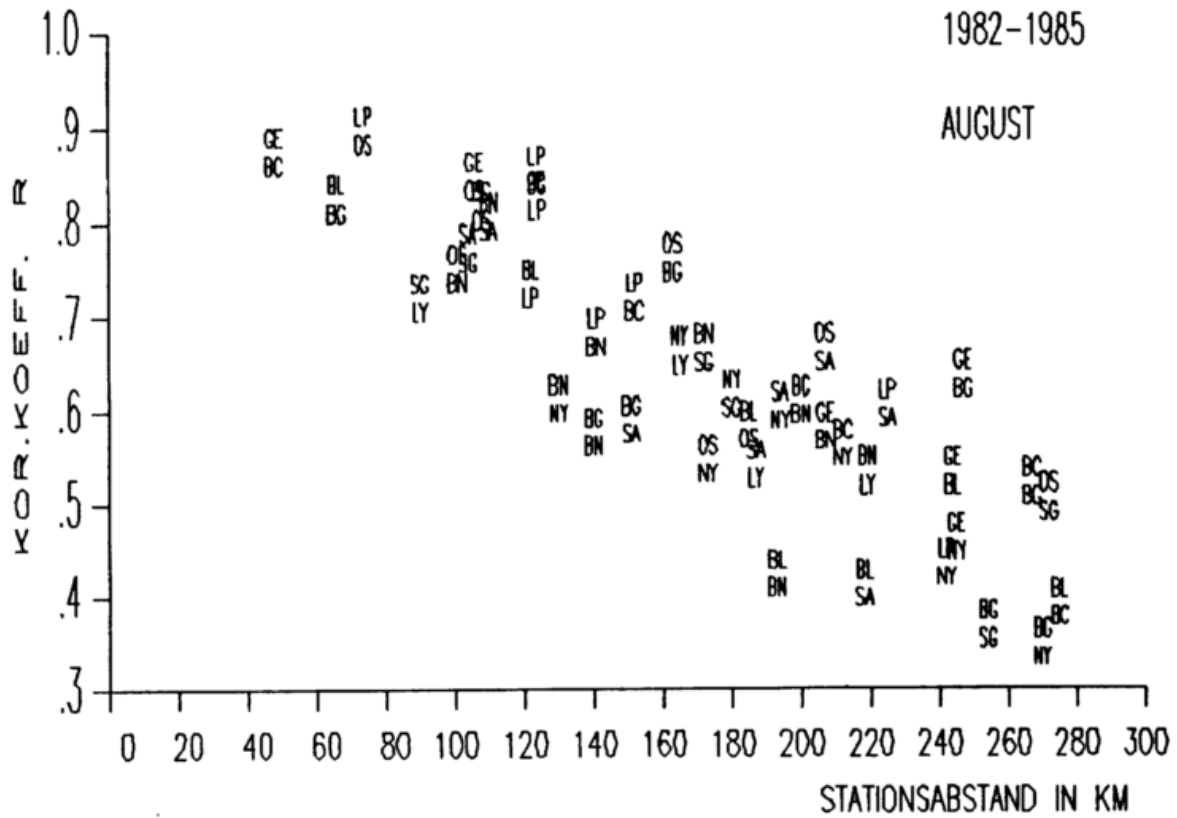


Abb. 10h: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, getrennt nach norddeutschen (oben) und süddeutschen (unten) Stationspaaren, in Abhängigkeit von ihrem Abstand a. Monat August

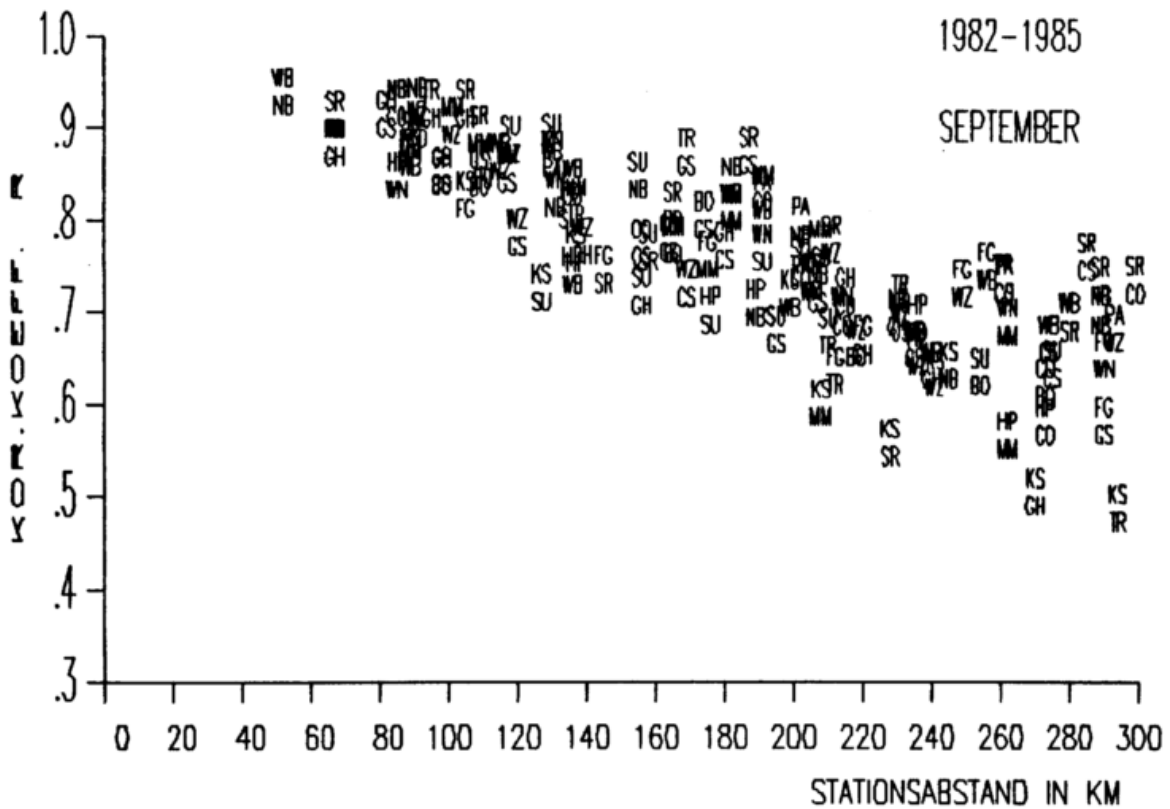
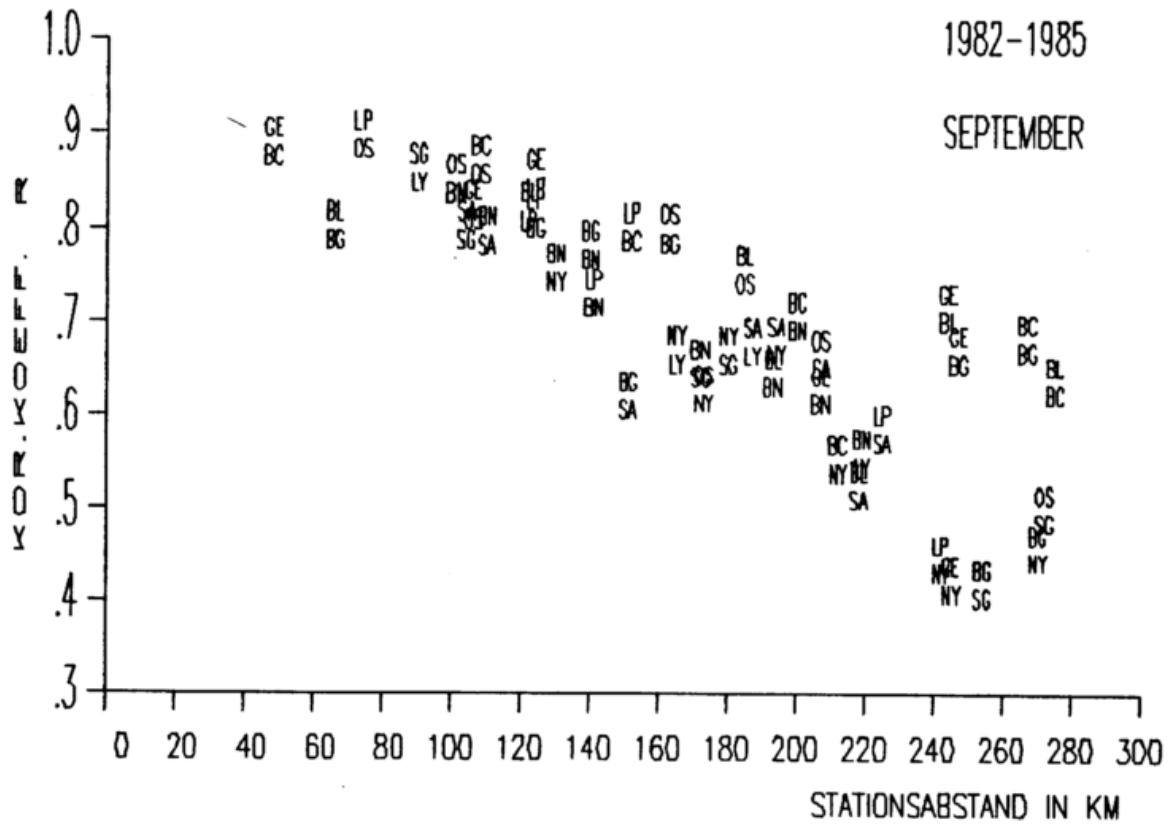


Abb. 10i: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, getrennt nach norddeutschen (oben) und süddeutschen (unten) Stationspaaren, in Abhängigkeit von ihrem Abstand a. Monat September

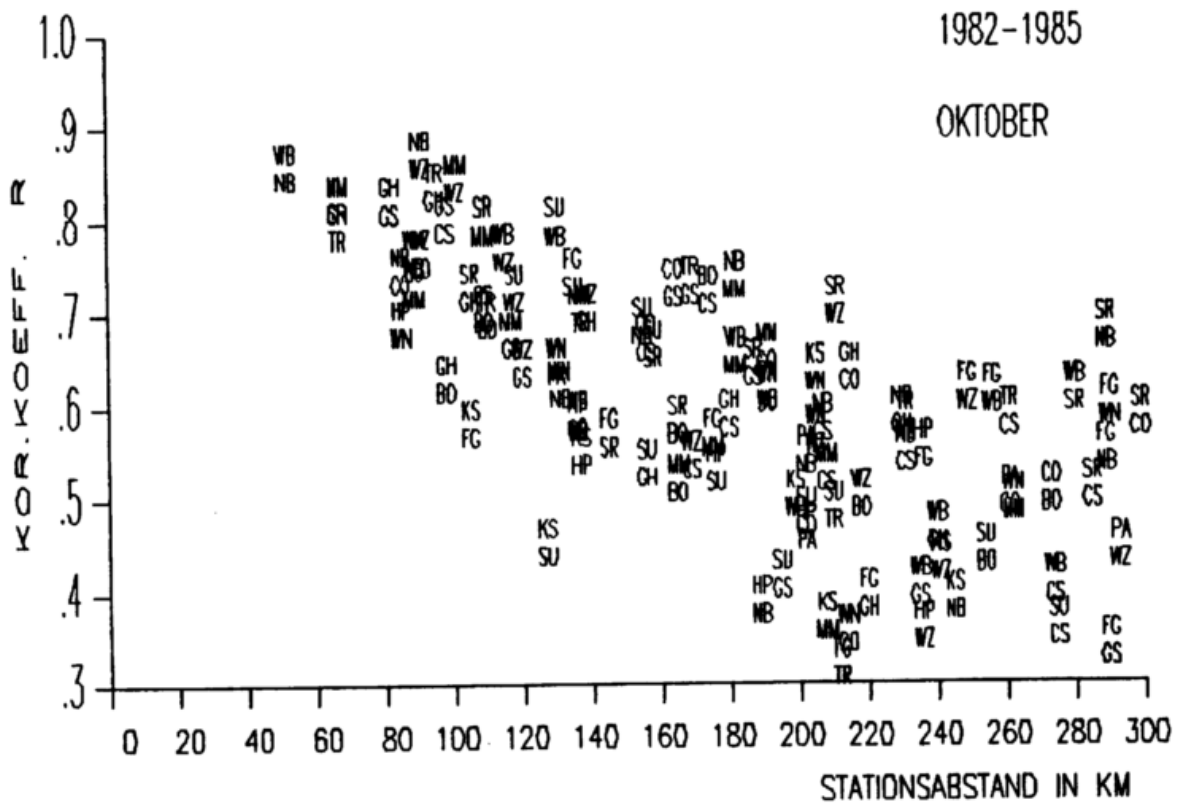
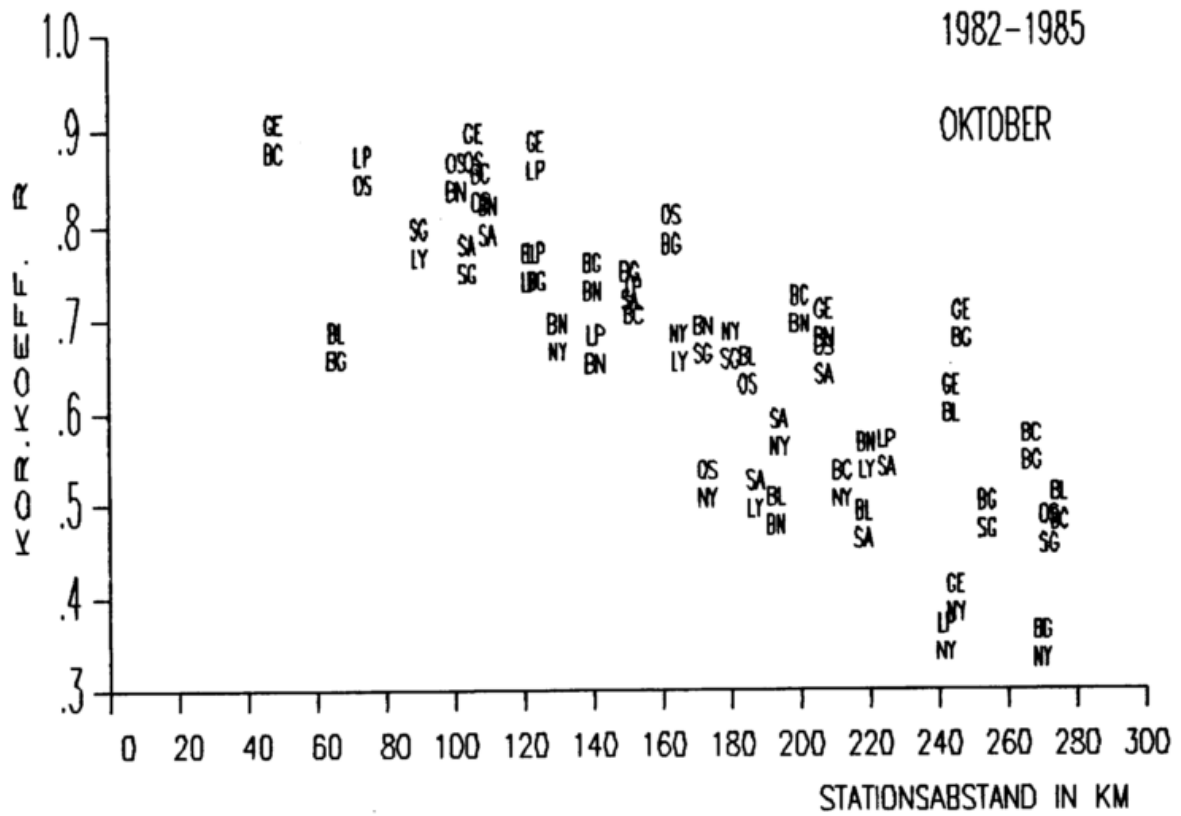


Abb. 10j: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, getrennt nach norddeutschen (oben) und süddeutschen (unten) Stationspaaren, in Abhängigkeit von ihrem Abstand a . Monat Oktober

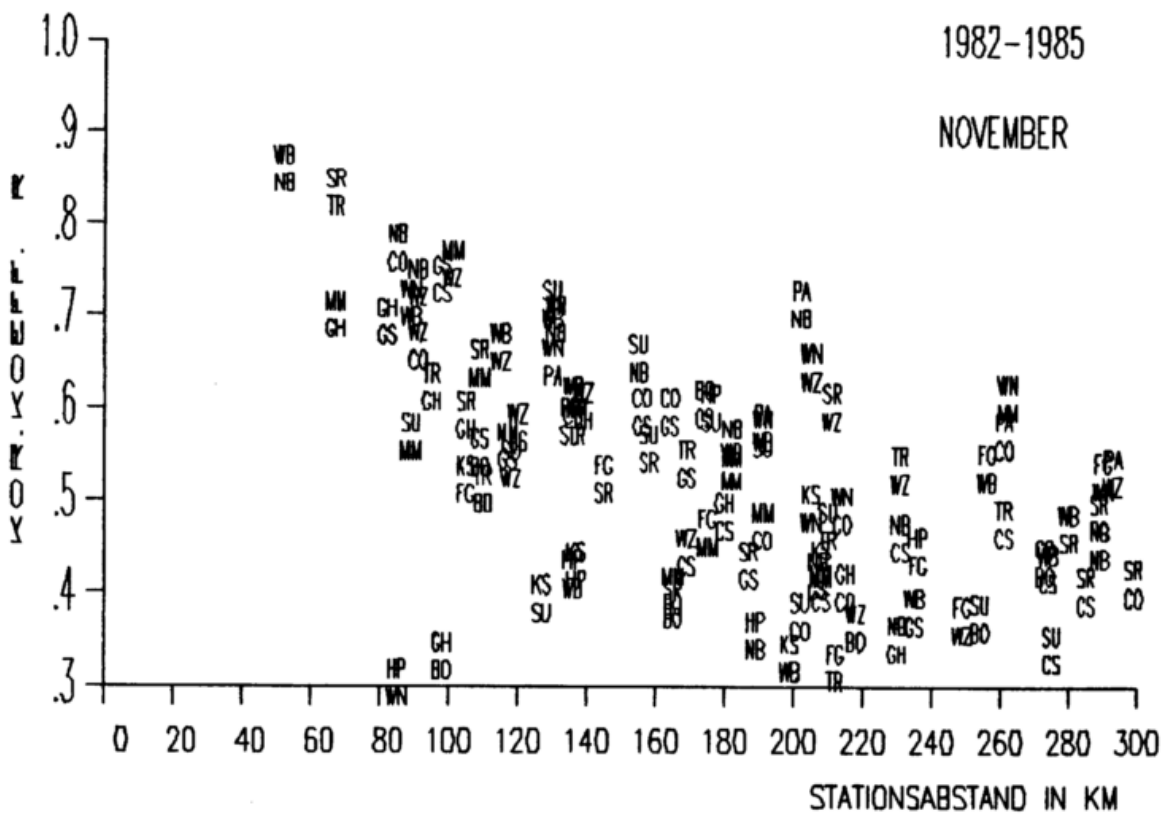
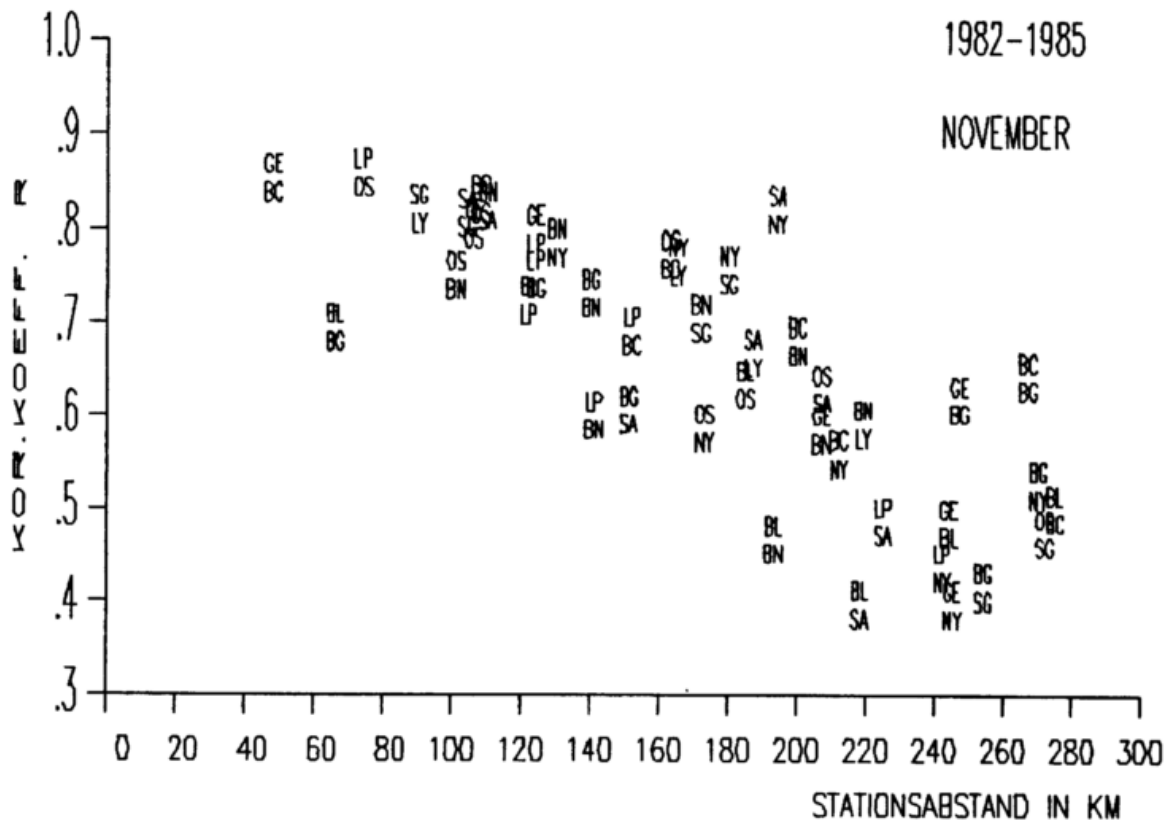


Abb. 10k: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, getrennt nach norddeutschen (oben) und süddeutschen (unten) Stationspaaren, in Abhängigkeit von ihrem Abstand a . Monat November

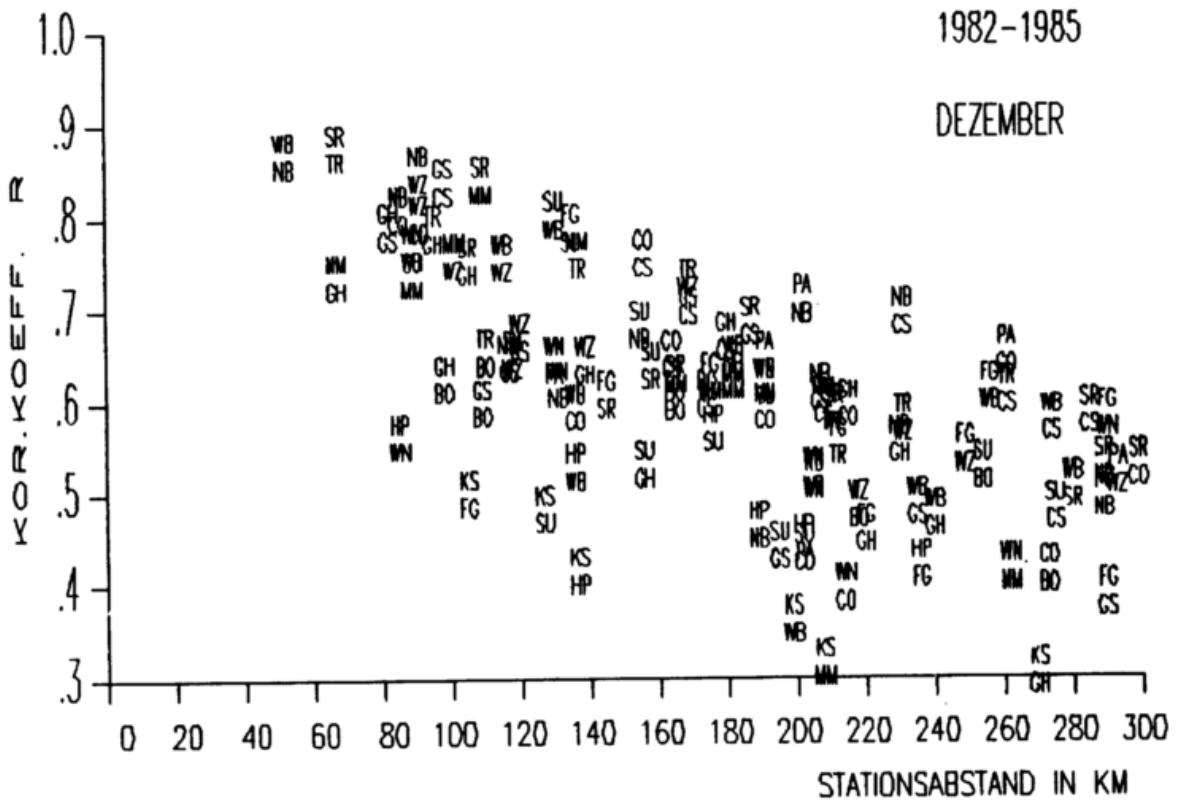
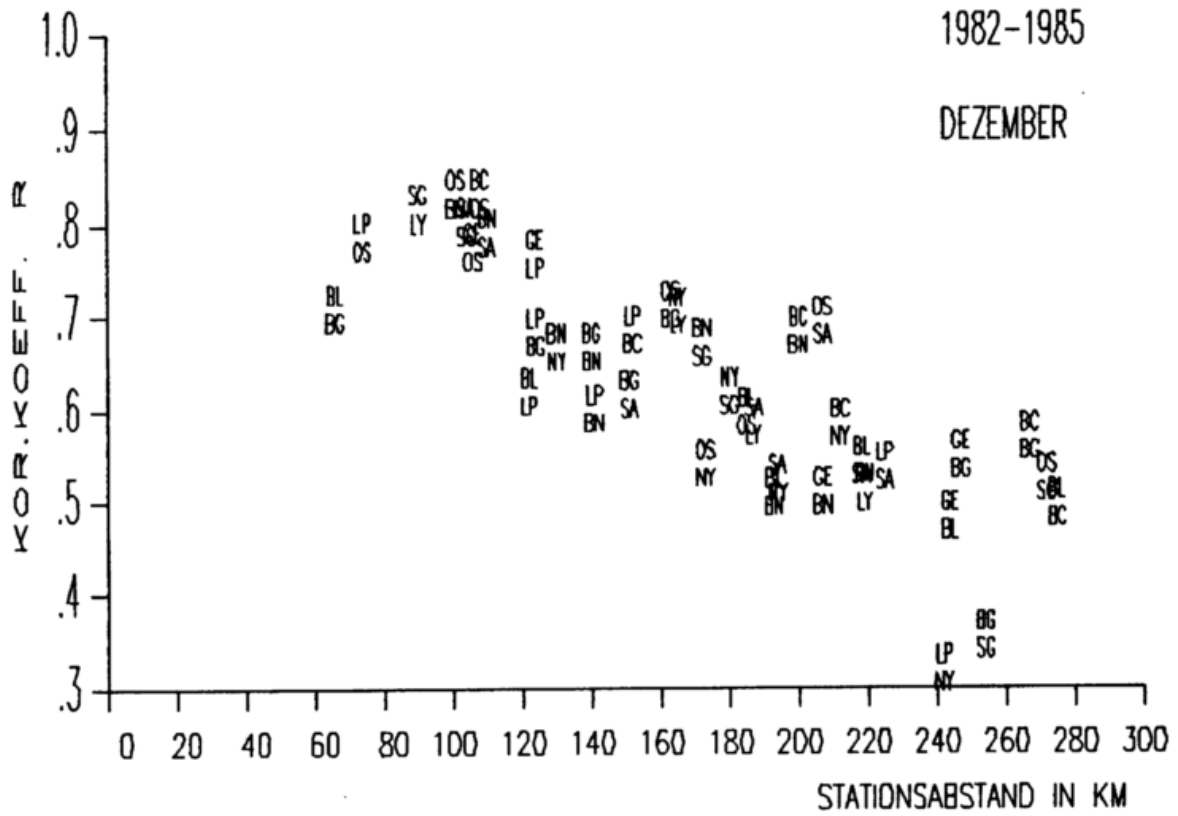


Abb. 101: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, getrennt nach norddeutschen (oben) und süddeutschen (unten) Stationspaaren, in Abhängigkeit von ihrem Abstand a. Monat Dezember

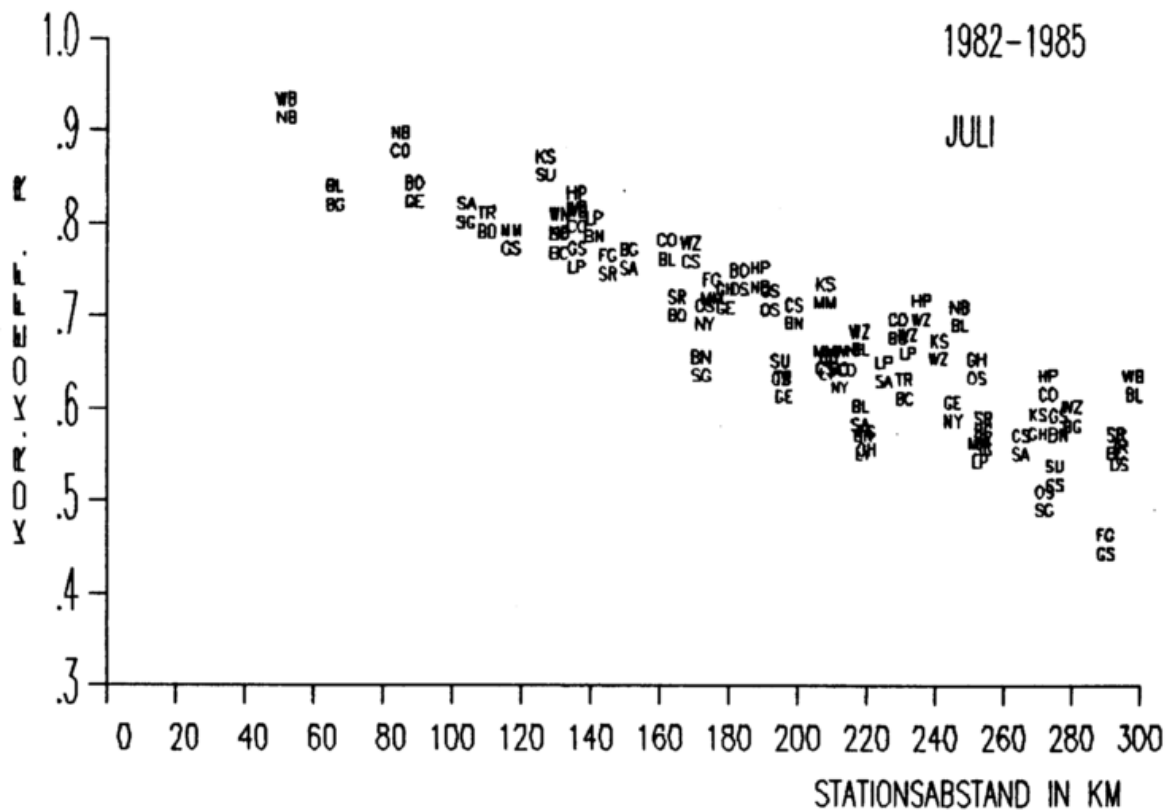
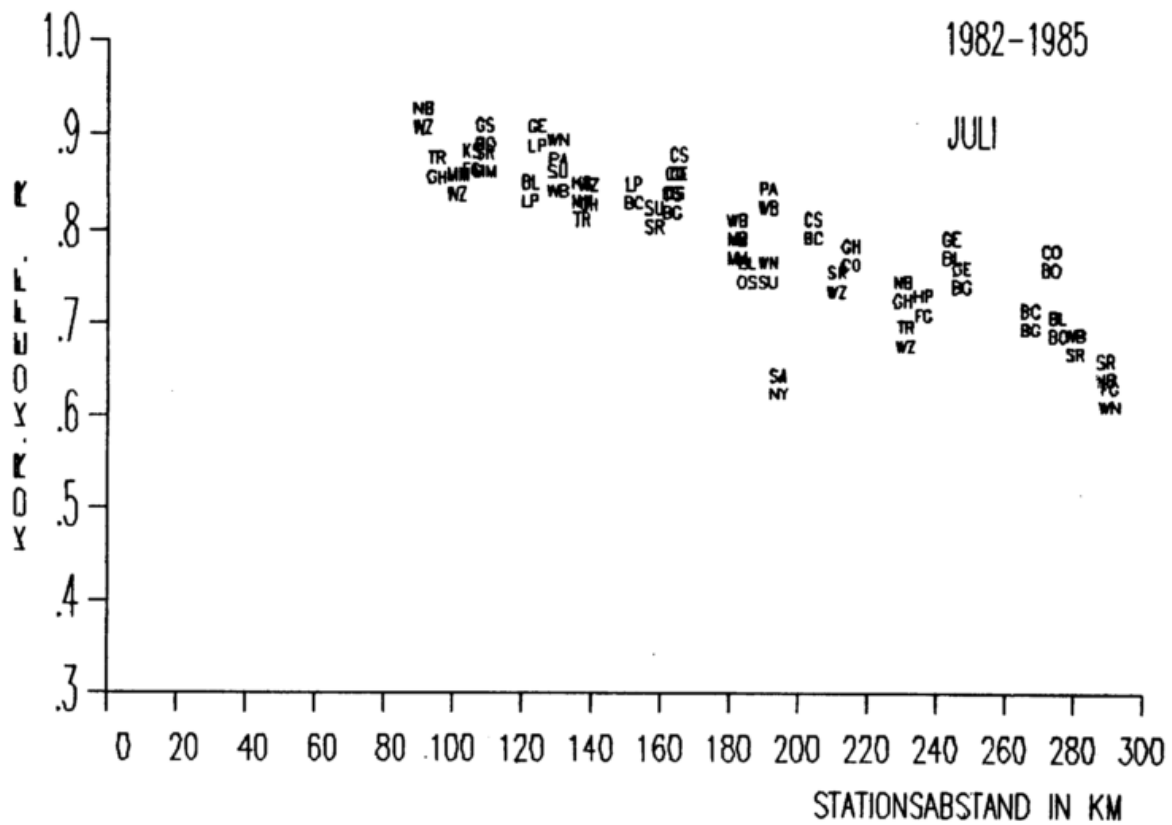


Abb. 11: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, Monat Juli

a) West-östlich orientierte Stationspaare (oben)

b) Nord-südlich orientierte Stationspaare (unten)

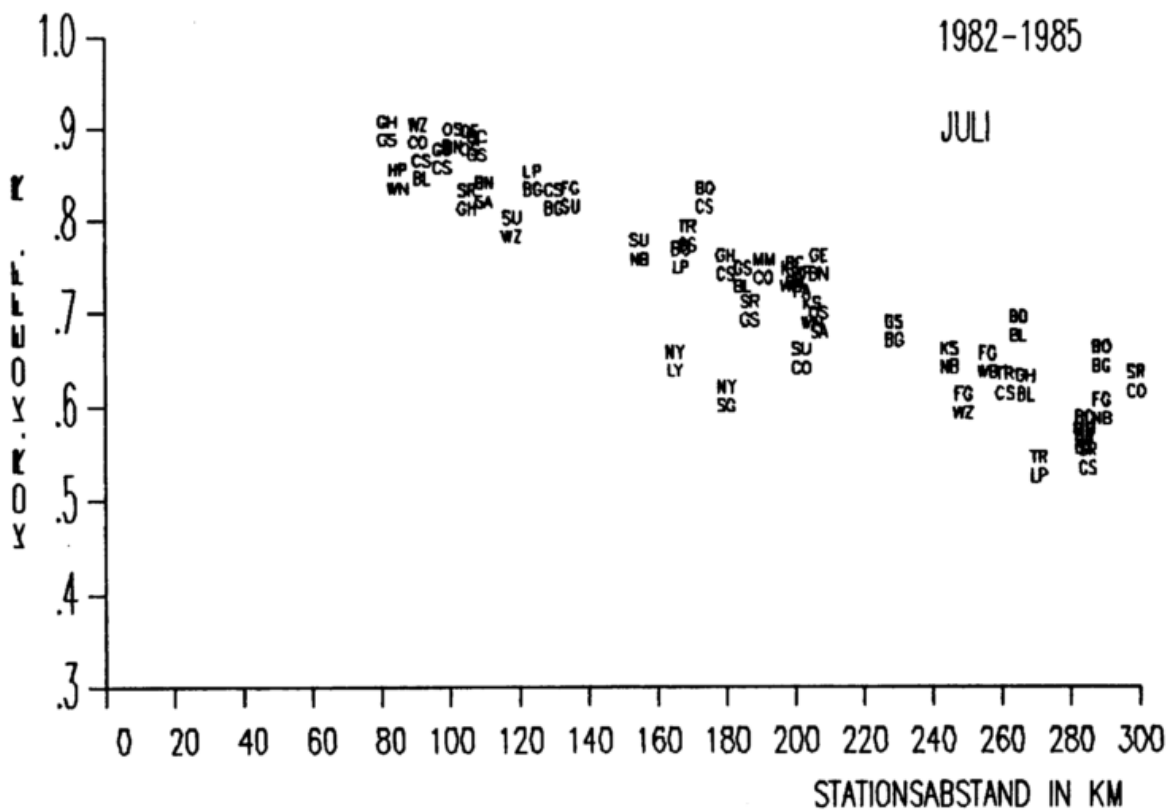
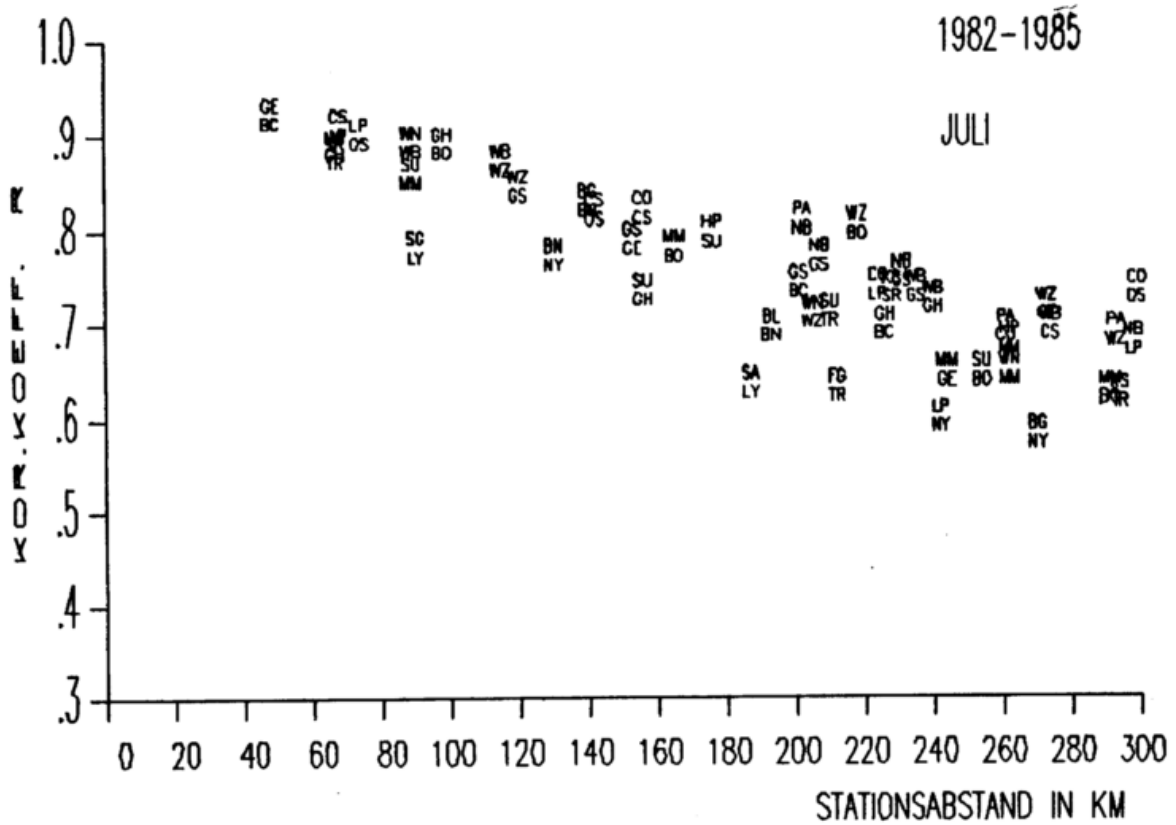


Abb. 11: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, Monat Juli
 c) Nordwest-südöstlich orientierte Stationspaare
 d) Nordost-südwestlich orientierte Stationspaare

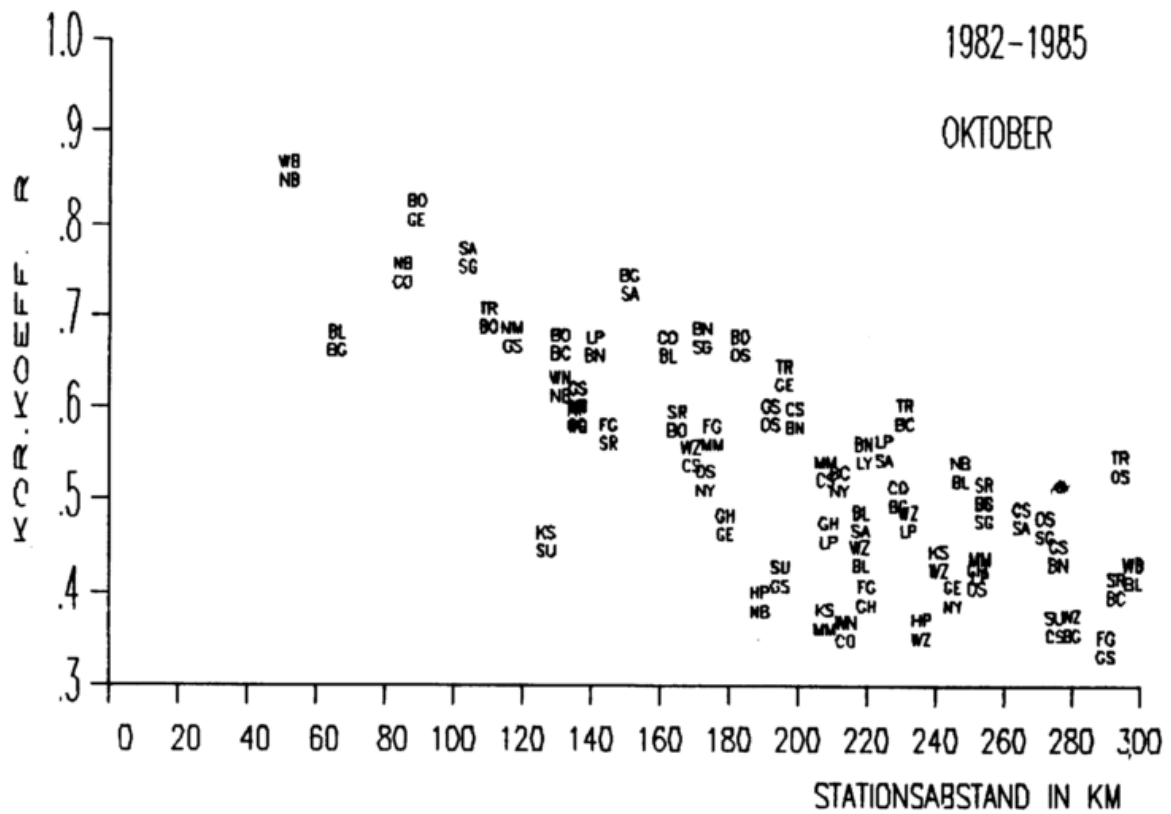
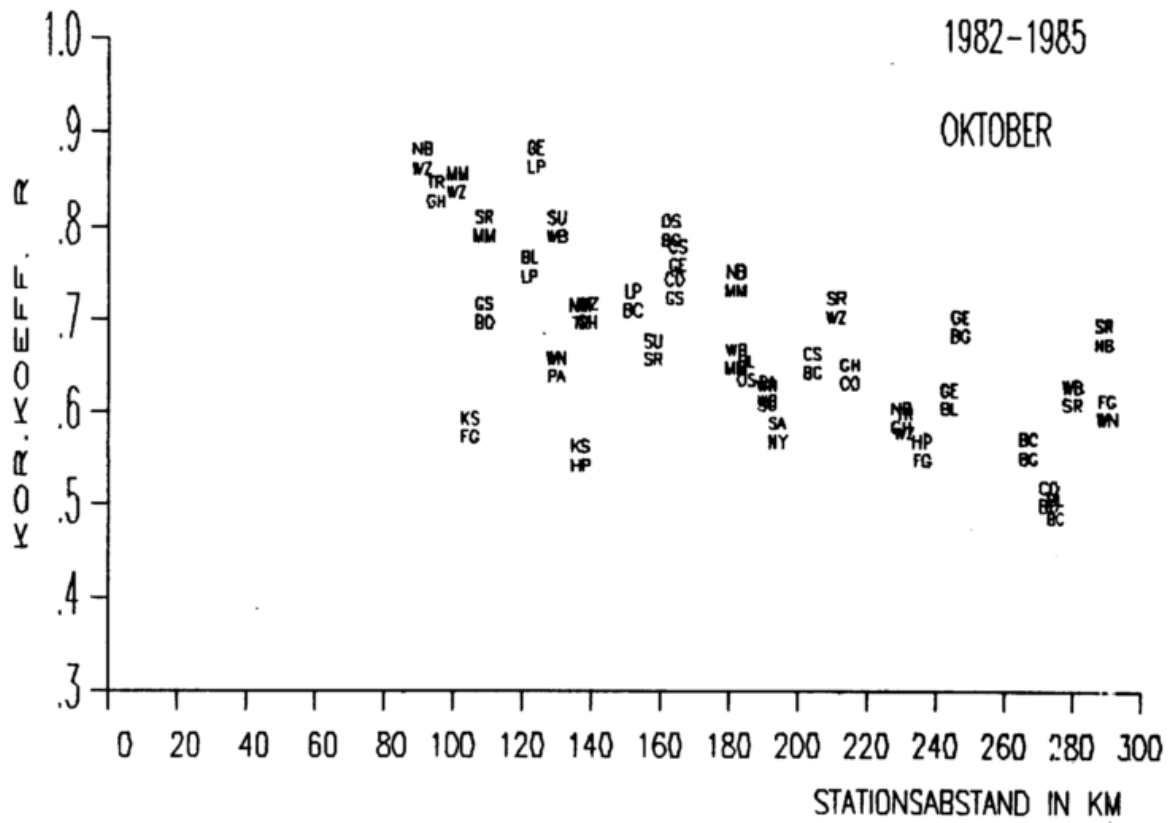


Abb. 12: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, Monat Oktober
 a) West-östlich orientierte Stationspaare
 b) Nord-südlich orientierte Stationspaare

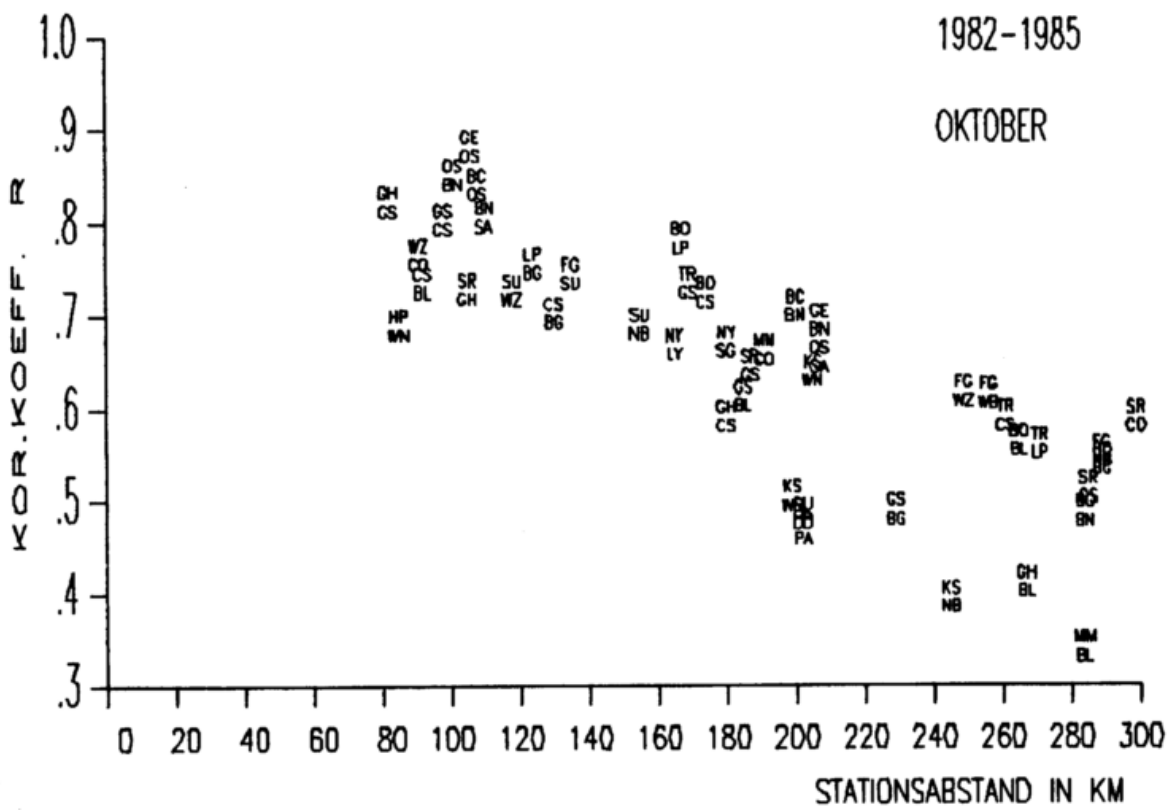
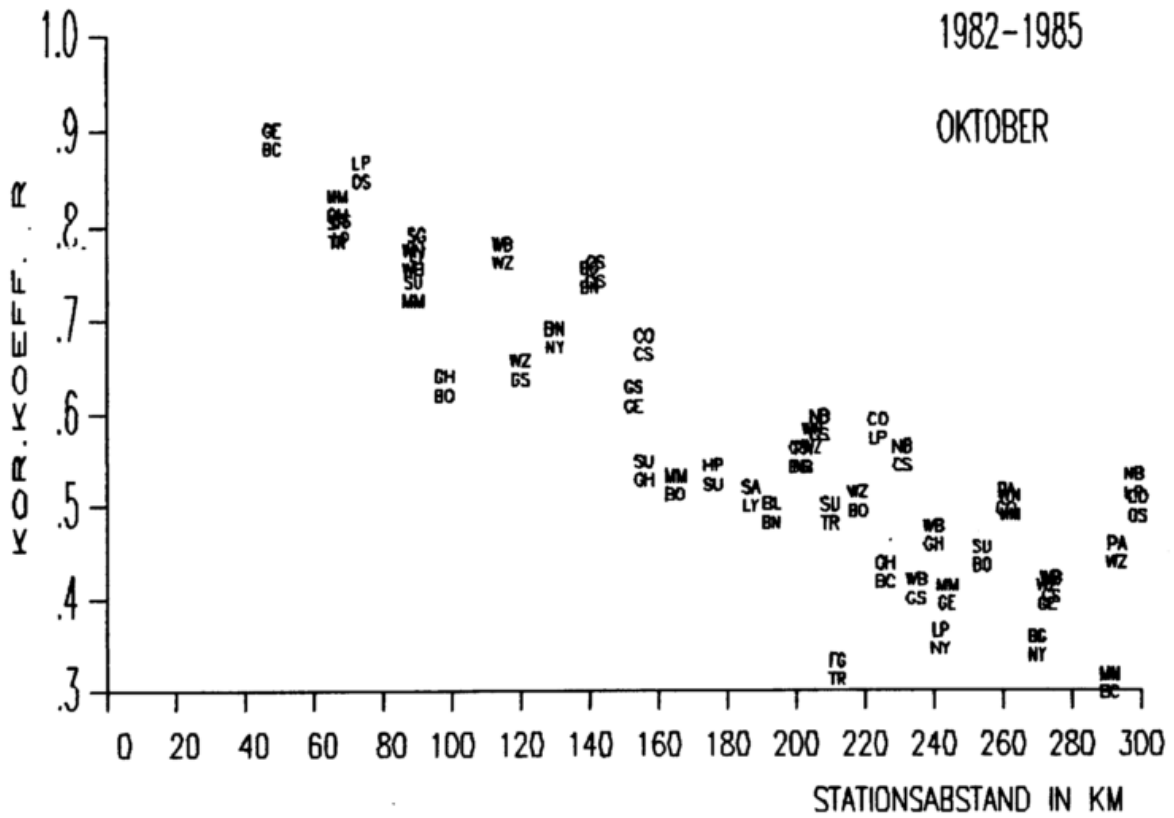


Abb. 12: Korrelationskoeffizient R der relativen Globalstrahlung im Zeitraum 1982-1985, Monat Oktober
 c) Nordwest-südöstlich orientierte Stationspaare
 d) Nordost-südwestlich orientierte Stationspaare

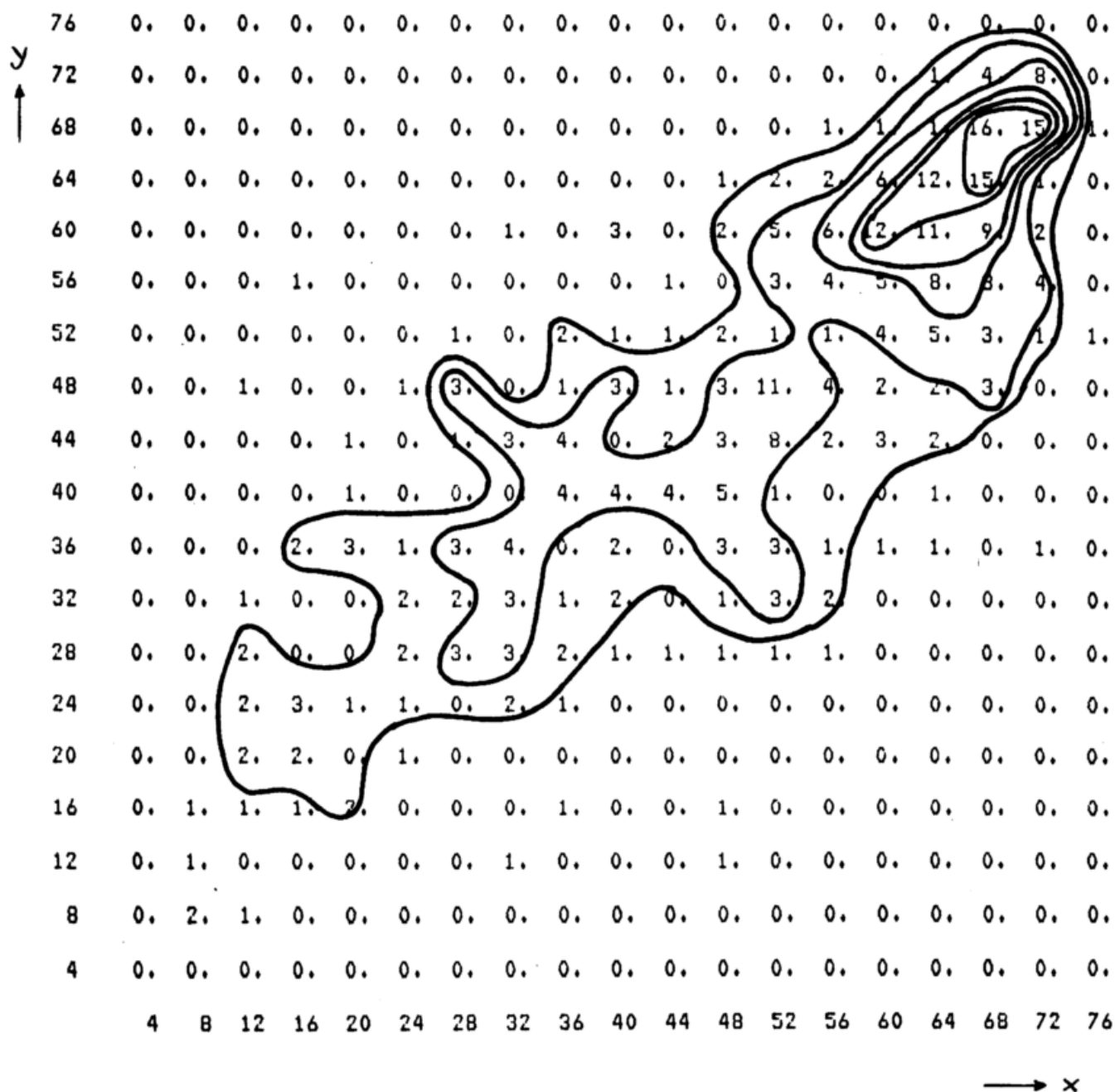


Abb. 13a: Zweidimensionale Häufigkeitsverteilung der relativen Globalstrahlung G/G_0 an den Stationen Konstanz und Stuttgart im Sommer (Anzahl der Tage in den Monaten 6, 7, 8 in den Jahren 1982-1985, an denen G/G_0 in Konstanz in die Klasse x , in Stuttgart in die Klasse y fiel)

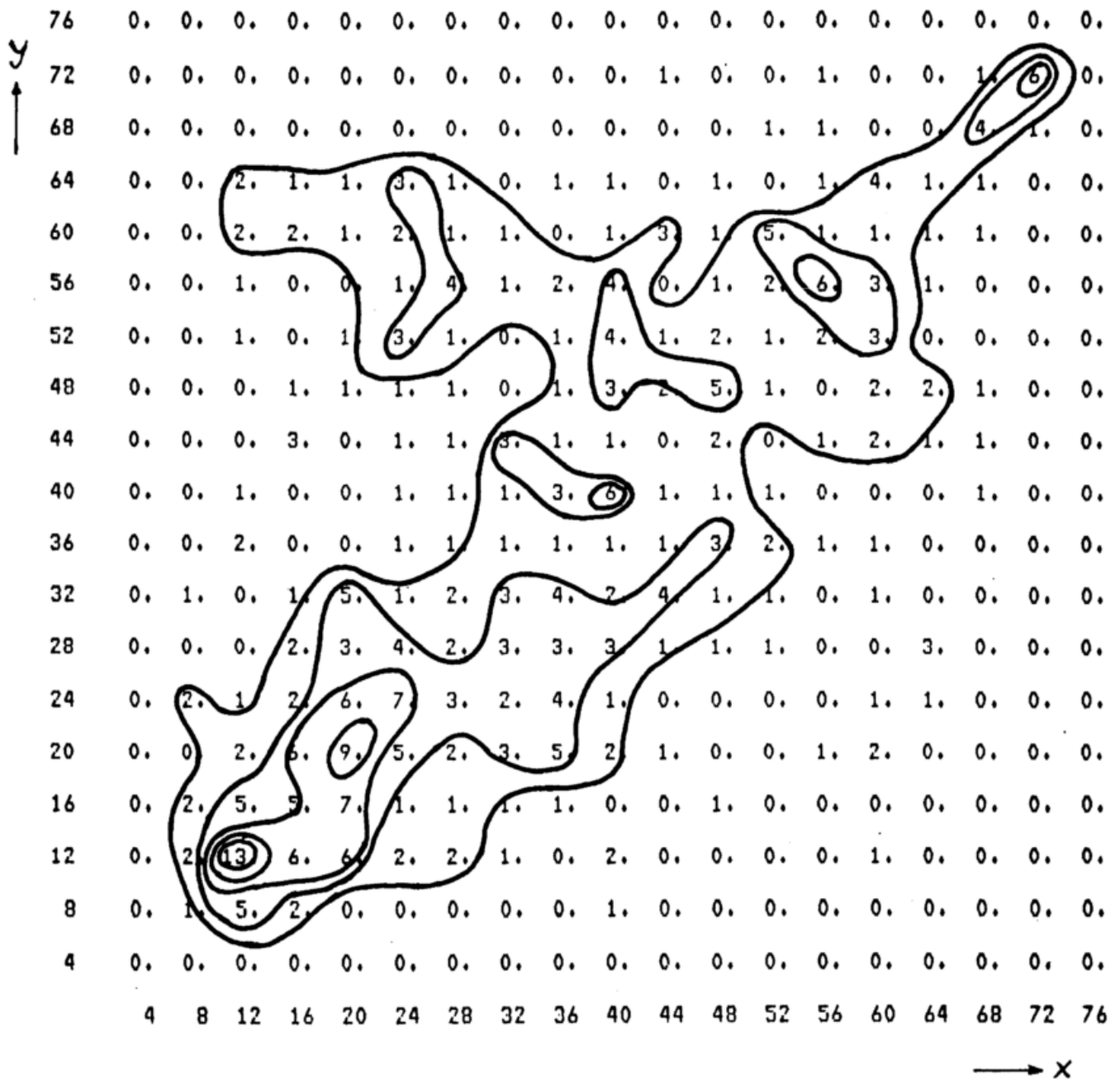


Abb. 13b: Zweidimensionale Häufigkeitsverteilung der relativen Globalstrahlung G/G_0 an den Stationen Konstanz und Stuttgart im Winter
 (Anzahl der Tage in den Monaten 12, 1, 2 in den Jahren 1982-1985, an denen G/G_0 in Konstanz in die Klasse x , in Stuttgart in die Klasse y fiel)

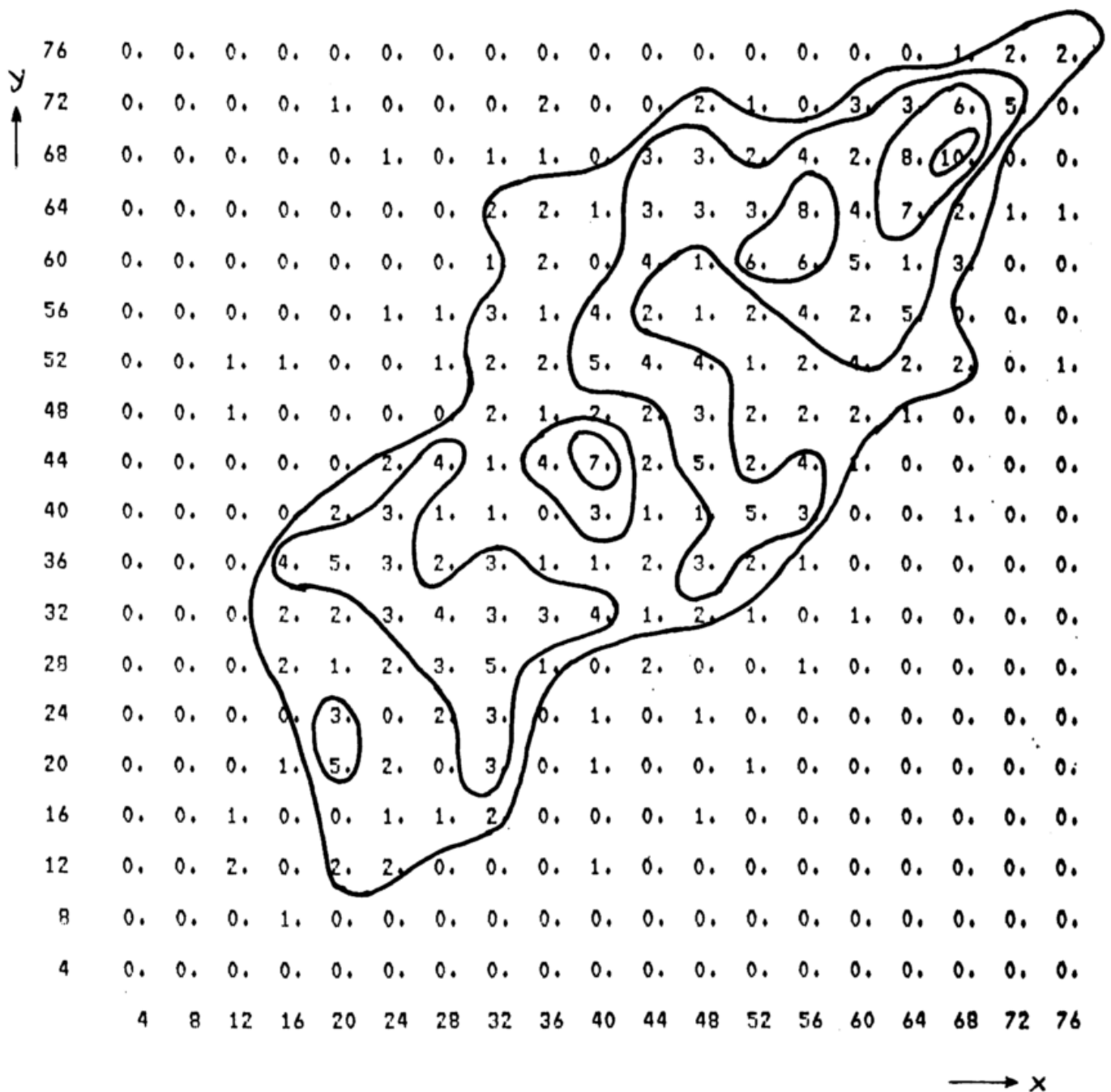


Abb. 14a: Zweidimensionale Häufigkeitsverteilung der relativen Globalstrahlung G/G_0 an den Stationen Bremen und Norderney im Sommer
 (Anzahl der Tage in den Monaten 6, 7, 8 in den Jahren 1982-1985, an denen G/G_0 in Bremen in die Klasse x , in Norderney in die Klasse y fiel)

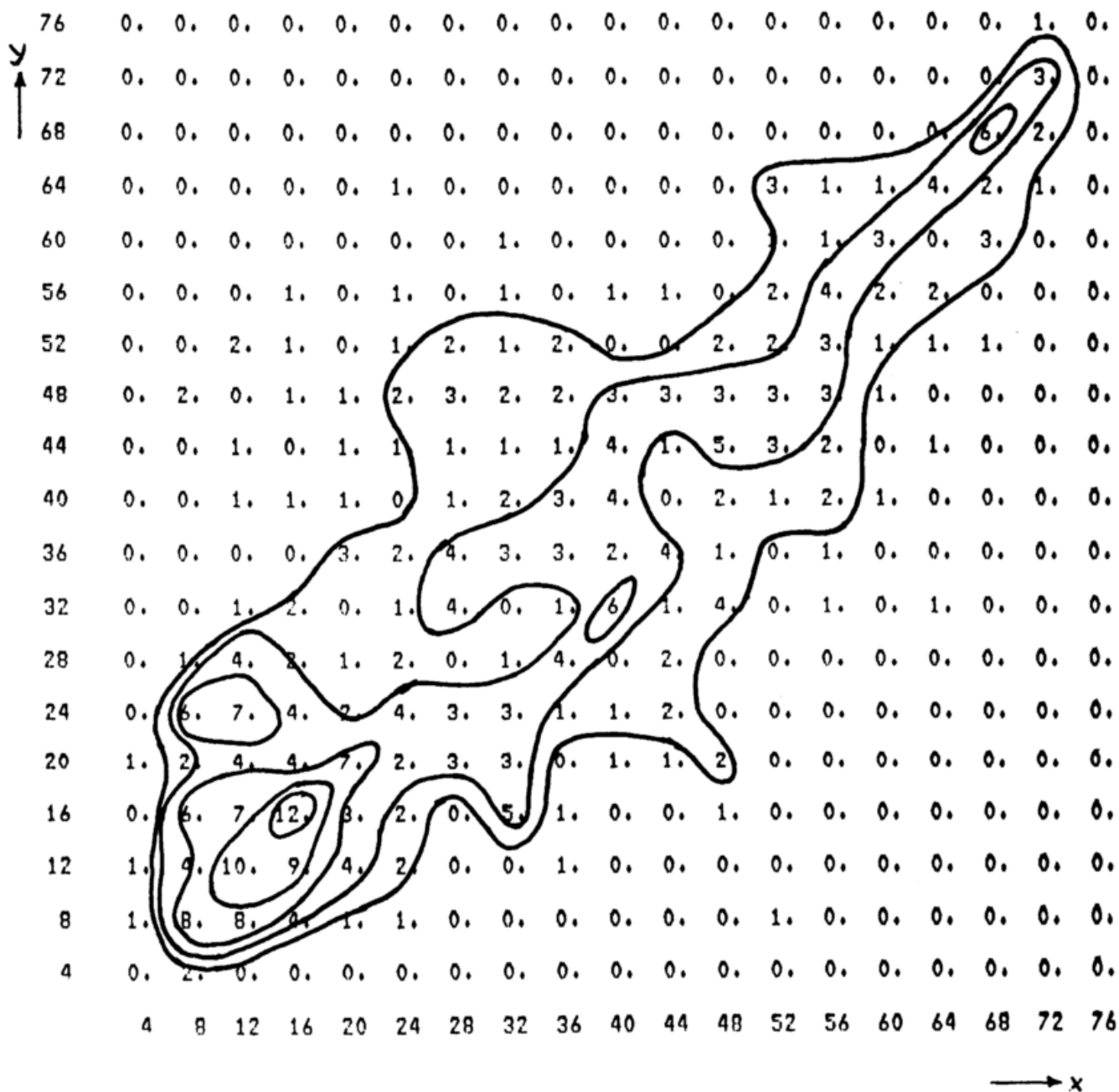


Abb. 14b: Zweidimensionale Häufigkeitsverteilung der relativen Globalstrahlung G/G_0 an den Stationen Bremen und Norderney im Winter (Anzahl der Tage in den Monaten 12, 1, 2 in den Jahren 1982-1985, an denen G/G_0 in Bremen in die Klasse x , in Norderney in die Klasse y fiel)

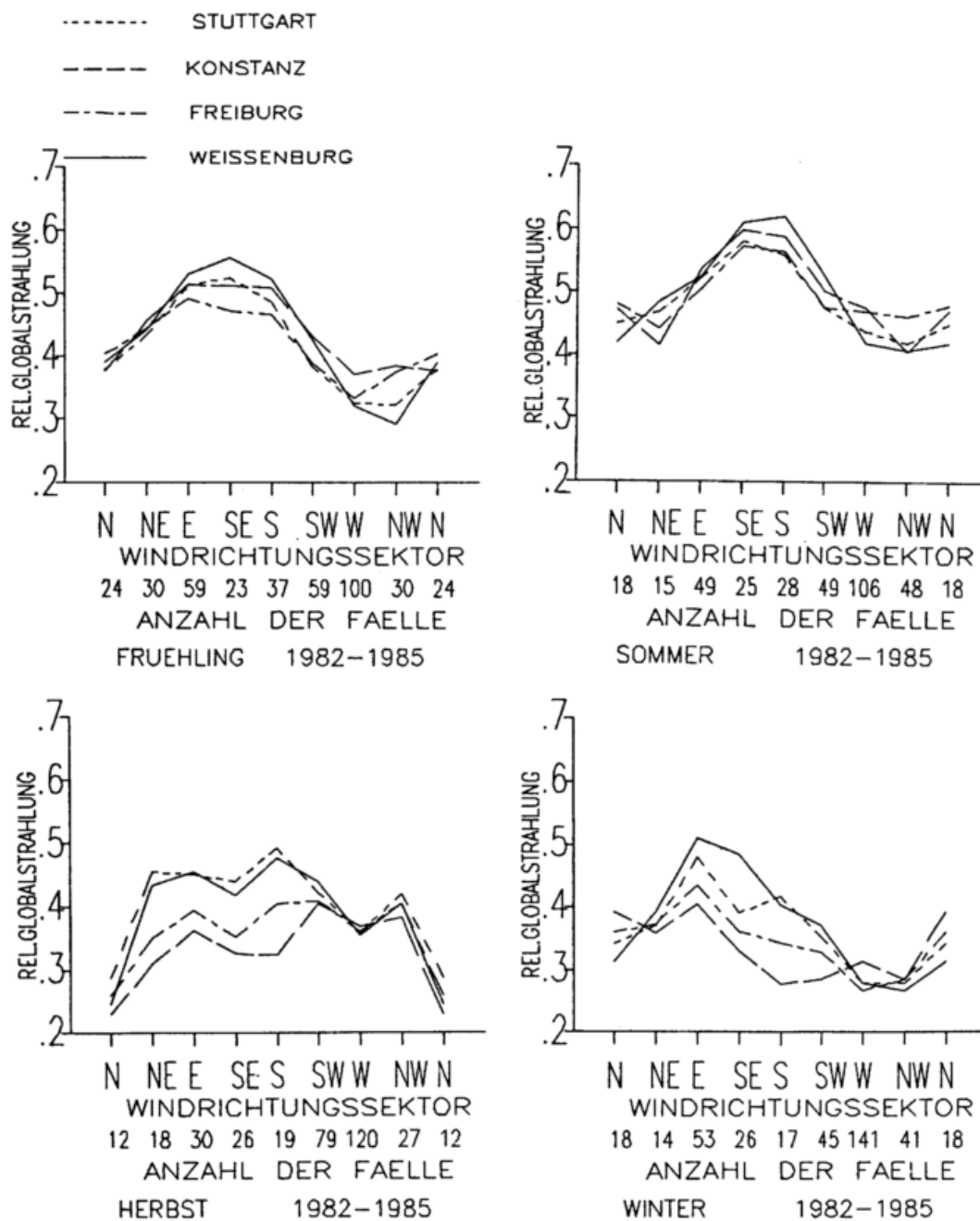


Abb. 15a: Relative Globalstrahlung als Funktion der Windrichtung im 850 hPa-Niveau, getrennt nach Jahreszeiten. Stationen Stuttgart, Konstanz, Freiburg, Weissenburg

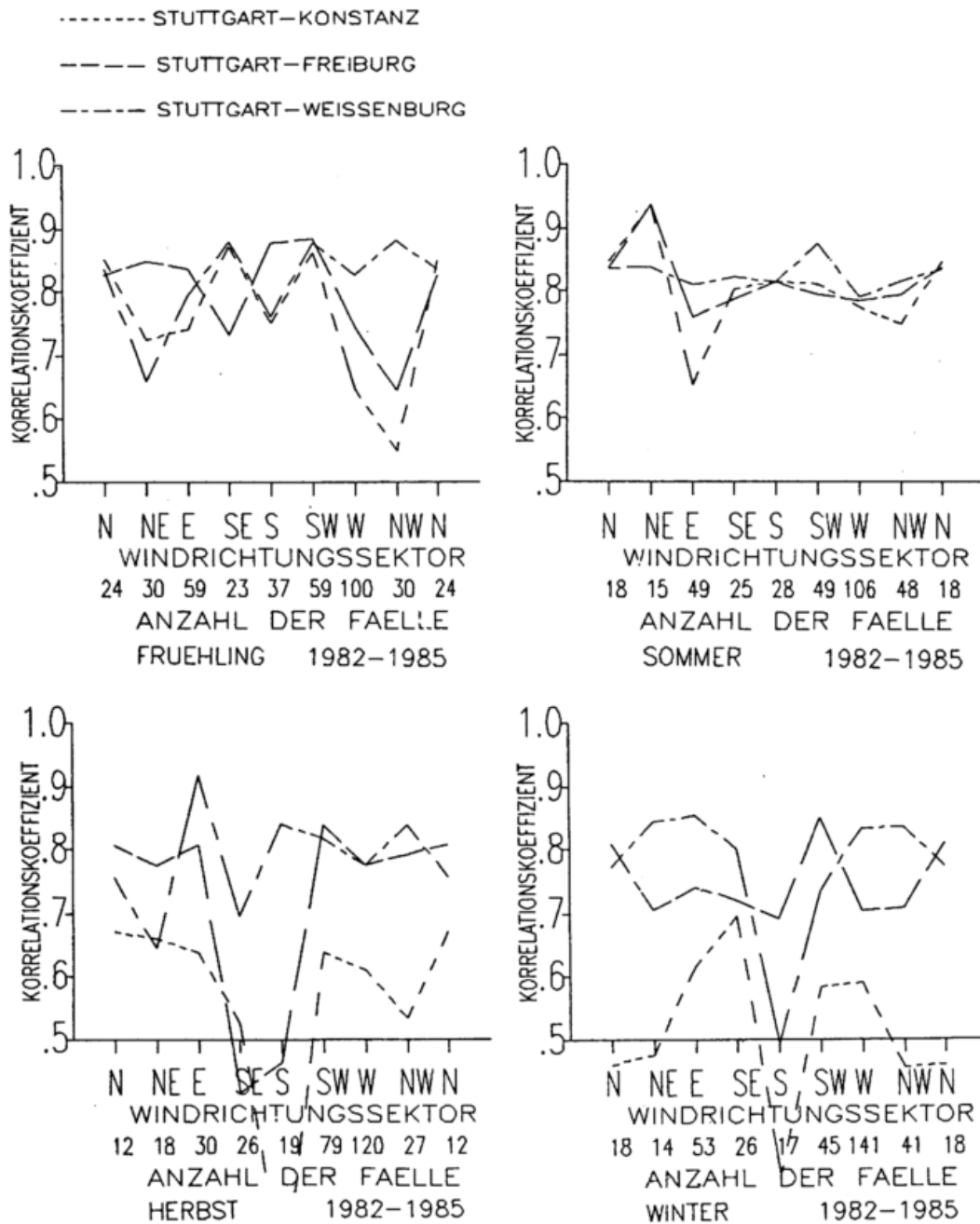


Abb. 15b: Korrelationskoeffizient der relativen Globalstrahlung als Funktion der Windrichtung im 850 hPa-Niveau, getrennt nach Jahreszeiten. Korrelation von Stuttgart mit Konstanz, Freiburg und Weissenburg

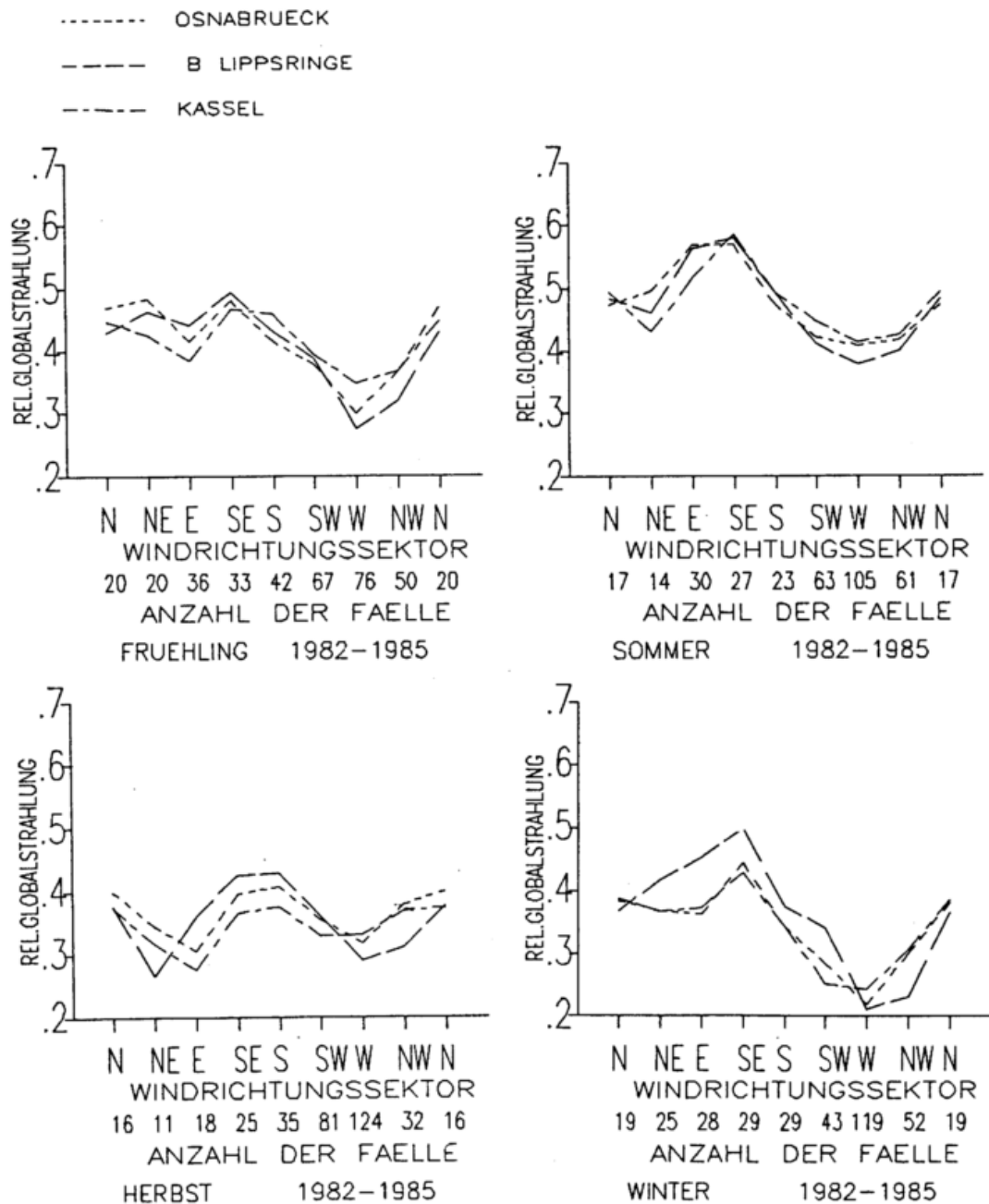


Abb. 16a: Relative Globalstrahlung als Funktion der Windrichtung
 im 850 hPa-Niveau, getrennt nach Jahreszeiten. Stationen
 Osnabrück, Bad Lippspringe, Kassel

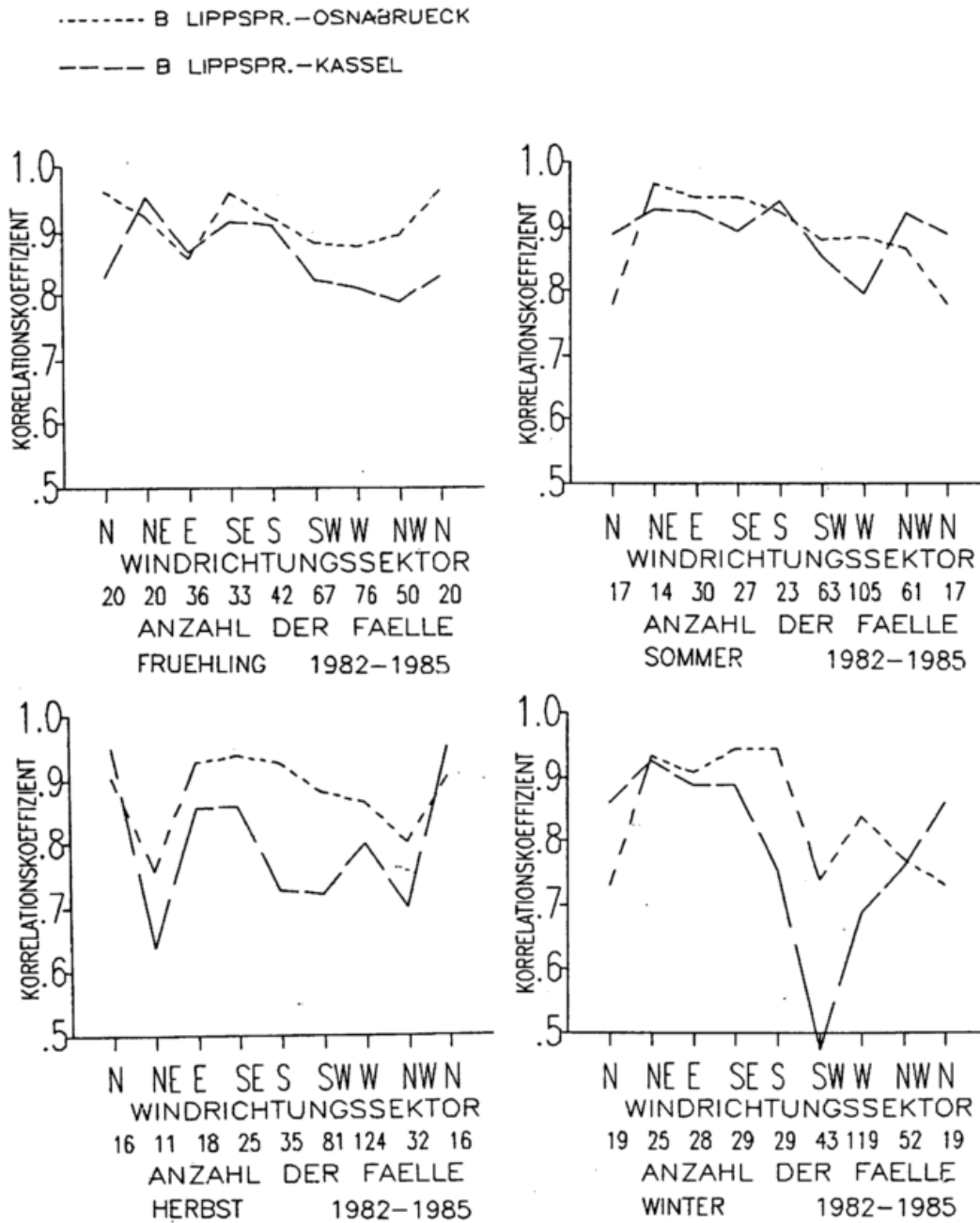


Abb. 16b: Korrelationskoeffizient der relativen Globalstrahlung als Funktion der Windrichtung im 850 hPa-Niveau, getrennt nach Jahreszeiten. Korrelation von Bad Lippspringe mit Osnabrück und Kassel

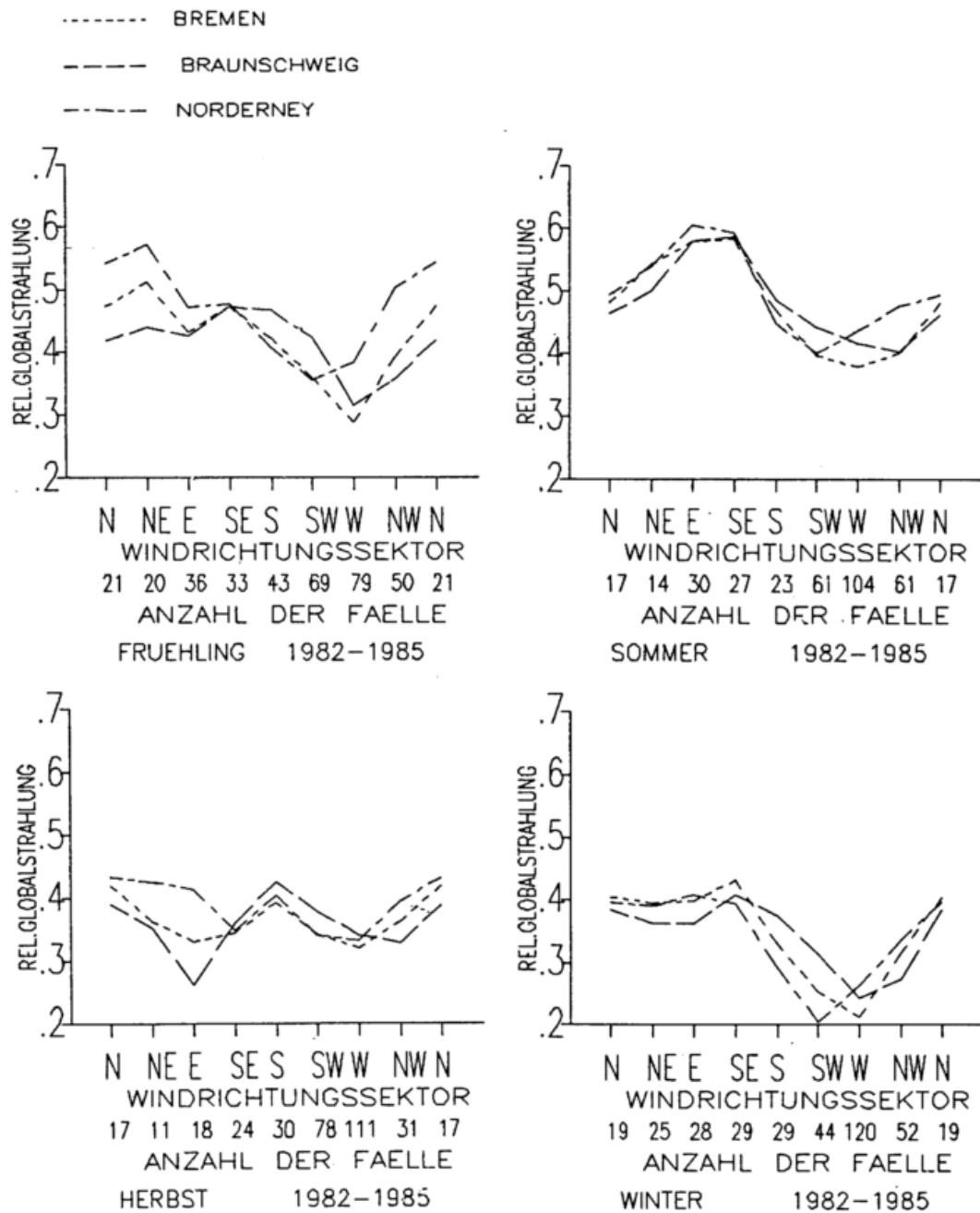


Abb. 17a: Relative Globalstrahlung als Funktion der Windrichtung im 850 hPa-Niveau, getrennt nach Jahreszeiten. Stationen Bremen, Braunschweig, Norderney

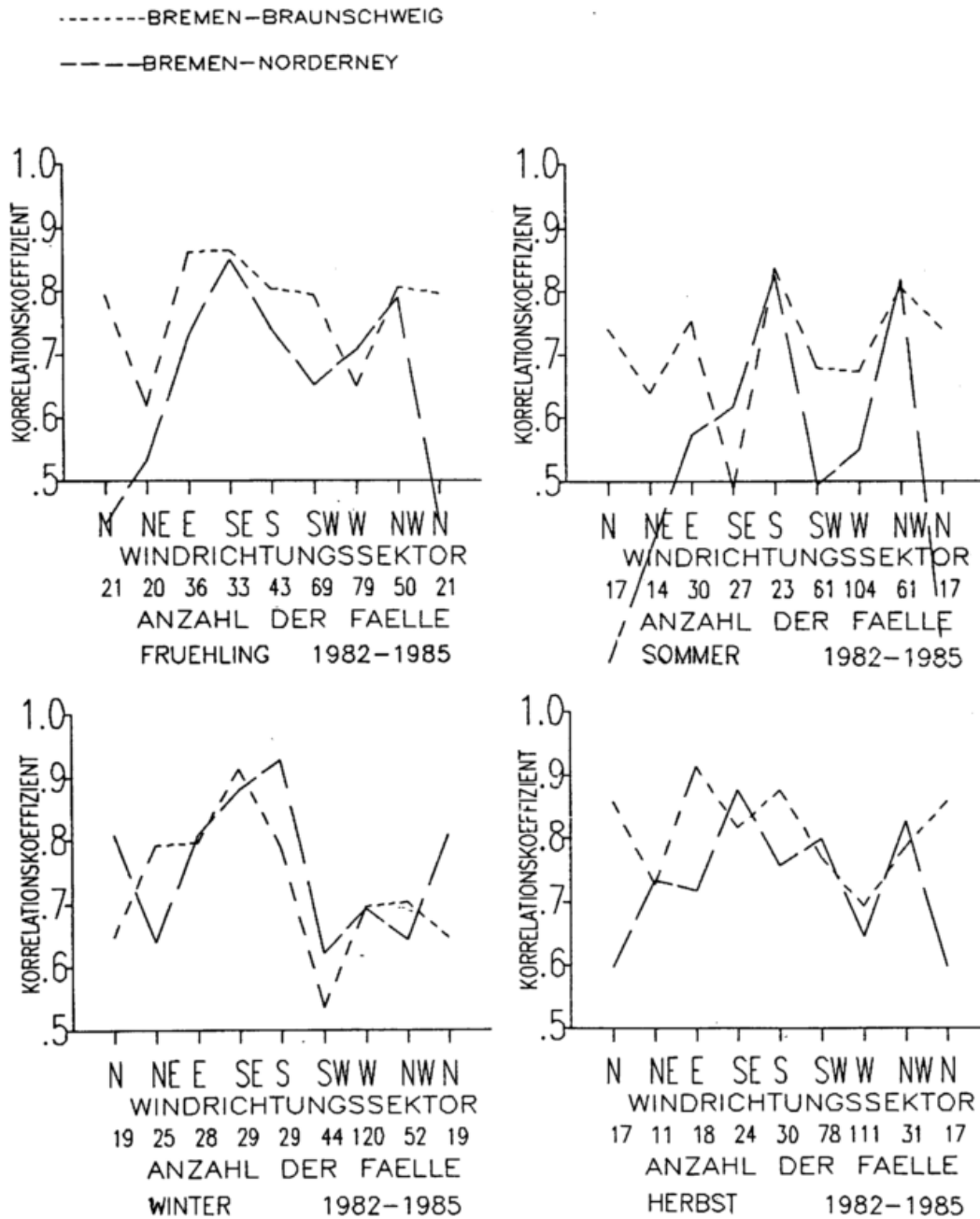


Abb. 17b: Korrelationskoeffizient der relativen Globalstrahlung als Funktion der Windrichtung im 850 hPa-Niveau, getrennt nach Jahreszeiten. Korrelation von Bremen mit Braunschweig und Norderney

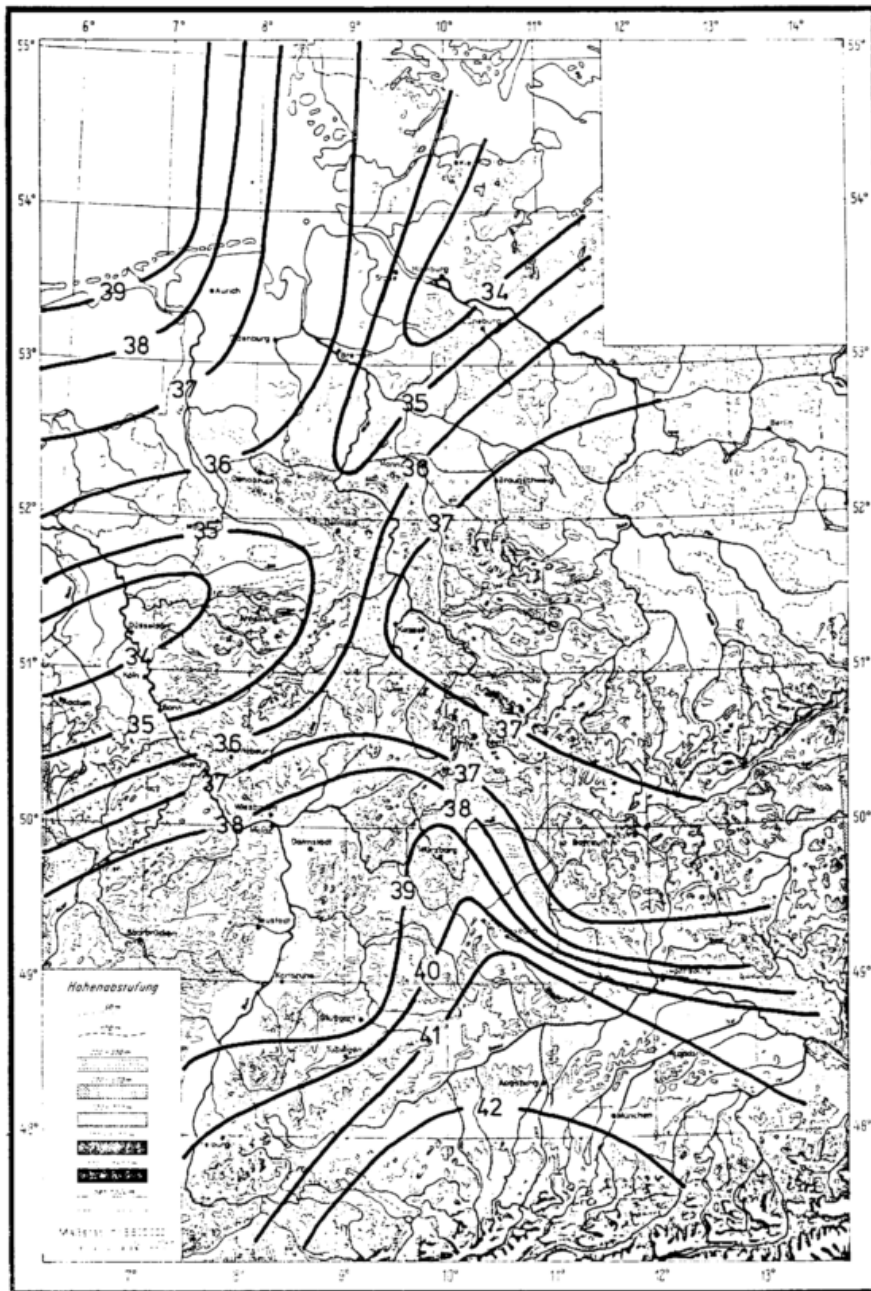


Abb. 18a: Verteilung der relativen Globalstrahlung G/G_0 in der Bundesrepublik Deutschland im März. Mittlere Monatsmittel (1982-1985) der Tageswerte in %

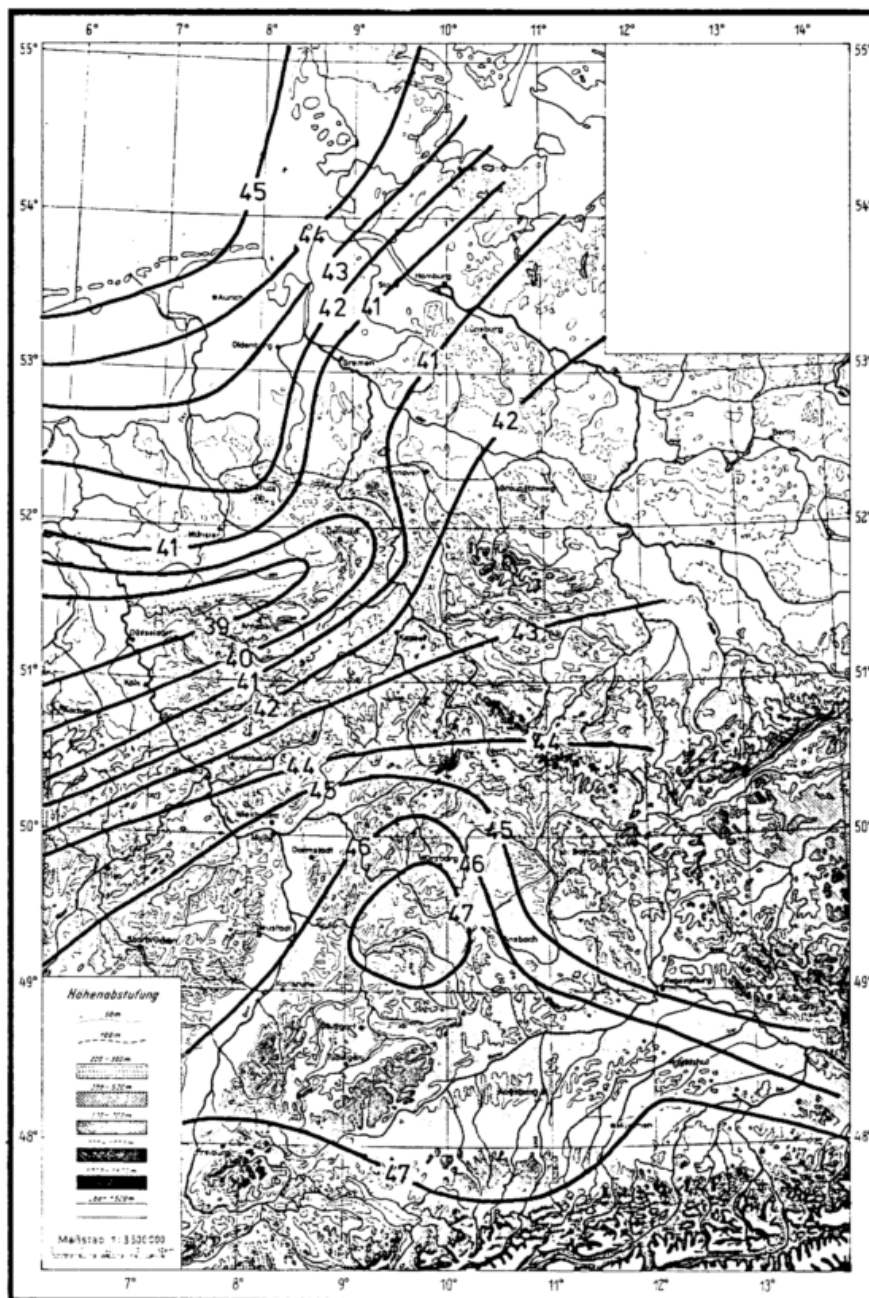


Abb. 18b: Verteilung der relativen Globalstrahlung G/G_0 in der Bundesrepublik Deutschland im Juni. Mittlere Monatsmittel (1982-1985) der Tageswerte in %

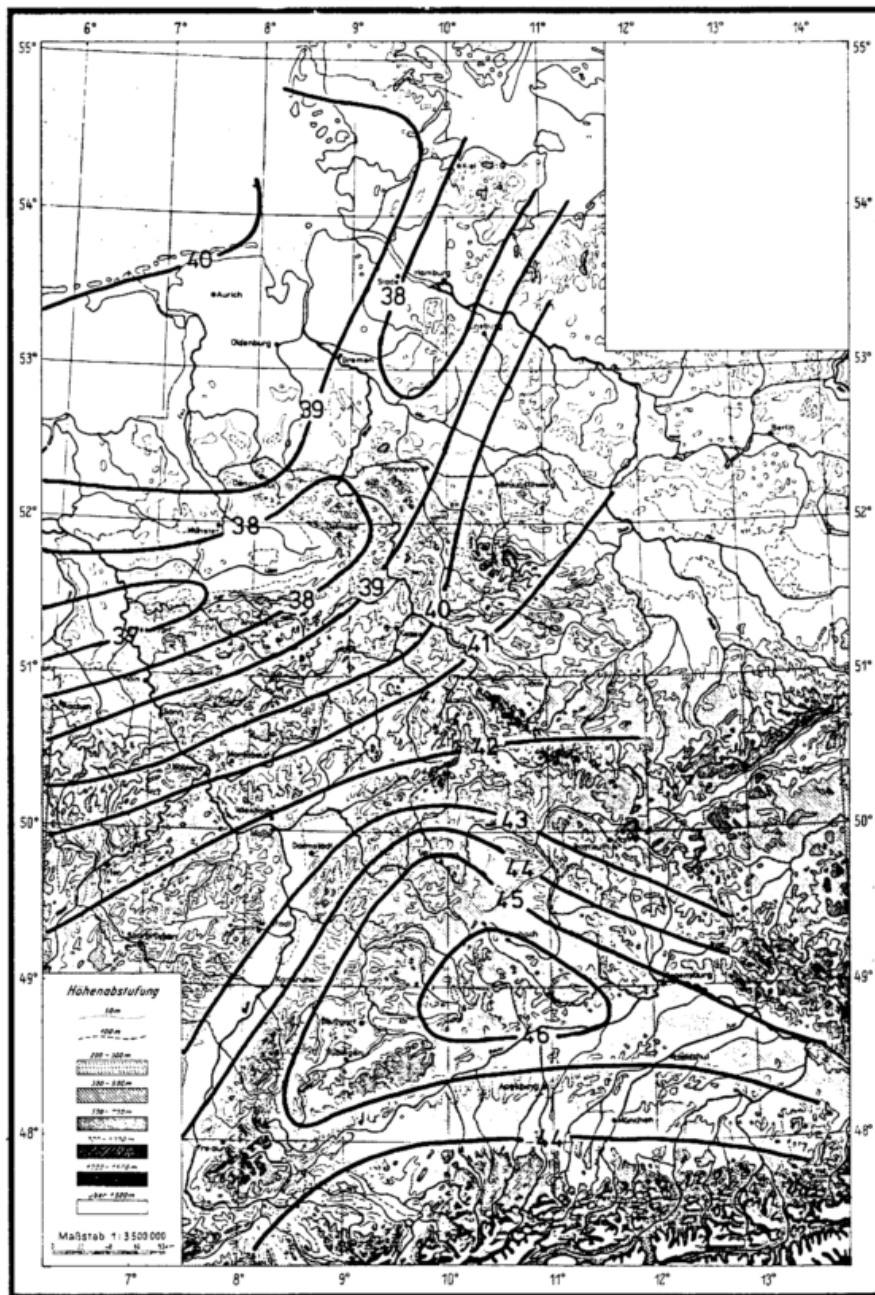


Abb. 18c: Verteilung der relativen Globalstrahlung G/G_0 in der Bundesrepublik Deutschland im September. Mittlere Monatsmittel (1982-1985) der Tageswerte in %

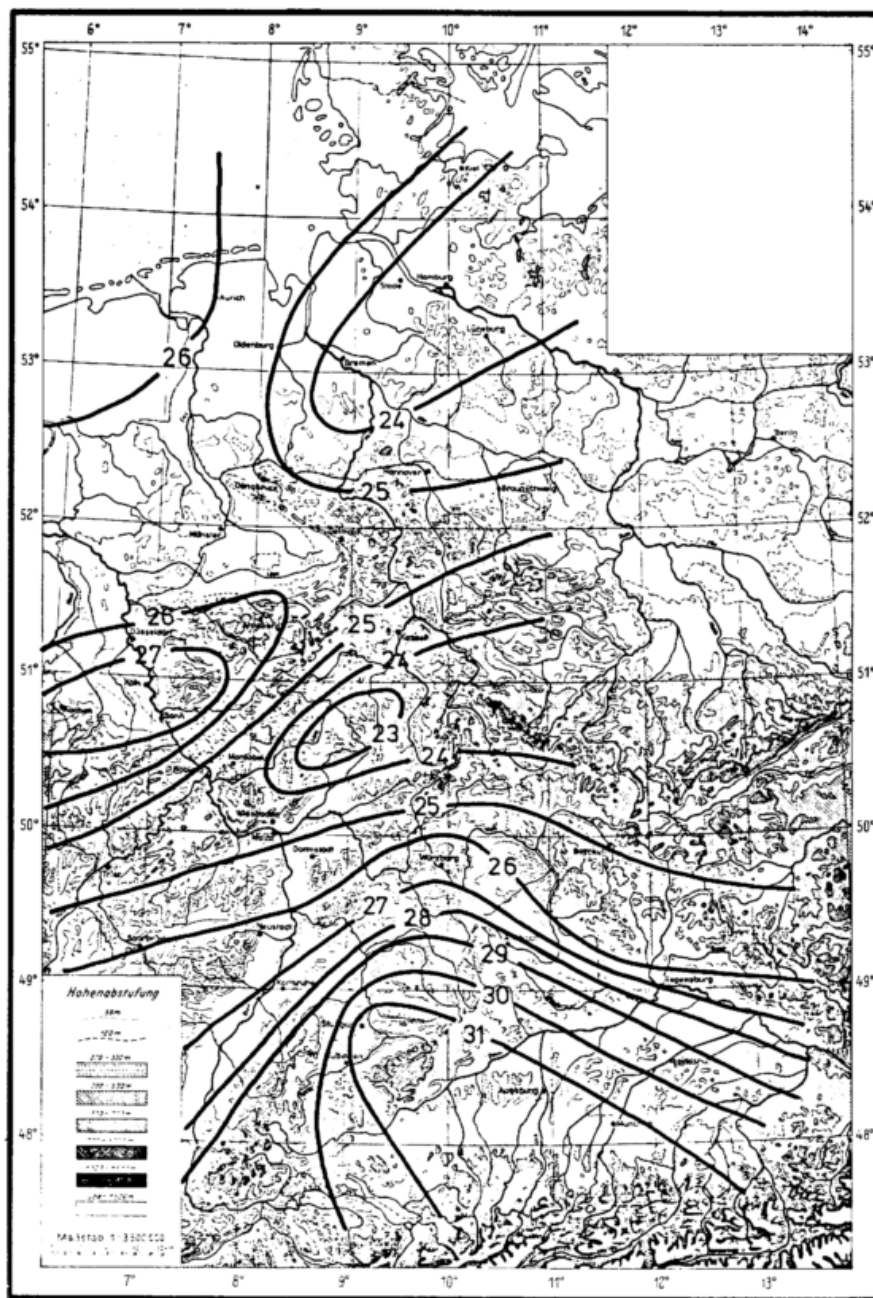


Abb. 18d: Verteilung der relativen Globalstrahlung G/G_0 in der Bundesrepublik Deutschland im Dezember. Mittlere Monatsmittel (1982-1985) der Tageswerte in %

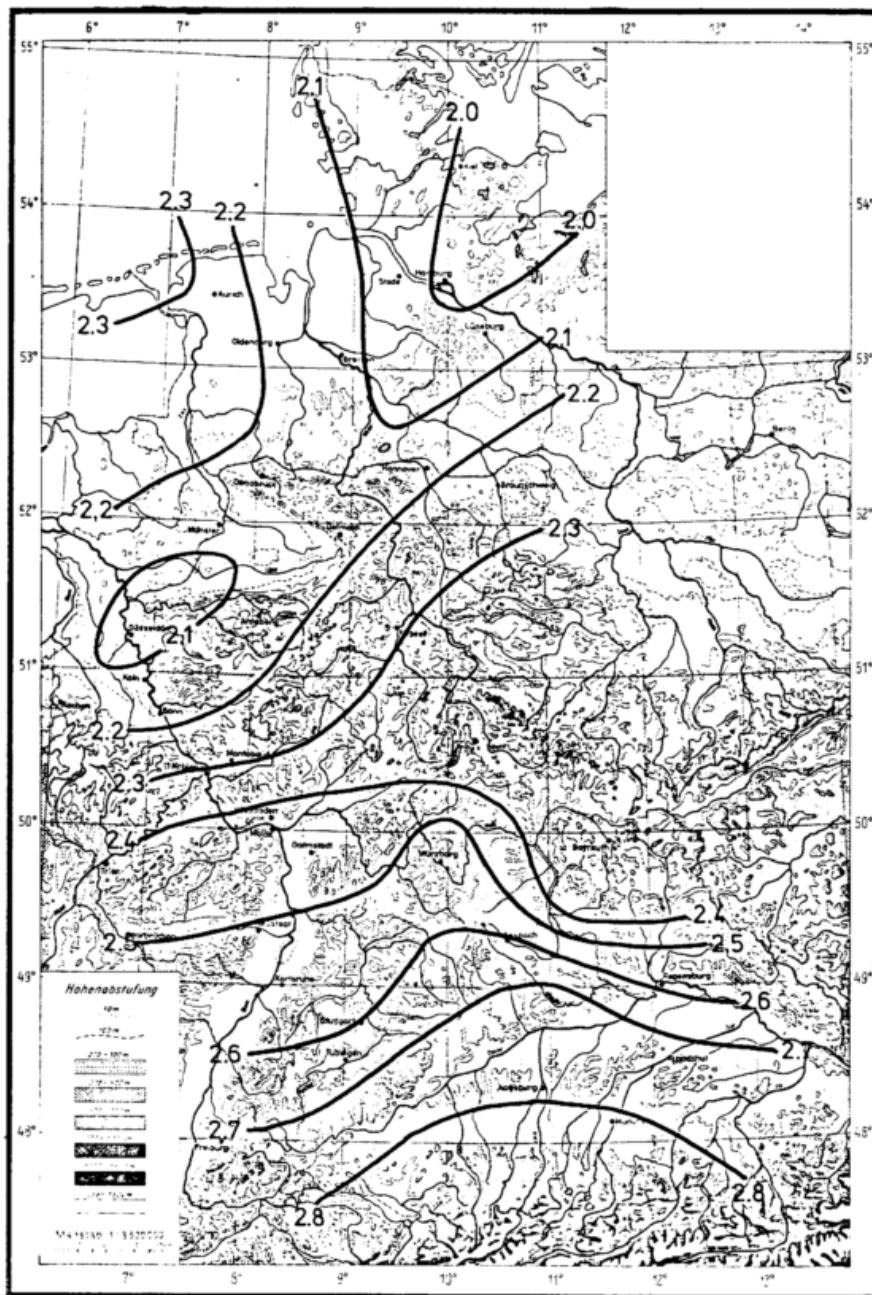


Abb. 19a: Verteilung der Globalstrahlung G in der Bundesrepublik Deutschland im März. Mittlere Monatsmittel (1982-1985) der Tagessummen in $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$

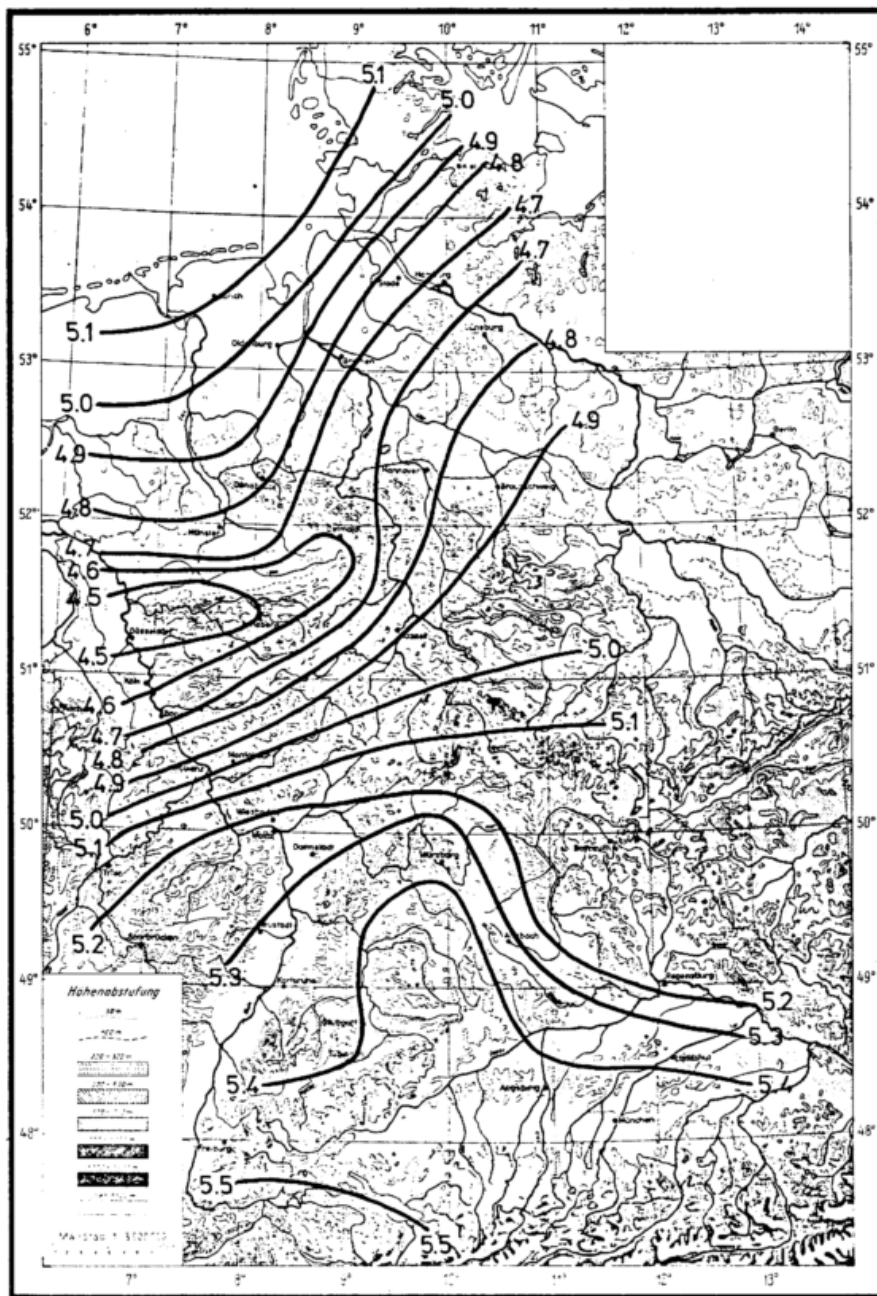


Abb. 19b: Verteilung der Globalstrahlung G in der Bundesrepublik Deutschland im Juni. Mittlere Monatsmittel (1982-1985) der Tagessummen in kWh·m⁻²

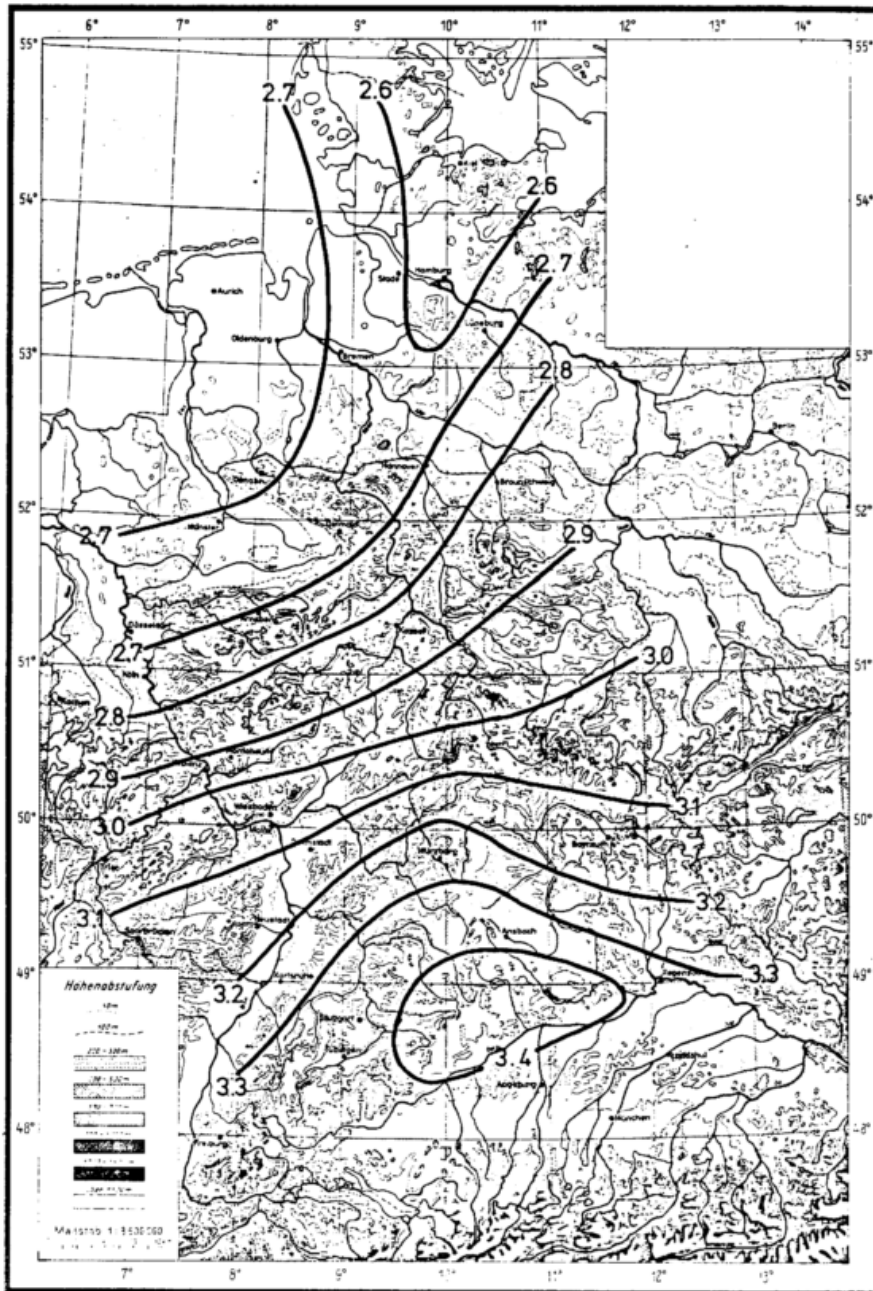


Abb. 19c: Verteilung der Globalstrahlung G in der Bundesrepublik Deutschland im September. Mittlere Monatsmittel (1982-1985) der Tagessummen in kWh·m⁻²

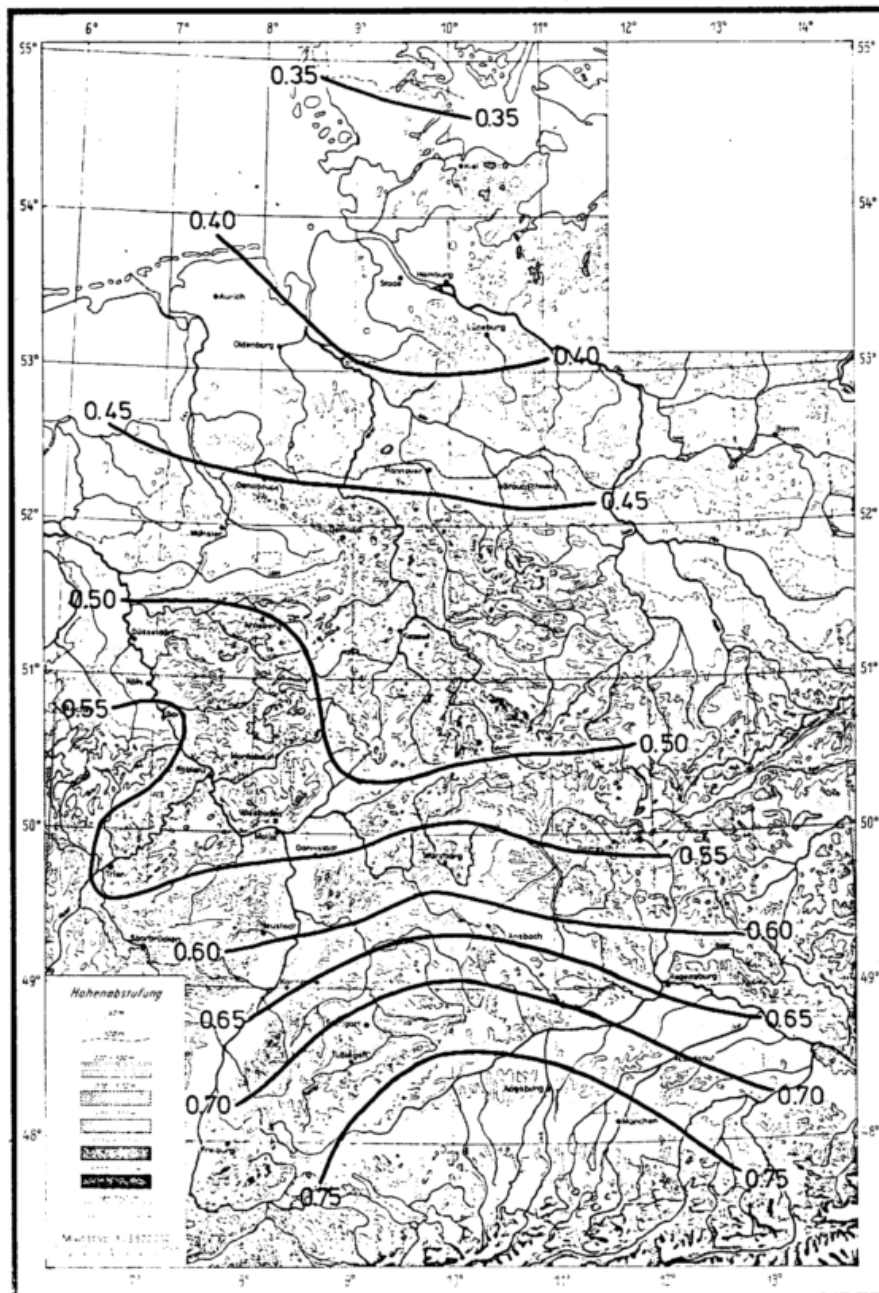


Abb. 19d: Verteilung der Globalstrahlung G in der Bundesrepublik Deutschland im Dezember. Mittlere Monatsmittel (1982–1985) der Tagessummen in $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$