

Berichte
des
Deutschen Wetterdienstes

Nr. 129
(Band 17)

DK 551.542

Das globale Luftdruckfeld in Seehöhe

von

LOTHAR KAUFELD

Mit 19 Tabellen und 64 Abbildungen im Text

Offenbach a. M. 1972

Im Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

Inhalt

	Seite
Zusammenfassung	5
Abstract	5
1. Material und Berechnungen	5
1.1. Tägliche IGJ-Werte und globale Monatsmittelwerte	5
1.2. Streuung und Variation	6
2. Breitenkreismittel der globalen Luftdruckgebilde	6
2.1. Jahresmittel des Luftdruckes	6
2.1.1. Jahresmittel 1958, IGJ-Werte	6
2.1.2. Die Genauigkeit der globalen Monatsmittelwerte	7
2.1.3. Jahresmittel 1957-62	8
2.2. Monatsmittel des Luftdruckes	9
2.2.1. Monatsmittel des IGJ	9
2.2.2. Die Monate der Jahre 1957-62	15
2.2.3. Grenzbreiten der atmosphärischen Zirkulation	18
2.2.4. Beispiele monatlicher Breitenkreismittel des Luftdruckes	19
2.3. Beispiele täglicher Breitenkreismittel des Luftdruckes	20
2.3.1. Nordsommer, normal	20
2.3.2. Nordsommer, anomal	20
2.3.3. Nordwinter, normal	22
2.3.4. Nordwinter, wechselhaft	22
2.3.5. Besonderheiten des März 1958	23
2.3.6. Die extremen Verhältnisse auf der Südhalbkugel im Oktober 1958	23
2.3.7. Besondere Verhältnisse im Dezember 1958	25
2.4. Harmonische Analyse der Luftdruck-Breitenkreismittel auf einem Meridionalschnitt	25
2.4.1. Rechengang	25
2.4.1. Ergebnisse	27
3. Breitengürtel	27
3.1. Einteilung der Breitengürtel	27
3.1.1. Neue Einteilung	27
3.1.2. Ältere Einteilung	28
3.1.3. Einteilung bei der Benutzung globaler Monatsmittelwerte	28
3.2. Jahreswerte des Luftdrucks	28
3.3. Monatswerte des Luftdrucks	30
3.4. Tageswerte des Luftdrucks	32
3.4.1. Tageswerte in den Luftdruck-Breitengürteln	32
3.4.2. Tageswerte des globalen Luftdrucks	36
3.5. Die Signifikanz der Luftdruckwerte	39
3.5.1. χ^2 -Test	39
3.5.2. Korrelation des Stationenmittels mit dem Luftdruck der südhemisphärischen Westwindzone	39
3.5.3. Die Genauigkeit der Breitengürtelmittelwerte	41
3.6. Korrelation des Luftdrucks der Breitengürtel	43
3.6.1. Berechnungen	43
3.6.2. Ergebnisse ohne Trendelimination	45
3.6.3. Trendelimination	45
3.6.4. Ergebnisse nach Trendelimination	46

	Seite
3.6.5. Partielle Korrelationskoeffizienten	46
4. Zoneneinteilung und Ermittlung von Monsunaleffekten.....	47
4.1. Zonen	47
4.1.1. Einteilung der Erde in Zonen	47
4.1.2. Druckvariation der Zonen	48
4.1.3. Jahresgang des Luftdrucks	49
4.1.4. Jahresmittel der Zonen	52
4.2. Harmonische Analyse der Monatsmittelwerte des globalen Luftdrucks	53
4.2.1. Rechnung und Darstellung der Ergebnisse	53
4.2.2. Luftdruckabweichungen vom globalen Jahresmittel 1958	54
4.2.3. Der Jahresgang	56
4.3. Autokorrelation der Luftdruck-Oktantenmittel	56
5. Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse.....	56
Literatur	59

Anschrift des Verfassers:
Dr. Lothar Kaufeld, 4933 Blomberg, Schiederstraße 8

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

Zusammenfassung

Den Berechnungen dieser Arbeit lagen zwei Datenkollektive zugrunde:

- 1) Tägliche Netzwertwerte aus dem IGJ und
- 2) Monatsmittelwerte der Periode 1957-1962.

Anhand von *Breitenkreismittelwerten* des Luftdrucks (Jahresmittel 1958), die aus den täglichen IGJ-Daten berechnet wurden, werden die Charakteristika des globalen Luftdruckfeldes aufgezeigt; Nordpolarhoch, nördl. subpolare Tiefdruckrinne, nördl. subtrop. Hochdruckgürtel, äquatoriale Tiefdruckrinne, südl. subtrop. Hochdruckgürtel und südl. subpolare Tiefdruckrinne und deren Veränderlichkeit von Tag zu Tag und von Monat zu Monat werden beschrieben.

Die Zusammenfassung einzelner Breitenkreismittel zu sogenannten *Breitengürteln* ermöglicht es, Zusammenhänge zwischen den globalen Luftdruckgebilden aufzuzeigen. - Besonderer Wert wird auf die Berechnung und Deutung täglicher und monatlicher *globaler Luftdruckschwankungen* gelegt.

Um die Monsunaleffekte des Druckfeldes zu erfassen, wurde die Erde in *Zonen* (von z. B. 30° Länge und 30° Breite) eingeteilt und das durch die Land-See-Verteilung verursachte Verhalten des Luftdruckes beschrieben.

Die zeitliche Veränderlichkeit des globalen Luftdruckfeldes gibt die *Variation* an. Diese wurde berechnet und Karten mit Linien gleicher *Variation* gezeichnet. Hieraus werden allgemeine, spezielle geographische und jahreszeitlich veränderliche *Eigenschaften* der globalen Luftdruck-Variation entnommen.

Abstract

Two data samples were the basis of this work:

- 1) the daily grid point values of the IGY and
- 2) mean monthly values of the period 1957-1962.

Characteristics of the global pressure field, like the polar anticyclones, the subpolar troughs, the subtropical ridges and the equatorial trough, and their variations from day to day and from month to month were shown by *latitudinal means*, calculated from the IGY-data.

Composing single latitude means to *latitude belts* enables us to point out the connections between the global pressure features. - Special emphasis is given to daily and monthly *variations of the global pressure*.

To obtain the monsoon effects of the pressure field, the earth was divided into "zones", and the behaviour of the pressure originating from the land-sea distribution is described.

Charts are shown which reveal the general, the special geographic and the seasonal *variable characteristics* of the global pressure variation.

1. Material und Berechnungen

1.1. Tägliche IGJ-Werte und globale Monatsmittelwerte

Es liegen die täglichen Werte des Luftdruckes in Seehöhe von 12 Uhr GMT für die Zeit des Internationalen Geophysikalischen Jahres (IGJ) vom 1. 7. 1957 - 31. 12. 1958 von folgenden 1 462 Netzknoten vor.

	Nordpol :	1 Wert		
	85°N:	4 Werte:	0°, 90°, 180°, 270°	Länge
alle 5 Breiten- grade	80° - 70°N:	je 18 Werte:	0°, 20°, 40°, ... 340°	Länge
	65° - 30°N:	je 36 Werte:	0°, 10°, 20°, ... 350°	Länge
	25°N - 25°S:	je 72 Werte:	5°, 10°, 15°, 20°, ... 360°	Länge
	30° - 60°S:	je 36 Werte:	{ 0°, 10°, 20°, ... 350°	Länge f. gradzahlige Breiten
			{ 5°, 15°, 25°, ... 355°	Länge f. ungradzahlige Breiten
	70°S:	17 Werte:	0°, 15°, 30°, 75°, 165°, 180°, ... 345°	Länge
	75°S:	12 Werte:	165°, 180°, 195°, ... 330°	Länge
	80°S:	6 Werte:	180°, 210°, ... 330°	Länge

Diese wurden den täglichen Wetterkarten des IGJ (1), (2), (3) entnommen. Die Entstehung dieser Karten ist in (12) geschildert.

Aus den Netzwertwerten wurden Tageswerte, Monats- und Jahresmittel für Breitenkreismittel, Breiten-

	Nordpol	:	1 Wert		
	85°N:		4 Werte:	0°, 90°, 180°, 270°	Länge
alle 5	80° u. 75°N:	je	18 Werte:	0°, 20°, 40°, ... 340°	Länge
Breiten-	70°N-70°S:	je	36 Werte:	0°, 10°, 20°, ... 350°	Länge
grade	75° u. 80°S:	je	18 Werte:	0°, 20°, 40°, ... 340°	Länge
	85°S:		4 Werte:	0°, 90°, 180°, 270°	Länge
	Südpol	:	1 Wert		

Zwischen 50°S und dem Südpol ist der Luftdruck der MMS-Karten zu ungenau. Differenzen bis zu 30 mb an einem Netzwert zu den in „Notos“ (6) veröffentlichten Werten des Südafrikanischen Wetterdienstes treten auf.

Daher wurden von 55°S bis zum Südpol die Werte aus Notos entnommen. Diese Tatsache begrenzt aber auch unser Datenmaterial, da Monatsmittelwerte in Notos nur für den Zeitraum von 1957-1972 erschienen sind. So beschränkt sich unser Datenmaterial auf diese 6 Jahre. Berechnet werden Monats- und Jahresmittel sowie 6-Jahresmittel des Luftdrucks für Breitenkreise, Breitengürtel und Zonen.

Nun lassen sich die Ergebnisse des IGJ mit denen eines größeren Zeitraumes vergleichen und wir werden sehen, was charakteristisch für den allgemeinen Zustand der Atmosphäre und was lediglich eine Besonderheit des Jahres 1958 oder eines Monats des IGJ war.

1.2. Streuung und Variation

Um die räumlichen Unterschiede einer Größe zu einem festen Zeitpunkt zu erfassen, wird die Streuung dieser Größe berechnet nach der Formel

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n (x_i)^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n} \right)} \quad [1]$$

wobei die x_i die zu untersuchenden Werte und n deren Anzahl ist. σ_x wird auch mittlerer Fehler (engl. standard deviation) genannt.

Faßt man bei der Streuungsberechnung Gebiete verschiedener geographischer Breite zusammen, muß man die Werte noch mit dem Cosinus der Breite wichten. Die Formel lautet dann:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \cos \varphi_i} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \cos \varphi_i - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i \cos \varphi_i)^2}{\sum_{i=1}^n \cos \varphi_i} \right)} \quad [2]$$

Für zeitliche Änderungen wird im Folgenden der Ausdruck „Variation“ benutzt werden. Um die zeitliche Veränderung einer Größe zu erhalten, wird Formel [1] benutzt, wobei die x_i nun eine zeitliche Folge von Werten darstellen.

Beispiel: Die Variation der täglichen Werte innerhalb eines Monats des Breitenkreismittels von 60°N oder die Variation der Breitenkreis-Monatsmittel innerhalb eines Jahres.

2. Breitenkreismittel zur Darstellung der globalen Luftdruckgebilde

2.1. Jahresmittel des Luftdrucks

2.1.1. Jahresmittel 1958, IGJ-Werte

Aus den täglichen Netzwertwerten des IGJ werden Breitenkreismittel berechnet. Für einen Überblick über die globalen Verhältnisse wurden die Tageswerte zum

gürtelmittel und Zonenmittel des Luftdrucks sowie Streuung und Variation berechnet.

Monatsmittel des Luftdrucks wurden aus den Monatsmittelkarten des Seewetteramtes Hamburg an folgenden Netzwerten entnommen (MMS-Werte):

Jahresmittel von 1958 zusammengefaßt und in Abb. 1 dargestellt. Sie enthält die Breitenkreismittel von 90°N bis 75°S. Es sind das Jahresmittel 1958 (dicke obere Kurve) sowie das Mittel des Nordwinters (Januar-April 1958 und November-Dezember 1958) (NW) und das Mittel des Nordsummers (Mai-Oktober 1958) (NS) eingetragen. Der untere Teil der Zeichnung enthält die Variation der täglichen Luftdruck-Breitenkreismittel innerhalb eines Monats (Var.). Die 12 Monate des Jahres 1958 wurden hier gemittelt. Die Streuung der täglichen Luftdruckwerte ist in der mit Strichen bezeichneten Kurve dargestellt.

Dies ist nur das Jahr 1958; eine Darstellung, die das Mittel der Jahre 1957-1962 enthält, wird in Kapitel

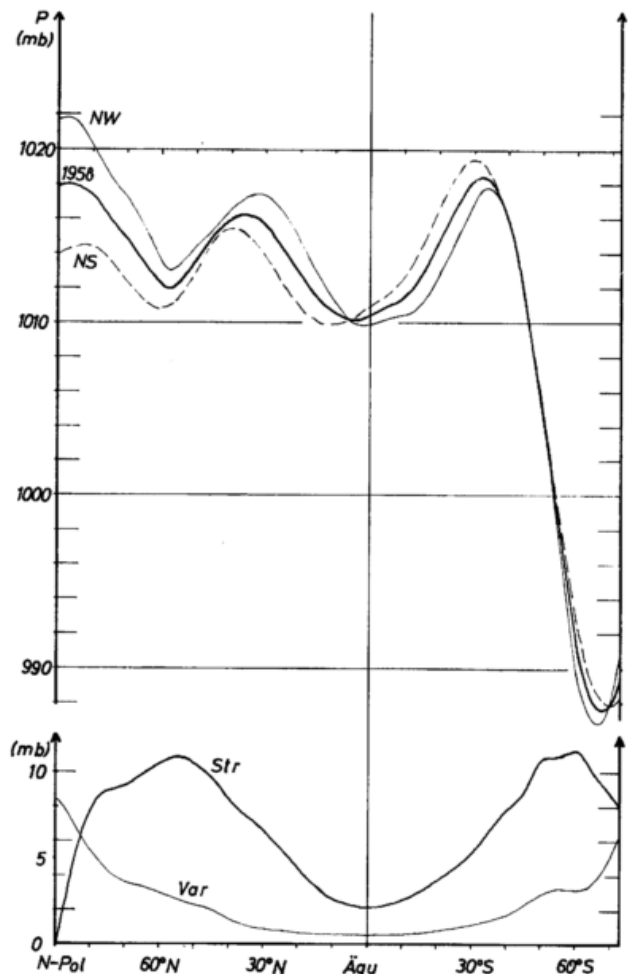


Abb. 1 Breitenkreismittel, IGJ-Werte; Luftdruck (NW: Nordwinter, NS: Nordsummer, 1958: Jahr 1958); Streuung (Str) und Variation (Var): Jahresmittel 1958.

2.1.2. folgen, doch man kann schon aus diesem einen Jahr die charakteristischen Züge des Luftdruck- und Windfeldes erkennen.

Betrachten wir zunächst das Jahresmittel (1958). Das Nordpolargebiet hat verhältnismäßig hohen Luftdruck (1018 mb), der zu der nördlichen subpolaren Tiefdruckrinne bei 58°N abfällt, und zwar nicht gleichmäßig, sondern in mehreren Stufen. Dies sehen wir besonders im Nordwinter (NW), wo sich bei 75°N eine zyklonale, bei 65°N eine antizyklonale Ausbeulung der Luftdruckprofilkurve befindet.

Der subpolare Tiefdruckring bei etwa 58°N hat im Jahresmittel einen Druck von 1012 mb; dann steigt der Luftdruck bis zum subtropischen Hochdruckgürtel an, der bei etwa 37°N liegt und einen mittleren Druck von 1016.2 mb hat. Er ist im Jahresmittel also nicht so intensiv wie das Nordpolarhoch. Die äquatoriale Tiefdruckrinne liegt mit 1010.1 mb auf 5°N. — Weiter nach Süden zu steigt der Luftdruck an bis auf etwa 33°S, wo sich die Achse des südlichen subtropischen Hochdruckgürtels mit 1018.4 mb befindet. Dieser Gürtel ist intensiver als der nördliche subtropische Hochdruckgürtel. Weiter südwärts fällt der Luftdruck steil ab bis in die sehr kräftig ausgeprägte südliche subpolare Tiefdruckrinne, die bei etwa 67°S vor der Küste des antarktischen Kontinents liegt und einen Kerndruck von 987.6 mb aufweist. Zum Südpol hin steigt der Luftdruck wieder an. Quantitative Ergebnisse lieferten die MMS-Werte (nächstes Kapitel), die bis zum Südpol reichen.

Die jahreszeitlichen Unterschiede sind in hohen Breiten am größten, in niederen Breiten am geringsten. Im Nordsommer liegen von den aufgeführten 7 Luftdruckgürteln 5 weiter nördlich als im Nordwinter; sie gehen mit der Sonne, aber die südliche subpolare Tiefdruckrinne liegt im Südwinter näher am Südpol als im Südsummer. Die Verlagerung des Nordpolarhochs von ca. 88°N im Winter nach etwa 82° im Sommer wird sich als Besonderheit des Jahres 1958 herausstellen.

Beide Halbkugeln haben im Sommer stets und in fast allen Breiten einen niedrigeren Luftdruck als im Winter. Nach Abb. 1 haben im Nordsommer 55%, im Nordwinter 66%, im Jahresmittel 63% der Erdoberfläche eine vom Äquator zum Pol ansteigende Luftdruckkurve (Ostwind).

Das nordpolare Hoch hat im Winter einen Druck von 1021.8 mb, im Sommer 1014.4 mb. Die nördliche subpolare Tiefdruckrinne liegt mit 1013.0 mb bei 57° im Winter, mit 1010.8 mb bei 61°N im Sommer, sie wandert nicht stark; auch hat ihre Intensität keine so große jahreszeitliche Schwankung aufzuweisen wie die des Nordpolarhochs. — Eine größere Breitenverlagerung zwischen Winter und Sommer weist der nördliche subtropische Hochdruckgürtel auf: Er wandert von 40°N im Sommer nach 33°N im Winter, seine Intensität schwankt um 2 mb von 1017.4 mb im Winter auf 1015.4 mb im Sommer.

Etwa genauso weit wandert die äquatoriale Tiefdruckrinne zwischen Winter und Sommer, nämlich von etwa 12°N im Nordsommer nach etwa 2°N im Nordwinter; dann deutet sich aber noch eine zweite Tiefdruckrinne auf 10°S an.

Die Breitenverlagerung aller südhemisphärischen Luftdruckgebilde ist geringer als die der nordhemisphärischen, was wohl auf die unterschiedliche Land-Wasser-Verteilung zurückzuführen ist. Der südhemisphärische subtropische Hochdruckgürtel liegt im Winter (Nordsommer) mit 1019.4 mb auf 30°S, im Sommer (Nordwinter) mit 1017.8 mb auf 34°S. Zwischen 35°S und 50°S gibt es kaum jahreszeitliche Unterschiede: Der subpolare Tiefdruckring hat im Südsommer größere Intensität und nördlichere Lage (986.8 mb auf 66°S) als im Südwinter (987.9 mb auf 70°S)! Hier ist allerdings die

Einteilung nach Sommer und Winter nicht sinnvoll, wie die Betrachtung der einzelnen Monate zeigen wird; hier treten zu jeder Jahreszeit starke Unterschiede von einem Monat zum anderen auf.

Die Kurve der mittleren Variation der täglichen Luftdruck-Breitenkreismittel (Abb. 1, Var.) hat ihre höchsten Werte in den polnahen Gebieten, was schon deshalb nicht erstaunlich ist, weil hier wenige Werte das Breitenkreismittel bilden, das dann zeitlich stärker schwanken kann als ein Mittel aus vielen Werten. Außerdem sind aber wirklich die kurzzeitigen Druckschwankungen innerhalb der einzelnen Monate in höheren Breiten viel größer als in niederen, wo von 30°N bis 25°S das Jahresmittel der Variation unter 1 mb bleibt. Aus Kontinuitätsgründen müssen zudem kleinen Druckschwankungen in den ausgedehnten äquatornahen größeren in polaren Breiten entsprechen.

Die Streuung der täglichen Luftdruckwerte auf den Breitenkreisen wurde für das Jahr 1958 gemittelt (Abb. 1, Str.). Am Nordpol, wo täglich nur ein Wert vorhanden ist, verschwindet die Streuung. Von den Polen steigt die Kurve in Richtung Äquator steil an und erreicht im Bereich der subpolaren Tiefdruckrinnen auf 55°N und 60°S ihre Maxima, die mit ca. 11 mb ungefähr gleich groß sind. Hier herrschen also im Jahresmittel die größten Druckunterschiede auf den Breitenkreisen. — Am Äquator liegt das Minimum mit 2.1 mb, die Streuungskurve ist nahezu symmetrisch zu ihm. Außer in Polnähe ist die Streuung stets bedeutend größer als die Variation, d. h. die räumlichen Druckunterschiede auf den Breitenkreisen sind stets größer als die zeitlichen Änderungen der Breitenkreismittelwerte.

2.1.2. Die Genauigkeit der globalen Monatsmittelwerte

Die Genauigkeit der Monatsmittelwerte (MMS-Werte), auch der daraus berechneten Jahresmittel, ist naturgemäß geringer als die der nach täglichen Werten gebildeten Mittelwerte. So ergeben sich in den Monaten Juli 1957 bis Dezember 1958, für die auch aus den täglichen IGJ-Werten gebildete Monatsmittel vorliegen, Differenzen, die in der nachstehenden Tabelle 1 für einige Monate und das Jahresmittel 1958 aufgeführt sind. Die IGJ-Werte wollen wir als richtig betrachten. Wir sehen: Vom Nordpol bis etwa 55°N sind die Differenzen gering, beide Monatsmittel stimmen gut miteinander überein. Bis ca. 30°N gibt es kleine Unterschiede verschiedenen Vorzeichens; im Jahresmittel 1958 ergeben sich geringe negative Werte, d. h. die MMS-Werte liegen hier um 0.1 bis 0.2 mb zu hoch.

Systematische Fehler existieren zwischen 30°N und 0° sowie zwischen dem Äquator und 30°S. Die äquatoriale Tiefdruckrinne wurde in den MMS-Karten stets zu weit südlich gezeichnet; sie liegt in den Jahresmitteln 1957–1962 immer auf dem Äquator mit symmetrischer oder nahezu symmetrischer Luftdruckverteilung zu diesem. (S. Abb. 2 unkorrt.).

Im einzelnen ergibt sich dieses dadurch, daß über den Ozeanen ohne Meldungen der tiefste Druck zu weit südlich gezeichnet wurde. Die äquatoriale Tiefdruckrinne liegt aber im Jahresmittel bei etwa 5°N (Abb. 1). Aus diesem systematischen Fehler folgt, daß die MMS-Werte zwischen 30°N und dem Äquator zu hoch, zwischen dem Äquator und 30°S zu tief sind.

In der südhemisphärischen Westwindzone gibt es stärkere Abweichungen verschiedenen Vorzeichens bis 4.6 mb (Oktober 58, 50°S), meist 1/2 bis 2 mb in den einzelnen Monaten; im Jahresmittel gleichen sich diese aber weitgehend aus, so daß nur Abweichungen von -0.2 bis 0.4 mb auftreten. — Geringer sind die Unterschiede der Monatswerte, die „Notos“ entnommen sind; zwischen 55°S und 65°S stimmen sie recht gut mit den IGJ-Werten überein; auf 70°S allerdings gibt es wieder größere Differenzen.

Tabelle 1
Luftdruckdifferenzen (mb): IGJ-Monatsmittel-MMS-Wert

Breite	Juli 57	Okt. 57	Jan. 58	April 58	Juli 58	Okt. 58	Jahr 1958
90°N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
85°N	-1.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
80°N	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
75°N	0.1	-0.1	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
70°N	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	-0.1	0.1
65°N	-0.1	0.0	0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0
60°N	0.0	-0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0
55°N	0.0	0.1	-0.2	0.3	0.0	0.1	0.0
50°N	0.0	-0.3	-0.2	0.1	-0.1	0.1	0.0
45°N	0.1	-0.3	-0.4	0.1	0.0	0.5	-0.1
40°N	0.3	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	0.5	-0.2
35°N	0.2	0.0	-0.1	-0.2	0.1	0.2	-0.1
30°N	0.1	-0.3	-0.4	-0.4	0.2	0.0	-0.1)
25°N	-0.3	-0.5	-0.4	-0.5	-0.2	-0.5	-0.3)
20°N	-0.7	-0.5	-0.8	-0.3	-0.8	-0.5	-0.6)
15°N	-0.9	-0.8	-1.4	-0.9	-0.5	-0.9	-0.8)
10°N	-0.7	-0.6	-1.4	-1.0	-0.5	-0.9	-0.7)
5°N	-0.4	-0.4	-1.5	-0.9	0.1	-0.5	-0.6)
0°	-0.1	-0.1	-1.0	-0.1	0.2	0.3	0.0
5°S	0.2	0.2	-0.2	0.1	0.4	0.6	0.2)
10°S	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.8	0.3)
15°S	1.0	0.6	0.4	0.5	0.3	0.8	0.5)
20°S	1.2	0.9	0.9	0.4	0.9	0.7	0.6)
25°S	1.0	1.0	0.8	0.0	0.5	0.8	0.4) ⁺
30°S	0.7	1.2	0.3	-0.3	-0.3	0.5	0.1)
35°S	0.1	1.8	0.4	-0.4	-0.9	0.4	-0.2
40°S	0.5	1.9	-0.1	-1.0	-0.8	0.4	-0.2
45°S	0.9	2.1	-0.9	-0.7	-0.4	1.9	0.2
50°S	1.0	1.7	-1.5	-1.9	0.7	4.6	0.4
55°S	0.7	0.0	0.0	-0.1	-0.2	0.2	0.3
60°S	0.0	0.0	-0.3	-0.3	-0.5	-0.1	-0.1
65°S	-0.5	-0.1	-0.1	-0.2	0.3	0.2	0.0
70°S	-0.6	0.3	-1.3	1.1	1.4	-1.3	-0.5

Wenn wir im Folgenden MMS-Monats- und Jahresmittel betrachten, müssen wir stets das oben Gesagte berücksichtigen. Bei den Jahresmitteln kann man wohl die für das Jahr 1958 ermittelten Korrekturwerte der Tabelle 1 (Klammern am rechten Rand) anwenden, bei Monatsmitteln wird das wegen der starken Schwankungen der Abweichungen nicht möglich sein.

2.1.3. Jahresmittel 1957-1962

Abb. 2 stellt Breitenkreismittel des Zeitraumes 1957 bis 1962 dar, wie sie aus den MMS-Daten berechnet wurden (mit unkorrigierter Kurve). Wendet man zwischen 30°N und 30°S die für das Jahr 1958 ermittelten Korrekturwerte auf das 6-Jahresmittel an, so er-

halten wir die obere mit Korr. bezeichnete Kurve. Diese läßt sich mit der Jahresmittelkurve der Abb. 1 vergleichen.

Man erkennt sofort die große Ähnlichkeit zwischen beiden Kurven, d. h. die Jahresmittelkurve von 1958 steht repräsentativ für das Jahresmittel der Breitenkreiswerte. Das in Kapitel 2.1.1. Gesagte trifft also auch für Mittelwerte aus mehreren Jahren zu. - Als zusätzliche Information gegenüber der Abb. 1 liefert Abb. 2 die Breitenkreismittel von 75°S bis zum Südpol. Der Luftdruckanstieg von 67°S bis zum Südpol ist längst nicht so kräftig wie der Luftdruckabfall in der südhemisphärischen Westwindzone von 33°S bis 67°S, so

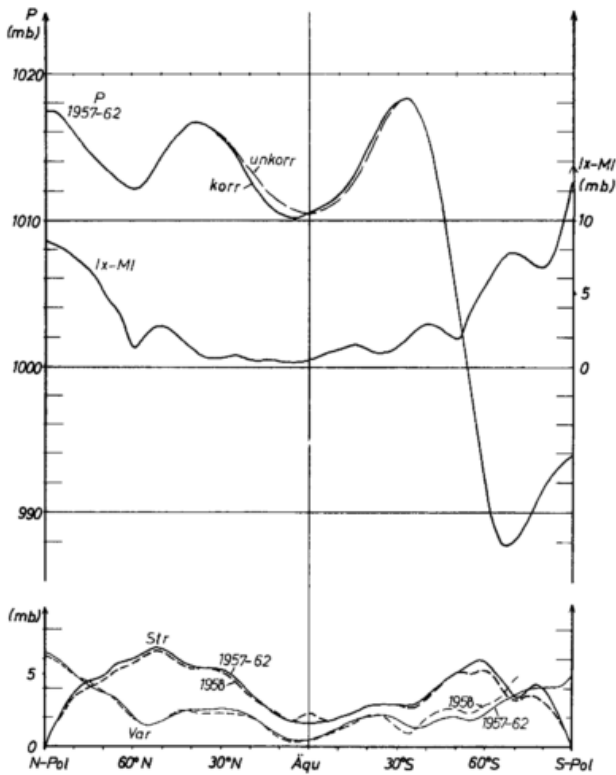


Abb. 2

Breitenkreismittel, MMS-Werte; P 1957-62: Luftdruckmittel des Zeitraums 1957-62, uncorr.: unkorrigiert, korr.: korrigiert
 [x-M]: durchschnittliche Abweichung vom 6-Jahresmittel
 Var.: Variation, durchgezogen: Mittel 1957-62, gestrichelt: Jahr 1958 (IGJ-Werte)
 Str.: Streuung der Monatsmittel, 1957-62 (durchgezogen), gestrichelt: Jahr 1958

daß am Südpol im Jahresmittel ein Druck (in Seehöhe) von etwa 994 mb herrscht.

Um die Unterschiede der Breitenkreisjahresmittel von Jahr zu Jahr aufzuzeigen, wurde die mit /x-M/ bezeichnete Kurve eingetragen. Sie stellt die durchschnittliche Abweichung $A = \sum_{i=1}^6 |x_i - M|$ vom 6-Jahresmittel dar.

Wir sehen, daß sich die einzelnen Jahresmittel in den Polargebieten am stärksten voneinander unterscheiden, wobei die Unterschiede im Südpolargebiet stärker sind als im Nordpolargebiet. In den inneren Tropen herrschen von Jahr zu Jahr fast die gleichen Mittelwerte. Sekundäre Maxima der durchschnittlichen Abweichung finden wir auf der polwärtigen Seite der subtropischen Hochdruckgürtel, sekundäre Minima auf der äquatorwärtigen. Während das Zentrum der nördlichen subpolaren Tiefdruckrinne ein Minimum aufweist, liegt das entsprechende Minimum der Südhalbkugel im Zentrum des südhemisphärischen Westwindgürtels; der südliche subpolare Tiefdruckring zeigt ein Maximum der durchschnittlichen Abweichung. Bei 80°S liegt noch ein relatives Minimum.

Die untere durchgezogene mit Var bezeichnete Kurve der Abb. 2, die die mittlere Variation der Monats-Luftdruckwerte von 1957-1962 darstellt, kann nicht mit der in Abb. 1 unten dargestellten Variationskurve verglichen werden. In Abb. 1 wurde nämlich die mittlere atmosphärische Unruhe von Tag zu Tag dargestellt, in Abb. 2 aber die mittleren Luftdruckänderungen von Monat zu Monat innerhalb eines Jahres, also der mittlere Jahresgang des Luftdrucks. Zum Vergleich wurde die aus den IGJ-Monatsmitteln berechnete Variation des Jahres 1958 eingezeichnet (Abb. 2, gestrichelte „Var“-

Kurve). Sie weist die gleichen Züge auf wie die mittlere Variation der Monats-Luftdruckwerte von 1957-1962. - Der Jahresgang nimmt vom Nordpol bis 55°N ab, südlich dieser Grenzbreite nimmt er mit (wie wir später sehen werden) in seinem Gang wieder zu, erreicht sein Maximum bei 40°N und behält diesen Wert bis zu etwa 25°N bei. Dann fällt er rasch zur äquatorialen Tiefdruckrinne hin ab, wo fast keine jahreszeitlichen Druckunterschiede auftreten. Einen regelmäßigen jahreszeitlichen Durchgang hat auch das Südpassatgebiet, das Maximum liegt bei 25°S, er ist nicht ganz so groß wie der Gang im Nordpassatgebiet. - Eine Umkehr des Jahresganges und damit ein Minimum der mittleren Variation der Monats-Luftdruckwerte erfolgt im südlichen subtropischen Hochdruckgürtel bei etwa 35°S. Bei 55°S liegt ein weiteres relatives Minimum. Von 70°S bis zum Südpol steigt die Kurve langsamer an als von 70°N bis zum Nordpol, das bedeutet, daß im Gegensatz zu den Unterschieden von Jahr zu Jahr (Kurve /x-M/) die Monatsluftdruckwerte innerhalb eines Jahres im Südpolargebiet geringer variieren als im Nordpolargebiet.

Während die Streuungskurve der Abb. 1 aus täglichen Werten berechnet wurde, sind die mit Str bezeichneten Streuungskurven in Abb. 2 unten aus Luftdruck-Monatsmitteln gewonnen. Es ist klar, daß die Druckunterschiede der Monatsmitteldrucke auf den Breitenkreisen nicht so groß sein können wie die der täglichen Luftdruckwerte. Die Werte der Streuungskurve der Monatsmittel des Jahres 1958 (Abb. 2 unten, dick gestrichelt) sind nur etwa 2/3 so groß wie die der täglichen Werte in Abb. 1. Die Lage der Maxima und des Äquatorminimums ist die gleiche wie bei den täglichen Werten. Bei den Monatsmitteln ist jedoch das nordhemisphärische Streuungsmaximum stärker als das südhemisphärische. Es existiert noch ein sekundäres Maximum bei etwa 77°S. Die mittlere Streuung der Jahre 1957-1962 (Abb. 2 unten, ausgezogene dicke Kurve) ist meist etwas höher als die des Jahres 1958. Außer in Polnähe ist die Streuung größer als die Variation.

2.2. Monatsmittel des Luftdrucks

2.2.1. Monatsmittel des IGJ

Um etwas mehr von der Verteilung des globalen Luftdrucks und seinem jahreszeitlichen Verlauf zu erfahren, betrachten wir die Monatsmittelwerte der Luftdruck-Breitenkreiswerte, die in den Abb. 3-20 dargestellt sind: dünne mit P bezeichnete IGJ-Werte, dicke Kurve: MMS-Werte (6-Jahresmittel des betreffenden Monats); dünne gestrichelte: zusätzlich eingezeichneter Monat (MMS-Werte); dünne mit Var bezeichnete Kurve im unteren Teil der Zeichnungen: Variation der Breitenkreiswerte in dem betreffenden Monat (IGJ-Werte), dicke mit Str bezeichnete Kurve: mittlere monatliche Streuung.

Die im Jahresmittel (Abb. 1) gefundenen großräumigen Luftdruckgebilde wie polares Hoch, subpolare Tiefdruckrinne, subtropischer Hochdruckgürtel und äquatoriale Tiefdruckrinne sind auch in fast allen Monatswerten zu finden, nur ist ihre Ausdehnung, Intensität und Lage unterschiedlich.

Das auffallendste Merkmal ist der steile Luftdruckabfall auf der Südhalbkugel zwischen dem subtropischen Hochdruckgürtel und der subpolaren Tiefdruckrinne. Er schwankt sehr, wie es z. B. der Unterschied zwischen Abb. 3 und Abb. 4 zeigt (dünne Kurven). Einem kräftigen Luftdruckabfall zwischen 30° und 70°S von 34.4 mb im Juli 1957 steht ein Abfall von nur 24.8 mb zwischen 30° und 70°S im August 1957 gegenüber. Im September und Oktober 1957 (Abb. 5 und 6, dünne Kurven) herrschen wieder die Verhältnisse des Juli 1957. Ähnlich wie der August 1957 (Abb. 4, dünne Kurve) ist der Juli 1958 (Abb. 15, dünne Kurve), der

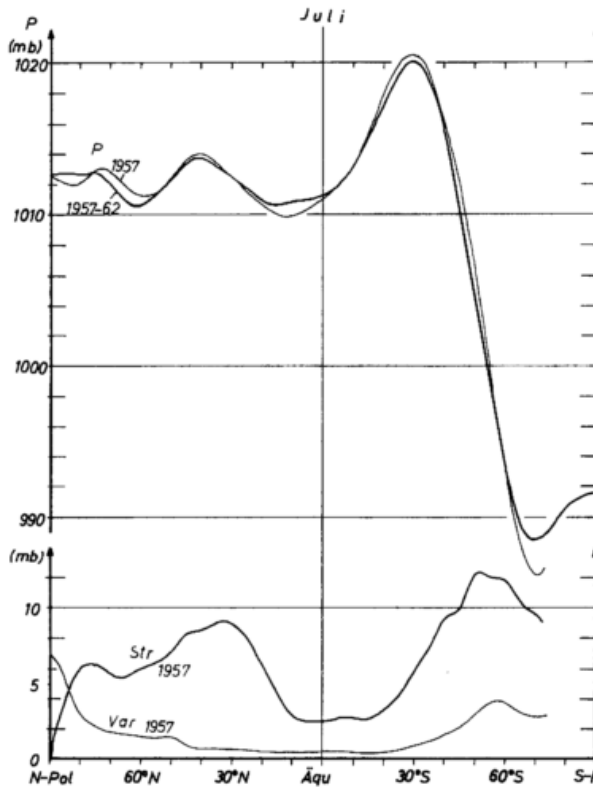


Abb. 3

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
Var.: Variation, Str.: Streuung

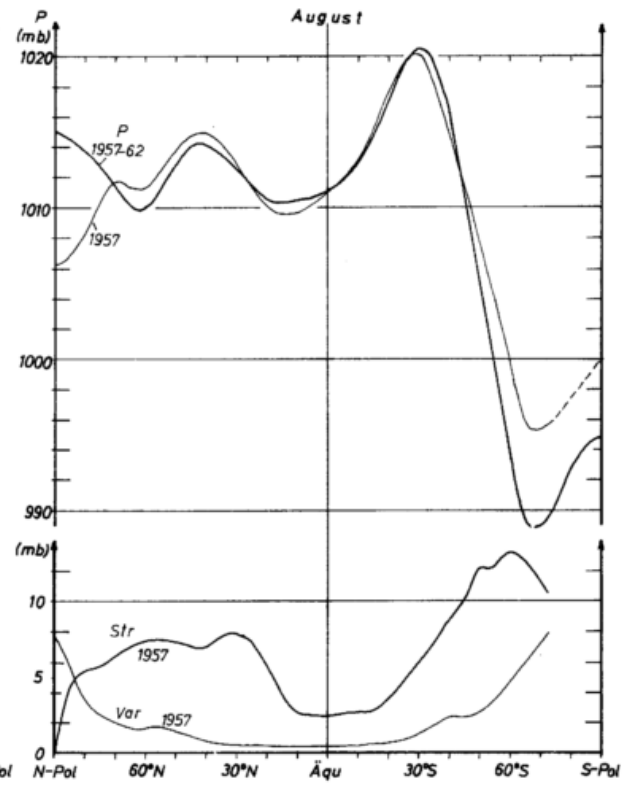


Abb. 4

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
Var.: Variation, Str.: Streuung

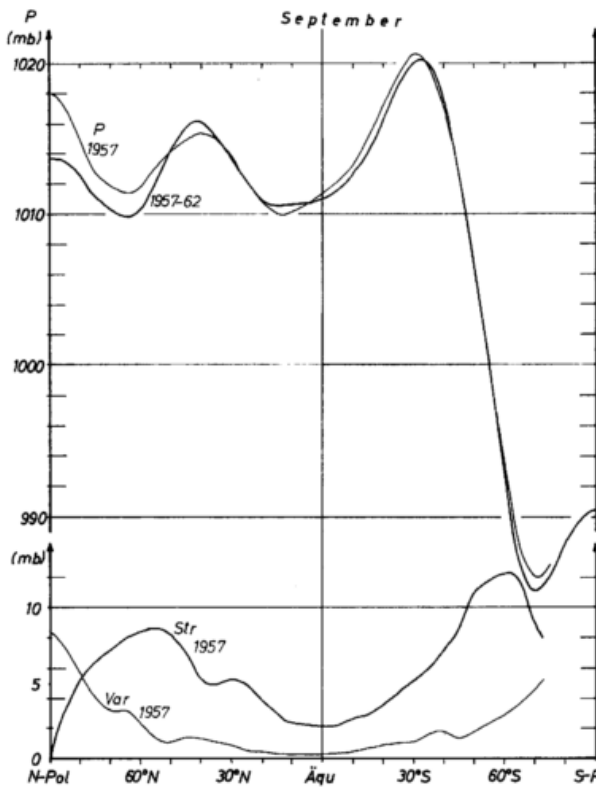


Abb. 5

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
Var.: Variation, Str.: Streuung

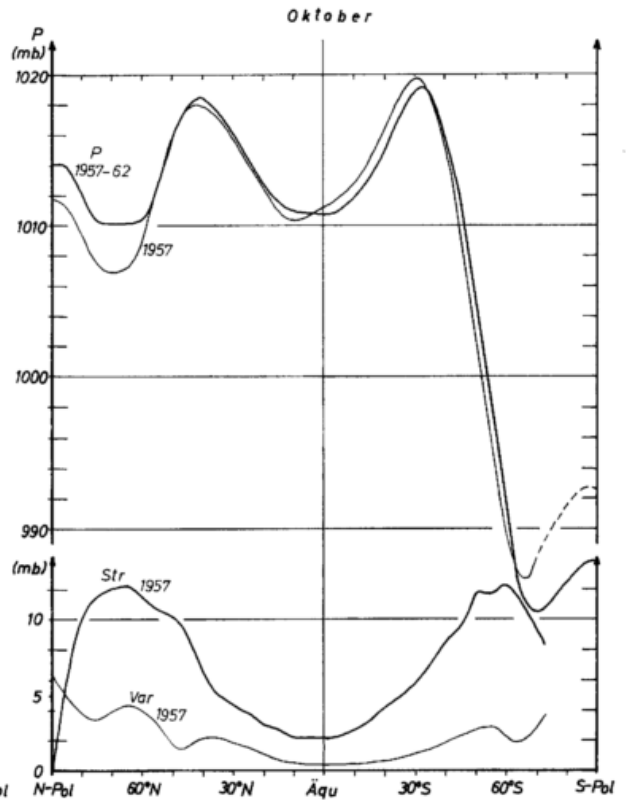


Abb. 6

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
Var.: Variation, Str.: Streuung

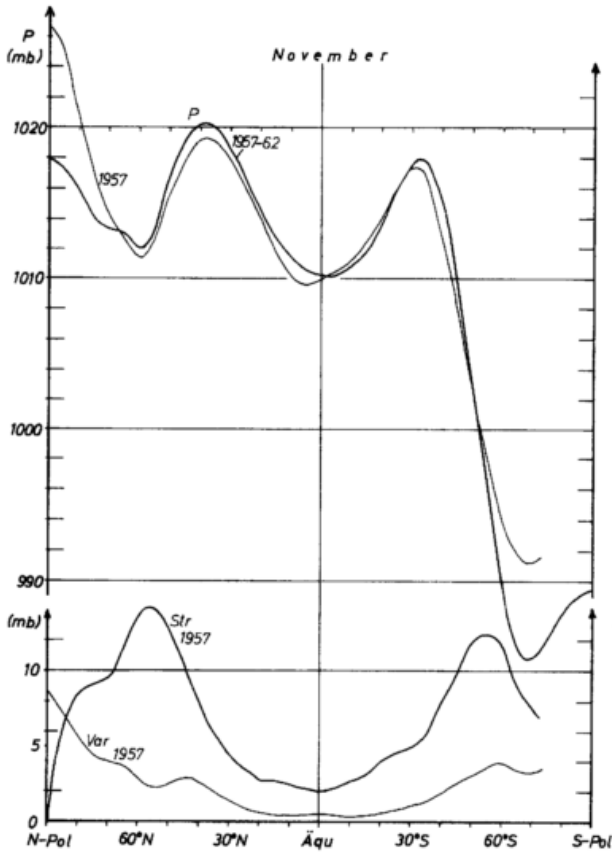


Abb. 7

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
Var.: Variation, Str.: Streuung

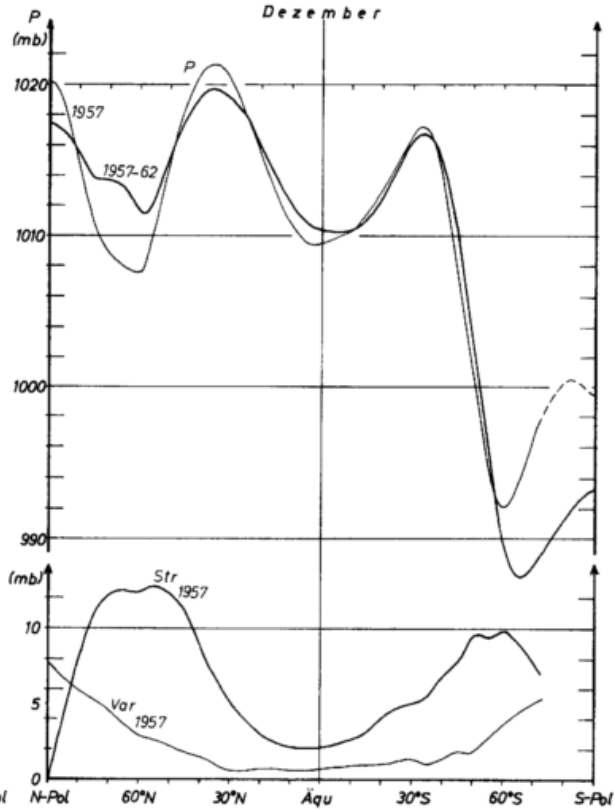


Abb. 8

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
Var.: Variation, Str.: Streuung

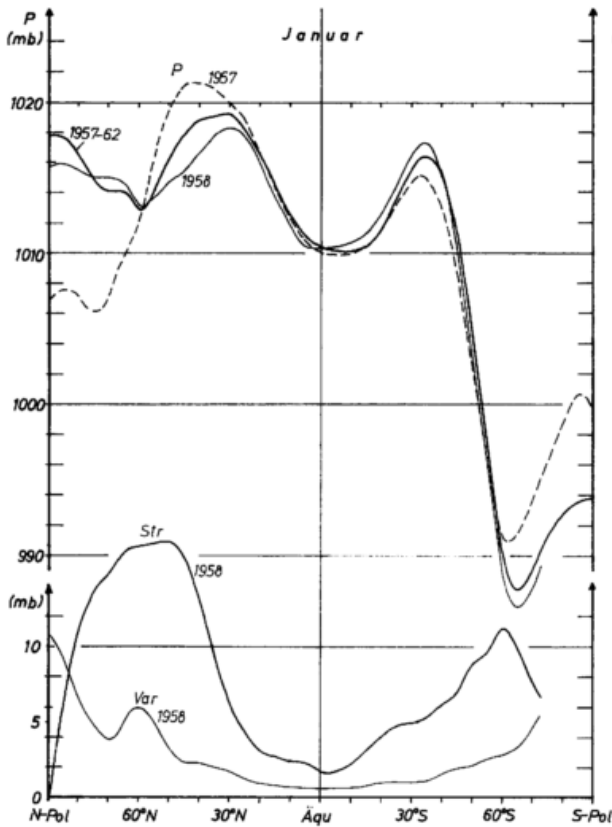


Abb. 9

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
Var.: Variation, Str.: Streuung

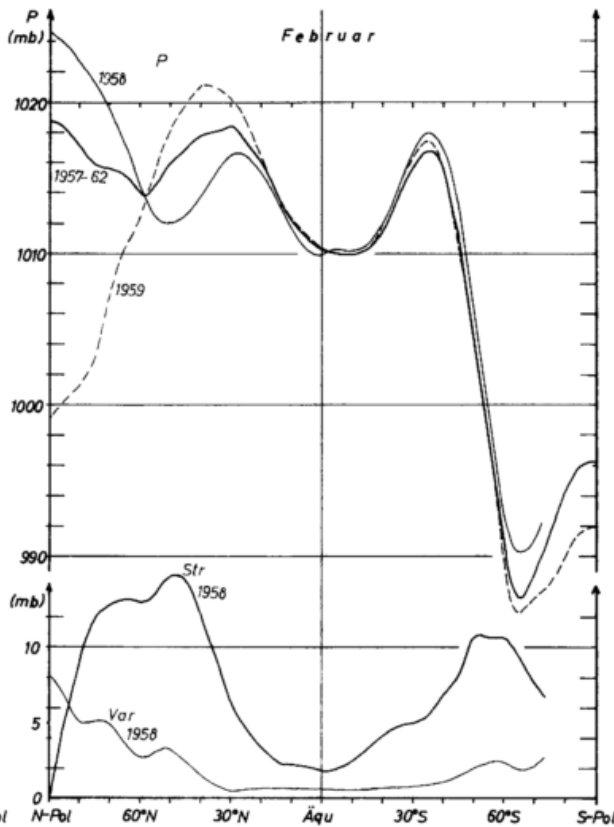


Abb. 10

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
Var.: Variation, Str.: Streuung

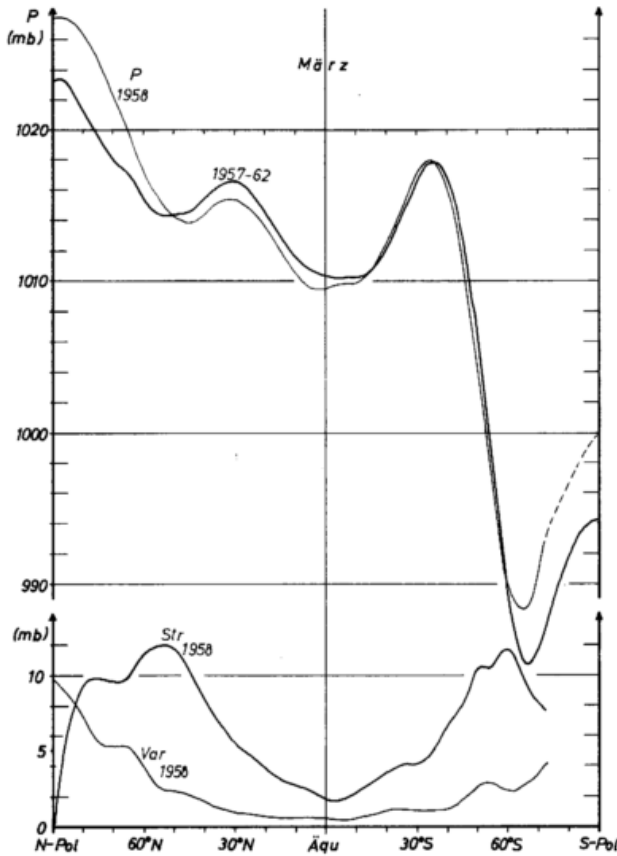


Abb. 11

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
Var.: Variation, Str.: Streuung

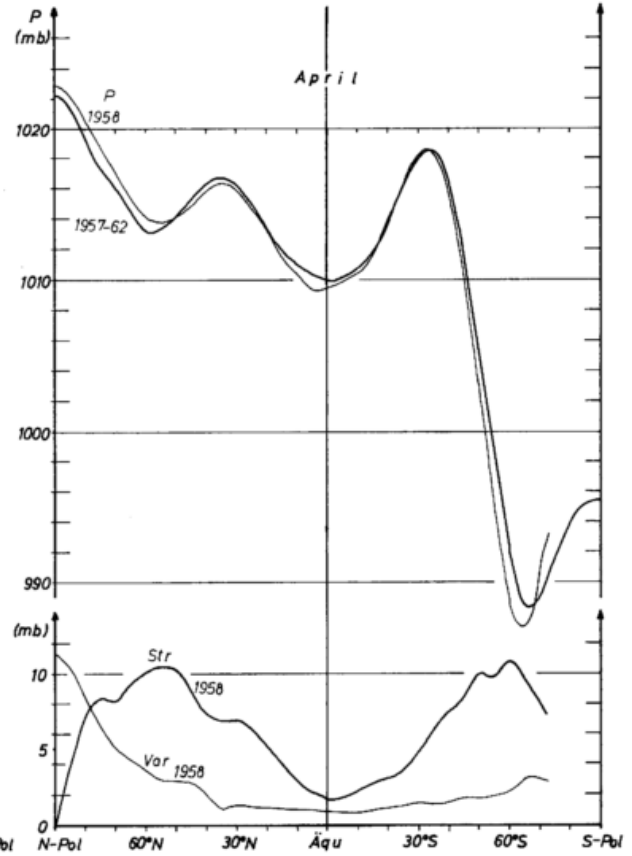


Abb. 12

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
Var.: Variation, Str.: Streuung

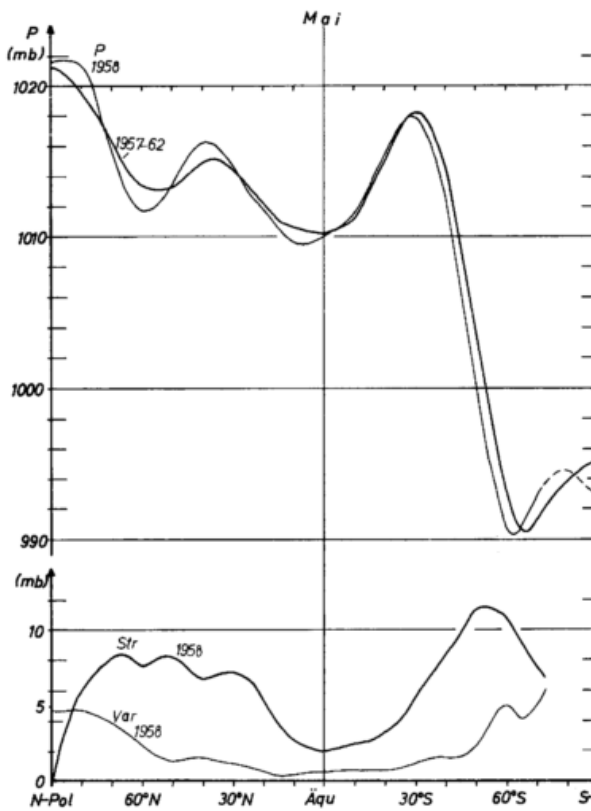


Abb. 13

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
Var.: Variation, Str.: Streuung

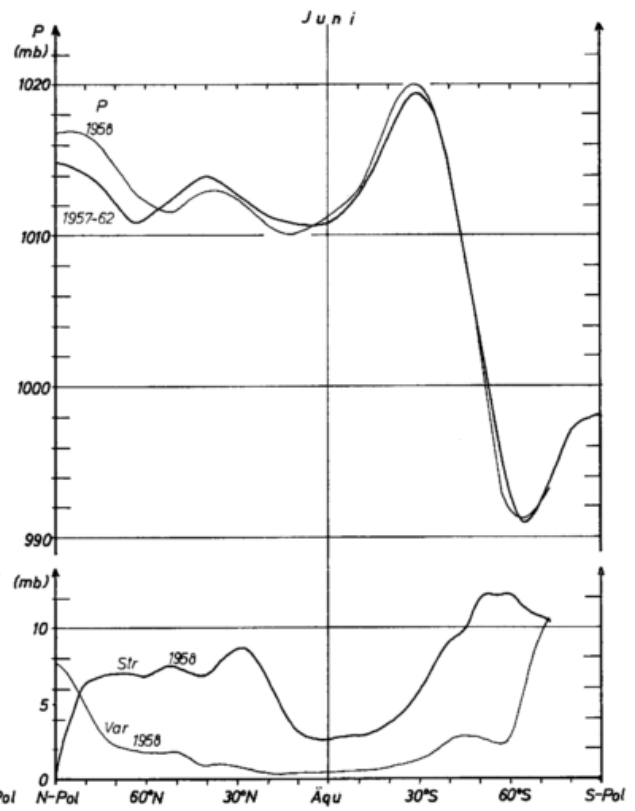


Abb. 14

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
Var.: Variation, Str.: Streuung

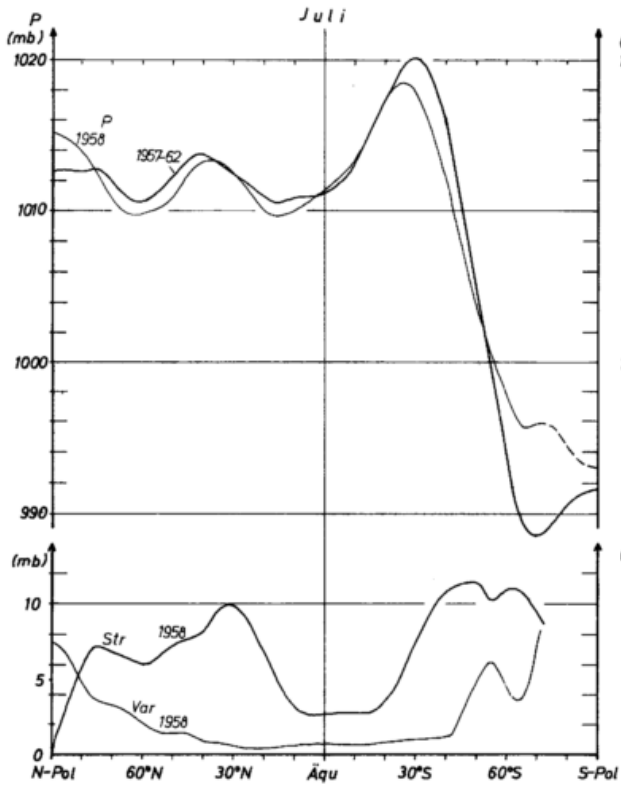


Abb. 15

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
 Var.: Variation, Str.: Streuung

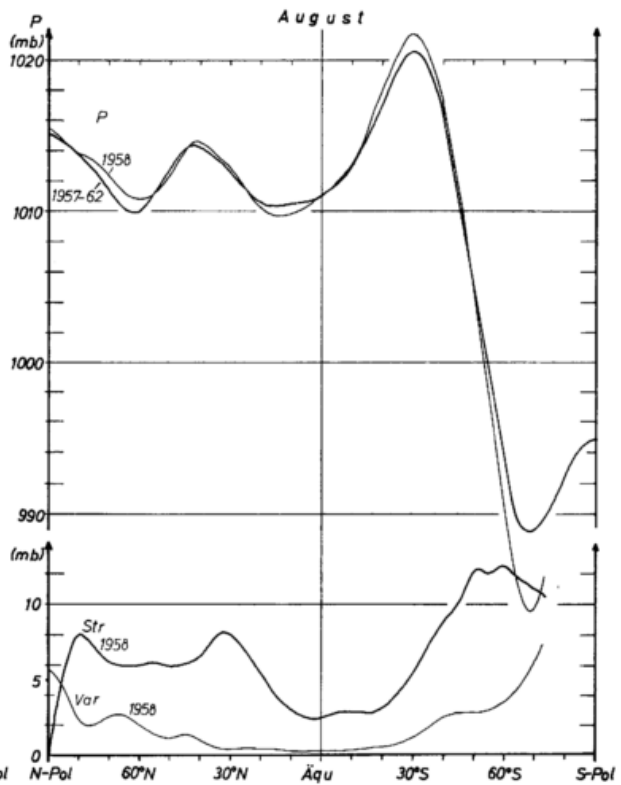


Abb. 16

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
 Var.: Variation, Str.: Streuung

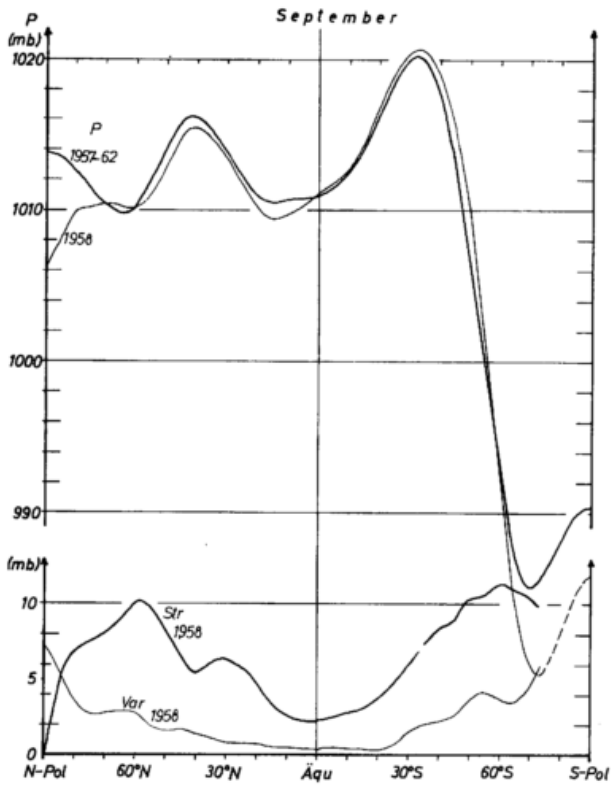


Abb. 17

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
 Var.: Variation, Str.: Streuung

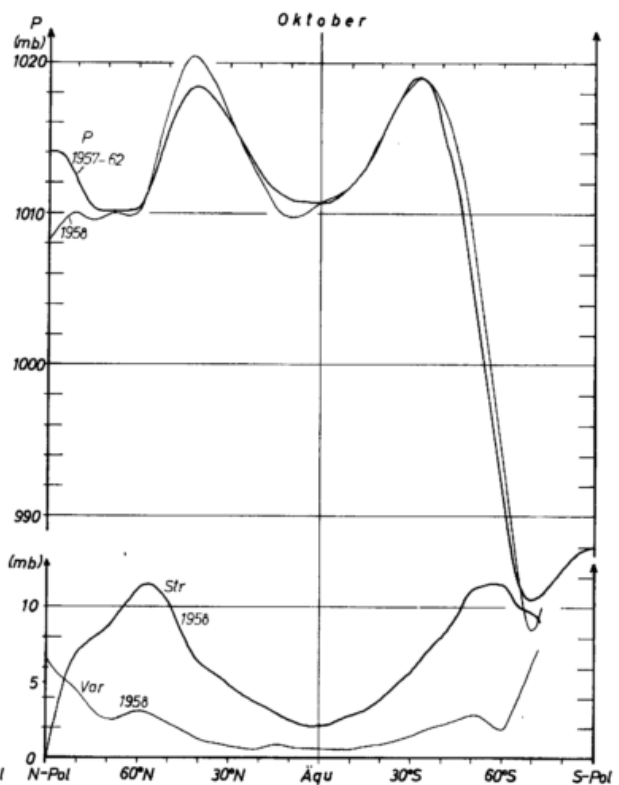


Abb. 18

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
 Var.: Variation, Str.: Streuung

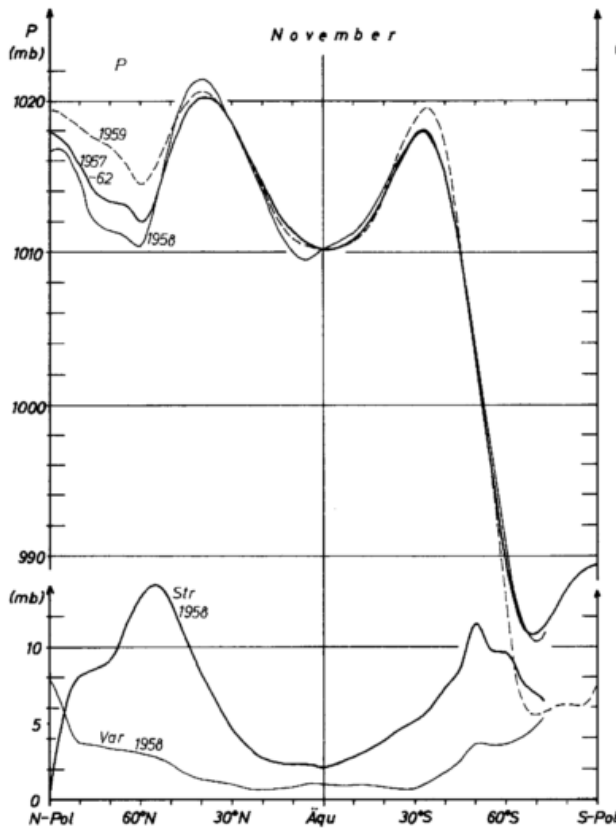


Abb. 19

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
Var.: Variation, Str.: Streuung

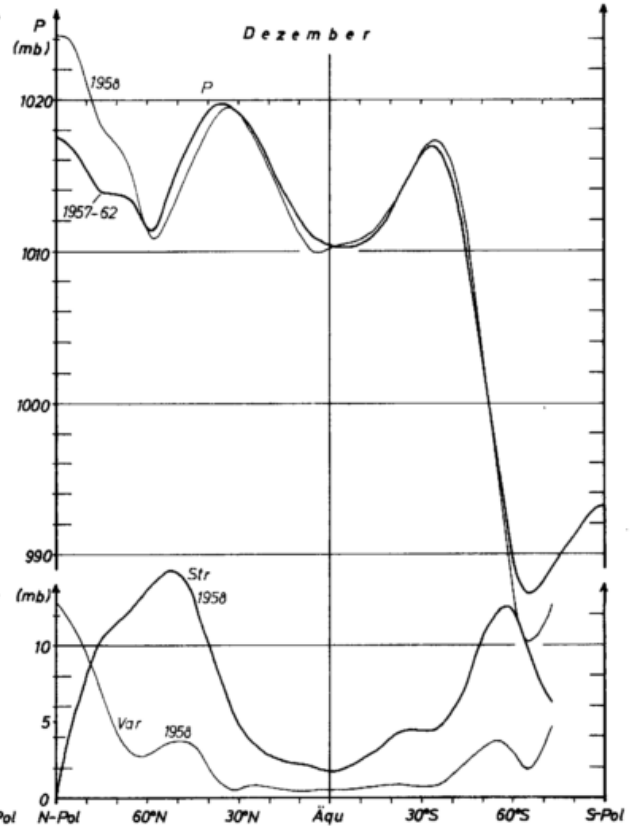


Abb. 20

Breitenkreismittel, Monatswerte. P: Luftdruck, dünn: IGJ-Werte, dick: MMS-Werte, 6-Jahresmittel, dünn gestrichelt: MMS-Werte, zusätzlich eingetragene Monate
Var.: Variation, Str.: Streuung

nur einen Abfall von 23.0 mb aufweist. Der August 1958 (Abb. 16, dünne Kurve) hingegen ähnelt dem Juli 1957 (Abb. 3, dünne Kurve), ja, er weist noch extremere Verhältnisse mit einem Luftdruckabfall von 37.9 mb auf als der Juli 1957.

Im Südsommer schwächt sich der südliche subtropische Hochdruckgürtel ab. Der subpolare Tiefdruckring hat unterschiedliche Intensität; so ist er z. B. von September - Dezember 1957 viel schwächer als von September - Dezember 1958. Insgesamt schwächt sich der Luftdruckabfall vom Südfrühling (September/Oktober), wo er ein Maximum erreicht (September 1958: 41.3 mb!) bis zum Südsommer ab, bleibt dann etwa gleich, um im Südwinter rasch wieder auf hohe Werte zu steigen. Die Unterschiede in den gleichen Monaten Juli - Dezember zwischen den Jahren 1957 und 1958 sind jedoch groß, wie ein Vergleich der Abb. 3-8 mit den Abb. 15-20 zeigt. Daher wird erst das nächste Kapitel erweisen, ob der eben geschilderte Jahresgang nur ein Phänomen der speziellen Jahre 1957/1958 ist.

Die beiden Monate August 1957 und Juli 1958 heben sich aus allen Monaten durch einen außergewöhnlich geringen südhemisphärischen Luftdruckabfall heraus. Dies ist aber nur im Monatsmittel der Fall: zum Teil haben die beiden genannten Monate einen normalen Luftdruckverlauf (Abb. 23). Manchmal aber (z. B. am 12. August 1957) wird durch starkes Mäandern der Höhenströmung die Westwindzirkulation unterbrochen. Hoch- und Tiefdruckgebiete liegen in derselben Breitenlage und verringern so den Monatsmittelwert des Luftdruckgradienten. Aus diesem Fall lernen wir: Unterbrechungen der sonst so kräftigen südlichen Westwindzone durch starkes Mäandern der Höhenströmung kommen gelegentlich vor.

Die südliche subpolare Tiefdruckrinne zeigt im IGJ kaum jahreszeitliche Intensitätsschwankungen. Ein Intensitätsmaximum scheint im Südfrühling (September/Oktober) zu herrschen. In der 1. Jahreshälfte (Dezember-Juni) liegt sie bei etwa 63° S, in der 2. Jahreshälfte (Juli-November) bei etwa 70° S. Die Periode Dezember-Juni stellt wohl den durch den Ozean verzögerten Südsummer dar, die andere Periode den verzögerten Südwinter. Es ergibt sich die merkwürdige (schon in Kap. 2.1.1.) erwähnte Tatsache, daß ein Luftdruckgürtel im Sommer weiter äquatorwärts liegt als im Winter.

Der südliche subtropische Hochdruckgürtel wandert mit dem Sonnenstand von 35° S im Februar 1958 (Sommer) nach 27° S im Juli 1958 (Winter), das sind 8 Breitengrade. Dabei hat er im Sommer seine geringste Intensität (1017.2 mb im Januar 1958), seine größte im Südwinter (1021.7 mb im August 1958). Dabei gibt es von Jahr zu Jahr längst nicht so große Differenzen wie in der südlichen subpolaren Tiefdruckrinne. Während der Betrag der mittleren Druckdifferenz der Monate (Juli-Dezember) 1957-58 in der südlichen subpolaren Tiefdruckrinne 8.0 mb betrug, ist er im Hochgürtel nur 0.9 mb.

Die äquatoriale Tiefdruckrinne liegt im Breitenkreismittel ständig auf der Nordhalbkugel. Im Nordwinter jedoch spaltet sie sich auf in eine nördlich und eine südlich des Äquators liegende, von denen die nördliche aber druckmäßig die kräftigere ist. Die Andeutung einer Konvergenzzone südlich des Äquators ist meistens auch im Nordsummer an einer nach unten konvexen Krümmung der Luftdruckkurve zu erkennen.

Die äquatoriale Haupt-Tiefdruckrinne wandert zwischen 15° N im Nordsummer und 1° N im Nordwinter hin und her, die südliche sekundäre Rinne von 7° S im

Nordsommer nach 12° S im Südwinter. Sie wandert wohl wegen der größeren Wasserbedeckung südlich des Äquators längst nicht so weit wie die nördliche Haupt-Rinne. Die Intensitätsschwankungen der Tiefdruckrinne sind gering, unregelmäßig und betragen nicht mehr als 1 mb.

Größeren jahreszeitlichen Intensitäts-Unterschieden ist schon der *nördliche subtropische Hochdruckgürtel* ausgesetzt. Dieser ist im Herbst und Frühwinter gut ausgeprägt und übertrifft dann selbst den südlichen subtropischen Hochdruckgürtel an Ausdehnung und Intensität. Im Spätwinter 1958 wurde er aber zugunsten des Nordpolarhochs stark abgeschwächt. Bis zum Spätsommer ist er nur schwach ausgeprägt (besonders im Juni 1958 (Abb. 14, dünne Kurve)).

Er wandert von der nördlichsten Lage im Spätsommer (42° N im August-Oktober) bis nach 28° N im Winter (Februar 1958), das sind 14 Breitengrade, genau wie die äquatoriale Rinne. Je nach der Intensität des Hochdruckgürtels ist der Luftdruckabfall zur Rinne groß: Herbst und Frühwinter (Dezember 1957: 11.9 mb) oder gering: Frühsommer (Juni 1958: 3.0 mb). Die Druckschwankungen des nördlichen subtropischen Hochdruckgürtels selbst betragen 8.4 mb von 1013.0 mb (Juni 1958) bis 1021.4 mb (November 1958).

Aufgrund der Land-See-Verteilung kann sich auf der Nordhalbkugel keine so einheitliche und intensive *subpolare Tiefdruckrinne* ausprägen wie auf der Südhalbkugel. Kontinente und Meere haben ein inverses jahreszeitliches Temperatur- und damit Druckverhalten: Im Winter herrscht über den Kontinenten hoher Luftdruck, über den benachbarten Meeren kräftige Tiefdrucktätigkeit. Im Sommer ist der Luftdruck über Land tiefer als über dem Meer. All diese Unterschiede, die in Kapitel 4 noch ausführlicher behandelt werden, fallen bei der Mittelung über die Länge weg. Übrig bleibt eine schwache Tiefdruckrinne bei ca. 60° N, die im Sommer und Herbst weiter nördlich liegt (70° N im Oktober 1957, 63° N im Oktober 1958) und im Frühling nach Süden gedrängt wird durch das polar-asiatische Hoch und dabei fast zugeschüttet wird: 1013.8 mb auf 45° N im März 1958 (Abb. 11, dünne Kurve). Ihren tiefsten Wert hat sie mit 1006.9 mb im Oktober 1957.

Das unbeständigste globale Luftdruckgebilde ist das *Nordpolarhoch*. Manchmal ist es, besonders im Sommer, durch ein Tief ersetzt; dann bläht es sich, besonders im Spätwinter, in Verbindung mit dem asiatischen Hoch gewaltig auf; so wird z. B. am 12. 3. 1958 auf 85° N ein Breitenkreismittelwert von 1044.3 mb erzielt. Der 16. 1. 1958 hat am Nordpol einen Luftdruck von 985 mb. Zum Teil ist das „nordpolare Hoch“ auch durch einen Tiefdruckring unterbrochen und in zwei Teile gespalten. Im Jahre 1957 (nicht 1958) ist dem (im Kap. 2.2.2. beschrieben) Jahresgang eine Zweimonatsschwingung überlagert mit Maxima im Juli, September und November, Minima im August, Oktober und Dezember/Januar.

Wie stark die Breitenkreismittelwerte innerhalb der einzelnen Monate variieren, das zeigt in Abb. 3-20 unten die dünne Variationskurve. Die größte Variation herrscht in den Polargebieten, die geringste in den Tropen. Außergewöhnliche Züge der atmosphärischen Zirkulation, wie etwa die im August 1957 aufgetretene Luftdrucksituation in der südhemisphärischen Westwindzone (Abb. 4) zeichnen sich durch eine große Variation aus. 70° S: 7.4 mb im August 1957 gegenüber 2.9 mb im Juli 1957 und 4.6 mb im September 1957. Im Winter und Frühling ist die Variation in hohen und mittleren nördlichen Breiten größer als im Sommer und Herbst.

Die folgende Tab. 2 enthält die Abweichungen der monatlichen Variation von der mittleren monatlichen Variation des Jahres 1958, die in Abb. 1 unten dargestellt ist.

In Monaten mit maximaler negativer Abweichung (Summe) waren die Breitenkreiswerte nur geringen

Schwankungen unterworfen, hierin fallen besonders die Monate Juli 1957, August 1958, während auffallend große Schwankungen in den Monaten August 1957, Januar 1958, März 1958, April 1958, Juni 1958, Juli 1958 und Dezember 1958 auftraten.

Die Variation ist durchweg auf der Winterhalbkugel größer als auf der Sommerhalbkugel.

In Äquatornähe hat die Streuung (Abb. 3-20, untere dicke mit Str bezeichnete Kurven) einen Jahresgang geringer Amplitude. Im Nordsommer sind die Werte höher als im Nordwinter. Das Streuungsmittel auf dem Äquator beträgt von Oktober 1957 - März 1958 1.9 mb und von April - September 1958 2.3 mb; das Minimum liegt zwischen 5° N und 5° S.

Größer ist der jahreszeitliche Gang im Gebiet der subpolaren Streuungsmaxima: Das südhemisphärische Maximum weist im Südwinter höhere Werte auf als im Südsommer. Im Südwinter-Mittel (November 1957 - April 1958) hat es 11.1 mb, im Südsommer (Mai - Oktober 1958) 11.8 mb (Juli - Oktober 1957: 12.6 mb). Es liegt meist bei 50° oder 60° S. - Das nordhemisphärische Streuungsmaximum erreicht seine größte Intensität im Januar 1958 mit 16.9 mb auf 50° N, die geringste im Juli 1957 mit 6.3 mb auf 75° N (Monatsmittelwerte); es hat also einen starken Jahresgang mit großen Druckunterschieden auf den Breitenkreisen im Winter und geringeren im Sommer.

Im Nordsommer tritt ein weiteres nordhemisphärisches Maximum bei 30° N auf, das durch das indische Monsuntief hervorgerufen wird. Es entsteht im April und existiert bis September; vom Juni bis August übertrifft es das nördliche subpolare Maximum an Intensität; im Juli 1958 erreicht es fast 10 mb.

2.2.2. Die Monate der Jahre 1957-1962

Wir betrachten nun die Tab. 3, die aus den Mittelwerten der Jahre 1957-1962 (MMS-Werte) zusammengestellt wurde. Diese Werte kann man auch den Abb. 3-20 (dicke Kurven) entnehmen.

Obwohl in verschiedenen Monaten das Nordpolarhoch durch ein Tief ersetzt wurde, - besonders im Februar/März 1959 (Abb. 9 und 10, gestrichelte Kurven) - findet man es im 6-Jahresmittel in allen Monaten vor. Seine größte Intensität hat es meistens am Nordpol. Seinen höchsten Druck hat es im Frühling, seinen niedrigsten im Sommer und Frühherbst. Den höchsten Monatsmittelwert hat der März 1962 mit 1034.8 mb am Nordpol, den niedrigsten der Februar 1959 mit 998.9 mb am Pol.

Die *nördliche subpolare Tiefdruckrinne* macht den Druckgang des Nordpolarhochs mit geringer Amplitude mit. Der stärkste Luftdruckabfall herrscht im Frühling, der geringste im Sommer. Mit 21.6 mb ist er im März 1962 am stärksten. - Im Februar/März 1959 ist gar keine subpolare Tiefdruckrinne vorhanden (Abb. 10, gestrichelte Kurve), weil in diesen Monaten der Druck vom Pol bis zum subtropischen Hochdruckgürtel hin ansteigt, im Februar 1959 um 22.2 mb, im März 1959 um 17.7 mb. Ähnliche Verhältnisse liegen im Januar 1957 (Abb. 9, gestrichelte Kurve) und Januar 1962 vor, wo die nördliche subpolare Tiefdruckrinne nach 75° N bzw. 73° N verschoben ist und von dort ein Anstieg bis zum subtropischen Hochdruckgürtel erfolgt. - Den tiefsten Druck der nördlichen subpolaren Tiefdruckrinne weisen der Oktober 1957 (Abb. 6, dünne Kurven) und der September 1961 mit 1006.9 mb bzw. 1006.8 mb auf.

Der *nördliche subtropische Hochdruckgürtel* ist im 6-Jahresmittel von November bis Februar stärker als der südhemisphärische. Wie auch im Jahre 1958 hat er seine größte Intensität im November, die geringsten im Juni/Juli. Maximaler Druck (MMS-Werte) ist im November 1958 mit 1021.9 mb, geringster im Juni 1958 mit

Tab. 2
Abweichung der monatl. Variation von der mittl. monatl. Variation des Jahres 1958 (1/10 mb)
pos. Zahlen: Monatsmittel > Jahresmittel, neg. Zahlen: Monatsmittel < Jahresmittel

Breite	1958																	
	1957	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.					
90°N	-14	24	-3	14	29	-37	-8	-9	-26	-12	-17	-5	44					
85	-15	21	-4	16	31	-24	-4	-4	-26	-14	-18	-13	43					
80	-26	10	-5	19	29	-7	-6	-7	-22	-18	-10	-18	40					
75	-20	6	8	13	22	1	-12	-7	-23	-15	-11	-7	24					
70	-18	3	13	17	14	2	-15	-3	-11	-8	-10	-3	6					
65	-17	16	1	18	9	-2	-14	-5	-8	-5	-6	-2	-5					
60	-15	30	-3	9	6	-6	-12	-8	-10	-2	2	0	-2					
55	-12	24	5	0	4	-9	-9	-11	-12	-7	3	2	8					
50	-8	9	9	1	6	-9	-5	-9	-12	-7	0	0	14					
45	-11	3	4	1	8	-5	-8	-6	-6	-3	-2	-3	15					
40	-8	8	0	2	5	1	-6	-7	-5	-1	-3	-2	5					
35	-4	9	-3	2	0	2	-1	-3	-6	0	-1	1	-2					
30	-2	9	-4	1	4	3	-1	-3	-5	-1	-1	1	-3					
25	-2	4	-2	1	4	1	-2	-4	-3	-1	-2	-1	0					
20	-2	3	0	0	5	-1	-3	-3	-3	0	-1	-1	0					
15	-1	2	0	0	5	-3	-2	-1	-2	-1	2	1	0					
10	-1	1	0	0	4	-2	-2	0	-3	-1	1	2	-2					
5	-1	0	0	0	4	0	-2	1	-3	-2	0	4	-1					
5°S	-1	0	0	-1	3	1	-1	1	-3	-1	0	3	-1					
10	-1	0	0	0	2	1	-1	0	-2	-2	0	3	0					
15	-3	1	-2	1	3	0	-1	0	-2	-3	1	2	0					
20	-3	2	-2	3	3	-1	0	0	-2	-5	1	0	0					
25	-3	1	-2	3	4	-1	1	0	-1	-2	2	-2	-1					
30	-1	-1	-3	0	4	1	2	-1	1	4	4	-4	-3					
35	-2	3	-5	-3	0	1	4	-3	5	6	5	-2	-6					
40	0	-1	-6	-5	-2	-2	9	-5	8	5	4	1	-2					
45	-1	-3	-8	-5	-5	-7	5	3	5	3	3	2	1					
50	2	-8	-9	-2	-12	-5	-2	19	-1	8	0	7	3					
55	4	7	-9	-5	-14	7	-10	29	-3	9	-8	2	4					
60	6	4	-8	-8	-10	18	-4	14	3	5	-13	5	-2					
65	-6	25	-17	-10	-6	6	24	1	11	0	1	4	-17					
70	-22	23	-5	-23	-21	0	44	25	12	-5	12	-3	-16					
Summe	-209	-57	-99	-81	21	0	154	-83	66	141	-86	-44	5	-148	-78	-57	-22	152

Tab. 3
Lage und Intensität der Luftdruckgürtel (Mittelwerte 1957-1962)

Luftdruckgürtel		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Nordpolares Hoch	In	1017.7	1018.7	1023.3	1022.2	1021.2	1014.8	1012.8	1015.1	1014.7	1014.1	1017.9	1017.5
	La	88°N	90°N	88°N	90°N	90°N	90°N	76°N	90°N	90°N	88°N	90°N	90°N
	LDi	4.9	5.0	9.0	9.2	8.1	4.0	2.3	5.3	4.9	4.0	5.9	6.2
nördliche subpolare Tiefdruckrinne	In	1012.8	1013.7	1014.3	1013.0	1013.1	1010.8	1010.5	1009.8	1009.8	1010.1	1012.0	1011.3
	La	59°N	58°N	52°N	58°N	54°N	63°N	62°N	62°N	64°N	64°N	60°N	58°N
	LDi	-6.4	-4.7	-2.2	-3.6	-2.1	-3.1	-3.3	-4.6	-6.4	-8.3	-8.2	-8.4
nördlicher subtropischer Hochdruckgürtel	In	*1019.2	*1018.4	1016.6	1016.6	1015.2	1013.9	1013.8	1014.4	1016.2	1018.4	*1020.2	*1019.7
	La	30°N	30°N	31°N	36°N	37°N	40°N	41°N	43°N	41°N	41°N	38°N	36°N
	LDi	9.1	8.5	6.4	6.8	5.0	3.3	3.3	4.1	5.7	7.7	10.1	9.5
äquatoriale Tiefdruckrinne	In	1010.1	1009.9	1010.1	1009.8	1010.2	1010.6	1010.5	1010.3	1010.5	1010.7	1010.1	1010.2
	La	8°S	9°S	7°S	2°S	0°	8°N	16°N	16°N	15°N	0°	3°S	6°S
	LDi	-6.2	-6.8	-7.7	-8.7	-8.0	-8.8	-9.6	-10.2	-9.7	-8.4	-7.8	-6.7
südlicher subtropischer Hochdruckgürtel	In	1016.3	1016.7	1017.8	1018.5	1018.2	1019.4	1020.1	1020.5	1020.2	1019.1	1017.9	1016.9
	La	35°S	36°S	36°S	34°S	31°S	29°S	30°S	30°S	32°S	33°S	33°S	33°S
	LDi	28.6	29.5	33.0	30.2	27.8	28.5	31.6	31.7	35.1	34.5	33.1	29.5
südliche subpolare Tiefdruckrinne	In	987.7	987.2	984.8	988.3	990.4	990.9	988.5	988.8	985.1	984.5	984.8	987.4
	La	65°S	65°S	67°S	67°S	66°S	65°S	70°S	68°S	70°S	69°S	68°S	66°S
	LDi	-6.0	-9.0	-9.4	-7.1	-4.7	-7.3	-3.1	-6.0	-5.3	-3.4	-4.6	-5.8
Südpolares Hoch	In	993.7	996.2	994.2	995.4	995.1	998.2	991.6	994.8	990.4	987.9	989.4	993.2
	La	90°S	90°S	90°S	88°S	90°S	90°S	90°S	90°S	90°S	90°S	90°S	90°S
	LDi												

In : Intensität des Maximums bzw. Minimums (mb)

La : Lage des Extremums

LDi : Luftdruckdifferenz (mb) zum südlich angrenzenden Gürtel

/: Hauptminimum, unkorrigierte Werte

*: nördlicher subtropischer Hochdruckgürtel kräftiger als südlicher subtropischer H.-Gürtel

— : höchster Wert innerhalb des Jahres (Betrag)

..... : niedrigster Wert innerhalb des Jahres (Betrag)

1013.0 mb. — Die Breitenverlagerung reicht von 43°N im August bis 30°N im Januar/Februar, das sind 13 Breitengrade. — Der Luftdruckanstieg vom nördlichen subpolaren Tiefdruckgürtel zum subtropischen Hochdruckgürtel ist vom Oktober bis Dezember maximal, von März bis Juli minimal. Außer in den bereits erwähnten Monaten Februar 1959, März 1959, Januar 1957 und Januar 1962 ist im Dezember 1957 mit 13.7 mb (Abb. 8, dünne Kurve) der größte Luftdruckanstieg, im Juli 1962 mit 0.9 mb der geringste.

Da die Intensität der äquatorialen Tiefdruckrinne im Jahresgang keine großen Unterschiede aufweist (1.0 mb im IGJ, 0.8 mb im 6-Jahresmittel der MMS-Werte), ist die Druckdifferenz zu den benachbarten Hochdruckgürteln hauptsächlich von der Intensität dieser Gebilde abhängig. So ist im 6-Jahresmittel mit 10.1 mb im November die größte Luftdruckdifferenz zum nördlichen Hochdruckgürtel, mit 10.2 mb im August zum südlichen Hochdruckgürtel; die geringste beträgt 3.3 mb im Juni/Juli zum nördlichen, 6.2 mb im Januar zum südlichen subtropischen Hochdruckgürtel.

11.9 mb Luftdruckdifferenz im November 1958 (Abb. 19, dünne Kurve) und Dezember 1959 ist der größte Luftdruckabfall vom nördlichen Subtropenhoch zur äquatorialen Rinne, 11.8 mb im September 1959 der stärkste Anstieg zum südlichen Subtropenhoch, die entsprechend geringsten Werte sind 2.1 mb im Juni 1959 im nordhemisphärischen Passatgebiet und 5.2 mb im Februar 1962 im südhemisphärischen Passatgürtel.

Aus diesen Werten der Tab. 3 und der Abb. 2 erkennen wir, daß die Passatwinde der Südhalbkugel im Jahresmittel stärker sind als die der Nordhalbkugel und nicht so starken jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen sind.

Über Lage und Intensität der äquatorialen Tiefdruckrinne kann aus den MMS-Werten nicht viel ausgesagt werden, da sie zu ungenau sind (s. Kapitel 2.1.2.).

Im 6-Jahresmittel geht im südlichen subtropischen Hochdruckgürtel der Druck im Sommer auf 1016.3 mb zurück (Januar) und erreicht seinen höchsten Wert im Winter mit 1020.5 mb (August). Das höchste Monatsmittel ist mit 1021.9 mb im September 1959, das niedrigste mit 1015.0 mb im Januar 1957. Die Wanderung beträgt im 6-Jahresmittel 7 Breitengrade von 36°S im Februar/März bis 29°S im Juni.

Eine bessere Aussage als in Kapitel 2.2.1. läßt sich jetzt über den Jahresgang der Intensität des südhemisphärischen Westwindgürtels machen. Vom Dezember bis Juni ist die Luftdruckdifferenz zwischen Subtropenhochdruckgürtel und subpolaren Tiefdruckrinne geringer als vom Juli bis November; ein sekundäres Maximum mit 33.0 mb Luftdruckdifferenz liegt im März, das absolute Maximum mit 35.1 mb im September. Das absolute Minimum weist der Mai mit 27.8 mb auf. Man erkennt einen Jahresgang mit Maximum im Südfrühling und Minimum im Südherbst und eine Halbjahresschwingung mit Maxima zu den Äquinoktien, Minima zu den Solstitien. Dasselbe findet man bei (14) und (17). Letzteres konnte aus dem IGJ-Material nicht erkannt werden.

Innerhalb der 6 Jahre 1957–1962 waren die größten Luftdruckdifferenzen zwischen dem südlichen subtropischen Hochdruckgürtel und dem südlichen subpolaren Tiefdruckring (MMS-Werte): 40.0 mb im September 1958 und Oktober 1961, 39.0 mb im Oktober 1961; die geringsten Differenzen traten in den Monaten Januar 1957 mit 24.0 mb, Juli 1958 mit 24.3 mb und Dezember 1957 mit 24.4 mb auf.

Die südliche subpolare Tiefdruckrinne hat den niedrigsten Druck im Südfrühling (September–November), den höchsten im Südherbst und Südwinter (April –

August). Ein sekundäres Druckminimum liegt im März. Wir sehen auch hier die Kombination einer Jahreschwingung mit höchstem Druck im Winter, tiefstem im Sommer mit einer Halbjahresschwingung mit Luftdruckminima zu den Äquinoktien, Maxima zu den Solstitien.

Die Breitenverlagerung des südhemisphärischen subpolaren Tiefdruckringes ist nicht groß; im 6-Jahresmittel beträgt sie 5° Breite zwischen 65°S und 70°S. Sie liegt umso südlicher, je tiefer ihr Druck ist, so daß sie von Juli bis November (Winter und Frühling) weiter polwärts gelegen ist als im Sommer und Herbst (Dezember – Juni).

Maxima sind (MMS-Werte) im Mai 1957 mit 993.3 mb, im August 1959 mit 993.4 mb, im April 1959 mit 993.5 mb, im Juli 1958 mit 993.9 mb und im August 1957 mit 994.0 mb. MMS-Minima treten in den Monaten November 1959 mit 979.5 mb, März 1960 mit 979.6 mb und im Oktober 1961 mit 979.7 mb auf.

Das südpolare Hoch, das in den IGJ-Daten nicht erfaßt war, weist mit Ausnahme des Juli 1958 (Abb. 15, gestr. ergänzte Kurve) stets einen höheren Druck auf als die subpolare Tiefdruckgürtel. Seine Druckschwankungen innerhalb eines Jahres sind größer und unregelmäßiger als die des südhemisphärischen Tiefdruckgürtels. Das 6-Jahresmittel-Maximum mit 998.2 mb finden wir im Juni, das Minimum mit 987.8 mb im Oktober. In der 1. Jahreshälfte ist der Druck im Südpolargebiet höher als in der 2. Jahreshälfte. Das Druckmaximum liegt meist am Südpol.

Maximale MMS-Werte haben der April 1958 mit 1007.5 mb (fraglich, ob richtig), Juni 1957 mit 1005.0 mb und der Juni 1962 mit 1003 mb. Monatsmittel-Minima sind 981.5 mb im November 1959 (Abb. 19, dünne Kurve) und 983.7 mb im Oktober 1961.

Der Luftdruckanstieg von der subpolaren Tiefdruckrinne zum Südpolarhoch schwankt im 6-Jahresmittel zwischen 3.1 mb und 9.4 mb. Er ist in der ersten Jahreshälfte größer als in der zweiten. Extrema der einzelnen Monate sind (außer Juli 1958, wo das Minimum am Südpol lag): Maxima: 20.3 mb im April 1958 (fraglich, ob richtig), 16.7 mb im Juni 1957, 13.2 mb im Februar 1961. Minima: 0.7 mb im September 1959, 1.3 mb im Mai 1962, 1.6 mb im Juni 1960.

2.2.3. Grenzbreiten der atmosphärischen Zirkulation

In Abb. 21 sind die Breitenkreismonatsmittel von 90°N bis 60°S für das IGJ eingetragen. In den Monaten Juli – Dezember 1958 sind gestrichelt noch einmal die Kurven für Juli – Dezember 1957 wiederholt zum besseren Vergleich der Monate beider Jahre.

Die Kurven von 90°N bis 55°N haben einen gleichsinnigen Verlauf, wobei Amplituden der Jahresschwingung und Absolutbeträge des Luftdrucks von Norden nach Süden abnehmen. Bis 55°N reicht auch die in Kapitel 2.2.1 erwähnte Zweimonatsschwingung des 2. Halbjahres von 1957.

Auf 35°N herrscht im Jahresmittel der höchste Luftdruck zwischen der nördlichen subpolaren Tiefdruckrinne und der äquatorialen Rinne. Dennoch stellt diese Breite nicht eine so scharfe Grenze dar wie 55°N. Der Luftdruckgang südlich von 55°N hat einen völlig anderen Verlauf als nördlich dieser Breite. Südlich davon, etwa bei 40°N, ist das Druckmaximum im Spätherbst bzw. Frühwinter, ein sekundäres Maximum im Frühling, ein sekundäres Minimum im Winter, das Hauptminimum im Frühsommer.

Eine Modifikation dieses Verlaufs südlich von 35°N tritt insofern auf, als sekundäre Maxima und Minima verschwinden und das Hauptmaximum in den Haupt-

winter (Dezember/Januar) und das Hauptminimum in den Hochsommer (Juli/August) rücken.

Dabei fällt der Luftdruck von 35°N bis 5°N ab. Diese Breite, an der die Tropenrinne im Jahresmittel liegt, stellt eine sehr scharfe Grenze für den Luftdruckgang dar: der Luftdruckgang südlich davon ist invers zum nördlichen. Das Maximum liegt hier im Südwinter (Juli/August) und das Minimum im Südsommer (Februar), auf 5°-10°S erst im März/April. Diese Verzögerung kann mit der größeren Wasserbedeckung der Erde in den Südtropen gegenüber den Nordtropen erklärt werden.

Die Breiten 5°N und der Äquator spiegeln den Luftdruckgang beider Halbkugeln wider: Sie haben Maxima im September/Oktober 1957, Januar/Februar 1958, Juli 1958 und Minima im August 1957, Dezember 1957, April 1958 und November 1958.

Der Luftdruck steigt an bis etwa 35°S. Hier liegt wieder ein Übergang. Dieser ist viel schärfer ausgeprägt als bei der Grenze auf 35°N. Südlich davon tritt eine Halbjahresschwingung auf mit Maxima im September 1957 und Februar 1958, Minima im November/Dezember

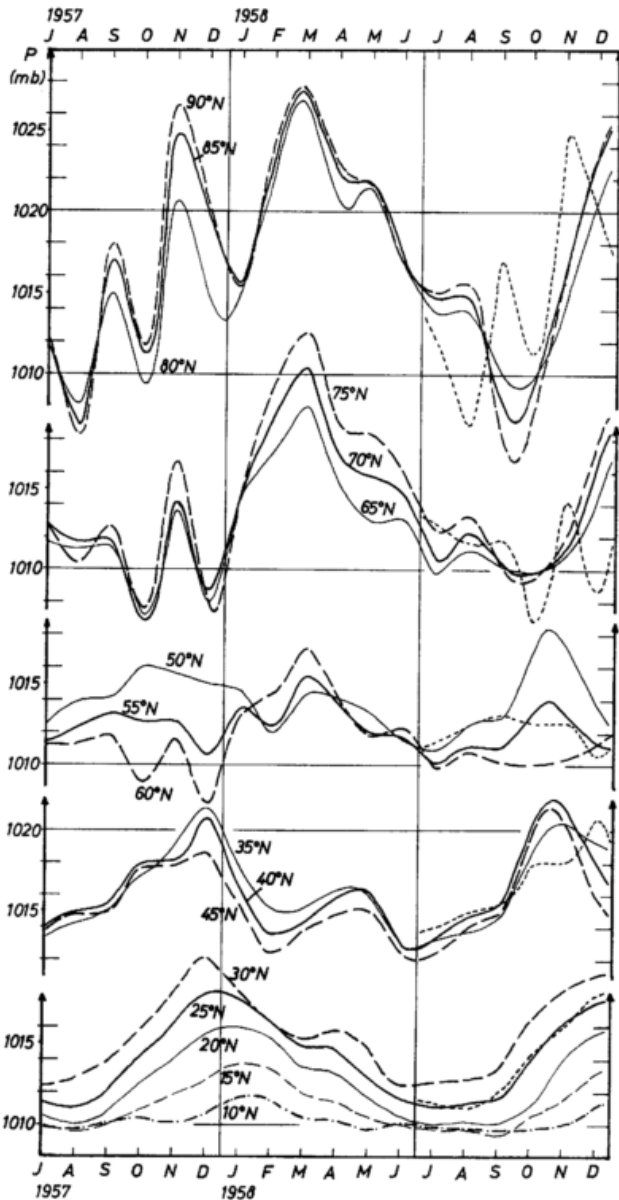


Abb. 21a
Luftdruck-Monatswerte der Breitenkreismittel im IGJ (Nordhemisphäre)

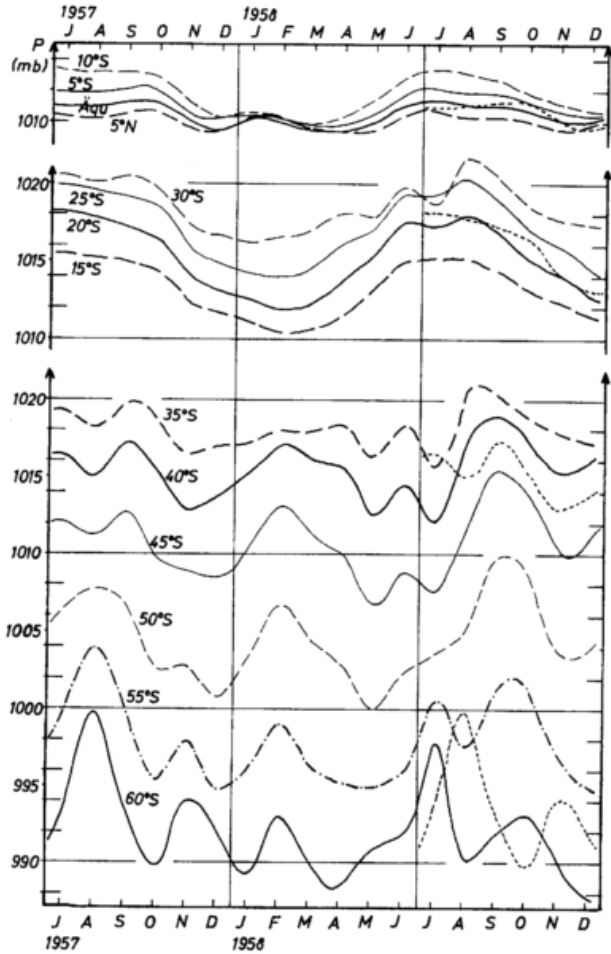


Abb. 21b
Luftdruck-Monatswerte der Breitenkreismittel im IGJ (Südhemisphäre)

1958 und Mai 1958. Diese Halbjahresschwingung reicht etwa bis 55°S. Obwohl der Luftdruck nach Süden hin noch weiter abfällt, ist hier ein Übergang; zwar ist dieser nicht so scharf wie z. B. bei 30°S; aber südlich davon weist der Luftdruck einen unregelmäßigen Gang auf, während nördlich von 55°S die Halbjahresschwingung vorherrscht.

Abb. 21 lehrt uns:

Grenzbreiten der atmosphärischen Zirkulation sind 55°N (35°N), 5°N, besonders 35°S (und 55°S).

Schwingungen und Wellen in der Atmosphäre finden in diesen Breiten die Grenze ihrer Ausdehnung, wie andere (hier nicht wiedergegebene) Rechnungen zeigen.

2.2.4. Beispiele monatlicher Breitenkreismittel des Luftdrucks

Es gibt Monate, die sich gut in das Schema der Tabelle 3 einfügen und deren Monatsmittelkurven sich gut an die Mittelkurven der 6-Jahresmittel (dicke Kurven in Abb. 3 bis 20) anschmiegen. Dies sind z. B. die Monate Juli 1957 (Abb. 3), September 1957 (besonders auf der Südhalbkugel, Abb. 5), Januar 1958 (Abb. 9), April 1958 (Abb. 12) und November 1958 (Abb. 19).

Große Abweichungen von den Mittelkurven der Jahre 1957-1962 weisen z. B. die Monate Januar 1957 (Abb. 9, gestrichelte Kurve), Februar 1959 (Abb. 10, gestrichelte Kurve), März 1958 (Abb. 11), Mai 1958 (Abb. 13), Juli 1958 (Abb. 15), August 1957 (Abb. 4), September 1958 (Abb. 17), Oktober 1957 (Abb. 6), November 1959 (Abb. 19, gestrichelte Kurve) und der Dezember 1957 (Abb. 8)

auf. Diese Monate weichen zumeist in den Polargebieten, zum Teil aber auch in den Westwindgebieten erheblich vom mehrjährigen Mittel ab. – Um einen Eindruck davon zu bekommen, in welcher Weise und mit welcher Stärke Abweichungen vom mehrjährigen Mittel vorkommen können und welche Gestalt das globale Luftdruckfeld in speziellen Monaten annehmen kann, seien die Besonderheiten dieser Monate kurz geschildert.

Der Januar 1957 hat nördlich von 58°N einen bedeutend zu tiefen Luftdruck, südlich davon bis 20°N einen deutlich zu hohen. Die äquatoriale Rinne weist tieferen Druck auf als normal. Während auf der Nordhalbkugel alle Luftdruckgebilde mit Ausnahme des Polarhochs, das fast vollständig verschwunden ist, eine stark gesteigerte Intensität aufweisen, sind sie auf der Südhalbkugel deutlich abgeschwächt mit Ausnahme des deutlich verstärkten Südpolarhochs.

Für den Februar 1959 gilt auf der Nordhalbkugel dasselbe wie für den Januar 1957; hier ist der Druck am Nordpol extrem niedrig und ein Luftdruckanstieg von 22.2 mb findet bis 40°N statt. Dies ist ein völlig anderes Bild, als es in den meisten Jahren vorherrscht. Dennoch entspricht die Luftdruckverteilung auf der Südhalbkugel etwa dem mehrjährigen Mittel.

Auffällig am März 1958 ist die deutlich gesteigerte Intensität beider Polarhochs und der deutlich erniedrigte Druck zwischen 50°N und 15°S. Südlicher Subtropenhochgürtel und südliche Westdrift sind gegenüber dem Mittel von 1957–1962 um etwa 2° nach Nord verschoben, der subantarktische Tiefdruckring ist abgeschwächt.

Die Nordverschiebung der südhemisphärischen Westwindzone setzt sich im April 1958 fort und erreicht ihr Maximum von 3½° Breite im Mai 1958; im Juni 1958 herrschen wieder normale Verhältnisse. Auf der Nordhalbkugel sind im Mai 1958 alle Luftdruckgebilde etwas intensiviert.

Im Juli 1958 und August 1957 weichen die Luftdruckkurven besonders auf der Südhalbkugel sehr stark von den üblichen Werten ab. Im Juli 1958 ist der nördliche subtropische Hochgürtel etwas abgeschwächt und nach Süden verschoben; die anderen nordhemisphärischen Luftdruckgebilde sind etwas intensiviert und in ihrer normalen Position. Deutlich abgeschwächt und äquatorwärts verlagert ist der südliche subtropische Hochdruckgürtel. Die Luftmassen, die zwischen 22°S und 52°S fehlen, stecken anscheinend südlich von 52°S; hier ist der Druck deutlich höher als normal. Die subantarktische Tiefdruckrinne ist nur sehr schwach ausgeprägt, sie liegt mit 995.5 mb auf 66°S und damit nördlicher als im 6-Jahresmittel. Die südliche Westdrift ist deutlich abgeschwächt. Einzigartig im Monatsmittel ist das Luftdruckminimum am Südpol; es hat 993 mb, ist damit aber immer noch höher als der mittlere Südpoldruck im Juli.

Auch im August 1957 ist die südhemisphärische Westdrift stark abgeschwächt; der subantarktische Tiefdruckring weist einen zu hohen Luftdruck auf. Im Gegensatz zum Juli 1958 steigt der Druck von 68°S bis zum Südpol an und erreicht 1000 mb. Das südliche Subtropenhoch ist etwas nach Norden verlagert. Auf der Nordhalbkugel ist besonders der tiefe Nordpoldruck hervorzuheben. Die subpolare Tiefdruckrinne hat nicht so niedrigen Druck wie das Nordpoltief, sie hat einen höheren Druck als im normalen August. Ebenfalls höheren Druck als normal hat das Subtropenhoch.

Bemerkenswert im September 1958 ist das Nordpoltief und vor allem die große Druckdifferenz von 41.3 mb (IGJ-Wert) zwischen dem gekräftigten südlichen Subtropenhoch und dem stark vertieften subantarktischen Tiefdruckring.

Im Oktober 1957 haben sämtliche Luftdruckgebilde der Südhalbkugel höheren Luftdruck als normal und

sind nach Norden verschoben; auf der Nordhalbkugel haben alle Luftdruckgebilde tieferen Druck als im 6-Jahresmittel, befinden sich aber in ihrer normalen Position.

Im November 1959 herrscht wie im September 1958 eine sehr starke Luftdruckdifferenz zwischen dem intensivierten südlichen Subtropenhoch und dem stark vertieften subantarktischen Tiefdruckring. Auffällig ist der geringe Luftdruckanstieg von 70°S bis zum Südpol und der sehr tiefe Monatsmittel-Südpoldruck. Auf der Nordhalbkugel von 35°N bis zum Nordpol ist im November 1959 der Druck höher als im normalen November.

Der Dezember 1957 schließlich zeichnet sich durch deutlich intensivierte Luftdruckgebilde auf der Nordhalbkugel, einer um 2° nach Norden verschobenen südhemisphärischen Westdrift und zu hohen Druck von 58°S bis zum Südpol aus.

2.3. Beispiele täglicher Breitenkreismittel des Luftdrucks

Um die wettermäßigen Schwankungen der Luftdruckbreitenkreismittel zu zeigen, Besonderheiten und Extreme darzustellen, seien noch einige tägliche Luftdruckbreitenkreismittel erläutert.

2.3.1. Nordsommer, normal

Als Beispiel für einen normalen Nordsommermonat, der verhältnismäßig kleine Variationen aufweist (s. Tab. 2), sei der Juli 1957 erwähnt (Abb. 22). Die größten Schwankungen weist das Nordpolarhoch auf, das bis zur Monatsmitte erkennbar ist, dann aber in ein Tief übergeht, das sich bis zum Monatsende hält. Die Tiefdruckrinne, die sich in der 1. Monatshälfte zwischen 50° und 65°N befand, existiert auch noch in der 2. Monatshälfte; sie ist durch einen schwachen Hochdruckgürtel von dem kräftigen Polartief getrennt. Das subtropische Hoch, in der 1. Monatshälfte schwach ausgeprägt bei 40°N gelegen, liegt in der 2. Hälfte mit etwa gleichem Druck bei 50°N; von da aus fällt der Luftdruck schwach zur Tropenrinne ab, die sich in beiden Monatshälften mit einem Druck von 1009 mb bis 1010.5 mb zwischen 10°N und 15°N befindet. Gut ausgeprägt ist der südliche subtropische Hochdruckgürtel mit 1019.5 mb bis 1022.8 mb auf 27°–30°S; am 21. 7. 1957 existiert ein 2. Maximum bei 40°S. Von da aus erfolgt ein steiler Luftdruckabfall bis zur südlichen subpolaren Tiefdruckrinne, die zwischen 65°S und 75°S mit 980–990 mb liegt; der größte Luftdruckabfall beträgt 40.8 mb am 14. 7., der geringste 31.0 mb am 10. 7. Diese Unterschiede sowohl im nördlichen als im südlichen subpolaren Gebiet sind vergleichsweise gering, wie das Folgende zeigt.

2.3.2. Nordsommer, anomal

Ganz besondere Züge trägt, wie bereits in Kapitel 2.2.1. erwähnt, der August 1957 (Abb. 23). Der Monat beginnt nahezu normal, aber schon bald entsteht bei 40°–50°S ein neuer Ring von Tiefdruckgebieten, der sich rasch intensiviert und den subtropischen Hochdruckgürtel in einzelne Zellen aufspaltet (am 4. 8.). Je mehr sich dieser Tiefdruckring intensiviert, desto mehr schwächt sich die Tiefdruckrinne am Rande der Antarktis ab. Über den sich intensivierenden Tiefdruckkernen der nördlicheren Tiefdruckrinne stellen sich abgeschlossene Höhentiefs ein; über der Antarktis steigt der Druck auch in der Höhe, eine starke Meridionalisierung der Höhenströmung ist die Folge (am 8. 8.). Den Höhepunkt erreicht diese Entwicklung etwa zum 12. 8. In Abb. 23 sind deutlich zwei Tiefdruckrinnen zu erkennen: die nördlichere bei 45°S hat die intensiveren Tiefdruckgebiete, diese sind aber durch Hochdruckgebiete voneinander getrennt, so daß im Breitenkreismittel hier ein höherer Druck herrscht als in der schwachen, von Hochkeilen unterbrochenen südlicheren Tiefdruckrinne. Die

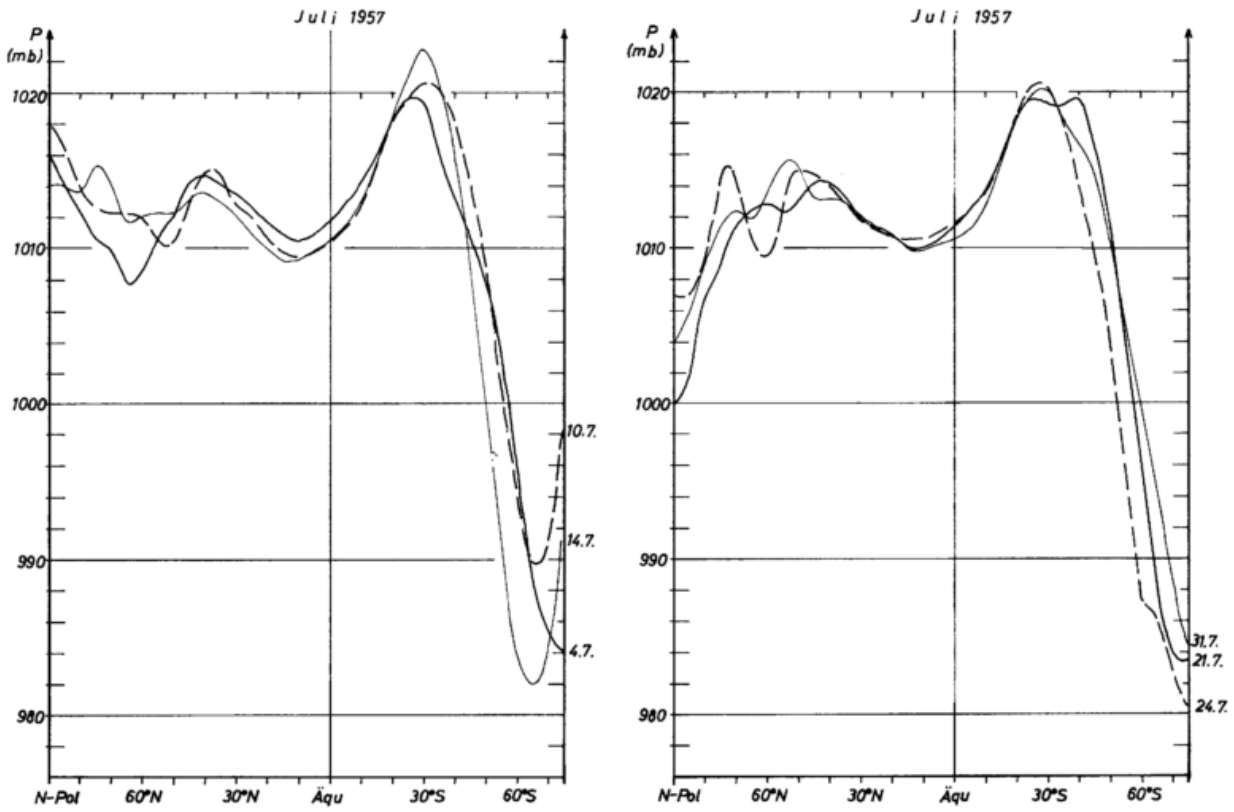


Abb. 22
Luftdruck-Breitenkreismittel ausgewählter Tage

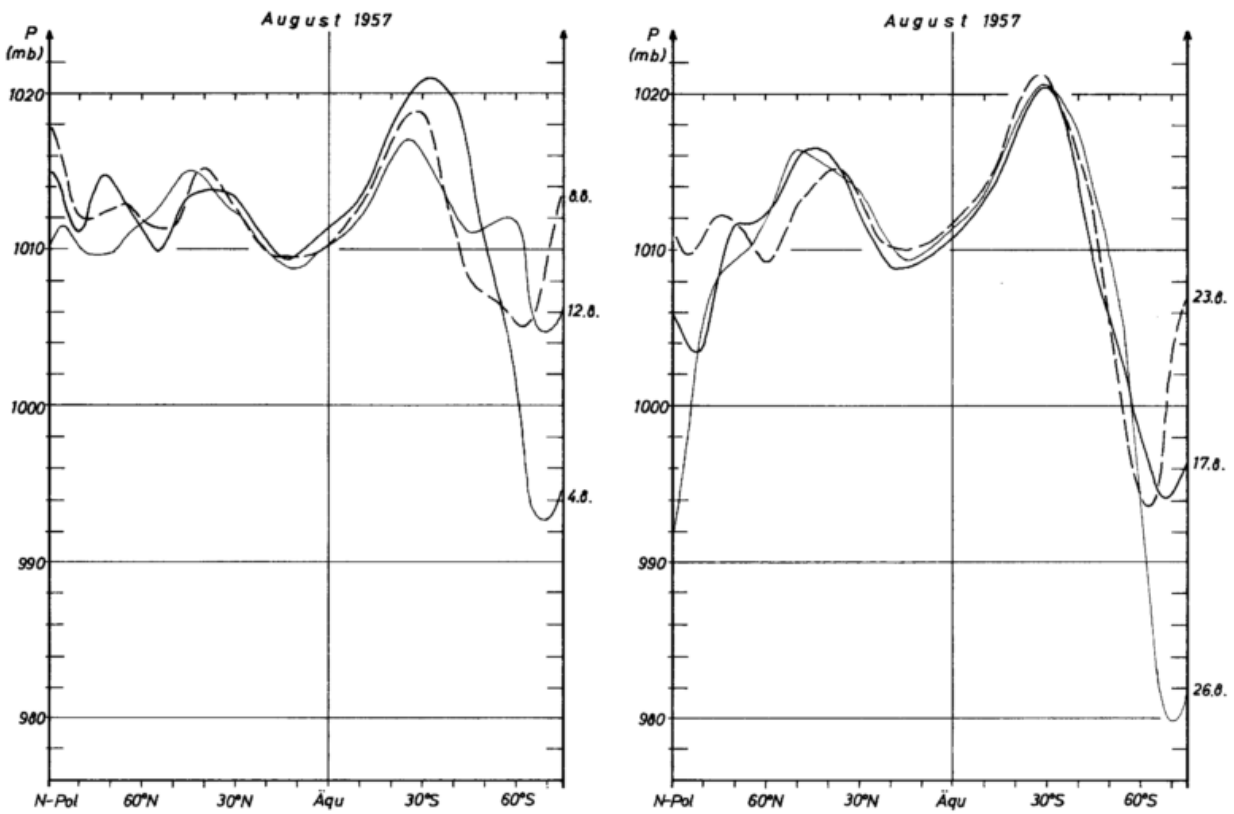


Abb. 23
Luftdruck-Breitenkreismittel ausgewählter Tage

nördlichere Tiefdruckrinne zieht sich um den Pol zusammen; bei 45°N entsteht am 17. 8. eine neue Tiefdruckrinne, die auch wieder polwärts wandert. Das Mäandern der Höhenströmung ist immer noch vorhanden (23. 8.). Jetzt allerdings gewinnen die vor dem antarktischen Kontinent gelegenen Tiefs erheblich an Intensität, am 29. 8., registrierte eine auf dem Rossmeer liegende Station 932 mb (75°S, 160°W). Dieses Tief hatte auch ein kräftiges Höhentief. Auch in der Höhe fiel also der Druck über dem Polargebiet wieder ab, die Strömung zonalisierte sich. - Während der 2. Monatshälfte hatte der südliche subtropische Hochdruckgürtel leicht gesteigerte Intensität, die Tropenrinne bei 15°N hatte unternormalen Luftdruck, so daß der südliche Passatgürtel fast im ganzen Monat gut ausgeprägt war. Der nördliche subtropische Hochgürtel hatte normale Intensität und lag zwischen 40° und 50°N, war also z. T. etwas nach Norden verschoben. Da seine Intensität sich kaum änderte, war die Variation in diesem Gebiet sehr gering (<1 mb!). Die nördliche subpolare Tiefdruckrinne war meistens verdoppelt, ein polares Hoch war selten und nur schwach vorhanden, der Druck der Nordpolarkalotte (90°-70°N) war, besonders in der 2. Monatshälfte, unternormal. Die Variation war auch hier unternormal.

2.3.3. Nordwinter, normal

Ein Nordwintermonat, in dem verhältnismäßig geringe Variation herrscht (Tabelle 2), in dem also keine extremen Luftdruckschwankungen auf einzelnen Breitenkreisen auftreten, ist der Februar 1958 (Abb. 23). Die Luftdruckschwankungen im nordpolaren Bereich sind sehr viel größer als in einem ruhigen Nordsommermonat (Juli 1957): Allein in der Zeit vom 9. 2. bis 13. 2. fällt der Poldruck um 28 mb; aber auch noch zwischen 60°N und 70°N schwankt der Druck innerhalb von 4 Tagen

(17. 2. - 21. 2.) um mehr als 10 mb. Das Polarhoch ist oft durch eine oder mehrere sekundäre Tiefdruckrinnen geteilt. Im allgemeinen jedoch steigt der Druck im Polargebiet im Laufe des Februars an und erreicht im März seinen Höchstwert. Die nördliche subpolare Tiefdruckrinne ist meist gut ausgeprägt und liegt zwischen 40° und 60°N.

Der subtropische Hochdruckgürtel liegt bei nur geringen Intensitätsschwankungen mit einem Druck von ca. 1016,5 mb, und damit etwas schwächer als der südliche subtropische Hochdruckgürtel, bei 25°N.

Deutlich wird die Zweiteilung der Tropenrinne sichtbar: Nördliche (bei 1°N) und südliche Rinne (bei 11°S) haben etwa gleiche Intensität, die zwischen 1009 mb und 1011 mb schwankt; beide verändern ihre Breitenlage kaum.

Der südliche subtropische Hochdruckgürtel hat meist 1017 mb bis 1018 mb, nur am 21. 2. 1020 mb. Er liegt verhältnismäßig weit südlich zwischen 35° und 41°S. Auch in der südlichen Westwindzone und dem südlichen Tiefdruckring sind die Druck- und Breitenunterschiede des Druckminimums verhältnismäßig klein. Es liegt bei 65°S mit ca. 990 mb; der Luftdruckabfall beträgt minimal 27,0 mb am 9. 2., maximal 30,4 mb am 21. 2., was eine sehr geringe Schwankung ist.

2.3.4. Nordwinter, wechselhaft

Anders als der Februar 1958 verhält sich der Januar 1958 (Abb. 25). Schon aus der Tab. 2 erkennen wir eine große Variation, besonders in den nördlichen Breiten bis 50°N. Extreme Luftdruckunterschiede besonders in Nordpolnähe treten in kurzer Zeit auf: So schnell der Luftdruck am Nordpol vom 16. 1. - 20. 1. um 50 mb empor! Die ungewöhnlichste Luftdruckverteilung hat

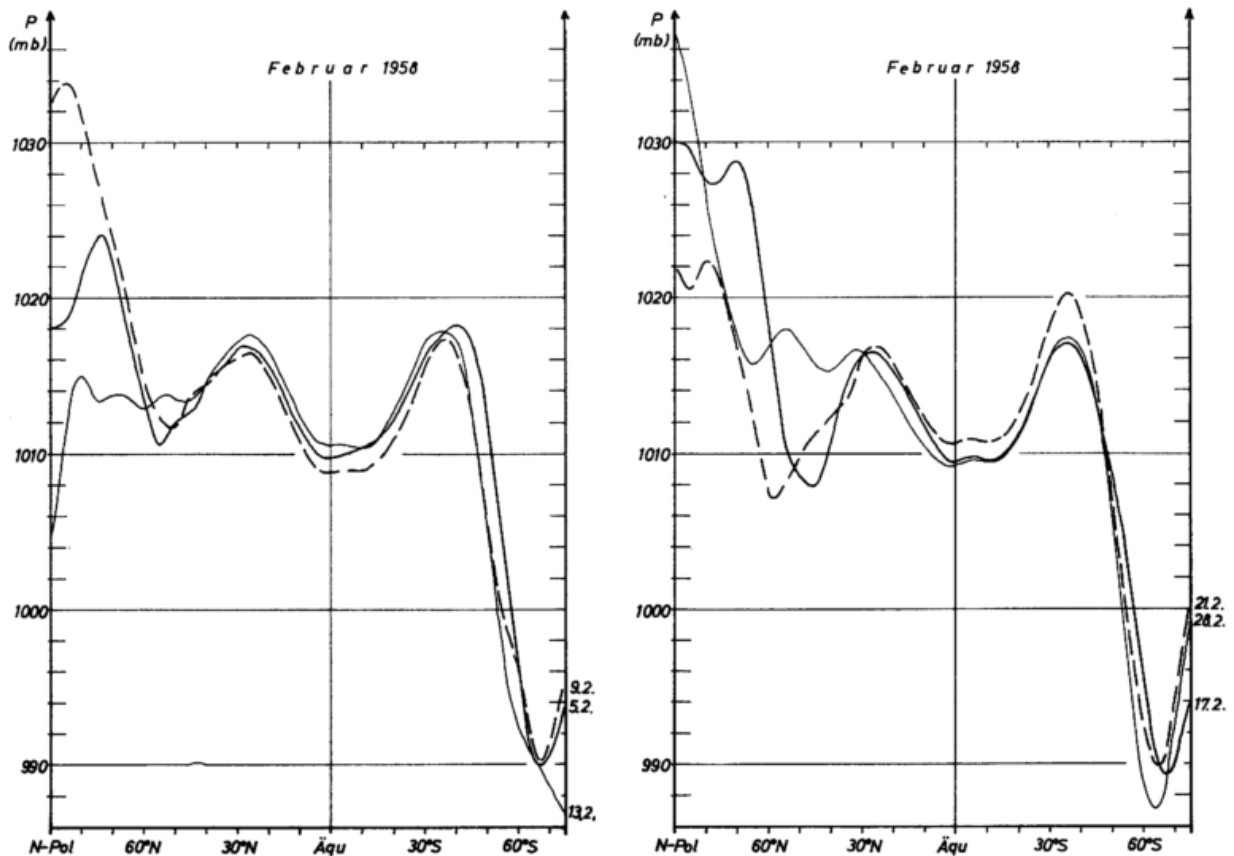


Abb. 24
Luftdruck-Breitenkreismittel ausgewählter Tage

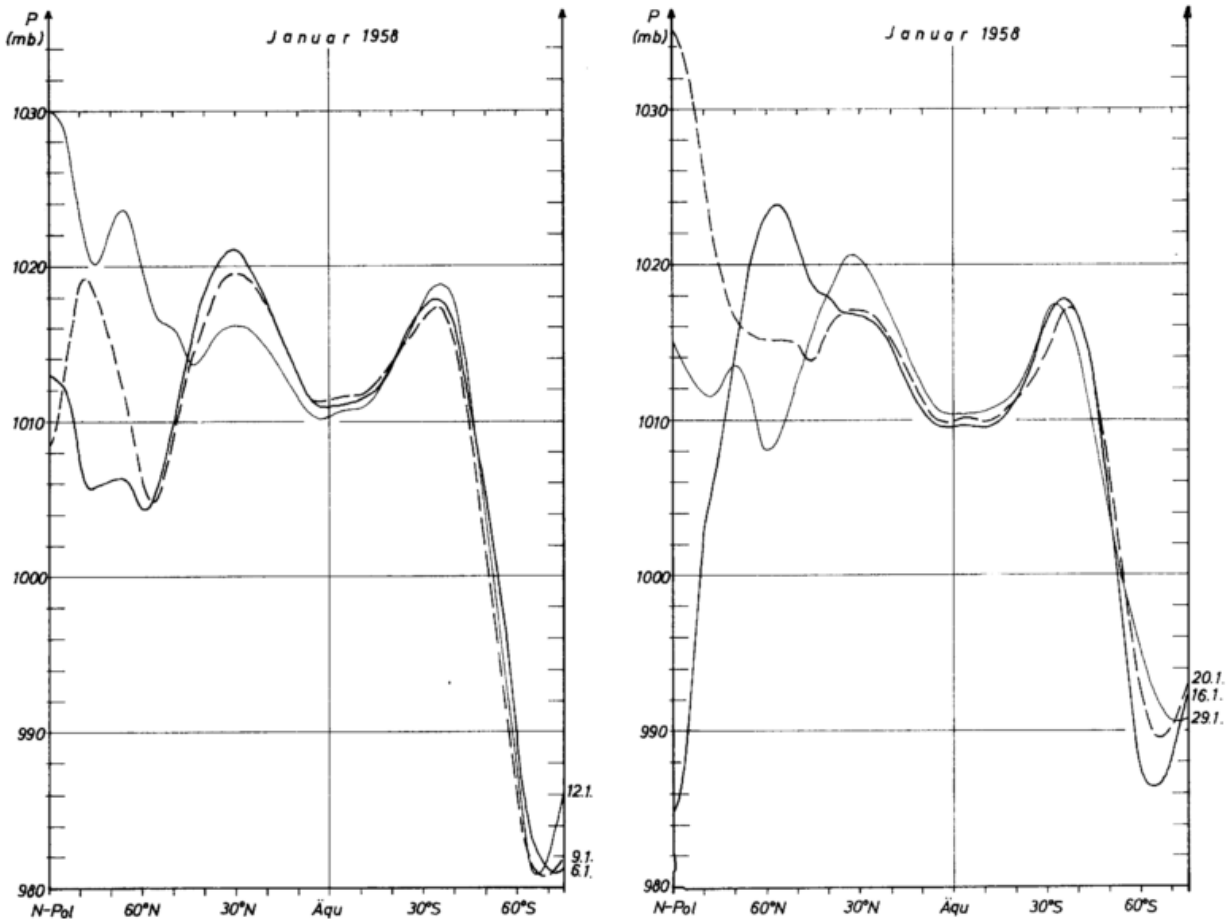


Abb. 25
Luftdruck-Breitenkreismittel ausgewählter Tage

der 16. 1. Die sonst übliche Gliederung der Nordhalbkugel in Polarhoch, subpolare Tiefdruckrinne und Subtropenhoch ist verschwunden. Von einem Tief am Nordpol steigt der Luftdruck überaus steil bis 57°N, wo sonst der Tiefdruckring liegt. Dabei wird ein Gradient erzielt, wie er selbst zwischen dem subtropischen Hochdruckgürtel und dem subpolaren Tiefdruckring der Südhalbkugel nur in einem Falle vorkommt: 12.7 mb beträgt der Abfall von 80°N auf 85°N, was einem geostrophischen Westwind von 12 m/sec entspricht (Breitenkreismittel!). Der gesamte Anstieg vom Pol bis 57°N beträgt 38.8 mb, ein Wert, der sonst nur auf der Südhalbkugel vorkommt. Von 57°N fällt der Luftdruck bis zur Tropenrinne bei 4°N ab, d. h. 77% der Nordhalbkugel sind mit bodennahen Ostwinden bedeckt. Aus diesem all lernen wir: Kurzzeitig sind auch andere als die normalen (in Abb. 1 dargestellte) Zirkulationsformen auf der Nordhalbkugel möglich!

Ein Fall, wo der Luftdruck vom Nordpol bis zur Tropenrinne stetig abfiel, trat im IGJ nicht auf, ist aber denkbar. Nahe kommen diesem Fall die folgenden Tage, an denen der in Klammern angeführte Anteil der nördlichen Halbkugel ein Luftdruckgefälle zum Äquator zeigte (Breitenkreismittelwerte): 22. 9. 1957 (89%), 28. 4. 1957 (86,3%), 24. 4. 1958 (85,5%), 16. 6. 1958 (85,2%), 1. 9. 1958 (84,8%), 15. 3. 1958 (84,7%), 16. 1. 1958 (82,8%), 7. 4. 1958 (82,2%).

Außer am 16. 1. sind im Januar 1958 das Polarhoch, die subpolare Tiefdruckrinne und der subtropische Hochdruckgürtel der Nordhalbkugel wohl zu erkennen, aber in Lage und Intensität stark unterschiedlich und z. T. aufgespalten.

Auch hier wird die Zweiteilung der Tropenrinne, die nördliche bei 2°-3°N, die südliche bei 10°S, bemerkt; am Monatsanfang ist die nördliche noch stärker als die südliche, in der 2. Monatshälfte haben sie etwa gleiche Intensität.

Geringere Unterschiede herrschen auf der Südhalbkugel als auf der Nordhalbkugel vor. Der Luftdruckabfall ist in der 1. Monatshälfte mit etwa 37 mb steiler als in der 2. Monatshälfte, wo er nur ca. 28 mb beträgt. Der südliche subtropische Hochdruckgürtel verändert seine Intensität nur wenig (von 1017.4 mb bis 1018.8 mb) und hat eine nur wenig schwankende Lage bei 35°S. — Der sich zum Monatsende hin abschwächende subantarktische Tiefdruckring liegt bis 64°-72°S.

2.3.5. Besonderheiten des März 1958

Der nordpolare Hochdruck hat in diesem Monat sein Maximum innerhalb des IGJ (s. Abb. 21). Der extremste Tag ist der 12. 3. 1958 (Abb. 26). Hier erreicht das Nordpolarhoch auf 85°N den Druck von 1044.3 mb. Auch das Südpolargebiet hat an diesem Tage verhältnismäßig hohen Druck. 72% der Erdoberfläche (Breitenkreismittel) sind an diesem Tag von Ostwinden bedeckt (geostrophisch betrachtet).

2.3.6. Die extremen Verhältnisse auf der Südhalbkugel im Oktober 1958

Wie schon im Kapitel 2.2.1. bemerkt, ist der Luftdruckabfall der südhemisphärischen Westwindzone von August 1958 — Dezember 1958 viel stärker als im Vorjahre um die gleiche Zeit. Schon im August 1958 und September 1958 werden 45 mb Luftdruckabfall erreicht, aber das Maximum ist Anfang Oktober 1958 (Abb. 27).

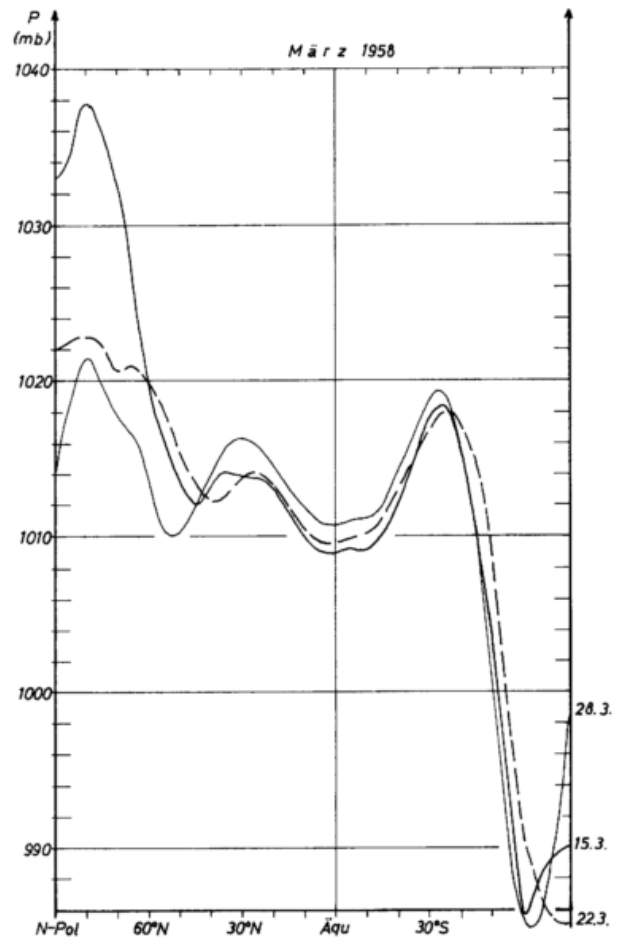
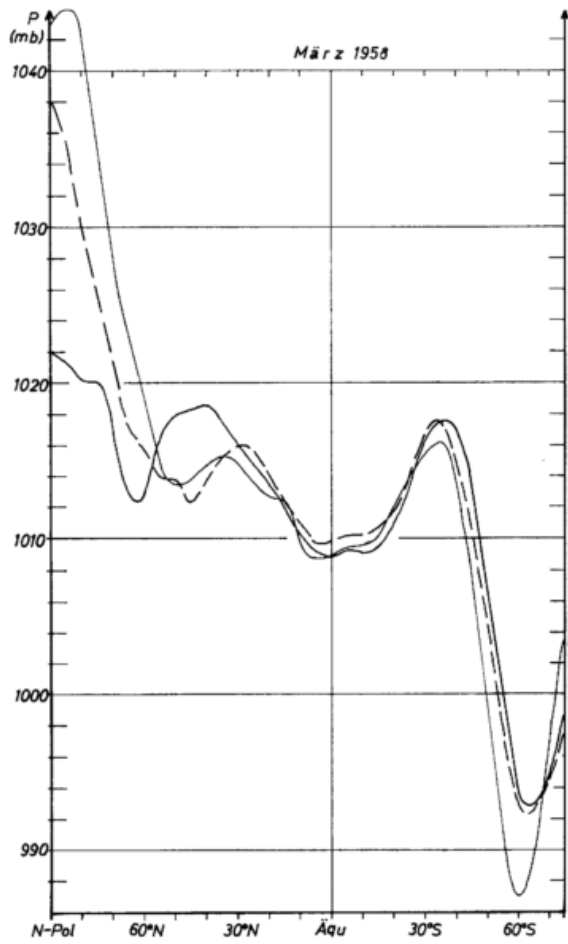


Abb. 26
Luftdruck-Breitenkreismittel ausgewählter Tage

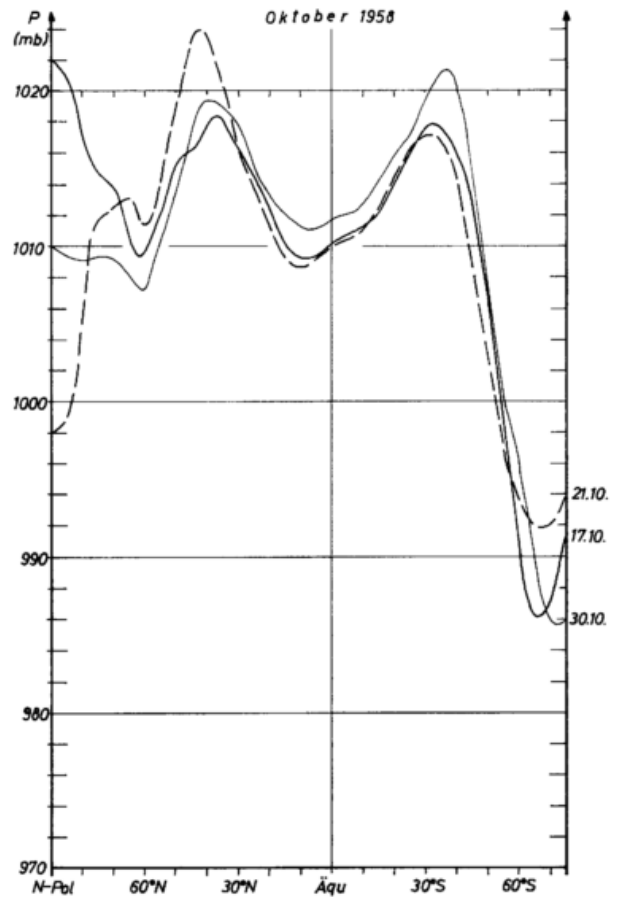
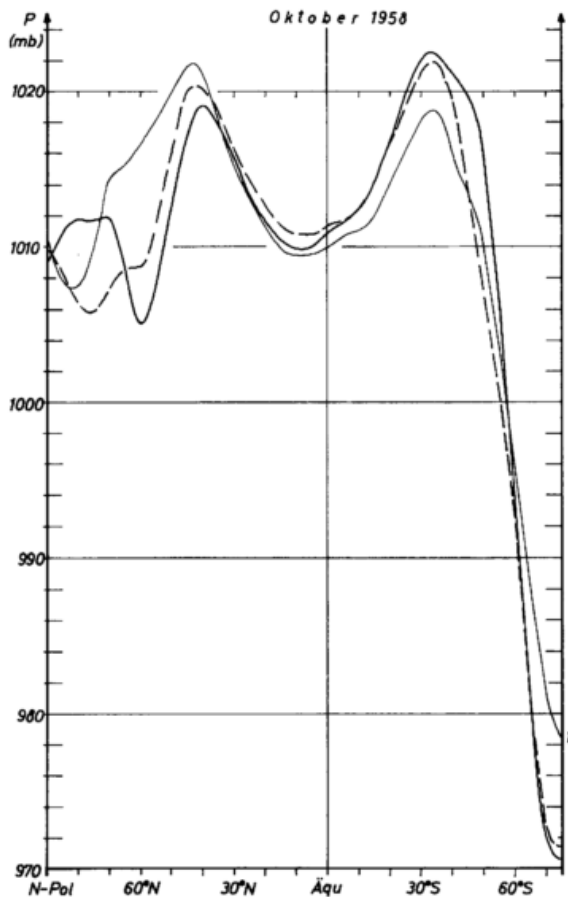


Abb. 27
Luftdruck-Breitenkreismittel ausgewählter Tage

Am 1. 10. 1958 ist bei 33°S ein Druck von 1022.5 mb, bei 74°S ein Druck von 970.7 mb, die Differenz beträgt 51.8 mb. Der Abfall ist besonders zwischen 48° und 68°S äußerst stark, er entspricht einem geostrophischen Wind von ca. 15 m/sec! Dieser hohe Wert hält sich bis etwa zum 8. Oktober. In der 2. Monatshälfte ist der Druckabfall verhältnismäßig schwach: 25.3 mb am 21. 10. Am Monatsende wird er wieder stärker.

2.3.7. Besondere Verhältnisse im Dezember 1958

Eine besonders große Variation weist der Dezember 1958 in nordpolaren Breiten auf: Auf 85°N pendelt der Luftdruck zwischen 1005 mb und 1040 mb (Abb. 28).

Subpolarer Tiefdruckring und subtropischer Hochdruckgürtel sind gut ausgeprägt. Letzterer lag am 31. 12. weit nach Norden verschoben (43°N) und wies den hohen Druck von 1025.3 mb auf, das Maximum des nördlichen subtropischen Hochdruckgürtels im IGJ. Gleichzeitig hatte die Tropenrinne kräftige Druckminima: Nordrinne: 1008.5 mb, Südrinne 1008.9 mb, was den tiefsten Wert der Südrinne im IGJ darstellt. Tieferen Druck hat die nördliche Rinne nur am 28. 4. 1958 (1007.6 mb) und vom 12.-14. November 1958 (1008.2 mb).

2.4. Harmonische Analyse der Luftdruck-Breitenkreismittel auf einem Meridionalschnitt

Wenn wir die globale Luftdruckverteilung des Jahres 1958 betrachten (Abb. 1), so taucht die Frage auf, aus welchen Harmonischen sich eine solche Luftdruckkurve zusammensetzt und wie sich die einzelnen Harmonischen von Monat zu Monat und vom Sommer zum Winter ändern.

2.4.1. Rechengang

Es werden die monatlichen Breitenkreismittelwerte des IGJ, die in den Abb. 3-20 dargestellt sind und den Luftdruck auf 90°N, 85°N, 80°N, ..., 70°S angeben, auf 75°S, 80°S, 85°S und 90°S ergänzt. Da zu dem Zeitpunkt der Rechnung die MMS-Werte noch nicht vorlagen, erfolgte dies nach PFLUGBEIL (10) Die PFLUGBEILSchen Werte auf 70°S stimmen nicht mit den dieser Arbeit zugrundeliegenden IGJ-Werten von 70°S überein, deshalb wurden für 75°S, 80°S und 90°S die Differenzen dieser Werte zu 70°S verwendet.

Beispiel: Im August 1957 betrug das IGJ-Monatsmittel auf 70°S: 995.4 mb (Tab. 4).

Tab. 4
Ergänzung der IGJ-Breitenkreismittel im Südpolargebiet im August 1957

Breite	Breitenkreismittel Pflugbeil (mb)	Differenz zu 70°S (mb)	verwendeter Wert (mb)	MMS-Wert (mb)
70°S	990.3	0.0	995.4	995.4
75°S	990.7	0.4	995.8	996.1
80°S	994.4	4.1	999.0	997.4
85°S	996.9	6.6	1002.0	998.7
90°S	997.5	7.2	1002.6	1000.0

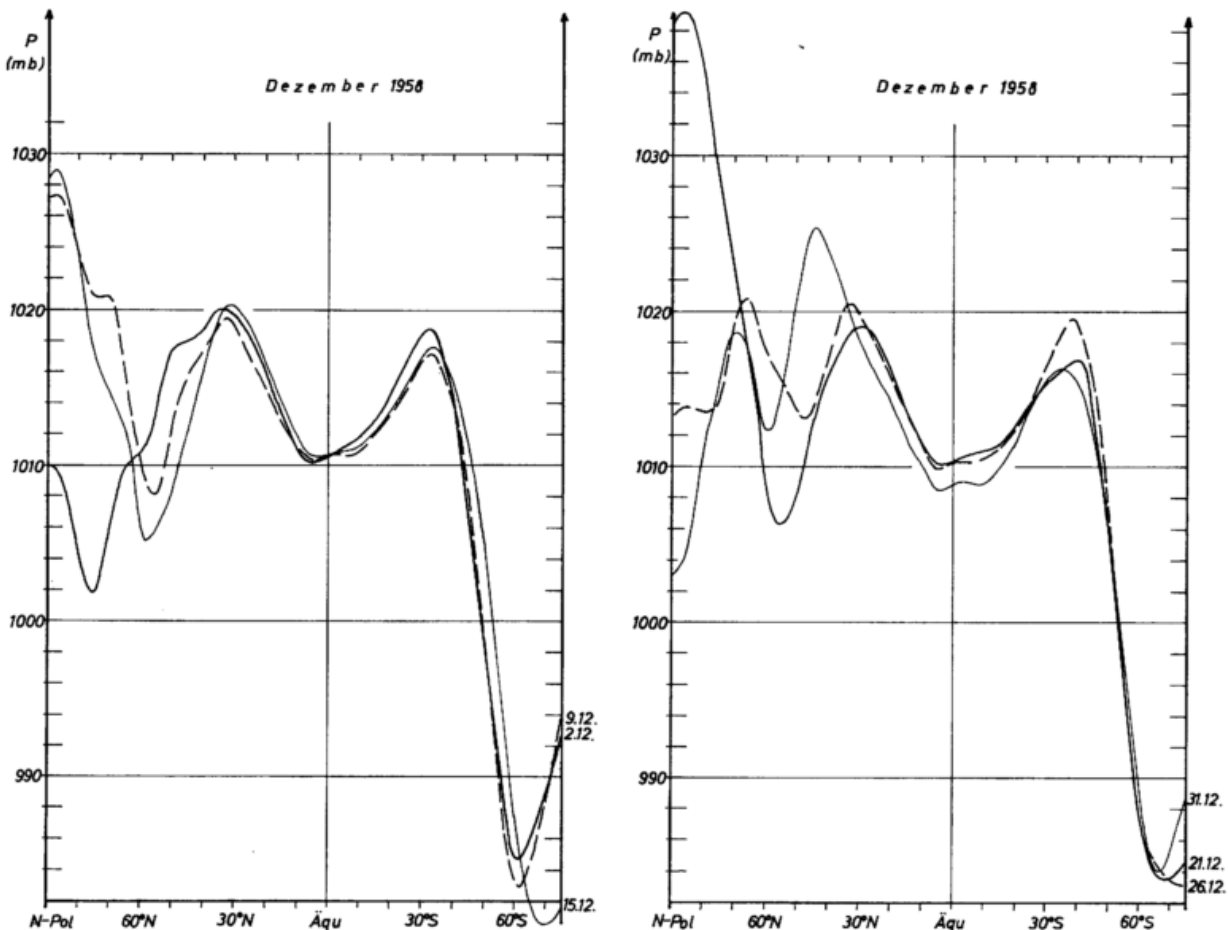


Abb. 28
Luftdruck-Breitenkreismittel ausgewählter Tage

Wie die nachträglich erstellten MMS-Werte zeigen, sind die verwendeten Werte zwischen 80°S und 90°S zu hoch. Dies ändert aber qualitativ nichts am Ergebnis.

Nun hat der Südpol im Monatsmittel immer einen tieferen Luftdruck als der Nordpol; wenn man also den Luftdruck über das Intervall Nordpol-Südpol harmonisch analysiert, muß man diesen Luftdruck-Abfall

eliminieren. Dies geschah, indem auf jeder Breite ein entsprechender Anteil der Luftdruckdifferenz Nordpol-Südpol abgezogen (Nordhalbkugel) bzw. zugezählt wurde (Südhalkugel). Mit den so reduzierten Werten wurde eine harmonische Analyse der 1.-10. Harmonischen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der Tab. 5 dargestellt.

Tab. 5
Nordwinter 1958: Januar 1958 - April 1958 und November 1958 - Dezember 1958; Nordsummer 1958: Mai - Oktober 1958
A: Amplitude (mb) und L: Lage der Maxima der 1. - 5. Harmonischen
Nordhalbkugel: positive Breitenzahlen
Südhalkugel: negative Breitenzahlen

Harmonische	1958												Nord-Nord- win- som- ter mer 58 58									
	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	58	58		
PNP _{ol}	4.6	3.7	11.5	11.1	18.4	17.1	10.8	17.1	16.0	10.7	11.5	0.4	3.1	11.4	5.1	5.7	14.8	23.3	15.5	6.2	10.8	
-PSP _{ol} (mb)																						
1. A	6.3	5.6	5.8	7.8	3.2	5.0	6.2	2.4	1.7	3.6	3.3	3.6	3.6	6.3	8.3	8.0	6.7	4.9	4.0	5.5	4.8	
L	8°	4°	1°	4°	3°	2°	16°	1°	33°	24°	18°	24°	10°	0°	6°	11°	9°	0°	12°	10°	11°	
2. A	7.4	5.8	6.5	5.3	3.2	1.8	4.8	4.2	5.8	5.7	5.4	7.2	4.8	6.9	8.5	7.2	5.2	4.0	4.8	6.3	5.5	
L	64°	60°	63°	61°	66°	54°	63°	67°	70°	69°	70°	70°	70°	65°	61°	58°	59°	64°	66°	65°	65°	
3. L	-26°	-30°	-27°	-29°	-24°	-36	-27°	-23°	-20°	-21°	-20°	-20°	-20°	-25°	-29°	-32°	-31°	-26°	-24°	-25°	-25°	
A	5.0	2.6	8.2	5.3	6.0	6.3	5.8	6.2	6.6	6.7	6.0	5.8	4.4	5.7	5.8	4.9	5.9	6.9	6.3	5.2	5.8	
L	86°	88°	87°	90°	89°	89°	86°	84°	85°	87°	89°	88°	90°	87°	84°	86°	88°	87°	86°	87°	87°	
4. L	26°	28°	27°	30°	29°	29°	26°	24°	25°	27°	29°	28°	30°	27°	24°	26°	28°	27°	26°	27°	27°	
L	-34°	-32°	-33°	-30°	-31°	-31°	-34°	-36°	-35°	-33°	-31°	-32°	-30°	-33°	-36°	-34°	-32°	-33°	-34°	-33°	-33°	
A	2.1	0.7	2.9	2.7	2.3	1.8	2.1	1.8	2.4	2.7	1.6	2.0	1.4	2.7	3.1	3.5	3.1	2.5	2.4	2.3	2.4	
L	90°	47°	45°	48°	45°	48°	48°	47°	48°	47°	47°	48°	46°	47°	89°	89°	45°	45°	47°	46°	46°	
L	jeweils 45° weiter südlich																					
L	jeweils 45° weiter südlich																					
L	jeweils 45° weiter südlich																					
5. A	0.7	0.1	0.9	0.2	0.3	0.9	1.3	1.1	1.3	1.1	0.5	0.5	0.4	0.7	0.8	0.7	0.4	1.2	1.1	0.4	0.7	
L	56°	40°	54°	60°	51°	72°	42°	43°	43°	43°	74°	61°	54°	60°	59°	56°	61°	64°	63°	62°	62°	
L	jeweils 36° weiter südlich																					
L	jeweils 36° weiter südlich																					
L	jeweils 36° weiter südlich																					
L	jeweils 36° weiter südlich																					

2.4.2. Ergebnisse

Die nicht in Tab. 5 aufgeführten Harmonischen sind gegenüber den ersten 5 (auch die 5. ist schon ziemlich unbedeutend) bedeutungslos.

Zeichnerisch dargestellt sind die ersten 4 Harmonischen für das Jahresmittel 1958 in Abb. 29. Die Addition der 1.-4. Harmonischen ergibt die dick ausgezogene Kurve; führt man die vorher eliminierten Luftdruckdifferenzen zwischen Nordpol und Südpol wieder ein, so erhält man die dicke strichpunktierte Kurve, die der Jahresmittelkurve von 1958 (Abb 1, dicke Kurve) sehr ähnelt.

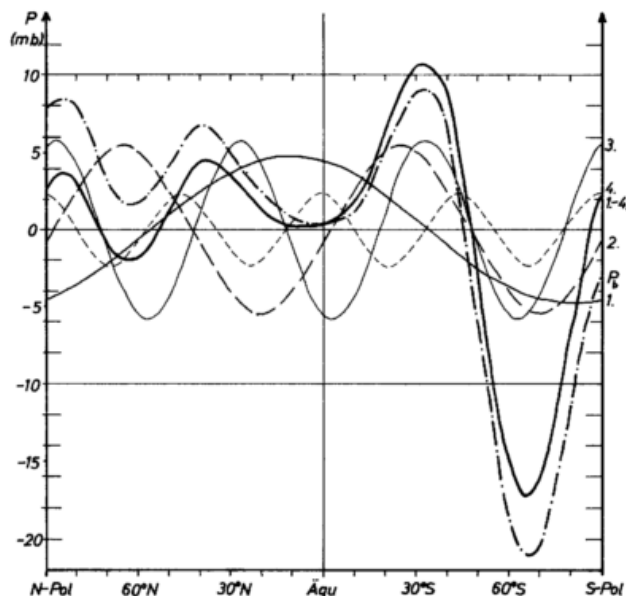


Abb. 29

Zusammensetzung der globalen Luftdruckkurve aus den ersten 4 Harmonischen, Jahresmittel 1958; durchgezogen: 1. Harmon., gestrichelt: 2. Harmon., dünn durchgezogen: 3. Harmon., dünn gestrichelt: 4. Harmon., dick ausgezogen: Addition der 1.-4. Harmon., dick strichpunktiert: Addition der Druckdifferenzen zwischen Nord- und Südpol zur 1.-4. Harmonischen

Der markanteste Zug der globalen Luftdruckverteilung ist der Luftdruckabfall in der südhemisphärischen Westwindzone mit dem subantarktischen Luftdruckminimum. Dieser Zug prägt sich allen Harmonischen auf, so daß sie alle bei 60°S-80°S ein Minimum haben.

Die 1. Harmonische besagt, daß niedere Breiten einen höheren Druck haben als hohe Breiten, das Maximum liegt im Jahresmittel bei 11°N, also nicht am geographischen, sondern eher am thermischen Äquator. Es ist keine deutliche jahreszeitliche Wanderung erkennbar, die Amplitude ist starken Schwankungen unterworfen.

Die 2. Harmonische ist hauptsächlich verantwortlich für die Ungleichheit zwischen Nord- und Südhalbkugel. Ihre Maxima liegen nicht symmetrisch zum Äquator, sondern um etwa 20° nach Norden verschoben. Auch die 2. Harmonische ist wettermäßig stark beeinflusst; die Amplitude schwankt stark, ist im Mittel aber größer als die der 1. Harmonischen.

Das an Amplitude und Phase konstanteste Gebilde mit auch der größten Amplitude im Jahresmittel von 1958 ist die 3. Harmonische. Sie repräsentiert, fast symmetrisch zum Äquator, die beständigen globalen Luftdruckgebilde: äquatoriale Tiefdruckrinne, subtrop. Hochdruckgürtel bei etwa 30° Breite, die bei 60° Breite gelegenen subpolaren Tiefdruckrinnen und die polaren Hochdruckgebiete.

Eine Modifikation des bis jetzt erwähnten Schemas gibt die 4. Harmonische, die die Extrema entweder verstärkt (südl. Tiefdruckgürtel) oder abschwächt (äqua-

toriale Tiefdruckrinne), Anstiege oder Abfälle steiler oder flacher macht. Geringe Modifikationen bewirkt noch die 5. Harmonische, z. B. die Betonung der nördl. gegenüber der südlichen äquatorialen Tiefdruckrinne im Nordwinter.

Wir haben gesehen, daß die Ungleichheit zwischen der Nord- und der Südhalbkugel, die zum geringen Anteil durch das nördlich des Äquators gelegene Maximum der 1. Harmonischen, zum größten Teil aber durch die Amplitude und Lage der 2. Harmonischen gekennzeichnet ist, die gleiche Intensität hat wie die konstanten Züge des globalen Luftdruckfeldes, dargestellt durch die 3. Harmonische.

3. Breitengürtel

3.1. Einteilung der Breitengürtel

3.1.1. Neue Einteilung

Wenn man die Abb. 1 betrachtet, so erkennt man, daß es sinnvoll ist, gewisse Breitenkreise zu Breitengürteln zusammenzufassen, weil diese ein sehr ähnliches Verhalten zeigen. So sehen wir z. B., daß der Luftdruckgang der Breiten 90°-60°N sehr ähnlich ist; man kann also in bezug auf gewisse meteorologische Parameter diese Breiten zusammenfassen, um ein einfacheres Bild von der herrschenden Situation zu zeichnen. Die Einteilung wurde also nach den in Abb. 1 erfaßten, in der Natur vorhandenen Breitengürteln durchgeführt. Bei der Zusammenfassung von mehreren Breitenkreismittelwerten zu Breitengürteln wurde natürlich jeder Wert mit dem Cosinus der Breite gewichtet.

Für folgende Breitengürtel wurden die IGJ-Daten ausgewertet:

- 85° - 70°N: Nördliche polare Hochdruckzone
- 65° - 50°N: nördliche subpolare Tiefdruckrinne
- 45° - 25°N: nördlicher subtropischer Hochdruckgürtel
- 20°N - 15°S: Tropische Tiefdruckrinne
- 20° - 45°S: südlicher subtropischer Hochdruckgürtel
- 50° - 70°S: südliche subpolare Tiefdruckrinne
- 85°N - 40°N: Nördliche Außertropen
- 35°N - 30°S: Tropen
- 35°S - 70°S: südliche Außertropen
- 85°N - 0° : Nordhalbkugel
- 0° - 70°S: Südhalbkugel
- 85°N - 70°S: Erde

Besonders wichtig ist die Erde. Eine wesentliche Aufgabe dieser Arbeit war es festzustellen, ob und wie der globale Luftdruck schwankt und wo auf der Erde diese Schwankungen festzustellen sind.

Nun mag man es als störend empfinden, daß zwischen 70°S und dem Südpol keine Luftdruckwerte vorhanden sind, so daß eventuell festgestellte Schwankungen des Globaldrucks durch entgegengesetzten Luftdruckgang in diesem Gebiet ausgeglichen werden könnten. Das ist aber in nur sehr beschränktem Maße möglich. - Das fragliche Gebiet zwischen 72.5°S (70°S ist ja noch erfaßt) und dem Südpol ist nur 2.3% der gesamten Erdoberfläche groß. Ermitteln wir aus Abb. 2 einen mittleren Luftdruck von 990.5 mb (gewichtetes Flächenmittel für 72.5°S-90°S), so vermindert dieser Wert den ohne Berücksichtigung dieses Gebietes berechneten Globaldruck von ca. 1011.6 mb um etwa 0.5 mb. Betrachtung der südhemisphärischen täglichen Wetterkarten zeigt, daß der mittlere Luftdruck von Tag zu Tag im südl. Polargebiet (72.5°-90°S) nicht mehr als ±13 mb schwankt, d. h. der globale Luftdruck hierdurch höchstens um ±0.3 mb verändert wird. Da die beobachteten globalen Luftdruckschwankungen von Tag zu Tag aber oftmals größer sind

(s. Kapitel 3.4.2.), kann man den Einfluß des Südpolargebietes auf die globalen Luftdruckschwankungen meistens vernachlässigen.

3.1.2. Ältere Einteilung

In einem älteren Programm, als die Abb. 1 noch nicht vorlag, wurde der Luftdruck zu folgenden Breitengürteln zusammengefaßt:

Gürtel	Gürtel
1 : 85° - 70°N	7 : 85° - 30°N
2 : 65° - 40°N	8 : 25°N - 25°S
3 : 35° - 20°N	9 : 30° - 70°S
4 : 15°N - 15°S	
5 : 20° - 35°S	10 : 85°N - 0°
6 : 40° - 65°S	11 : 0° - 70°S
	13 : 85°N - 70°S

Außerdem wurde die Luftdruckdifferenz : Nordhalbkugel - Südhalbkugel gebildet. - Die Gürtel 1, 10, 11 und 13 stimmen mit der neuen Einteilung überein. - Diese ältere Einteilung wird deshalb erwähnt, weil einige Zeichnungen und Ergebnisse darauf zurückgehen.

3.1.3. Einteilung bei der Benutzung globaler Monatsmittelwerte

Gegenüber der Breitengürtelteilung bei den IGJ-Werten (Kap. 3.1.1.) wurde bei Rechnungen mit den Monatsmittelwerten von 1957-62 in hohen Breiten der Südhalbkugel eine andere Einteilung gewählt. Entsprechend der Einteilung der Nordhalbkugel reicht ein Breitengürtel von 50° - 65°S. Der betreffende Gürtel auf der

Nordhalbkugel enthält die nördliche subpolare Tiefdruckrinne bei 60°N (Abb. 2); da aber auf der Südhalbkugel die subpolare Tiefdruckrinne bei 67°S liegt, ist diese nicht mehr im Breitengürtel von 50° - 65°S; dieser beschreibt also den größten Teil der südhemisphärischen Westwindzone. Das Südpolargebiet von 70° - 90°S umfaßt den subantarktischen Tiefdruckring und das schwache Südpolarhoch.

Die südlichen Außertropen umfassen jetzt 35°S bis 85°S, die Südhalbkugel ist von 0° - 85°S erfaßt, die Erde von 85°N - 85°S.

3.2. Jahreswerte des Luftdrucks

In Abb. 30 sind die Jahresmittelwerte der Jahre 1957 bis 1962 des Luftdrucks der verschiedenen Breitengürtel dargestellt. Zunächst sei die Frage nach der Genauigkeit dieser jährlichen Änderungen gestellt. Die Beantwortung geschieht mit Hilfe eines Vergleichs mit den aus den täglichen IGJ-Werten berechneten Monatsmitteln. Für die einzelnen vergleichbaren Breitengürtel wird aus den IGJ-Monatsmitteln für die Monate Juli bis Dezember die Druckänderung von 1957 zu 1958 berechnet und diese mit den aus den MMS-Werten berechneten Druckänderungen verglichen. Die IGJ-Monatsmittel können als nahezu exakt angesehen werden (s. Kap. 3.5.3.), somit auch die Druckänderungen von 1957 zu 1958. Wenn auch die aus den MMS-Werten berechneten Druckänderungen richtig sein sollen, müssen diese mit den IGJ-Änderungen übereinstimmen. Da das aber meist nicht erfüllt ist, wird der Fehler der MMS-Werte, das ist die Differenz aus den Zeilen IGJ und MMS in der Tab. 6, berech-

Tab. 6

IGJ: Druckdifferenz 1958 - 1957 (mb), IGJ-Werte
MMS: Druckdifferenz 1958 - 1957 (mb), MMS-Werte
F(MMS): Fehler der MMS-Druckdifferenzen (mb)

Breiten-gürtel		Juli	August	Sept.	Oktober	Nov.	Dez.	Halbjahr
85° - 70°N	IGJ	-0.3	3.0	-3.2	1.8	-4.3	7.3	
	MMS	-0.4	3.0	-3.2	1.7	-4.6	7.3	
	F(MMS)	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.3	0.0	-0.1
65° - 50°N	IGJ	-1.5	-1.0	-1.6	1.3	0.2	2.0	
	MMS	-1.4	-1.0	-1.6	1.1	0.1	1.9	
	F(MMS)	0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1
45° - 25°N	IGJ	-0.4	-0.3	-0.2	1.2	1.4	-1.8	
	MMS	-0.3	-0.5	-0.4	0.8	1.4	-1.1	
	F(MMS)	0.1	-0.2	-0.2	-0.4	0.0	0.7	0.0
20°N - 15°S	IGJ	0.0	0.0	-0.4	-0.7	0.0	0.3	
	MMS	-0.4	-0.1	0.0	-0.8	-0.4	-0.1	
	F(MMS)	-0.4	-0.1	0.4	-0.1	-0.4	-0.4	-0.2
20° - 45°S	IGJ	-2.7	1.2	0.7	0.3	1.1	0.7	
	MMS	-1.9	0.5	1.0	1.0	1.3	1.0	
	F(MMS)	-0.8	-0.7	0.3	0.7	0.2	0.3	0.0
85° - 40°N	IGJ	-1.1	-0.1	-1.3	1.7	-0.1	1.5	
	MMS	-1.0	-0.1	-1.4	1.4	0.0	1.6	
	F(MMS)	0.1	0.0	-0.1	-0.3	0.1	0.1	-0.0
35°N - 40°S	IGJ	-0.3	0.2	-0.4	-0.6	0.1	-0.1	
	MMS	-0.4	0.0	-0.1	-0.5	0.0	-0.2	
	F(MMS)	-0.1	-0.2	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.0
85°N - 0°	IGJ	-0.4	0.0	-0.8	0.5	0.2	0.4	
	MMS	-0.7	-0.3	-0.7	0.4	-0.1	0.5	
	F(MMS)	-0.3	-0.3	0.1	-0.1	-0.3	-0.1	-0.1

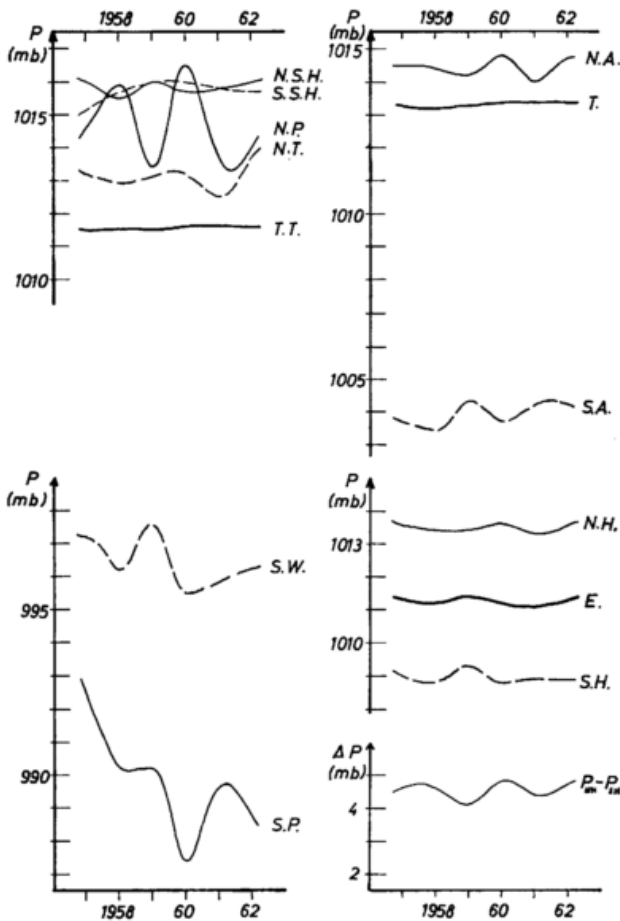


Abb. 30
Luftdruck-Jahresmittelwerte der Jahre 1957-62
der verschiedenen Breitengürtel.

net. Wie wir sehen können, ist dieser meist klein. Faßt man die aufgeführten Monatswerte zu Halbjahresmitteln zusammen, so ergeben sich die Werte der rechten Spalte der Tab. 6. Dies sind auch ungefähr die Fehler, die die Differenzen zwischen den MMS-Jahresmitteln haben. Sie sind in allen aufgeführten Breitengürteln gegenüber den tatsächlich auftretenden jährlichen Luftdruckänderungen der Abb. 30 vernachlässigbar klein. Bei den nicht vergleichbaren Breitengürteln 50°-65°S (südliche Westwindzone), 70°-85°S (Südpolargebiet), 35°-85°S (südliche Außertropen), 0°-85°S (Südhälfte) und 85°N-85°S (Erde) dürften die Fehler von ähnlicher Größenordnung sein.

Abb. 30 lehrt uns:

Je höher die geographische Breite, desto stärker sind die Luftdruckänderungen von Jahr zu Jahr. Sie sind auf der Südhalbkugel stärker als auf der Nordhalbkugel.

Nord- und Südpolargebiet haben einen nahezu inversen Gang; 1960 hat das Nordpolargebiet den höchsten, das Südpolargebiet den tiefsten Druck. Die Schwankungen sind beträchtlich, wie Abb. 30 zeigt.

In keiner erkennbaren Beziehung zueinander stehen die Jahresschwankungen in den Gürteln 65°-50°N und 50°-65°S, während sie in den subtropischen Hochdruckgürteln (45°-25°N und 20°-45°S) einen inversen Gang haben. In den Tropen sind keine signifikanten Änderungen von Jahr zu Jahr.

- | | |
|-------------------|---|
| N.P.: | Nördl. Polargebiet 85°-70°N |
| N.T.: | Nördl. subpolare Tiefdruckrinne 65°-50°N |
| N.S.H.: | Nördl. subtrop. Hochdruckgürtel 45°-25°N |
| T.T.: | Tropische Tiefdruckrinne 20°N-15°S |
| S.S.H.: | Südl. subtrop. Hochdruckgürtel 20°-45°S |
| S.W.: | Südl. Westwindzone 50°-65°S |
| S.P.: | Südl. Polargebiet 70°-85°S |
| N.A.: | Nördl. Außertropen 85°-40°N |
| T.: | Tropen 35°N-30°S |
| S.A.: | Südl. Außertropen 35°-85°S |
| N.H.: | Nordhalbkugel 0°-85°N |
| S.H.: | Südhalbkugel 0°-85°S |
| E.: | Erde 85°N-85°S |
| $P_{NH}-P_{SH}$: | Luftdruckdifferenz zwischen N.H. und S.H. |

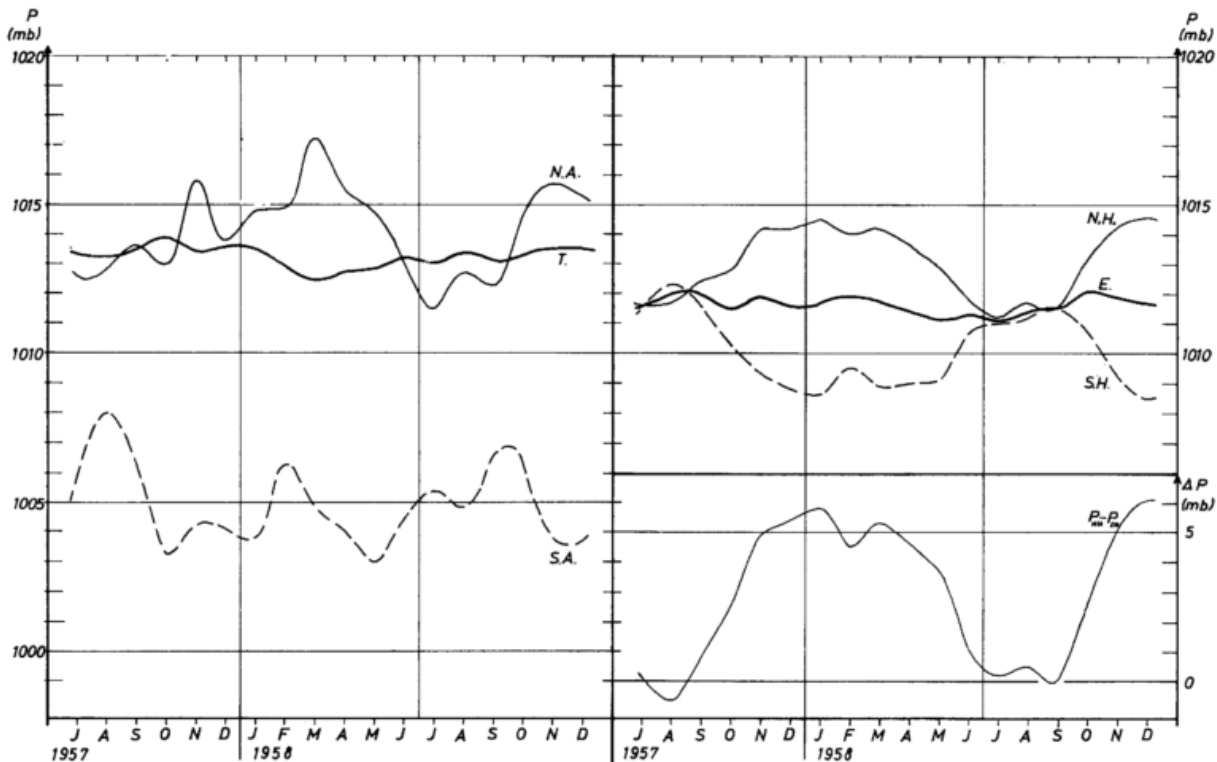


Abb. 31
Jahreszeitlicher Gang des Luftdrucks in den verschiedenen
Breitengürteln (IGJ).
(Abkürzungen s. Abb. 30)

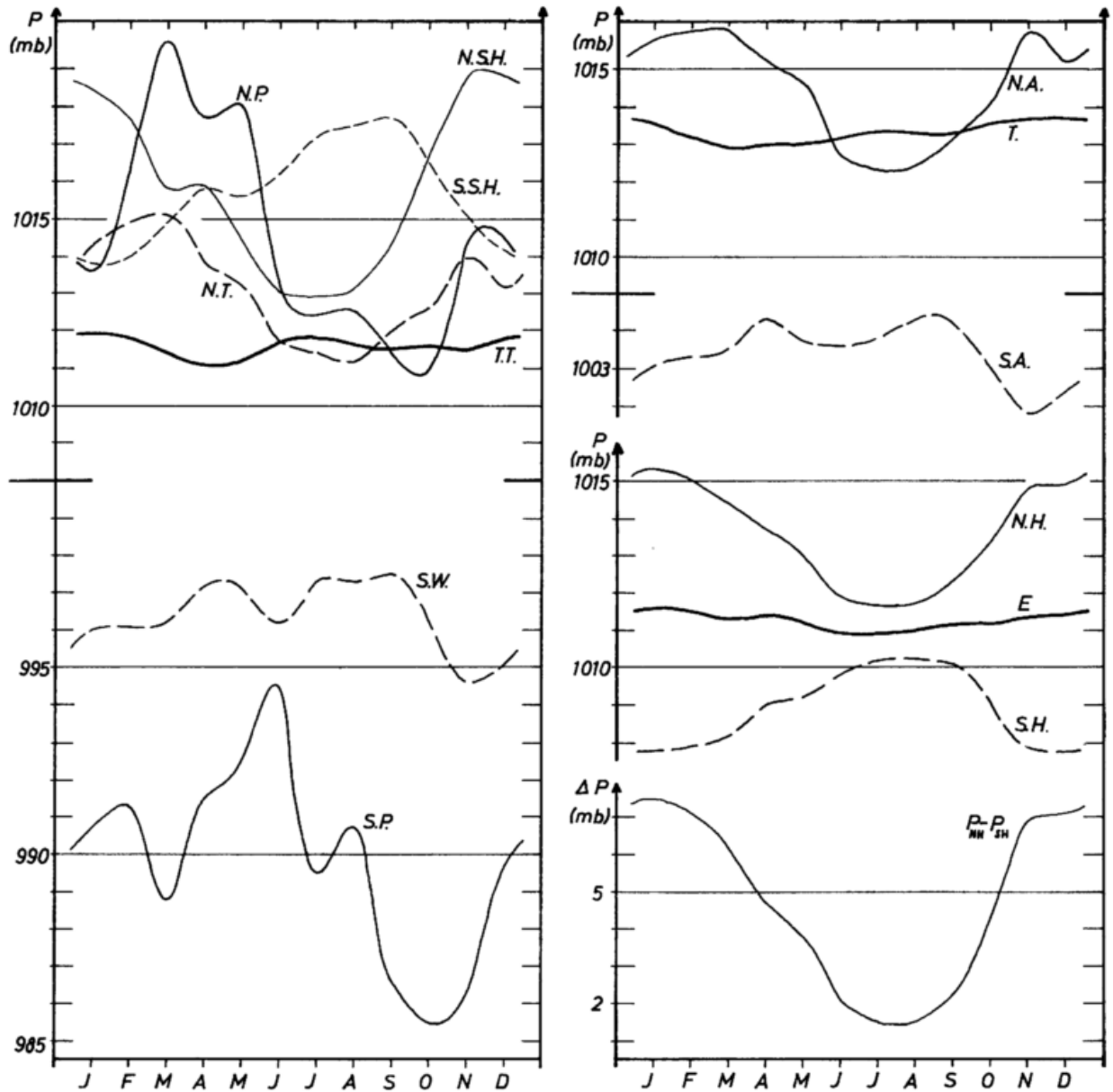


Abb. 32
 Jahreszeitlicher Gang des Luftdrucks in den verschiedenen
 Breitengürteln (6-Jahresmittel 1957-62)
 (Abkürzungen s. Abb. 30)

Bei der Zusammenfassung in 3 Breitengürtel (Abb. 30 rechts oben) zeigt sich, daß nördliche und südliche Außertropen einen etwa inversen Gang und etwa gleiche Schwankungsamplitude haben. Die Gesamttropen von 35°N bis 30°S weisen eine geringe Schwankung auf.

Bei der Betrachtung von Nord- und Südhalbkugel erkennt man, daß der Gang nicht genau invers ist, so daß sich der Globaldruck von Jahr zu Jahr ändert. Die Nordhalbkugel hat stets höheren Druck als die Südhalbkugel; die Differenz liegt zwischen 4.1 mb und 4.8 mb. Es ergibt sich ein mittlerer Globaldruck von 1011.25 mb, ein Wert, der gut mit dem von PFLUGBEIL (10) berechneten von 1011.3 mb übereinstimmt.

3.3. Monatswerte des Luftdrucks

Die jahreszeitlichen Gänge und Unterschiede der einzelnen Breitengürtel sind in Abb. 31 für das IGJ (IGJ-

Werte) und in Abb. 32 für das 6-Jahresmittel 1957-62 (MMS-Werte) dargestellt. Die Feinunterteilung in die auf der linken Seite der Abb. 32 dargestellten Breitengürtel: Nordpolargebiet (85°-70°N), nördliche subpolare Tiefdruckrinne (65°-50°N) usw. bringt gegenüber den Kapiteln 2.2.1. und 2.2.2. keine neuen Erkenntnisse, daher soll an dieser Stelle auch nicht mehr näher darauf eingegangen werden.

Faßt man nun das Nordpolargebiet, die nördliche subpolare Tiefdruckrinne und einen Teil des nördlichen subtropischen Hochdruckgürtels zusammen, so erhält man die nördlichen Außertropen (85°-40°N). Sie zeigen einen Jahresgang mit Maxima im Winter, Minima im Sommer, allerdings auch stärkere Schwankungen von Monat zu Monat (Abb. 31).

Maximaler IGJ-Monatsluftdruck: 1017.2 mb im März 1958	} Differenz:
Minimaler IGJ-Monatsluftdruck: 1011.5 mb im Juli 1958	

Eine Halbjahres-Periode, wie sie SCHUMANN und van ROOY (13) für diesen Breitengürtel beschreiben, kann aus unserem Material nicht gefunden werden.

Die geringe Luftdruckschwankung der Tropen (35°N–30°S) zeigt ein Minimum im März, ein Maximum im November/Dezember.

Maximaler IGJ-Monatsluftdruck: 1013.9 mb im Oktober 1957 } Differenz:
 Minimaler IGJ-Monatsluftdruck: 1012.4 mb im März 1958 } 1.5 mb

Die südlichen Außertropen (35°–70°S in IGJ-Werten, 35°–85°S in den MMS-Werten), bestehend aus einem Teil des südlichen subtropischen Hochdruckgürtels, der südhemisphärischen Westwindzone, der südlichen subpolaren Tiefdruckrinne und, im 6-Jahresmittel, dem Südpolarhoch, weisen eine Jahresschwungung mit höherem Druck im Südwinter, tieferem im Südsommer und

eine Halbjahresschwungung mit Minima zu den Solstizien, Maxima zu den Äquinoktien, auf. Das Hauptmaximum liegt im August/September, das Hauptminimum im November (Abb. 32). Dieser Sachverhalt kann nur aus dem 6-Jahresmittel ermittelt werden, da die unregelmäßigen Schwankungen von Monat zu Monat ihn in den IGJ-Werten verschleiern.

Maximaler IGJ-Monatsluftdruck: 1008.0 mb im August 1957 } Differenz:
 Minimaler IGJ-Monatsluftdruck: 1003.0 mb im Mai 1958 } 5.0 mb

Von großem Interesse sind die Luftdruckgänge von Nordhalbkugel, Südhalbkugel und Gesamterde, die auf den rechten Seiten der Abb. 31 und 32 dargestellt sind. Ginge man von der Voraussetzung aus, daß der Globaldruck sich nicht ändern könne, so müßte der Luftdruckgang der Südhalbkugel ein Spiegelbild des nordhemisphärischen Luftdruckganges sein. Da die Nordhalbkugel einen Jahresgang hat, der dem des nördlichen subtropischen Hochdruckgürtels am meisten ähnelt (wegen der großen Fläche dieses Gürtels), und von den Gängen und Schwankungen der anderen Gürtel modifiziert wird, muß man auch für die Südhalbkugel einen Jahresgang erwarten. Dieser ist entsprechend dem Jahresgang des südlichen subtropischen Hochdruckgürtels auch vorhanden, modifiziert durch die südliche subpolare Tiefdruckrinne (z. B. August 1957 in Abb. 31). Die Luftdruckgänge von Nord- und Südhalbkugel sind je-

doch nicht genau spiegelbildlich; daher schwankt der globale Luftdruck von Monat zu Monat.

Die Jahresluftdruckschwankung beträgt im IGJ etwa 3½ mb auf beiden Halbkugeln, im 6-Jahresmittel 3.7 mb auf der Nordhalbkugel, 2.4 mb auf der Südhalbkugel.

Im Nordsommer haben beide fast gleichen Luftdruck, in den IGJ-Werten vom August 1957 ohne das Südpolargebiet hat die Südhalbkugel sogar einen höheren Druck als die Nordhalbkugel (Abb. 31). Im September aber streben beide Luftdruckkurven auseinander und erreichen im Januar ihre größte Differenz. Erst langsam, dann aber schneller nähern sie sich einander wieder an. – Die Luftdruckunterschiede in den gleichen Monaten von Jahr zu Jahr sind auf der Südhalbkugel größer als auf der Nordhalbkugel; die globalen Luftdruckschwankungen sind meist von der Südhalbkugel abhängig.

Tab. 7
 Luftdruckdifferenz 1957–1958 (mb)
 M. d. B.: Mittel des Betrages.

	Juli	August	Sept.	Oktober	Nov.	Dez.	M. d. B.
Nordhalbkugel	0.4	0.0	0.8	-0.4	-0.1	-0.4	0.35
Südhalbkugel	0.5	1.0	0.1	-0.5	0.1	0.3	0.42
Erde (85°N–70°S)	0.45	0.55	0.45	-0.60	0.00	-0.10	0.35

Da die Unterschiede von Jahr zu Jahr recht groß sind, läßt sich aus den Daten des IGJ ein Jahresgang des Globaldrucks nicht mit Sicherheit erkennen. Aus dem 6-Jahresmittel (Abb. 32) geht hervor, daß das Maximum im Nordwinter, das Minimum im Nordsommer liegt; die Differenz beträgt 0.7 mb. Die maximale Differenz der

globalen Monatsluftdruckwerte im IGJ beträgt 1.0 mb.

Schon in Abb. 31, rechte Seite, haben wir erkannt, daß der Jahresgang des Luftdrucks auf der Nord- und der Südhalbkugel nicht in jedem Jahr gleich ist. Aus den MMS-Daten wurde er noch einmal für die Jahre 1957 bis 1962 gezeichnet (Abb. 33). Wir erkennen, daß in allen

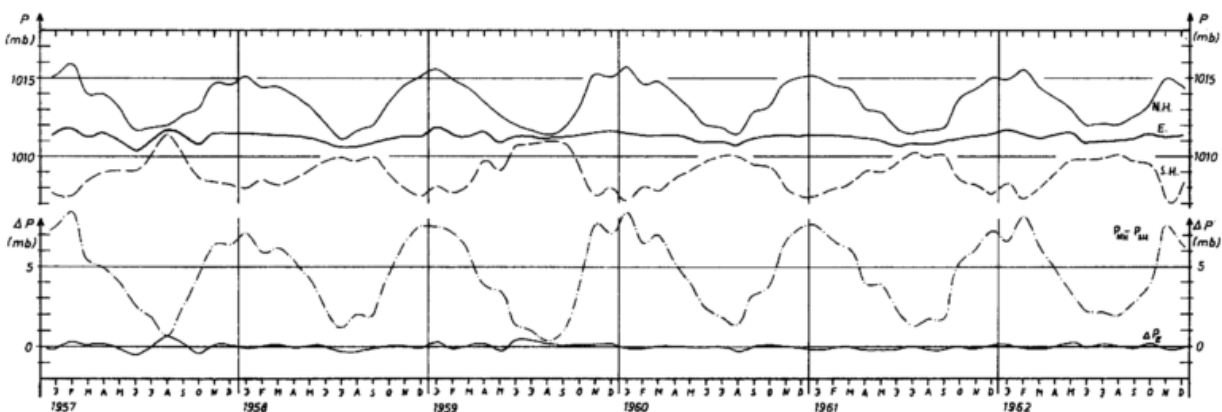


Abb. 33
 Jahresgang des Luftdrucks 1957–62, ΔP_E : Abweichung des Globaldrucks vom mittleren Jahresgang
 (Abkürzungen s. Abb. 30)

Monatsmitteln der Nordhalbkugeldruck höher ist als der Südhalbkugeldruck. Die Amplitude des Jahresganges der Nordhalbkugel schwankt zwischen 3.4 mb von Juni 1957 - Januar 1958 und 4.5 mb (Juli 1958 - Januar 1959). Auf der Südhalbkugel sind die Jahresgänge noch

unregelmäßiger. Der Anstieg von Januar 1958 bis September 1958 beträgt nur 2.0 mb, der von Februar bis August 1958 aber 3.9 mb. Insgesamt ist der Jahresgang der Südhalbkugel geringer als der der Nordhalbkugel.

Tab. 8
Maxima und Minima von Monatsmitteln innerhalb der Jahre 1957-1962 (mb).

	Maximum		Minimum		Differenz Max-Min (mb)
	Druck (mb)	Monat	Druck (mb)	Monat	
Nordhalbkugel	1015.9	Febr. 57	1011.1	Juli 58	4.8
Südhalbkugel	1011.4	Aug. 57	1007.2	Jan. 60	4.2
Erde	1011.9	Jan. 59	1010.4	Juli 57	1.5
Differenz NH-SH	8.5	Febr. 57 und Jan. 60	0.4	Juli 59	8.1

Die Schwankung des Globaldrucks ist unregelmäßig. Eliminiert man den in Abb. 32 dargestellten mittleren Jahresgang, so bleiben Schwankungen bis zu 0.7 mb von Monat zu Monat übrig, die in Abb. 33 unten (mit ΔP_E bezeichnete Kurve) dargestellt sind.

Der mittlere Jahresgang des Globaldrucks, wie ihn Abb. 32 zeigt, läßt sich zum Teil als Einfluß der fiktiven Luftschicht über den kalten Kontinenten deuten. Bei der Reduktion des Stationsdruckes auf Meereshöhe wird die Bodentemperatur verwendet. Da es im Winter über Sibirien sehr kalt ist, ergibt sich durch die Reduktion ein höherer Druck als vorhanden wäre, wenn die Station im Meeressniveau läge. Durch diesen Effekt wird der Druck der Nordhalbkugel im Winter zu hoch und wird nicht mehr durch die Druckabnahme auf der Südhalbkugel kompensiert, so daß ein scheinbarer Anstieg des Globaldrucks im Winter erfolgt. C. PFLUGBEIL (10) berechnete den physischen Luftdruck und vergleicht ihn mit dem Luftdruck in Seehöhe. Er stellt für den physischen Druck gegenüber dem NN-Druck auf beiden Halbkugeln eine Reduzierung des Jahresganges auf etwa die Hälfte fest. Der physische Globaldruck hat mit 0.5 mb jedoch einen fast genau so starken Jahresgang wie der globale NN-Druck mit 0.7 mb. Das Maximum des NN-Drucks der Erde liegt im Januar, das Minimum im Juni; das Maximum des physischen Globaldrucks befindet sich im Februar, das Minimum im Mai.

Man sieht also, daß der größte Teil der Jahresschwankung des Globaldrucks in Meereshöhe nicht auf den Reduktionseffekt zurückgeführt werden kann. Die eben betrachteten unregelmäßigen Globaldruckschwankungen von Monat zu Monat können ebenfalls nicht durch einen Reduktionseffekt erklärt werden.

Unter Vernachlässigung des Reduktionseffektes und unter der Voraussetzung, daß die jahreszeitbedingten Wasserdampfgehaltsänderungen der Atmosphäre jeder Halbkugel klein sind gegenüber dem Massenfluß über den Äquator, läßt sich dieser aus der Luftdruckdifferenzkurve (Abb. 33, strichpunktierte Kurve) berechnen. - Falls nämlich ein Luftmassentransport von der Südhemisphäre zur Nordhemisphäre der letzteren einen Anstieg von $\frac{1}{2}$ mb bringt, fällt der Südhalbkugeldruck um $\frac{1}{2}$ mb, die Differenz vergrößert sich um 1 mb. Der Änderung der Luftdruckdifferenz zwischen Nord- und Südhalbkugel von 1 mb entspricht nach der Rechnung in Kapitel 3.4.2. ein Transport von $1.28 \cdot 10^{12}$ t über den Äquator. - In den Jahren 1957-1962 betrug der mittlere Jahresgang der Luftdruckdifferenz zwischen Nordhalbkugel und Südhalbkugel 6.4 mb, was einen Transport über den Äquator von $8.2 \cdot 10^{12}$ bedeutet.

Nach PFLUGBEIL (10) ergibt sich, berechnet aus dem NN-Druck, ein Transport von $8.8 \cdot 10^{12}$ t; aus dem Jahresgang des physischen Luftdrucks der Nord- und Südhemisphäre erhält man einen Massenfluß von $3.7 \cdot 10^{12}$ über den Äquator.

3.4. Tageswerte des Luftdrucks

3.4.1. Tageswerte in den Luftdruck-Breitengürteln

Um festzustellen, wie groß die Luftdruckänderungen in den einzelnen Breitengürteln von Tag zu Tag sind und wie sich die Jahreszeiten voneinander unterscheiden, betrachten wir die Abb. 34-37. In den Abb. 34-36 sind tägliche Luftdruckwerte der einzelnen Breitengürtel dargestellt, und zwar jeweils der Juli 1957 als Beispiel für den Nordsommer (Südwinter) und der Januar 1958 als Beispiel für den Nordwinter (Südsommer).

Im Winter hat das nördliche Polargebiet ($85^\circ - 70^\circ N$) nicht nur ein höheres Monatsmittel, sondern auch eine überaus starke Luftdruckänderung von Tag zu Tag. So fällt der Luftdruck dieses Gürtels vom 12.-15. 1. 1958 um 15.0 mb und steigt vom 16.-19. 1. 1958 um 13.5 mb an (Abb. 34) oder er steigt vom 3.-4. Dezember 1958 um 11.5 mb!

Ein Maß für die Unruhe des Druckes innerhalb eines Monats ist die in Abb. 37 dargestellte Variation. Aus der oberen Kurve dieser Abbildung erkennen wir, daß im Januar 1958 (Abb. 34) die Variation noch nicht einmal ihr Maximum erreicht hat. Dieses finden wir im April 1958 und im Dezember 1958. Im Sommer hingegen ist die Variation im Nordpolargebiet verhältnismäßig gering. Der Minimalwert von 1.7 mb im August 1958 ist etwa nur $\frac{1}{4}$ des Maximalwertes von 6.3 mb im April 1958 und Dezember 1958. Daher bietet auch die Luftdruckkurve der nördlichen Polarzone im Juli ein verhältnismäßig ruhiges Bild. - Wir sahen Variationsmaxima im Winter und Frühling, Minima im Sommer und Herbst.

Die nördliche subpolare Tiefdruckrinne ($65^\circ - 50^\circ N$) zeigt ein ähnliches Bild. Auch hier ist der Sommer ruhig, der Winter unruhig. Hier hat aber der Januar 1958 das Variationsmaximum. Minima liegen im Sommer. Insgesamt ist die Variation im Mittel halb so groß wie im Nordpolargebiet.

Noch ruhiger ist der nördliche subtropische Hochdruckgürtel ($45^\circ - 25^\circ N$). Seine Variation ist knapp halb so groß wie die der nördlichen subpolaren Tiefdruckrinne. Ein Jahresgang ist nur noch schwer zu erkennen, da die Differenzen der gleichen Monate von Jahr zu Jahr groß sind in Bezug auf den Absolutbetrag. Die Minima liegen anscheinend im Sommer.

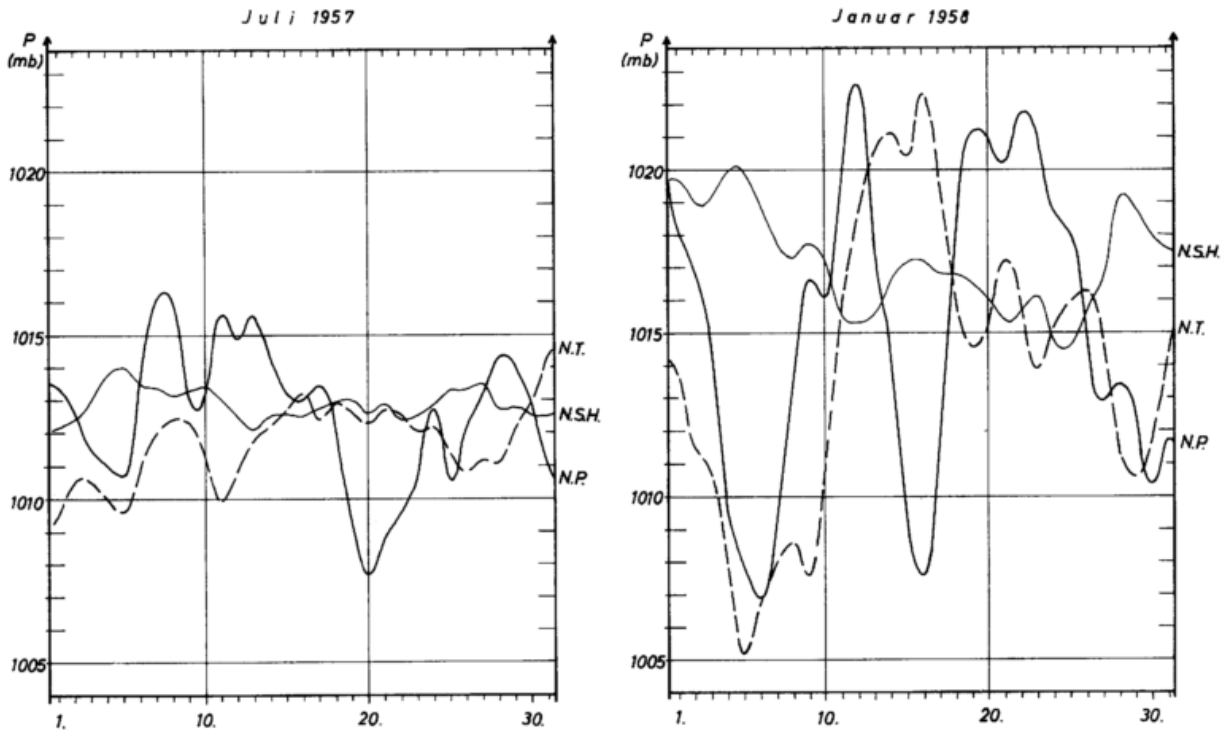


Abb. 34
Luftdruckgang von Tag zu Tag in den Breitengürteln N.P.,
N.T. und N.S.H. (s. Abb. 30)

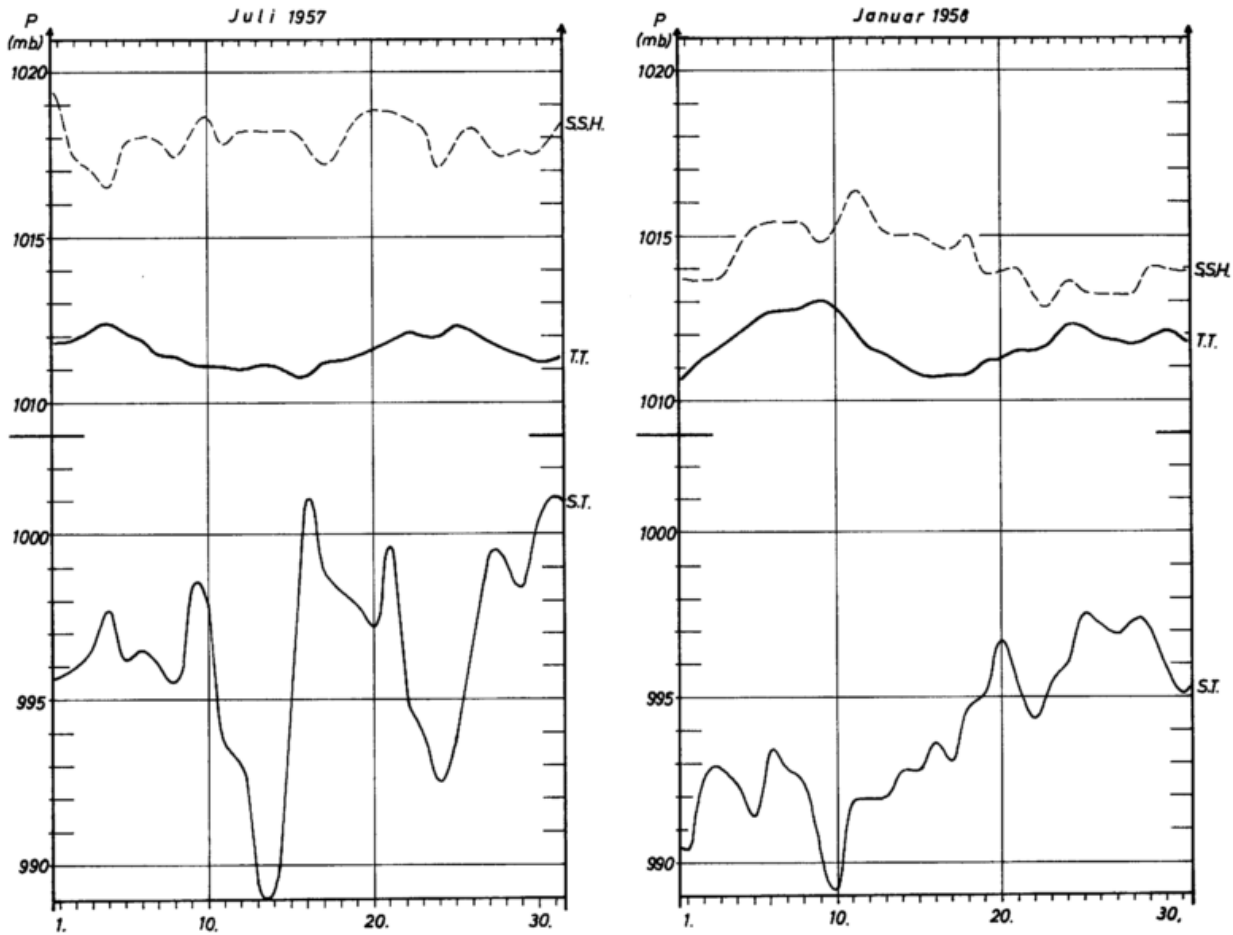


Abb. 35
Luftdruckgang von Tag zu Tag in den Breitengürteln T.T.,
S.S.H. und S.W. (s. Abb. 30)

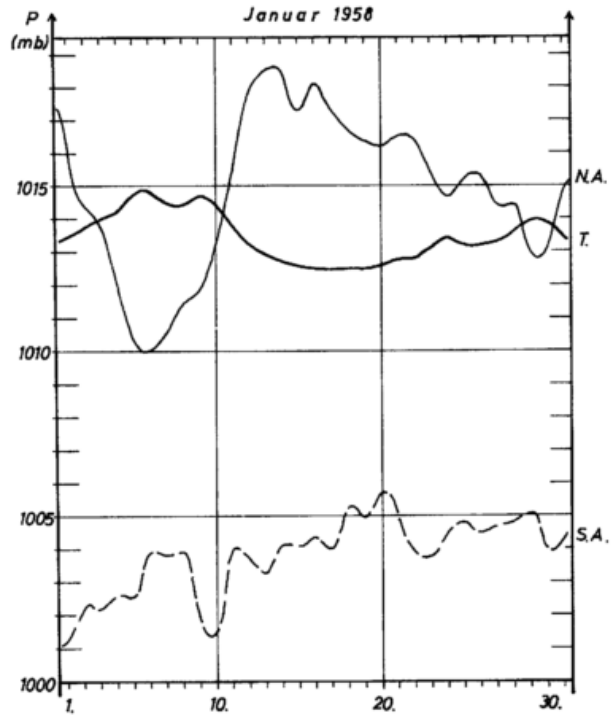
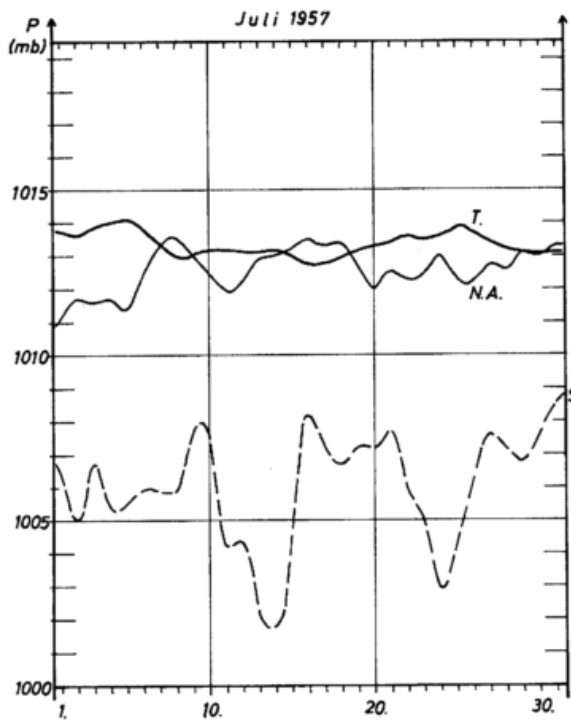
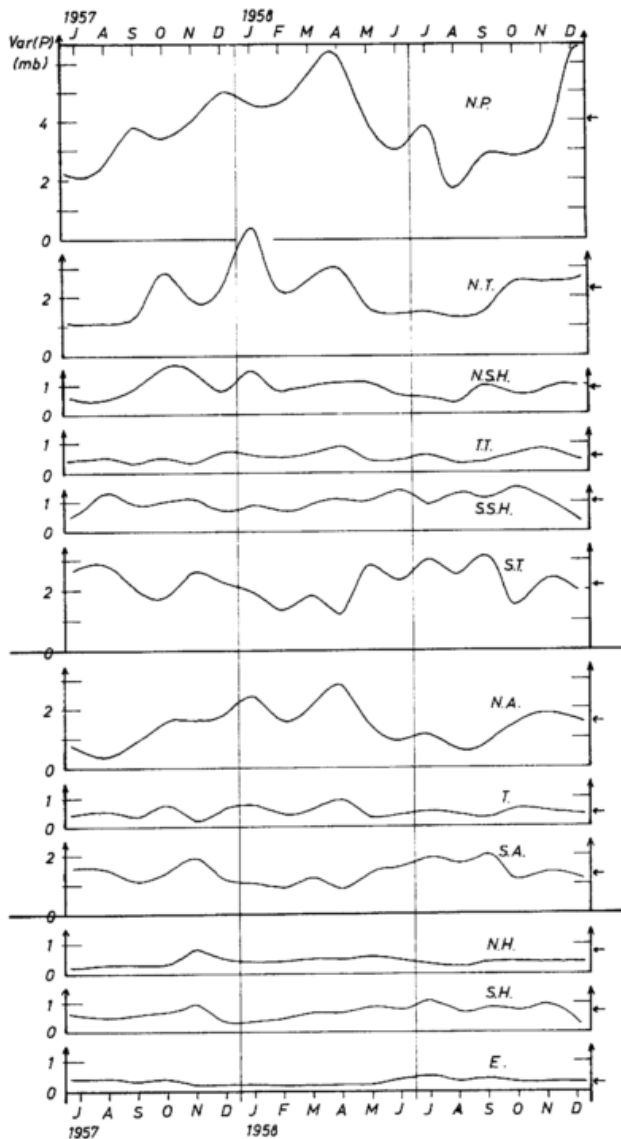


Abb. 36
Luftdruckgang von Tag zu Tag in den Breitengürteln N.A., T.
und S.A. (s. Abb. 30)



Von den drei eben erwähnten Luftdruckgürteln der Nordhalbkugel hat der zweite im Jahresmittel die größte Streuung und auch den stärksten Jahresgang der Streuung (Abb. 38). Im Januar 1958 liegen in allen drei Gürteln die Streuungsmaxima des IGJ. Im Breitengürtel 25°-45°N tritt eine Halbjahresschwingung auf; das Wintermaximum wird durch die hohen Streuungswerte im nördlichen Westwindgebiet hervorgerufen, das Sommermaximum durch das Monsuntief auf 30°N, dessen Einfluß auch noch in den Tropen (20°N-15°S) sichtbar wird; dort liegt das Streuungsmaximum im Nordsommer.

Unterschiedliches Druckniveau haben die Tropen (20°N-15°S), der südhemisphärische *subtropische Hochdruckgürtel* (20°-45°S) und der südliche *subpolare Tiefdruckgürtel* (50°-70°S) (Abb. 35). Die Kurven aller drei Gürtel durchwirken sich nicht wie die der drei nördlichen Luftdruckgürtel in Abb. 34. Dies liegt an der geringen Störung durch Landmassen auf der Südhalbkugel, so daß sich die einzelnen Luftdruckgebilde in Ostwestrichtung erstrecken können und durch kräftige meridionale Luftdruckgegensätze voneinander getrennt sind. In den Tropen ist kein Jahresgang der Variation zu erkennen; im südlichen subtropischen Hochdruckgürtel ist der Variationsverlauf dergestalt, daß das Minimum im Sommer (Dezember-Februar), das Maximum im Winter liegt, wobei aber ein Jahresgang nur schwer zu erkennen ist (wie im nördlichen subtropischen Hochdruckgürtel), da die Schwankungen von Monat zu Monat genau so groß sind wie der Jahresgang. Gerade im Juli 1957, wo die Variation verhältnismäßig groß sein mußte, ist sie gering, so daß Abb. 35 ein falsches Bild bezüglich des Jahresganges der Variation vermittelt.

Deutlicher wird der Jahresgang der Luftdruckvariation in der südlichen *subpolaren Tiefdruckrinne*, wo wir im Winter eine deutlich stärkere Variation als im Sommer haben, was auch in Abb. 35 zutage tritt. Wie bei der Variation sind auch bei der Streuung in den beiden süd-

Abb. 37
Variation der Breitengürteldrucke innerhalb der Monate des IGJ. Pfeile am rechten Abbindeungsrand: Jahresmittel 1958 (Abkürzungen s. Abb. 30)

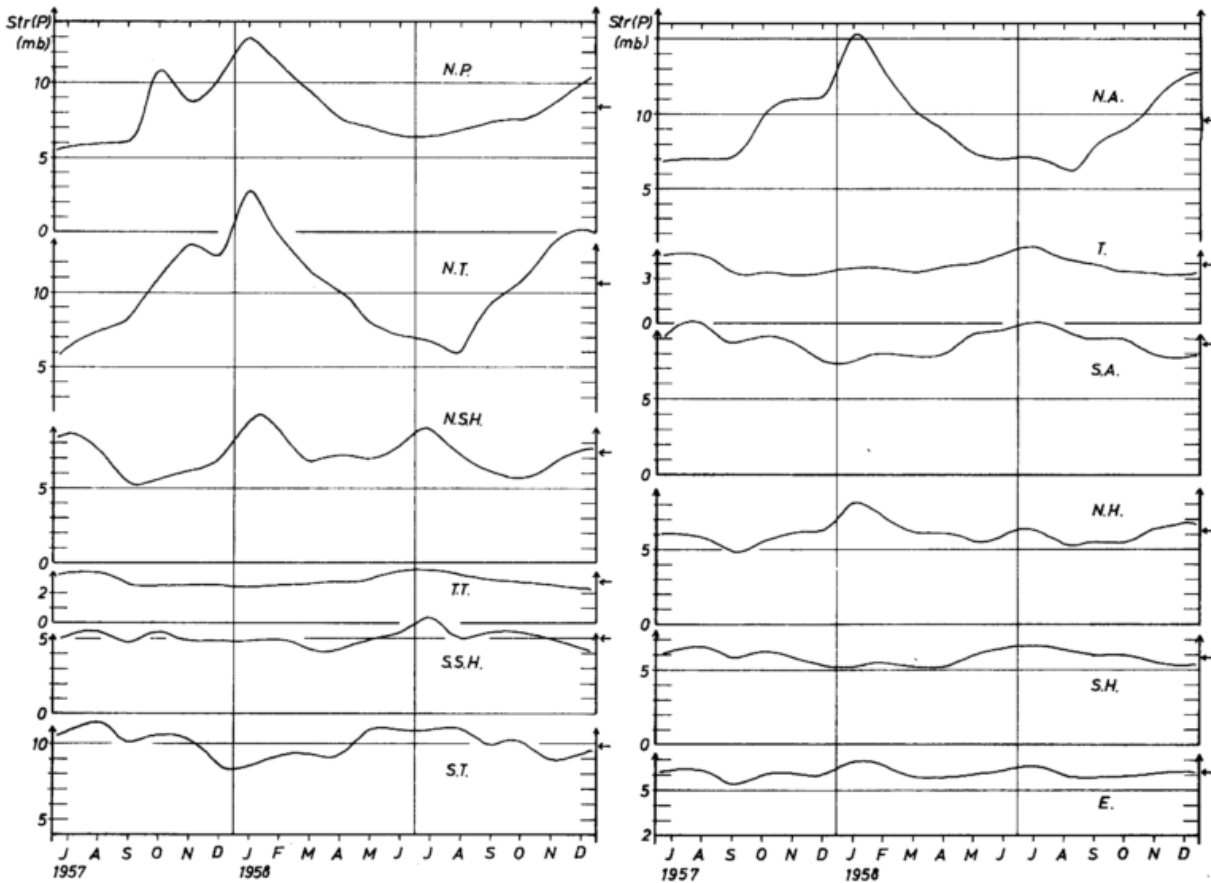


Abb. 38
 Streuung innerhalb der Breitengürtel. Pfeile an rechten
 Abbildungsrändern: Jahresmittel 1958
 (Abkürzungen s. Abb. 30)

hemisphärischen Gürteln $20^{\circ}-35^{\circ}\text{S}$ und $40^{\circ}-65^{\circ}\text{S}$ die unregelmäßigen Schwankungen von Monat zu Monat stärker als auf der Nordhalbkugel (Abb. 38). Der Jahresgang mit Streuungmaximum im Winter und -minimum im Sommer ist schwächer ausgeprägt als in den nordhemisphärischen Gürteln. Das Jahresmittel der Variation ist in den Tropen halb so groß wie im nördlichen subtropischen Hochdruckgürtel, im südlichen Hochdruckgürtel doppelt so groß wie in den Tropen, d. h. die Variation beider Hochdruckgürtel ist etwa gleich. — Auch die Variation der südlichen Tiefdruckrinne ist wieder doppelt so groß wie die des benachbarten Hochdruckgürtels, so daß sie genau so groß ist wie die der nördlichen subpolaren Tiefdruckrinne.

Ungeachtet der Land-See-Verteilung und der sich daraus ergebenden Unterschiede in allen möglichen Parametern ist das Jahresmittel 1958 der monatlichen Luftdruckvariation in den entsprechenden Breitengürteln beider Halbkugeln gleich. Von den Tropen bis zu den Polen verdoppelt sich in jedem Breitengürtel die Luftdruckvariation.

Die Variation der nördlichen Außertropen ($85^{\circ}-40^{\circ}\text{N}$) ergibt sich aus der des Nordpolarhochs und der der nördlichen subpolaren Tiefdruckrinne. Ein sehr deutlicher Jahresgang mit allerdings kleinerer Amplitude als in den beiden zuletzt erwähnten Breitengürteln tritt auf mit Maximum im Winter und Frühling, Minimum im Sommer; daher zeigt auch der Januar 1958 in Abb. 36 einen unruhigeren Verlauf als der Juli 1957; das Druck-Monatsmittel ist im Winter höher als im Sommer.

In den Tropen ($35^{\circ}\text{N}-30^{\circ}\text{S}$) ist kein Jahresgang der Variation zu erkennen. Die Schwankungen von Monat zu Monat sind aber nicht unbedeutend, so weist z. B. der April 1958 mit 0.9 mb den viereinhalbfachen Wert

des November 1957, der 0.2 mb hat, auf (Abb. 37). Die Variation beträgt im Januar 1958 0.7 mb, im Juli 1957 0.4 mb; daher hat auch der Januar 1958 in Abb. 36 ein unruhigeres Bild als der Juli 1957.

Einen wiederum deutlichen Jahresgang mit Maximum im Winter und Minimum im Sommer zeigen die südlichen Außertropen ($35^{\circ}-70^{\circ}\text{S}$), so daß in Abb. 36 der Juli 1957 unruhiger wirkt als der Januar 1958.

Bezüglich der Streuung gleichen die nördlichen Außertropen dem Gürtel $50^{\circ}-65^{\circ}\text{N}$, die Tropen dem Gürtel $20^{\circ}\text{N}-15^{\circ}\text{S}$ und die südlichen Außertropen dem Gürtel $40^{\circ}-65^{\circ}\text{S}$.

Nord- und Südhalbkugel haben etwa die gleiche Streuung von ca. 6 mb. Beide weisen einen Jahresgang mit Maximum im Winter, Minimum im Sommer auf, dessen Amplitude auf der Nordhalbkugel etwas größer ist als auf der Südhalbkugel. Das Maximum der Nordhalbkugel liegt mit 8.1 mb im Januar 1958, das Minimum mit 4.9 mb im September 1957 (Monatsmittelwerte). Als sekundäres Maximum erscheinen im Juni/Juli die durch das Monsuntief hervorgerufenen Streuungswerte. — Die Südhalbkugel hat im Juli 1958 mit 6.6 mb den höchsten Wert ihrer Streuung, im März/April 1958 mit 5.2 mb den niedrigsten (Monatsmittelwerte).

Die mittlere Streuung der Erde betrug im Jahre 1958 6.2 mb. Ein Halbjahresgang mit Maxima zu den Solstizien, Minima zu den Äquinoktien ist erkennbar. Die globale Streuung schwankt im IGJ zwischen 5.4 mb im September 1958 und 6.9 mb im Januar 1958 (Monatsmittelwerte).

Die einzelnen Halbkugeln zeigen keinen erkennbaren Jahresgang der Variation mehr (Abb. 37 unten). Die Variation schwankt unregelmäßig zwischen 0.2 mb und

0.9 mb (Nordhalbkugel) bzw. zwischen 0.4 mb und 1.0 mb (Südhalbkugel). Der Südhalbkugelluftdruck ist veränderlicher als der der Nordhalbkugel. Die Globaldruck-Variation liegt zwischen 0.2 mb und 0.5 mb. Sie zeigt einen Jahresgang mit Minimum im Nordwinter, Maximum im Nordsommer.

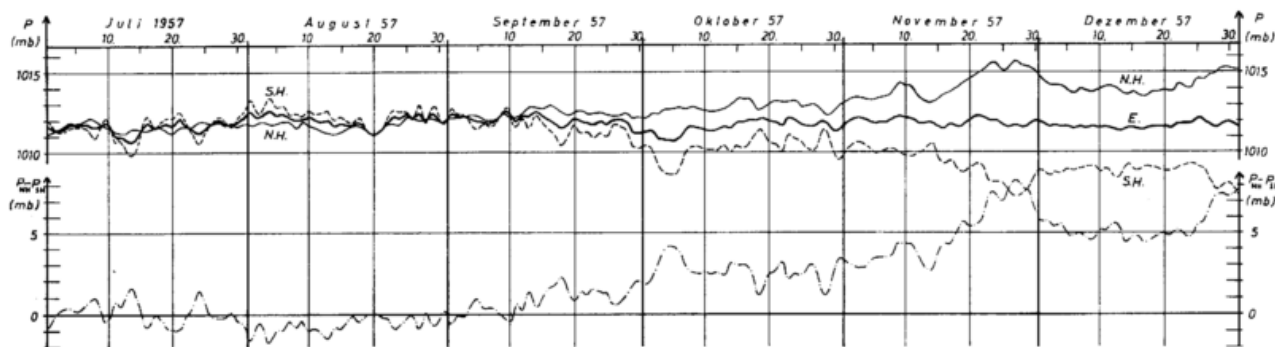
Zusammenfassend können wir sagen: Bei allen Breitengürteln, die einen Jahresgang des Luftdrucks aufweisen, speziell auch bei den beiden Halbkugeln, liegt das Maximum im Winter, das Minimum im Sommer. Auch die Veränderlichkeit von Tag zu Tag, die Variation, hat in allen Breitengürteln, die einen Jahresgang zeigen, das Maximum im Winter und das Minimum im Sommer.

3.4.2. Tageswerte des globalen Luftdrucks

Die globalen Luftdruck-Monatsmittel waren in Abb. 31 und 32 dargestellt. Wir sahen, daß sich der Globaldruck von Monat zu Monat ändert; der Druckunterschied zwischen Maximum und Minimum betrug im IGJ 1.0 mb. Die täglichen globalen Luftdruckwerte sind in Abb. 39 dargestellt. Diese Abbildung enthält außerdem tägliche Werte der Nordhalbkugel (85°N-0°), der

Südhalbkugel (0°-70°S) und die Luftdruckdifferenz $P_{NH} - P_{SH}$ (Nordhalbkugel-Südhalbkugel). Daß der Globalwert z. T. nicht genau in der Mitte zwischen dem Nord- und Südhalbkugelwert, sondern näher am Nordhalbkugelwert liegt (besonders im Nordwinter), liegt daran, daß die Nordhalbkugel in unserer Berechnung größer ist als die Südhalbkugel, weil die Antarktis fehlt. Hierzu siehe die Bemerkung in Kapitel 3.1.1. - Wir erkennen (s. Abb. 37), daß der südhemisphärische Luftdruck stärker schwankt als der nordhemisphärische. Es kommt zu Schwankungen des Globaldrucks, die denen der Südhalbkugel entsprechen. Dies ist besonders im Südwinter (Nordsommer) der Fall. Zu dieser Zeit finden wir auch die stärksten globalen Luftdruckschwankungen.

Zum Beweis, daß der südhemisphärische Luftdruck stärker schwankt als der nordhemisphärische, seien zusätzlich zu Abb. 37 noch einige χ^2 -Tests gemacht. An Hand von Abb. 39 wurde ausgezählt, an wieviel Tagen des IGJ der Luftdruck auf der Nordhalbkugel bzw. auf der Südhalbkugel von Tag zu Tag konstant blieb (1. Test). Nordhalbkugel und Südhalbkugel zusammen brachten 151 Fälle, an denen dieses Kriterium



Tägliche Luftdruckwerte E.:Erde, N.H.: Nordhalbkugel, S.H.:Südhalbkugel, $P_{NH} - P_{SH}$

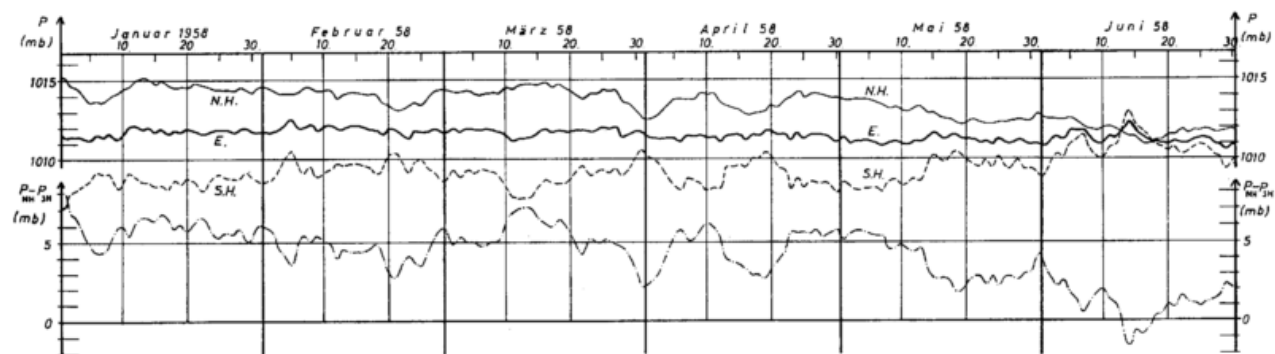
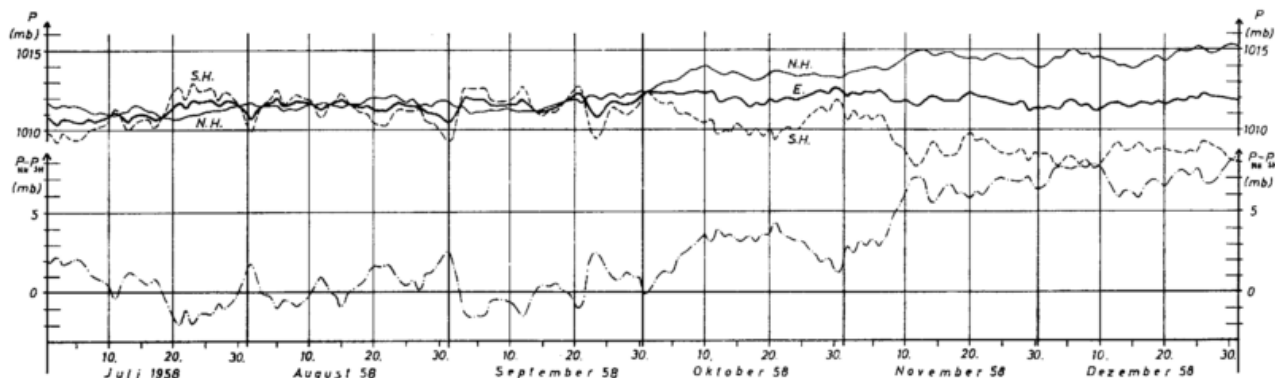


Abb. 39
Tägliche Luftdruckwerte des IGJ
(Abkürzungen s. Abb. 30)

erfüllt war. Würden beide Halbkugeln gleiches Verhalten zeigen, so müßten auf jeder Halbkugel 75.5 Fälle innerhalb des IGJ aufgetreten sein (Erwartungswert $E = 75.5$). Nun sind aber auf der Nordhalbkugel $F_N = 104$, auf der Südhalbkugel $F_S = 47$ Fälle aufgetreten; die Abweichung $\Delta = F - E$ ist auf der Nordhalbkugel $\Delta_N = +28.5$, auf der Südhalbkugel: $\Delta_S = -28.5$. In der Statistik wird eine Größe $\chi^2 = \frac{\sum \Delta^2}{E}$ definiert, deren Größe angibt, ob und in welchem Maße der oben aufgetretene Unterschied zufallsbedingt ist.

Hierfür ist die Anzahl der Freiheitsgrade, m , wichtig. Diese ist in unserem Beispiel: $m = 1$. Bei vorgegebener Gesamtzahl der Fälle (z. B. 151) ist durch den Wert 104 (Anzahl der Fälle auf der Nordhalbkugel) zugleich auch die Anzahl auf der Südhalbkugel festgelegt, d. h. es ist nur 1 Freiheitsgrad vorhanden. Im 1. Test ist $\chi^2 = 10.8$; aus einer Tabelle ersieht man, daß dieser Wert $2/100$ zufallsbedingt ist. - Nach dieser Methode werden auch die drei anderen Tests durchgeführt.

NH: Nordhalbkugel; SH: Südhalbkugel

1. Test: Luftdruckänderung von Tag zu Tag = 0.0 mb

NH : $F = 104$ Fälle; $\Delta_{NH} = +28.5$
 SH : $F = 47$ Fälle; $\Delta_{SH} = -28.5$
 $m = 1$

$$\chi^2 = \frac{\sum \Delta^2}{E} = \frac{(28.5)^2 + (-28.5)^2}{75.5} = 10.8$$

2. Test: Betrag der Luftdruckänderung von Tag zu Tag ≥ 0.5 mb

NH $F_N = 16$ Fälle $E = 97$; $\Delta_{NH} = -81$
 SH $F_S = 178$ Fälle $\Delta_{SH} = +81$ $\chi^2 = 135$

3. Test: Betrag der Luftdruckänderung innerhalb 2 Tagen: ≥ 1.0 mb

NH: $F_N = 0$ Fälle $E = 41$; $\chi^2 = 82$
 SH: $F_S = 82$ Fälle

4. Test: Betrag der Luftdruckänderung von Tag zu Tag ≥ 1.0 mb

NH: $F_N = 0$ Fälle $E = 12$; $\chi^2 = 24$
 SH: $F_S = 24$ Fälle

Da für einen Freiheitsgrad die $1/100$ -Fehlergrenze bei $\chi^2 = 12$ liegt, ergeben sich 4 Tests, daß mit sehr großer Signifikanz die südhemisphärischen Luftdruckänderungen größer sind als die nordhemisphärischen. Man kann keinen Test anstellen, der das Gegenteil aussagt.

Die Häufigkeitsverteilung der globalen Luftdruckänderungen von Tag zu Tag ist in Abb. 40 links dargestellt, und zwar für das gesamte IGJ, die einzelnen Monate des IGJ, den Nordwinter 1958 (Januar-April 1958 und November und Dezember 1958) und den Nord-

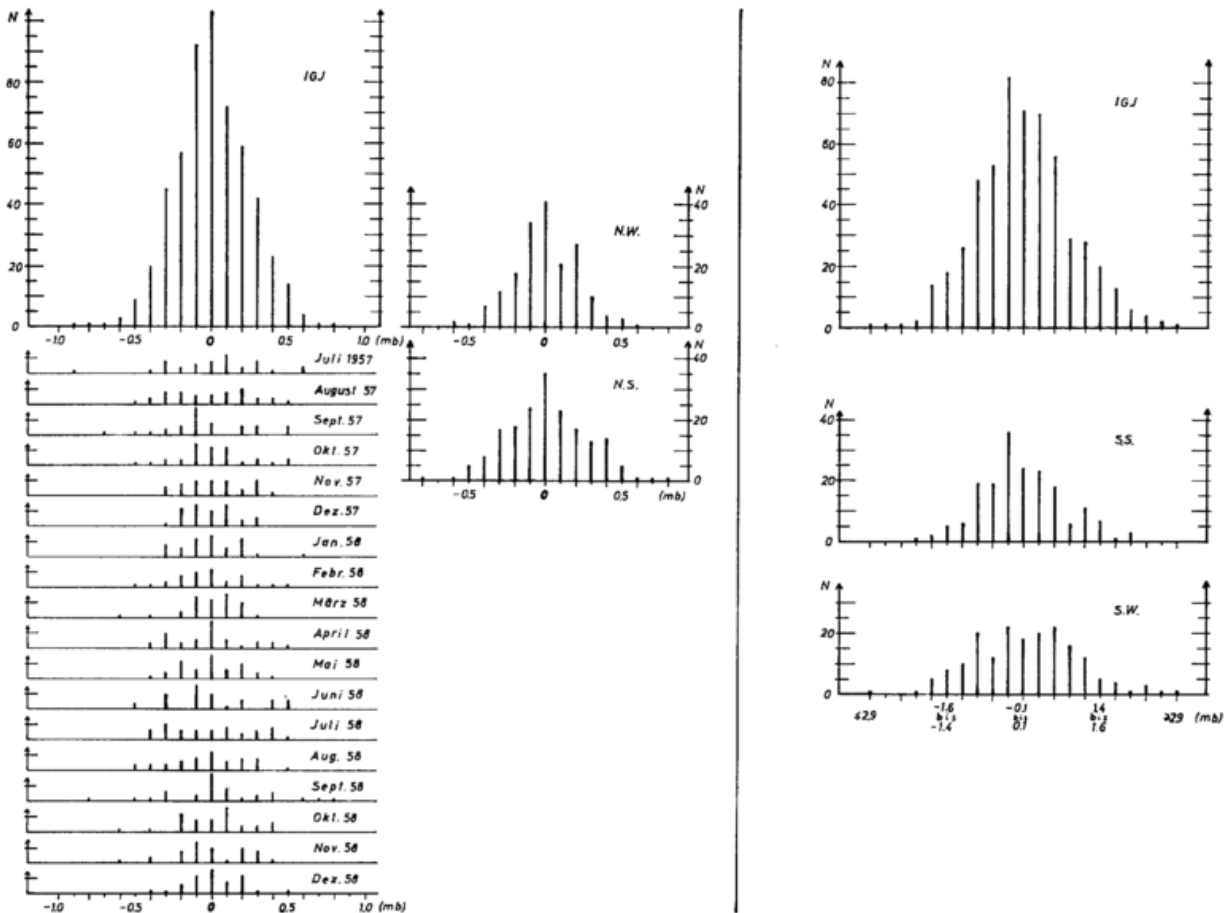


Abb. 40
 Häufigkeitsverteilungen der Luftdruckänderungen von Tag zu Tag; linke Seite: Globaldruck, rechte Seite: Druck des Breiten­gürtels 30°-70°S; N.W.: Nordwinter, N.S.: Nordsommer, S.S.: Südsommer, S.W.: Südwinter

sommer 1958 (Mai–Oktober 1958). Die tägliche Globaldruckänderung enthält keine Perioden, wie eine Autokorrelationsrechnung zeigt. Wir sehen, daß sich fürs gesamte IGJ etwa eine Normalverteilung ergibt: Keine oder kleine Luftdruckänderungen von 0.0 und ± 0.1 mb dominieren; Luftdruck-Anstieg und -Fall sind gleichermaßen häufig. Die größten Änderungen von Tag zu Tag sind -0.9 mb bzw. $+0.8$ mb. 14% aller täglichen Druckänderungen sind dem Betrage nach ≥ 0.4 mb.

Aus dem unteren Teil der Abb. 40 links (Monate) sehen wir, daß im Nordwinter mehr die Tendenz zu geringen Änderungen besteht als im Nordsommer, wo eine breite Streuung von hohen positiven bis hohen negativen Werten vorherrscht. Vergleichendes Beispiel: Dezember 1957 gegenüber Juli 1957 oder September 1958. So zeigt also der Nordwinter einen schmalen Bereich (-0.6 mb bis $+0.6$ mb) und eine stärkere Konzentration bei geringen Luftdruckänderungen (41 Fälle mit 0.0-mb-Änderung) als der Nordsommer (-0.8 mb bis $+0.8$ mb; 35 Fälle mit 0.0-mb-Änderung).

Tab. 9

Beispiele für starke kurzzeitige globale Luftdruckänderungen.

Zeitraum	Änderung
10. - 11. 7. 57	-0.9 mb
14. - 16. 7. 57	+1.2 mb
20. - 23. 8. 57	+1.1 mb
12. - 14. 6. 58	+1.0 mb
14. - 17. 6. 58	-1.1 mb
29. 7. - 1. 8. 58	-1.1 mb
1. - 3. 9. 58	+1.5 mb
21. - 23. 9. 58	-1.3 mb
24. - 26. 9. 59	+0.9 mb

Abgesehen vom Reduktionseffekt (Kap. 3.3.), der für kurzzeitige Globaldruckschwankungen sowieso nicht in Frage kommt, können Änderungen des Globaldrucks nur durch Schwankungen des Wasserdampfgehaltes in der Atmosphäre hervorgerufen werden, da die Menge der übrigen atmosphärischen Gase nahezu konstant ist (11). 1 mb = 1 gr/cm² entspricht 10 mm niederschlagbarer Wasserdampf. Es sind 2.6 mb = 26 mm Wasser in der Atmosphäre (globales Mittel des IGJ) (16).

Da nach PFLUGBEIL (Kap. 3.3.) der Jahresgang des physischen Luftdrucks etwa 70% des NN-Jahresdruckganges beträgt, hat der durch Änderung des Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre bedingte Gang des Globaldrucks innerhalb des IGJ eine Doppelamplitude von etwa 0.7 mb; Änderungen von Monat zu Monat erreichen fast dieselbe Größe (0.55 mb von September–Oktober 1958). Dies bedeutet, daß der Jahresgang des Wasserdampfgehaltes innerhalb des IGJ etwa 27% und Änderungen von Monat zu Monat bis zu 21% des mittleren atmosphärischen Wasserdampfgehaltes ausmachen. Noch größer sind die kurzzeitigen Änderungen des Globaldrucks, die 1 mb, das sind 38% des mittleren Wasserdampfgehaltes, übersteigen können (Tab. 9). Ob der Wert von 1.5 mb (58% des mittleren Wasserdampfgehaltes) vom 1.–3. 9. 1958 zutrifft, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden.

Ein Luftdruckabfall des Globaldrucks um 1 mb bedeutet, daß auf der gesamten Erde 10 mm mehr Niederschlag gefallen als Wasser verdunstet ist. Eine kleine Rechnung soll uns anschaulich machen, um welche gewaltige Wassermenge es sich hier handelt:

Die Erdoberfläche ist $5.11 \cdot 10^{18}$ cm² groß; 1 mb \triangleq 1 gr/cm² \triangleq $5.11 \cdot 10^{18}$ gr Wasser = $5.11 \cdot 10^{12}$ t \triangleq 5110 km³ Wasser; dieses Wasser hat gerade in einem Würfel von 17.22 km Kantenlänge Platz. Der Bodensee hat mit einer Fläche von 538.5 km² und einer mittleren Tiefe von 90 m einen Inhalt von 48.465 km³, die eben erwähnte Wasser-

masse könnte also den Bodensee etwa 105mal füllen, und so viel Wasser ergießt sich von einem Tag zum anderen auf die Erdoberfläche bzw. verschwindet durch Verdunstung in der Atmosphäre.

SELLERS (15), der sich auf Daten von BROOKS und HUNT (1930), MEINARDUS (1934), WÜST (1954), BUDYKO (1956) und BUDYKO et al. (1962) stützt, gibt als jährlichen globalen Niederschlagswert 1004 mm an. Fiele täglich genau so viel Niederschlag wie Wasser verdunstet, dürfte sich der Globaldruck von Tag zu Tag nicht ändern. Globaldruckfall bedeutet, daß der Niederschlag des betreffenden Tages höher war als die Verdunstung; der aus den Globaldruckänderungen der Abb. 40 errechnete Niederschlagsüberschuß über die Verdunstung (Tage mit globalem Luftdruckabfall; 0.1 mb entsprechen 1 mm Niederschlag) beträgt im Jahre 1958 333 mm, es ist also $\frac{1}{3}$ des globalen Jahresniederschlages mit Globaldruckänderungen verbunden. Den Tagen mit Niederschlagsüberschuß stehen Tage mit Verdunstungsüberschuß gegenüber.

Da bei der Kondensation von 1 g Wasserdampf etwa 590 cal freiwerden, erhält die Atmosphäre im globalen Jahresmittel 59 000 cal/cm² an Kondensationswärme (1 000 mm Niederschlag = 100 g/cm² kondensiertes Wasser). Ein Globaldruckfall von 1 mb (\triangleq 10 mm Niederschlag) setzt die Energie von 590 cal/cm² frei. Wären keine anderen temperaturändernden Effekte vorhanden, stiege die Temperatur der gesamten Atmosphäre um etwa 2.5°C.

Rechnung: Die spezifische Wärme der Luft bei konstantem Druck ist 0.24 cal g⁻¹ Grad⁻¹; der mittlere physische Luftdruck beträgt (11)

$$977 \text{ mb} \triangleq 977 \text{ g cm}^{-2} \cdot \frac{590 \text{ cal} \cdot \text{g Grad} \cdot \text{cm}^2}{0.24 \cdot 977 \text{ cm}^2 \text{ cal g}} = 2.5^\circ\text{C}.$$

Es taucht die Frage auf, ob die Verdunstung in der Lage ist, an einem Tag eine Globaldruckerhöhung bis zu 0.7 mb (s. Tab. 9) zu bewirken.

Im langzeitlichen Mittel verdunstet pro Tag genau so viel Wasser, wie an Niederschlag fällt, nämlich 2.75 mm (globales Mittel), d. h. an Tagen mit Globaldruckanstiegen von 0.7 mb muß die drei- bis vierfache Menge verdunstet. Dies erscheint nach Untersuchungen von PETERSEN (9) möglich: Im Bereich eines Sturmtiefs von 965 mb Kerndruck bei 57°N, 30°W im Winter verdunstet im Gebiet von 30°–60°N und 10°–60°W 50% des Betrages, der im Mittel in der gesamten Polarkappe nördlich von 32°N verdunstet, d. h. auf 11% der Fläche wird 50% der mittleren Wasserdampfmenge verdunstet.

Auch in tropischen Zyklonen verdampfen große Wassermengen. Nach PALMEN und RIEHL (7) beträgt in einem Wirbelsturm mittlerer Stärke der Einfluß an latenter Wärme in einem Radius von 2° Breite um das Zentrum $55.4 \cdot 10^{10}$ kJ/s. Dieser Betrag ist etwa 12% der mittleren Verdunstung im Breitengürtel 10°–20°N, während die Fläche eines mittleren Tropensturmes nur etwa 0.7% der Fläche dieses Breitengürtels beträgt. – Die gesamte Verdunstungsenergie in einem Wirbelsturm ist noch größer.

Rechnung: $55.4 \cdot 10^{10} \text{ kJ/s} = 55.4 \cdot 10^{10} \text{ kW} \triangleq 485 \cdot 10^{13} \text{ kWh/Jahr}$, weil 1 kW \triangleq 8 760 kWh/Jahr ist. Da 1 kWh = 860 kcal, sind $485 \cdot 10^{13} \text{ kWh/Jahr} = 418 \cdot 10^{16} \text{ kcal/Jahr}$.

Die Fläche des Breitengürtels von 10°–20°N beträgt ca. $43 \cdot 10^{16} \text{ cm}^2 \cdot \frac{418}{43} = 9.7 \frac{\text{kcal}}{\text{cm}^2 \text{ Jahr}}$. Nach SELLERS (15) beträgt die mittlere Verdunstungswärme im Breitengürtel 10°–20°N $81 \frac{\text{kcal}}{\text{cm}^2 \text{ Jahr}}$. Ein mittlerer Wirbelsturm hat eine Ausdehnung von etwa 5° Breite und 5° Länge, das ist $\frac{1}{144}$ der Fläche des Breitengürtels 10°–20°N.

3.5. Die Signifikanz der Luftdruckwerte

Ein sehr wesentlicher Punkt dieser Arbeit ist es festzustellen, wie genau einige Breitengürtelmittelwerte, besonders aber der Globaldruck, sind. Es tritt also die Frage in den Vordergrund, ob die festgestellten täglichen und monatlichen Änderungen des Globaldrucks reell sind oder durch Fehler in der Analyse des globalen Luftdruckfeldes vorgetäuscht werden können.

Um festzustellen, welche Gegenden der Erde für die globalen Luftdruckschwankungen verantwortlich sind, werden später Korrelationen zwischen dem globalen Luftdruck und dem Luftdruck der einzelnen Breitengürtel gebildet. Auch hier ist die Frage fundamental, ob der Luftdruckgang in dem betreffenden Breitengürtel nicht durch Analysenfehler hervorgerufen sein kann.

3.5.1. χ^2 -Test

Wir gehen von der Annahme aus, daß der Globaldruck stets gleich ist und Schwankungen nur durch Analysenfehler vorgetäuscht werden. Da aber zu allen Jahreszeiten im IGJ das gleiche Stationsnetz und i. A. etwa die gleiche Anzahl von Schiffsbeobachtungen bestanden hat, müßten die durch Analysenfehler vorgetäuschten Schwankungen zu allen Jahreszeiten gleichmäßig verteilt sein (oder im Nordwinter überwiegen, wenn auf der Nordhalbkugel stärkere Luftdruckgebilde auftreten als im Nordsommer. Auf der Südhalbkugel war ja im Westwindbereich im IGJ kein deutlicher Jahresgang der Intensität von Druckgebilden festgestellt worden).

Wenn wir nun herausfinden, daß ein signifikanter jahreszeitlicher Unterschied in den globalen Luftdruckschwankungen existiert, ist obige Annahme widerlegt und die Luftdruckänderungen sind reell und nicht durch Analysenfehler vorgetäuscht.

Die Anzahl der Fälle im Inneren der Tabelle 10 wurden in Abb. 39 ausgezählt. — Beim 1. Test ist der Unterschied Sommer — Winter zu 2% zufallsbedingt, d. h. mit 98% Wahrscheinlichkeit ist gleichbleibender Globaldruck von Tag zu Tag im Südsommer häufiger als im Südwinter.

Die Wahrscheinlichkeit, daß die Ergebnisse von Test 2 bis Test 5 zufallsbedingt sind, ist kleiner (bei Test 2 gleich) 1%/₀₀. Es ließen sich keine Tests finden, die aussagen, daß im Südwinter geringere globale Luftdruckschwankungen auftreten als im Südsommer.

Ähnliche Überlegungen gelten auch für die *südhemiphrische Westwindzone* (40°–65°S). Daher werden auch für diesen Gürtel χ^2 -Tests angestellt. (Tab. 11)

Bis auf den 1. und 8. Test liegen alle Tests außerhalb des Zufallsbereichs, Test 3, 6 und 7 unter der 1% Zufalls-grenze und Test 7 sogar weit unter der 1%/₀₀ Zufalls-grenze. — Es lassen sich keine Tests anstellen, die aussagen, daß die Luftdruckschwankung im Südsommer größer ist als im Südwinter.

Wir sehen: Die Luftdruckschwankungen in der südhemisphärischen Westwindzone können nicht durch Analysenfehler entstanden sein. — Die Häufigkeitsverteilung der täglichen Luftdruckänderungen der *südlichen Außertropen* (30°–70°S) ist in Abb. 40 rechts dargestellt, 1.) für das ganze IGJ, 2.) getrennt für Südwinter und Südsommer, wobei man sieht, daß im Südwinter größere Schwankungen auftreten als im Südsommer. — Auch die Variation im Breitengürtel 35°–70° in Abb. 37 zeigt im Südwinter größere Werte als im Südsommer.

3.5.2. Korrelation des Stationenmittels mit dem Luftdruck der südhemisphärischen Westwindzone

Um die Genauigkeit des Luftdrucks und seiner Änderungen in der südhemisphärischen Westwindzone noch mehr zu erhärten, wurden folgende Überlegungen und Rechnungen angestellt. Wäre die südhemisphärische

Tab. 10

χ^2 -Tests der kurzzeitigen globalen Luftdruckschwankungen
Zahlen im Inneren der Tabelle: Anzahl der Fälle

SW: Anzahl der Fälle im Südwinter
SS: Anzahl der Fälle im Südsommer

1. Test $\Delta P_G = 0.0$ mb von Tag zu Tag	2. Test $\Delta P_G \geq 0.5$ mb von Tag zu Tag	3. Test $\Delta P_G \geq 0.8$ mb in 2 Tagen	4. Test $\Delta P_G \geq 0.7$ mb in 3 Tagen	5. Test $\Delta P_G \geq 1$ mb in 3 Tagen	Monat
4	3	2	7	3	J 1957
1	2	1	3	1	A
4	3	1	3	0	S Südwinter
5	3	1	2	0	O
5	0	0	3	0	N
5	0	0	0	0	D
6	1	0	1	0	J 1958
6	1	0	1	0	F
6	1	0	0	0	M Südsommer
8	1	0	0	0	A
8	0	0	0	0	M
5	4	3	7	2	J
2	1	1	3	2	J
4	3	1	2	1	A Südwinter
6	5	3	10	5	S
4	1	0	0	0	O
5	1	0	1	0	N
8	1	0	0	0	D Südsommer
SW: 35 SS: 57	SW: 25 SS: 6	SW = 13 SS = 0	SW: 37 SS: 6	SW: 14 SS: 0	
$E = 46$ $\Delta = 11$ $\chi^2 = 5.7$	$E = 15.5$ $\Delta = 9.5$ $\chi^2 = 11.6$	$E = 6.5$ $\Delta = 6.5$ $\chi^2 = 13.0$	$E = 21.5$ $\Delta = 15.5$ $\chi^2 = 22.4$	$E = 7$ $\Delta = 7$ $\chi^2 = 14$	$m = 1$ Freiheitsgrad $\Delta P_G =$ Globale Luftdruckänderung

Tab. 11
 χ^2 -Tests der kurzzeitigen Luftdruckschwankungen in der südhemisphärischen Westwindzone

SW: Anzahl der Fälle im Südwinter (1. 7. 1957 - 15. 10. 1957 und 1. 5. - 15. 10. 1958)
 SS: Anzahl der Fälle im Südsommer (16. 10. 1957 - 30. 4. 1958 und 16. 10. - 31. 12. 1958)
 m = 1 Freiheitsgrad

Kriterium	1. Test $\Delta P_w \geq 5$ mb in Monats- hälften	2. Test $\Delta P_w \geq 5$ mb in 5 Tagen	3. Test $\Delta P_w \geq 4$ mb in 3 Tagen	4. Test $\Delta P_w \geq 4$ mb in 2 Tagen	5. Test $\Delta P_w \geq 3$ mb in 2 Tagen	6. Test $\Delta P_w \geq 2.5$ mb in 1 Tag	7. Test $\Delta P_w \geq 1$ mb in 1 Tag	8. Test $\Delta P_w \geq 0.2$ mb in 1 Tag
SW	13	18	27	17	35	28	168	39
SS	9	6	8	5	19	11	81	51
E	11	12	17.5	11	27	19.5	124.5	45
Δ	2	6	9.5	6	8	8.5	43.5	6
χ^2	0.7	6.0	10.3	6.5	4.7	7.5	30.5	1.6
Zufalls- wahrschein- lichkeit	> 50%	1.3%	0.2%	1.0%	3.5%	0.8%	$\ll 0.1\%$	> 10%

Westwindzone (40°-65°S) gleichmäßig und dicht mit Meßstationen belegt, so müßte ein aus diesen Stationswerten gebildetes Mittel gleich dem Mittel des Breitengürtels sein, das man erhält, wenn man den Luftdruck an den Netzpunkten (Schnittpunkte von Standard-Längen- und Breitenkreisen) entnimmt und mittelt. Nun sind aber gerade in diesem Breitengürtel weite Flächen, wie z. B. der Südpazifik (18 000 000 km²) ohne Beobachtungsstation. Es wurden bei der Analyse des Luftdrucks noch Schiffsmeldungen hinzugezogen; aber durch dieses Gebiet fahren wenig Schiffe. Die meisten befinden sich vor

Neuseeland, im tropischen Südpazifik und vor der Küste Südamerikas, so daß für die große Fläche von 80° bis 160°W und 40°-70°S täglich nur etwa ein bis drei Schiffsmeldungen vorliegen. - Über weite Flächen mußte also der Luftdruck interpoliert werden.

Es wurden zwei Luftdruckreihen, 1.) ein aus den 24 in Abb. 41 eingetragenen Stationen gebildetes Mittel und 2.) das Mittel des Breitengürtels von 40°-65°S miteinander korreliert. - Hohe positive Korrelation beider Reihen würde bedeuten, daß der Gang des interpolierten Luftdrucks des Breitengürtels dem Gang des Stationsmittels - aus den Meldungen der Stationen (bis auf die wenigen Schiffsmeldungen) wurde der Breitengürtelwert ja ermittelt - entspricht, was auf gute Interpolation und große Zuverlässigkeit des Breitengürtelmittels schließen ließe. Liegt der Korrelationskoeffizient hingegen im Zufallsbereich, muß auf schlechte Interpolation und Unzuverlässigkeit des Breitengürtelmittels geschlossen werden.

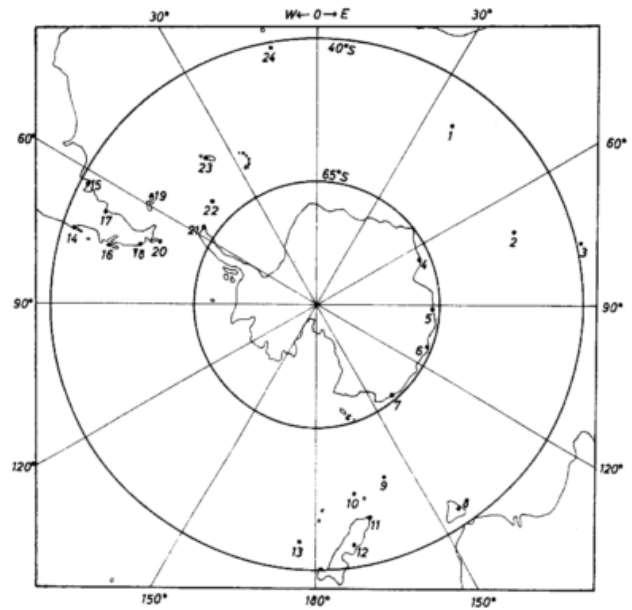


Abb. 41
 Ausgewählte Stationen des Breitengürtels 40°-65°S.

Die Bildung eines gewichteten Stationenmittels stieß auf Schwierigkeiten, da die Stationen ungleich verteilt sind. Wegen der starken meridionalen und der geringen zonalen Druckgegensätze wurde angenommen, daß die zwischen jeweils 5 Breitenkreisen liegenden Stationen einen Breitenstreifenmittelwert bilden; die Breitenstreifenmittelwerte, gewichtet mit dem Cosinus der Breite, ergeben summiert das gesuchte Gesamtittel. Diese Methode wäre anwendbar, wenn in jedem Breitenstreifen die gleiche Anzahl von Stationen gleichmäßig verteilt läge. Das ist aber nicht der Fall. Ein gut belegter Breitenstreifen muß bei der Bildung des Gesamt-Stationenmittels ein größeres Gewicht haben als ein schlecht belegter; andererseits wäre ein mit nur einer Station belegter Breitenstreifen gegenüber einem mit 5 Stationen belegter Streifen unterrepräsentiert, wenn mit der Anzahl der Stationen gewichtet würde, also jede Station (außer der obigen Wichtung mit dem Cosinus) das Gewicht 1 bekäme. Ein guter Mittelweg schien dem Verfasser die Wichtung eines Breitenstreifens mit $\frac{1}{\sqrt{n}}$, n: Anzahl der Stationen, zu sein, so daß jede Station das Gewicht $\frac{1}{\sqrt{n}}$ erhält. Insgesamt bekommt also jede Station das Gewicht $\frac{\cos \varphi}{\sqrt{n}}$. Die außerhalb des Breitengürtels liegenden Stationen 3, 4, 5, 6, 7 erhalten halbes Gewicht.

So erhält man die in der folgenden Tab. 12 aufgeführten Werte. (Stationen s. Abb. 41). - Die Korrelation wurde durchgeführt und ergab für die 549 Tage des IGJ:

$R = 0.56$; der mittlere Fehler des Korrelationskoeffizienten $F(R) = 0.02$.

Tab. 12
Gewicht der Stationen in der südhemisphären Westwindzone

Station	1	2	3	4	5	6	7	8
Gewicht	0.304	0.293	0.153	0.098	0.098	0.102	0.098	0.290
Station	9	10	11	12	13	14	15	16
Gewicht	0.262	0.275	0.304	0.285	0.280	0.294	0.294	0.300
Station	17	18	19	20	21	22	23	24
Gewicht	0.310	0.286	0.275	0.545	0.227	0.242	0.262	0.299

Die Zufallsgrenze (0.27% Zufallswahrscheinlichkeit) liegt für 549 Werte bei $R = 0.13$. Das Ergebnis zeigt eine signifikante positive Korrelation zwischen dem Stationsmittel und dem Breitengürtelmittel von $40^\circ - 65^\circ S$.

Größer ist der Korrelationskoeffizient, wenn man die 18 Monatsmittel des IGJ nimmt: $R = 0.83$, $F(R) = 0.05$. Bei 18 Werten liegt die Zufallsgrenze bei $R = 0.66$.

Nach diesen Ergebnissen wird es für zweckmäßig gehalten, noch weitere Überlegungen anzustellen, um den Grad der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Luftdruckwerte in der südhemisphärischen Westwindzone zu bestimmen.

3.5.3. Die Genauigkeit der Breitengürtelmittelwerte

Falls man den mittleren Fehler kennt, der durch falsche Analyse an jedem Netzpunkt der Erde entstehen kann, läßt sich mittels des Fehlerfortpflanzungsgesetzes der Fehler des Globaldrucks oder eines Breitengürtelmitteis bestimmen. - Die folgende Tab. 13 enthält die

Ist z eine lineare Funktion: $z = a_1 \cdot l_1 + a_2 \cdot l_2 + \dots + a_n \cdot l_n$

$$\left(\text{hier: } P_{\text{Global}} = \frac{1}{\sum_i \cos \varphi_i} \left[(\cos \varphi_1 \cdot P_1) + (\cos \varphi_2 \cdot P_2) + \dots + (\cos \varphi_n \cdot P_n) \right] \right),$$

so ist demnach $m_z = \sqrt{\sum_i (a_i \cdot m_i)^2}$. Der mittlere Fehler des Globaldrucks berechnet sich also nach

$$m_{P_{\text{Gl}}} = \frac{1}{\sum_i \cos \varphi_i} \sqrt{\sum_i (\cos \varphi_i m_i)^2}$$

Voraussetzung für die Anwendung des Fehlerfortpflanzungsgesetzes ist, daß die Fehler der Einzelwerte μ_j und nachher auch die Fehler der Breitenkreismittel voneinander unabhängig sind. Das heißt: wenn ich im Punkt (φ, λ) einen Fehler von $+\mu_j$ habe, ich am Nachbarpunkt $(\varphi \pm 1, \lambda \pm 1)$ einen Fehler von $-\mu_j$ haben kann.

Es wurden zwei Modelle gerechnet. Das 1. Modell besagt, daß die Fehler aller Netzpunkte (Kap 1.1.), die zur Berechnung der Breitenkreismittel verwendet wurden, und die einzelnen Breitenkreismittel untereinander unabhängig sind. Die angenommenen Fehler der Netzpunktwerte stehen in der folgenden Tabelle 13.

Das 2. Modell geht von der Voraussetzung aus, daß nur mindestens 1000 km voneinander entfernt liegende Netzpunkte voneinander unabhängig sind, d. h. auch, daß nur 10° auseinanderliegende Breitenkreismittel genommen werden dürfen. Es wurden auch andere Felder der Netzpunktwerte als in Modell 1 angenommen.

Diskussion der angenommenen Fehler: Wegen der

Breite φ , die mittleren Fehler des einzelnen Netzpunktwertes μ_j , die Anzahl der voneinander unabhängigen Einzelwerte auf jedem Breitenkreis, k , und den mittleren Fehler des Breitenkreismittels, m_i . Dieser berechnet sich nach $m_i = \frac{\mu_j}{\sqrt{k}}$. Aus den mittleren Fehlern der Breitenkreismittel m_i wurde dann nach dem allgemeinen Fehlerfortpflanzungsgesetz der mittlere Fehler des Globaldrucks bzw. der mittlere Fehler eines Breitengürtels berechnet.

Hängt eine Größe z (z. B. globaler Luftdruck) von n voneinander unabhängigen Zahlenwerten l_1, l_2, \dots, l_n (z. B. Breitenkreismittel) ab, also $z = f(l_1, l_2, \dots, l_n)$ und sind m_1, m_2, \dots, m_n die mittleren Fehler der einzelnen Zahlenwerte (Fehler der Breitenkreismittel), so gilt für den mittleren Fehler m_z von z (Fehler des Globaldrucks) die Gleichung

$$m_z = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial f}{\partial l_i} \cdot m_i \right)^2}$$

räumlichen und zeitlichen Uniformität des tropischen Luftdruckfeldes sind die Fehler bei der Analyse sehr gering; da die Druckangaben aber nur ganze mb-Beträge enthalten, muß der mittlere Fehler auf ± 1 mb festgesetzt werden. In den nördlichen Außertropen wurde aufgrund des dichten Stationsnetzes ein mittlerer Fehler von ± 2 mb (Modell 1) und ± 3 mb in Modell 2 angenommen, wobei im nördlichen subtropischen Hochdruckgürtel ein mittlerer Fehler von ± 2 mb gesetzt wurde. Anders ist es in den südhemisphärischen Außertropen. Da im Gebiet der südhemisphärischen Westwinde ein sehr lückenhaftes Stationsnetz und nur wenige Schiffsmeldungen sind, wurde hier ein mittlerer Fehler von maximal ± 5 mb (Modell 1) bzw. ± 6 mb (Modell 2) angenommen. Das bedeutet, daß jeder Netzpunktwert im Mittel diesen Fehler aufweist. Es werden sicherlich an einigen Netzpunkten noch viel größere Fehler auftreten, etwa wenn eine Tiefdruckbildung (oder Auffüllung) nicht erkannt worden ist. Andererseits sind aber durch die sorgfältige nachträgliche Analyse und die Verwendung aller zur Verfügung stehenden Meldungen die meisten Netzpunktwerte wohl genauer als in Tabelle 13 angegeben. Die Fehler wurden aber absichtlich so groß gewählt, um bei der Interpretation der Schwankungen der Breitengürtelmitteis die Sicherheit zu haben, daß bestimmte Änderungen nicht mehr zufallsbedingt sein können. - Der geringere Fehler bei $65^\circ S$ und $70^\circ S$ erklärt sich durch das dichte Stationsnetz am Rande der Antarktis.

Tab. 13

2 Modelle zur Abschätzung des Fehlers des Globaldrucks

φ : Breite, μ_j : angenommene mittlere Fehler einzelner Netzwertwerte;
 k : Anzahl der voneinander unabhängigen Einzelwerte auf einem Breitenkreis;
 m_i : mittlere Fehler der Breitenkreismittel

	μ_j (mb)		k		m_i (mb)		$\cos^2 \varphi_i m_i^2$	
	Modell 1	Modell 2	Modell 1	Modell 2	Modell 1	Modell 2	Modell 1	Modell 2
85°N	2		4		1.00		0.008	
80°N	2	3	18	7	0.47	1.13	0.007	0.038
75°N	2		18		0.47		0.015	
70°N	2	3	18	13	0.47	0.83	0.026	0.080
65°N	2		36		0.33		0.020	
60°N	2	3	36	20	0.33	0.67	0.029	0.111
55°N	2		36		0.33		0.038	
50°N	2	3	36	25	0.33	0.60	0.047	0.149
45°N	2		36		0.33		0.056	
40°N	2	2	36	30	0.33	0.37	0.065	0.079
35°N	2		36		0.33		0.074	
30°N	1	2	36	36	0.17	0.33	0.021	0.083
25°N	1		72		0.12		0.012	
20°N	1	1	72	36	0.12	0.17	0.012	0.025
15°N	1		72		0.12		0.013	
10°N	1	1	72	36	0.12	0.17	0.014	0.027
5°N	1		72		0.12		0.014	
0°N	1	1	72	36	0.12	0.17	0.014	0.028
5°S	1		72		0.12		0.014	
10°S	1	1	72	36	0.12	0.17	0.014	0.027
15°S	1		72		0.12		0.013	
20°S	1	1	72	36	0.12	0.17	0.012	0.025
25°S	1		72		0.12		0.012	
30°S	1	2	36	36	0.17	0.33	0.021	0.083
35°S	2		36		0.33		0.074	
40°S	3	4	36	30	0.50	0.73	0.148	0.315
45°S	4		36		0.67		0.223	
50°S	4	6	36	25	0.67	1.20	0.184	0.595
55°S	5		36		0.83		0.226	
60°S	4	6	36	20	0.67	1.34	0.111	0.450
65°S	4		36		0.67		0.080	
70°S	3	4	17	13	0.73	1.11	0.062	0.143

Tab. 14

Mittl. Fehler und Zufallsgrenze des Globaldrucks nach Modell 1 und 2

Ergebnisse			m_P : mittl. Fehler des Globaldrucks.		
Modell 1					
Tägl. IGJ-Werte	IGJ-Monatsmittel	IGJ-Jahresmittel			
$m_P = \pm 0.06$ mb	$m_{P_M} = \pm 0.01$ mb				
$3 m_P = \pm 0.17$ mb	$3 m_{P_M} = \pm 0.03$ mb	$3 m_{P_J} = \pm 0.01$ mb			
Modell 2					
Tägl. IGJ-Werte	IGJ-Monatsmittel	IGJ-Jahresmittel			
$m_P = \pm 0.13$ mb	$m_{P_M} = \pm 0.02$ mb				
$3 m_P = \pm 0.40$ mb	$3 m_{P_M} = \pm 0.07$ mb	$3 m_{P_J} = \pm 0.02$ mb			

Durch den dreifachen mittleren Fehler wird der Zufallsbereich (0.27 % Zufallswahrscheinlichkeit) abgegrenzt.

Für die aus den Tageswerten ermittelten Monatsmit-

tel ist der Fehler gemäß $m_{P_M} = \frac{m_P}{\sqrt{T}}$, $T = 30$: Anzahl der Tage eines Monats. Beim Jahresmittel erhält T den Wert 365.

Luftdruckänderungen sind Differenzen zwischen zwei Mittelwerten (z. B. globales Luftdruckmittel an zwei verschiedenen Tagen), von denen jeder mit einem Fehler m_{P_1} bzw. m_{P_2} behaftet ist. Der mittlere Fehler der Differenz zweier Mittelwerte

$$P_1 \text{ und } P_2 \text{ ist } m_{\text{Diff}} = \sqrt{m_{P_1}^2 + m_{P_2}^2}$$

Da nach beiden Modellen keine Zeitabhängigkeit der Fehler vorausgesetzt wurde, ist $m_{P_1} = m_{P_2} \equiv m_P$.

Demnach beträgt der mittlere Fehler der Luftdruckänderung $m_{\Delta P} = \sqrt{2} \cdot m_P$. Der Zufallsbereich wird durch $3 \cdot m_{\Delta P}$ begrenzt.

Nach Modell 1 sind alle täglichen globalen Luftdruckschwankungen, die ≥ 0.3 mb sind, als reell anzusehen; das sind nach Abb. 40 links 30% aller Fälle.

Nach den strengeren Maßstäben des Modells 2 sind nur alle täglichen Schwankungen ≥ 0.6 mb als nicht durch Analysefehler des globalen Druckfeldes hervorgerufen anzusehen; das sind 2% aller Fälle.

Tab. 9 und Abb. 40 lehren uns, daß der Globaldruck Änderungen unterworfen ist, die reell und nicht durch

fehlerhafte Analyse vorgetäuscht sind. Alle monatlichen Luftdruckänderungen, auch die von ± 0.1 mb, müssen als überzufällig angesehen werden, da hier die Zufalls-grenze bei 0.04 mb (Modell 1) bzw. 0.10 mb (Modell 2) liegt.

Berechnen wir jetzt noch die Genauigkeit der Luftdruckwerte von anderen Breitengürteln (Tab. 15). Wir erkennen, daß nach Modell 1 alle Schwankungen ≥ 0.8 mb der südlichen Außertropen reell sind, das sind 39% der in Abb. 40 rechts oben dargestellten Fälle. — Nach Modell 2 sind Schwankungen ≥ 1.7 mb reell, das sind 8% der Werte von Abb. 40.

Alle Änderungen der Monatsmitteldrucke ≥ 0.2 mb sind nach Modell 1 reell, nach Modell 2 diejenigen, die > 0.3 mb sind. — Trotz des lückenhaften Stationsnetzes in den südlichen Außertropen können die dort festgestellten Luftdruckschwankungen nicht alle nur vorgetäuscht sein.

Die Mittelwerte der Tropen sind sehr genau; nach Modell 1 sind die meisten, nach Modell 2 alle deutlichen kurzzeitigen Luftdruckänderungen reell. Sämtliche Monatsmittel müssen nach beiden Modellen als exakt angesehen werden.

Tab. 15
Mittl. Fehler und Zufallsgrenze von Breitengürtelmitteln des Luftdrucks nach Modell 1 und 2

Breitengürtel	Modell	Tägl. IGJ-Werte	IGJ-Monatsmittel	IGJ-Jahresmittel
Südhemisphärische Westwindzone 40° - 65°S	1 m_P 3 m_P	± 0.27 mb ± 0.82 mb	± 0.05 mb ± 0.15 mb	± 0.04 mb
	2 m_P 3 m_P	± 0.61 mb ± 1.83 mb	± 0.11 mb ± 0.33 mb	± 0.10 mb
Südliche Außertropen 30° - 70°S	1 m_P 3 m_P	± 0.19 mb ± 0.57 mb	± 0.03 mb ± 0.10 mb	± 0.03 mb
	2 m_P 3 m_P	± 0.40 mb ± 1.21 mb	± 0.07 mb ± 0.22 mb	± 0.06 mb
Tropen 35°N - 30°S	1 m_P 3 m_P	± 0.04 mb ± 0.12 mb	± 0.01 mb ± 0.02 mb	± 0.01 mb
	2 m_P 3 m_P	± 0.08 mb ± 0.24 mb	± 0.01 mb ± 0.04 mb	± 0.01 mb
Nördliche Außertropen 85° - 40°N	1 m_P 3 m_P	± 0.13 mb ± 0.38 mb	± 0.02 mb ± 0.07 mb	± 0.02 mb
	2 m_P 3 m_P	± 0.28 mb ± 0.84 mb	± 0.05 mb ± 0.15 mb	± 0.4 mb

In den nördlichen Außertropen sind nach Modell 1 Änderungen ≥ 0.6 mb überzufällig, nach Modell 2 Änderungen ≥ 1.2 mb. Die Monatswerte sind nach Modell 1 auf etwa ± 0.1 mb genau, nach Modell 2 sind die Unterschiede > 0.2 mb überzufällig.

Die Jahresmittel sind bis auf den Breitengürtelwert der südhemisphärischen Westwindzone (40°-65°S) als exakt anzusehen, d. h. der mittlere Fehler von Jahresluftdruckänderungen ist auch bei Anwendung des Modells 2 kleiner als 0.1 mb, beim Globaldruck 3/100 mb, in den Tropen sogar 3/200 mb.

3.6. Korrelation des Luftdrucks der Breitengürtel

3.6.1. Berechnungen

Es sei noch einmal kurz die Breitengürtelteilung von Kap. 3.1.2. erwähnt.

Gürtel	Gürtel
1: 85° - 70°N	7: 85° - 30°N
2: 65° - 40°N	8: 25°N - 25°S
3: 35° - 20°N	9: 30° - 70°S
4: 15°N - 15°S	
5: 20° - 35°S	10: 85°N - 0°
6: 40° - 65°S	11: 0° - 70°S
	13: 85°N - 70°S.

Folgende Breitengürtel wurden miteinander korreliert:

1-2	7-9	10-11	13-1
1-3	2-3	8-7	10-13
1-4	2-4	3-4	13-3
1-5	2-5	3-5	4-5
1-6	2-6	3-6	4-6
		5-6	13-5
			13-6
			13-7
			13-8
			13-9

Tab. 16

Korrelationskoeffizienten des Luftdrucks der Breitengürtel ohne Trendelimination, Jahr 1958.

KOMB: Bezeichnung der miteinander korrelierten Breitengürtel

A : Zeitverzögerung des 2. Breitengürtels der Spalte KOMB gegenüber dem 1.

STR : Variation des Druckes im erstgenannten Breitengürtel der Spalte KOMB innerhalb des Jahres 1958.

F : Wahrscheinlicher Fehler des Korrelationskoeffizienten (KK).

Zufallsgrenze für 365 Tage: ± 0.158

durchgezogen unterstrichen: überzufäll. pos. KK

gestrichelt " : überzufäll. negat. KK

dick unterstrichen : Maxima

KOMB	A	-5	-4	-3	-2	-1	STR P	R P	F (R P)	1	2	3	4	5
1-2		0.091	0.089	0.098	0.119	0.126	6.11	0.127	0.035	0.156	0.180	0.188	0.174	0.138
1-3		0.288	0.249	0.208	0.173	0.145	6.11	0.132	0.035	0.141	0.159	0.183	0.210	0.232
1-4		0.272	0.298	0.341	0.401	0.455	6.11	0.497	0.027	0.509	0.495	0.468	0.429	0.382
1-5		0.431	0.444	0.467	0.479	0.493	6.11	0.496	0.027	0.489	0.472	0.450	0.424	0.399
1-6		0.215	0.233	0.249	0.273	0.295	6.11	0.303	0.032	0.305	0.298	0.287	0.266	0.244
2-3		0.466	0.441	0.416	0.390	0.365	2.30	0.365	0.031	0.380	0.411	0.437	0.454	0.470
2-4		0.330	0.420	0.509	0.595	0.676	2.30	0.739	0.016	0.740	0.689	0.610	0.530	0.447
2-5		0.296	0.321	0.355	0.392	0.421	2.30	0.438	0.029	0.429	0.410	0.386	0.365	0.345
2-6		0.092	0.112	0.132	0.149	0.161	2.30	0.174	0.034	0.162	0.146	0.129	0.131	0.140
3-4		0.353	0.336	0.317	0.297	0.275	2.27	0.258	0.033	0.254	0.272	0.299	0.332	0.366
3-5		0.648	0.652	0.652	0.651	0.652	2.27	0.659	0.020	0.666	0.673	0.680	0.689	0.702
3-6		0.124	0.124	0.131	0.145	0.155	2.27	0.162	0.034	0.161	0.162	0.166	0.168	0.166
4-5		0.386	0.418	0.458	0.494	0.521	0.76	0.528	0.025	0.505	0.470	0.433	0.400	0.372
4-6		0.262	0.267	0.262	0.246	0.230	0.76	0.223	0.034	0.222	0.227	0.218	0.209	0.186
5-6		0.185	0.182	0.184	0.183	0.178	1.89	0.182	0.034	0.175	0.174	0.170	0.170	0.167
7-9		0.299	0.327	0.359	0.393	0.418	2.02	0.430	0.029	0.416	0.395	0.373	0.362	0.353
8-7		0.426	0.497	0.570	0.641	0.692	0.68	0.700	0.018	0.647	0.564	0.472	0.383	0.300
8-9		0.212	0.216	0.217	0.201	0.189	0.68	0.184	0.034	0.181	0.180	0.169	0.156	0.130
10-1		0.663	0.689	0.718	0.750	0.775	1.29	0.792	0.013	0.791	0.781	0.768	0.759	0.753
10-3		0.468	0.458	0.448	0.435	0.426	1.29	0.432	0.029	0.412	0.404	0.395	0.381	0.367
11-13		0.146	0.121	0.071	0.007	0.101	1.30	0.204	0.034	0.122	0.047	0.003	0.028	0.028
13-1		0.067	0.068	0.073	0.075	0.070	0.44	0.061	0.035	0.058	0.046	0.036	0.023	0.002
13-2		0.238	0.257	0.282	0.293	0.307	0.44	0.340	0.031	0.341	0.349	0.359	0.370	0.373
13-3		0.410	0.411	0.412	0.417	0.417	0.44	0.423	0.029	0.422	0.430	0.441	0.446	0.452
13-4		0.038	0.018	0.016	0.014	0.028	0.44	0.054	0.035	0.089	0.108	0.115	0.133	0.142
13-5		0.167	0.162	0.157	0.146	0.135	0.44	0.125	0.035	0.154	0.177	0.192	0.210	0.219
13-6		0.313	0.310	0.340	0.411	0.525	0.44	0.652	0.020	0.521	0.394	0.282	0.212	0.173
13-7		0.261	0.274	0.289	0.299	0.309	0.44	0.337	0.031	0.337	0.348	0.361	0.374	0.387
13-8		0.015	0.034	0.044	0.048	0.041	0.44	0.024	0.035	0.008	0.024	0.027	0.040	0.052
13-9		0.192	0.186	0.221	0.299	0.421	0.44	0.563	0.024	0.421	0.285	0.173	0.106	0.078

Tab. 17

Korrelationskoeffizienten des Luftdrucks der Breitengürtel; Trend eliminiert, Jahr 1958.

KOMB	A	-5	-4	-3	-2	-1	STR P	R P	F (R P)	1	2	3	4	5
1-2		-0.074	-0.056	0.008	0.050	0.004	2.78	-0.047	0.037	0.066	0.180	0.210	0.150	0.014
1-3		0.162	0.013	-0.138	-0.272	-0.391	2.78	-0.433	0.030	-0.305	-0.148	0.001	0.177	0.307
1-4		0.221	0.206	0.116	-0.052	-0.211	2.78	-0.355	0.032	-0.371	-0.289	-0.170	-0.039	0.099
1-5		0.148	0.093	0.005	-0.097	-0.194	2.78	-0.236	0.035	-0.230	-0.182	-0.093	-0.006	0.062
1-6		0.024	0.000	-0.010	-0.058	-0.081	2.78	-0.075	0.036	-0.065	-0.059	-0.054	-0.020	0.016
2-3		0.068	0.091	-0.016	-0.190	-0.397	0.96	-0.440	0.030	-0.303	-0.057	0.102	0.136	0.156
2-4		0.127	-0.010	-0.115	-0.229	-0.409	0.96	-0.588	0.024	-0.571	-0.393	-0.178	-0.045	0.054
2-5		0.039	0.013	-0.077	-0.212	-0.321	0.96	-0.336	0.033	-0.246	-0.127	-0.015	0.024	0.052
2-6		-0.030	0.040	-0.069	-0.092	-0.091	0.96	-0.104	0.036	-0.032	0.052	0.126	0.120	0.078
3-4		-0.223	-0.148	-0.059	0.067	0.253	0.47	0.466	0.029	0.477	0.330	0.163	0.008	-0.102
3-5		-0.047	-0.053	0.023	0.107	0.154	0.47	0.142	0.036	0.083	0.046	0.059	0.059	0.033
3-6		0.081	0.103	0.070	0.002	-0.014	0.47	-0.015	0.037	-0.019	-0.008	-0.030	-0.023	0.001
4-5		-0.030	0.009	0.140	0.281	0.397	0.32	0.405	0.031	0.274	0.106	-0.026	-0.083	-0.107
4-6		0.178	0.153	0.107	0.013	-0.060	0.32	-0.092	0.036	-0.062	-0.003	0.008	0.007	-0.066
5-6		-0.020	-0.014	0.023	0.027	-0.007	0.57	0.002	0.037	-0.036	-0.026	-0.015	0.044	0.070
7-9		0.040	0.003	-0.061	-0.152	-0.205	0.63	-0.205	0.035	-0.117	-0.013	0.073	0.090	0.090
8-7		0.154	0.005	-0.186	-0.439	-0.673	0.33	-0.734	0.017	-0.554	-0.306	-0.083	0.081	0.219
8-9		0.119	0.111	0.097	0.024	-0.018	0.33	-0.035	0.037	-0.019	0.015	0.025	0.022	-0.046
10-1		0.169	0.081	-0.058	-0.238	-0.365	0.23	-0.411	0.030	-0.301	-0.133	0.030	0.102	0.104
10-3		0.042	0.005	-0.044	-0.099	-0.102	0.23	0.086	0.036	-0.004	0.035	0.063	0.036	-0.018
11-13		-0.224	-0.273	-0.196	0.051	0.415	0.50	0.861	0.010	0.393	0.003	-0.226	-0.284	-0.203
13-1		0.007	-0.007	-0.039	-0.038	-0.034	0.23	-0.025	0.037	-0.040	-0.014	-0.022	-0.034	-0.023
13-2		0.020	0.038	0.063	0.017	0.028	0.23	0.037	0.037	-0.034	-0.045	-0.038	-0.003	-0.004
13-3		-0.016	-0.006	-0.006	0.006	0.002	0.23	0.050	0.037	-0.003	0.004	0.045	0.057	0.075
13-4		-0.080	-0.013	0.030	0.102	0.103	0.23	0.061	0.037	-0.032	-0.040	0.018	0.022	0.073
13-5		0.017	-0.009	-0.024	0.026	0.111	0.23	0.225	0.035	0.088	-0.005	-0.043	-0.104	-0.097
13-6		-0.185	-0.277	-0.239	-0.031	0.363	0.23	0.832	0.011	0.435	0.093	-0.165	-0.244	-0.209
13-7		0.016	0.025	0.030	0.000	-0.041	0.23	0.038	0.037	-0.053	-0.053	-0.040	-0.022	-0.008
13-8		-0.072	-0.032	0.035	0.070	0.088	0.23	0.074	0.036	-0.009	-0.022	0.029	0.042	0.063
13-9		-0.182	-0.292	-0.249	-0.033	0.369	0.23	0.870	0.009	0.435	0.054	-0.208	-0.294	-0.246

Besonders wichtig erschien dem Verfasser die Korrelation der Erde (Gürtel 13) mit den anderen Breitengürteln, um festzustellen, mit welchem Breitengürtel die globalen Luftdruckschwankungen am besten korreliert sind, d. h. welcher Breitengürtel die Schwankungen des Globaldrucks hauptsächlich zeigt. - Dabei wurden Zeitverzögerungen berücksichtigt.

Die Luftdruckwerte an den Tagen T_i des in der Spalte KOMB der Tab. 16 und 17 zuerst stehenden Breitengürtels werden mit denen der Tage T_{i+A} des zweiten Breitengürtels korreliert.

Beispiel: In Tab. 16 steht bei der Kombination 10-13 in der Spalte $A = -5$ ein Wert von 0.468, d. h. korreliert man die Luftdruckwerte der Nordhalbkugel (Gürtel 10) mit den um 5 Tage früheren Werten der Erde (Gürtel 13) (z. B. ... 6., 7., 8., 9., 10., ... Mai der Nordhalbkugel mit dem ... 1., 2., 3., 4., 5., ... Mai der Erde), so ergibt sich eine Korrelation von +0.468. Beträgt die Zeitverschiebung $A = +4$, so ist der Korrelationskoeffizient der Kombination 10-13: +0.381.

Geht man nun bei positiv überzufälliger Korrelation von der Annahme aus, daß die Luftdruckänderung in einem Breitengürtel die Ursache der später auftretenden Änderung in einem damit korrelierten anderen Breiten-gürtel ist, so kann man sagen, da ja nie eine spätere Änderung die Ursache für eine frühere sein kann: Liegt das überzufällige Maximum (des Betrages des Korrelationskoeffizienten KK) vor der Spalte $A = 0$ ($A = -5, -4, -3, -2, -1$), so beeinflußt der zweite Breiten-gürtel (der Spalte KOMB) den ersten, liegt es dahinter, so beeinflußt der erste den zweiten Breitengürtel.

Tab. 16 zeigt die KK für das Jahr 1958 ohne Trendelimination, Tab. 17 nach der Trendelimination. Die Zufallsgrenze (0.27% Zufallswahrscheinlichkeit) liegt für 365 Tage bei ± 0.158 . In Tab. 16 und 17 sind positiv überzufällige KK durchgezogen unterstrichen, negativ überzufällige KK gestrichelt unterstrichen. Die Extrema sind dick unterstrichen, sie liegen meist bei $A = 0$.

3.6.2. Ergebnisse ohne Trendelimination

Tab. 16 zeigt: die stärksten negativen KK enthalten die Kombination (in Klammern der wahrscheinliche Fehler des KK) 2-4 mit $-0.74 (\pm 0.02)$, 8-7 mit $-0.70 (\pm 0.02)$ und 10-11 mit $-0.79 (\pm 0.01)$. Die stärksten positiven KK liegen bei 4-5 mit $0.53 (\pm 0.03)$, 13-6 mit $0.65 (\pm 0.02)$ und 13-9 mit $0.56 (\pm 0.02)$.

Wir sehen: Wenn der Luftdruck in den Breitengürteln 1, 2 und 3 steigt ($85^\circ - 20^\circ N$), fällt er bei 4, 5 und 6 ($15^\circ N - 65^\circ S$), d. h. Nordhalbkugel und Südhalbkugel mit Tropen zeigen einen inversen Gang (s. auch Abb. 31 und 32). Dasselbe Ergebnis erhalten wir bei der Betrachtung der Kombination 7-8 und 7-9. Gürtel 1, 2 und 3 sind schwach positiv miteinander korreliert. Die Südhalbkugel (Gürtel 4, 5, 6) zeigt ein homogeneres Verhalten; die positive Korrelation ist höher, besonders zwischen den Gürteln 4 und 5, also den inneren Tropen und dem südlichen Hochdruckgürtel. Änderungen des Globaldrucks sind hauptsächlich auf die Druckänderungen in der Westwindzone der Südhalbkugel zurückzuführen: hohe positive Korrelationen der Kombinationen 13-6 und 13-9.

Bei der Auswertung von Ergebnissen mit mehreren Zeitverzögerungen ist Vorsicht geboten; so kann bei einer gewissen Verzögerung A durch Zufall ein KK er-

zeugt werden, der über der angegebenen Zufallsgrenze liegt (8). Wenn man also die physikalische Ursache für den Zusammenhang nicht kennt, muß man bei der Interpretation der Korrelationskoeffizienten vorsichtig sein. Unsere oben erwähnten Ergebnisse gelten aber auch alle für $A = 0$, das bedeutet Gleichzeitigkeit, und stützen sich nicht auf nur einzelne mit unterschiedlichen Zeitverzögerungen gewonnene Werte.

Die langen Reihen der KK in Tab. 16 zeigen von $A = -5$ bis $A = +5$ durchweg Überzufälligkeit bei den Kombinationen 1-4, 1-5, 1-6, 2-3, 2-4, 2-5, 3-4, 3-5, 4-6, 5-6, 7-9, 8-7, 10-11, 10-13, 13-2, 13-3, 13-6, 13-7; bei 3-5 liegt das Extremum sogar bei $A = +5$. Es zeigt sich also ein jahreszeitlicher Trend in den Werten: Steigt im Nordherbst der Druck der Nordhalbkugel, fällt er auf der Südhalbkugel; das ergibt eine überzufällige Korrelation. Will man den jahreszeitlichen Gang entfernen und die wettermäßigen Schwankungen - das sind die durch kurzzeitige Luftdruckschwankungen bedingten Zirkulationsänderungen - erfassen, so muß man den Trend eliminieren.

3.6.3. Trendelimination

Einen Trend eliminiert man, indem man von den aktuellen Werten die geglätteten Werte abzieht (Hochpaßfilter): Die Glättung kann erfolgen: 1.) durch überlappende Mittelung: alle Werte haben gleiches Gewicht. 2.) Besser ist die gewichtete überlappende Mittelung, wo der Zentralwert das höchste Gewicht erhält. Das Amplitudenverhältnis (engl. frequency response) ist das Verhältnis der Amplituden einer Oszillation vor und nach der Filterung. Dieses ist frequenzabhängig.

Bei 1.) ist es $R(f) = \frac{\sin(\pi f T)}{\pi \cdot f \cdot T}$; T : Mittelungsintervall:

f : Schwingungen pro Zeiteinheit. - Für gewisse Frequenzen ist der Sinus und damit $R(f)$ negativ, d. h. Maxima erscheinen als Minima und umgekehrt. Dies vermeidet man durch gewichtete überlappende Mit-



lung mit Wichtung nach der Binomialverteilung oder der Normalverteilung. Bei großer Anzahl von Einzelwerten ist die Normalverteilung vorzuziehen. Das Amplitudenverhältnis für die Normalverteilung ist $R_{Nv}(f) = e^{-2\pi^2 \sigma^2 f^2}$ mit σ = mittl. Fehler (Standardabweichung).

Hier wurde die Glättung mittels überlappender Mittelung mit Wichtung nach der Normalverteilung durchgeführt. - Die mit den Abweichungen erhaltenen Korrelationskoeffizienten für das Jahr 1958 sind in Tab. 17 festgehalten.

3.6.4. Ergebnisse nach Trendelimination

Außer für das Jahr 1958 wurden für die Zeiträume

Sept. - Nov.	1957:	Nordherbst
Dez. 1957 - Febr.	1958:	Nordwinter
März - Mai	1958:	Nordfrühling
Juni - August	1958:	Nordsommer
Sept. - Nov.	1958:	Nordherbst
Juli - Dezember	1957:	2. Halbjahr 1957
Januar - Juni	1958:	1. Halbjahr 1958
Juli - Dezember	1958:	2. Halbjahr 1958
Nov. 1957 - Mai	1958:	Nordwinter
Mai - Oktober	1958:	Nordsommer

alle KK gebildet, um jahreszeitliche Änderungen zu erfassen.

Tab. 17 zeigt uns, daß die extremen KK meist bei $A = 0$ liegen, daß sich also die Luftdruckänderungen in den miteinander korrelierten Breitengürteln gleichzeitig abspielten und überzufällig miteinander in Beziehung stehen. - Überzufällig negativ miteinander korreliert sind für $A = 0$ die Breitengürtel 1-3, 1-4, 1-5, 2-3, 2-4, 2-5, 7-8, 10-11, d. h. der Luftdruck von $40^\circ-90^\circ\text{N}$ (Gürtel 1 und 2) hat einen inversen Gang zum Luftdruck von $35^\circ\text{N}-35^\circ\text{S}$ (Gürtel 3, 4 und 5), insbesondere invers zum Luftdruckgang zwischen 15°N und 15°S (Gürtel 4). Zusammengefaßt wird dieses Ergebnis in der Kombination 7-8: Nördliche Außertropen und Tropen haben einen inversen Luftdruckgang. Diese Inversität ist deutlicher ausgeprägt als die zwischen Nord- und Südhalbkugel (10-11).

Überzufällige positive Korrelation tritt bei den Kombinationen 4-3, 4-5 und 13-6, 13-9, 13-11 auf. Dies besagt, daß innere und äußere Tropen luftdruckmäßig zusammengehören, also gleichsinnige Luftdruckänderungen vorherrschen.

Die sehr hohe positive Korrelation der Erde mit der südhemisphärischen Westwindzone (Gürtel 6), mit den südlichen Außertropen (Gürtel 9) und mit der Südhalbkugel, sowie die Tatsache, daß zu keinen anderen Breitengürteln überzufällige KK existieren, läßt den Schluß zu, daß kurzzeitige Änderungen des Globaldrucks fast ausschließlich Luftdruckschwankungen der Südhalbkugel, speziell der südhemisphärischen Außertropen, sind.

Anschaulich wird dies beim Betrachten der Abb. 42.

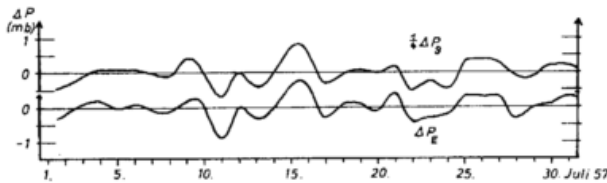


Abb. 42

Druckänderungen. Oben: $\frac{1}{4}$ der täglichen Druckänderung des Breitengürtels $30^\circ-70^\circ\text{S}$; unten: tägliche globale Druckänderung. (Die Indexziffer 9 in der Abbildung ist durch 7 zu ersetzen)

Der Breitengürtel 7 stellt $\frac{1}{4}$ der Erdoberfläche dar. Die obere Kurve zeigt $\frac{1}{4}$ der täglichen Luftdruckänderung im Breitengürtel 7, die untere Kurve die tägliche globale Luftdruckänderung (beide allerdings ohne Trendelimination) für den Juli 1957. Der KK beträgt $+0.91$; beide Kurven sind nach Betrag und Vorzeichen fast identisch. Für das gesamte IGJ ergibt sich zwischen beiden Kurven ein KK von 0.84.

Die Tropen sind nicht mit dem Luftdruck der außertropischen Südhalbkugel korreliert (Komb. 6-3, 6-4, 6-5, 8-9 in Tab. 17).

Die oben gefundenen Tatsachen sagen aus:

Bezüglich kurzzeitiger wetterhafter Luftdruckänderungen bilden Tropen und Nordhalbkugel ein zusammenhängendes System. Der südhemisphärische Hochdruckgürtel erscheint als Sperre. - Größere Wetteraktivität in den Tropen, d. h. Luftdruckfall geht einher mit Luftdruckanstieg auf der außertropischen Nordhalbkugel; die außertropische Südhalbkugel bleibt davon unberührt. Luftdruckänderungen in den Tropen und nördlichen Außertropen gleichen sich gegenseitig aus, der Globaldruck wird hiervon nicht beeinflusst. Kurzfristige Änderungen des Druckes in den südlichen Außertropen zeigen sich voll im Globaldruck.

Ähnliche Ergebnisse wie für das Jahr 1958 lassen sich auffinden, wenn man die Jahreszeiten getrennt voneinander betrachtet (Tab. 18). - Für das Jahr 1958 liegt der wahrscheinliche Fehler des KK bei den Kombinationen 11-13, 13-6 und 13-9 bei ± 0.01 , sonst bei ± 0.05 ; für den Nordwinter (November 1957 - Mai 1958) liegt er für die Kombination 8-7 bei ± 0.02 , für 2-4, 4-5, 10-11, 13-6, 13-9 bei ± 0.03 , sonst bei ± 0.04 bis ± 0.05 ; im Nordsommer (Mai - Oktober 1958) beträgt er ± 0.1 für die Kombinationen 13-6, 13-9, 13-11, ± 0.02 für 2-4 und 8-7, sonst zwischen ± 0.03 und 0.04.

Im Winter sind die Korrelationen besser als im Sommer. Im Südwinter, wenn die Druckschwankungen der Südhalbkugel stärker sind als im Südsommer, erreichen die KK so hohe Werte (z. B. Komb. 11-13: Südhalbkugel-Erde), daß fast die Linearität erreicht ist! Eine Aufteilung in Vierteljahre erbringt keine neuen Aspekte.

3.6.5. Partielle Korrelationskoeffizienten

Den partiellen KK zwischen x und y unter Konstanthaltung von v berechnet man nach

$$r_{xy \cdot v} = \frac{r_{xy} - r_{xv} \cdot r_{yv}}{\sqrt{(1 - r_{xv}^2)(1 - r_{yv}^2)}}$$

Hinter dem Punkt steht das konstant gehaltene Glied.

Zur Überprüfung der Qualität der KK der Kombination 10-11, 10-13, 11-13 kann es dienen, wenn man zwischen diesen partielle KK bildet, d. h. ein Gebiet ausschaltet, indem man den Luftdruck dort konstant hält. In diesem Falle müssen bei der eben erwähnten Einteilung die partiellen KK den Wert 1 bzw. bei Komb. 10-11 den Wert -1 erreichen, weil bei einer Korrelation des Nordhalbkugeldrucks mit dem Südhalbkugeldruck bei konstantem Globaldruck der Korrelationskoeffizient -1 werden muß. Die folgenden partiellen KK sind mittels einer graphischen Darstellung in (5) gefunden worden. Die Zahlenwerte für r_{10-11} , r_{10-13} und r_{11-13} wurden aus Tab. 17 für $A = 0$ genommen. Man erhält:

$$r_{10-11 \cdot 13} = -0.97, \quad r_{10-13 \cdot 11} = -0.98, \quad r_{11-13 \cdot 10} = -0.99.$$

Dies Ergebnis bestätigt die Güte der Korrelationskoeffizienten der Tab. 17.

Da die Globaldruckschwankungen, wie bereits erwähnt, nur abhängig von den südlichen Außertropen sind, darf eine Konstanthaltung des tropischen oder des nördlichen außertropischen Drucks den KK zwischen Erde und außertropischer Südhalbkugel nicht wesentlich verändern: $r_{13-9} = 0.87$, $r_{13-9 \cdot 7} = 0.90$, $r_{13-9 \cdot 8} = 0.87$. Dies ist auch nicht der Fall.

Wegen der luftdruckmäßigen Abgeschlossenheit der südlichen Außertropen darf sich auch bei Konstanthaltung dieses Gürtels die Korrelation Tropen - außertropische Nordhalbkugel nicht wesentlich ändern. Auch dies ist erfüllt. $r_{7-8} = -0.73$, $r_{7-8 \cdot 9} = -0.76$.

Es besteht eine signifikant negative Korrelation zwischen dem Luftdruckgang der inneren Tropen und dem der nördlichen Westwindzone: $r_{2-4} = 0.59$ (Tab. 17). Hält

Tab. 18
 Korrelationskoeffizienten des Lufrucks der Breitengürtel für $A = 0$, Trend eliminiert.
 (0.16): Zufallsgrenze (0.27% Zufallswahrscheinlichkeit)
 Kursiv: überzufällige KK ; halbfett: Betrag des $KK \geq 0.5$;
 halbfett unterstrichen: Betrag des $KK \geq 0.8$.

Komb.	Jahr 1958 (0.16)		Nov. 57 - Mai 58 = Nordwinter (0.24)		Mai - Okt. 58 = Nordsummer (0.24)		Jahr 1958 (0.16)		Nov. 57 - Mai 58 = Nordwinter (0.24)		Mai - Okt. 58 = Nordsummer (0.24)	
1-2	-0.05	0.03	-0.25				7-9	-0.21	-0.29			-0.24
1-3	-0.43	-0.39	-0.41				8-7	-0.73	-0.82			-0.38
1-4	-0.36	-0.39	-0.23				8-9	-0.04	0.03			-0.19
1-5	-0.24	-0.37	-0.01				10-11	-0.41	-0.61			-0.34
1-6	-0.08	-0.18	-0.18				10-13	0.09	0.29			-0.06
2-3	-0.44	-0.52	-0.32				11-13	0.86	0.56			0.95
2-4	-0.59	-0.69	-0.31									
2-5	-0.34	-0.46	-0.16									
2-6	-0.10	-0.04	-0.06									
3-4	0.47	0.42	0.51									
3-5	0.14	0.30	-0.08									
3-6	-0.02	-0.07	-0.07									
4-5	0.41	0.65	0.14									
4-6	-0.09	-0.07	-0.17									
5-6	0.00	-0.07	-0.03									
							13-1	-0.03	0.04			-0.17
							13-2	0.04	0.24			0.02
							13-3	0.05	-0.05			0.03
							13-4	0.06	-0.05			0.08
							13-5	0.23	0.14			0.23
							13-6	0.83	0.65			0.87
							13-7	0.04	0.23			-0.09
							13-8	0.07	-0.05			0.10
							13-9	0.87	0.66			0.91

man den Druck im dazwischenliegenden nördlichen subtropischen Hochdruckgürtel konstant, so nimmt die partielle Korrelation zwischen den Gürteln 2 und 4 den Wert $r_{2-4} = -0.47$ an, d. h.: Der Luftdruck des nördlichen subtropischen Hochdruckgürtels ist ein wesentliches Bindeglied zwischen dem Innertropendruck und dem der nördlichen Westwindzone, bei dessen Ausschaltung die Korrelation schlechter wird.

4. Zoneneinteilung und Ermittlung von Monsunaleffekten

4.1. Zonen

4.1.1. Einteilung der Erde in Zonen

Die Zonen sind in Abb. 43 dargestellt. Die Einteilung der Zonengürtel wurde gemäß den Luftdruckgürteln der Abb. 1, die Unterteilung der Zonengürtel in die einzelnen Zonen nach der Verteilung von Land und Wasser durchgeführt.

Die Nordpolarkalotte geht vom Nordpol bis $70^{\circ}N$ einschließlich; sie umfaßt das Gebiet des nordpolaren Hochs. Ihr Flächenanteil beträgt 3.8% der Gesamtoberfläche. Die in ihr auftretenden Werte des Luftdrucks sind schon in Kap. 3 bei den Breitengürtelwerten dargestellt.

Der Zonengürtel 1 reicht von $65^{\circ}N-35^{\circ}N$. Er umfaßt das Gebiet der nördlichen subpolaren Tiefdruckrinne und der Westwindzone der Nordhalbkugel bis zur Achse des subtropischen Hochdruckgürtels, hat eine Breite von 35 Breitengraden = 3 385 km und wurde in 6 gleiche Zonen unterteilt. Bezeichnung: 1. Ziffer-Zonengürtel, 2. Ziffer-Zone. Jede Zone umfaßt 3.2% der Erdoberfläche.

Der Zonengürtel 2 reicht von $30^{\circ}N$ bis $5^{\circ}N$. Er umfaßt das nördliche Passatgebiet vom subtropischen Hochdruckgürtel bis zur äquatorialen Rinne einschließlich (Jahresmittel 1958) und wurde in 12 gleichgroße Zonen eingeteilt.

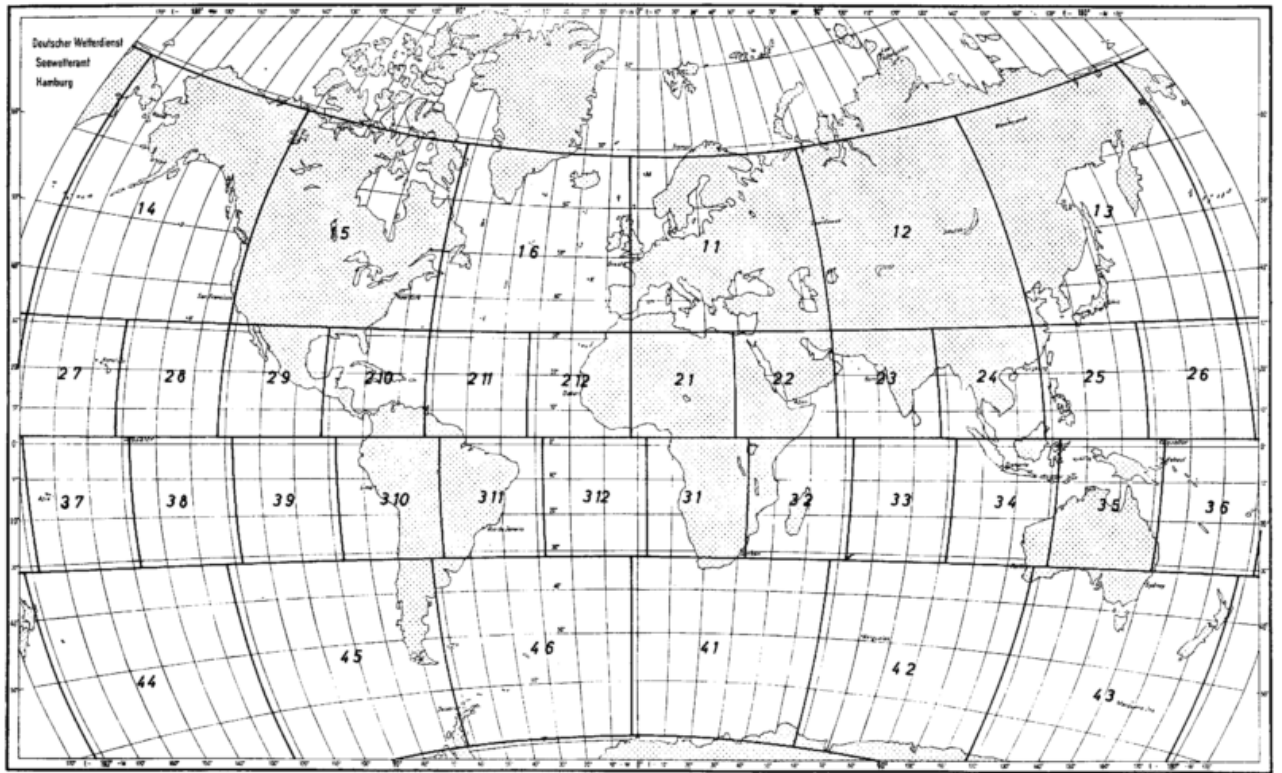


Abb. 43
Die Einteilung der Erde in Zonen

Der *Zonengürtel 3* umfaßt das südliche Passatgebiet vom Äquator bis 30°S. Eine Zone des Zonengürtels 2 umfaßt 2.1‰, eine des Gürtels 3 2.4‰ der Erdoberfläche.

Der *Zonengürtel 4* reicht von 35° - 65°S; er umfaßt somit die südhemisphärische Westwindzone und hat 6 gleichgroße Zonen. Jede Zone umfaßt 3.2‰ der Erdoberfläche.

Die Antarktis von 70° - 90°S ist schon bei der Behandlung der Breitengürtelwerte (MMS-Daten) erwähnt worden. IGJ-Daten liegen hierfür nicht vor.

4.1.2. Druckvariation der Zonen

Die Unruhe des Luftdrucks, dargestellt durch die Variation, ist in den Zonen der beiden Westwindgebiete mehr als doppelt so hoch wie in den Tropenzone (Abb. 44-47). In den Zonen des Gürtels 1 (nördliche Westwindzone, Abb. 44) hat sie einen ausgeprägten Jahresgang mit Maximum im Winter und Minimum im Sommer; in der südlichen Westwindzone (Gürtel 4, Abb. 47) ist der Jahresgang nicht so ausgeprägt; hier ist der Luftdruckgang allzeit unruhig, daher hat auch der Gürtel 4 mit 4.3 mb (Jahresmittel 1958) eine höhere Jahresmittelvariation als Gürtel 1 mit 3.6 mb; in den Tropenzone liegt sie bei 1.5 mb (dicke Kurven in Abb. 44-47). In den Tropen ist in den meisten Zonen kein Jahresgang der Variation erkennbar.

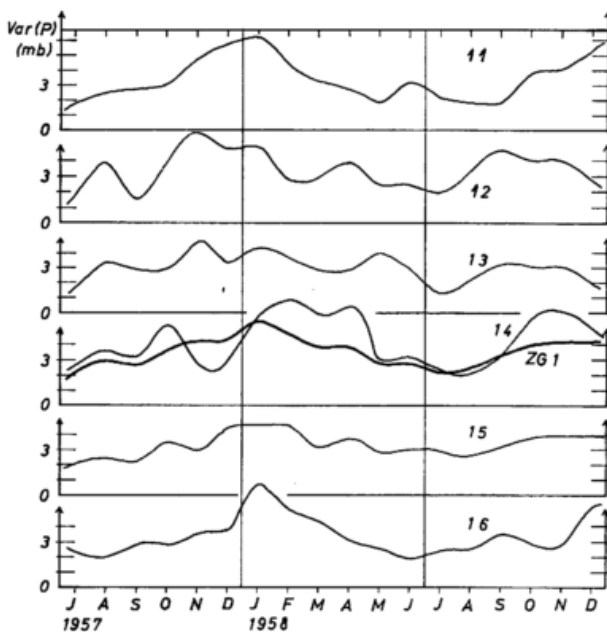


Abb. 44

Variation des Luftdrucks der Zonen 1-16 (s. Abb. 43) in den Monaten des IGJ. ZG: Zonengürtelmittel

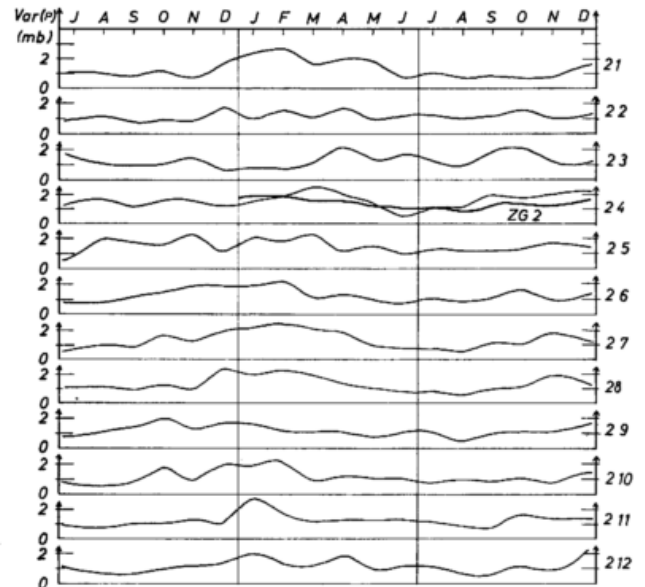


Abb. 45

Variation des Luftdrucks der Zonen 2-212 (s. Abb. 43) in den Monaten des IGJ. ZG: Zonengürtelmittel

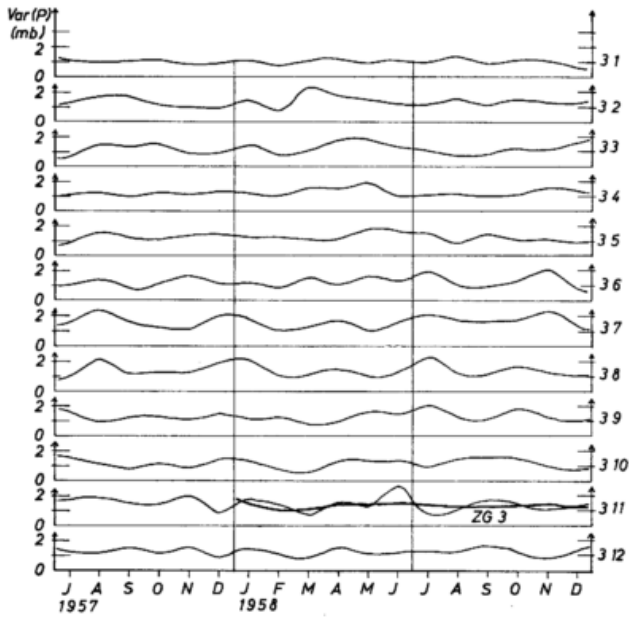


Abb. 46

Variation des Luftdrucks der Zonen 3 1-3 12 (s. Abb. 43) in den Monaten des IGJ. ZG: Zonengürtelmittel

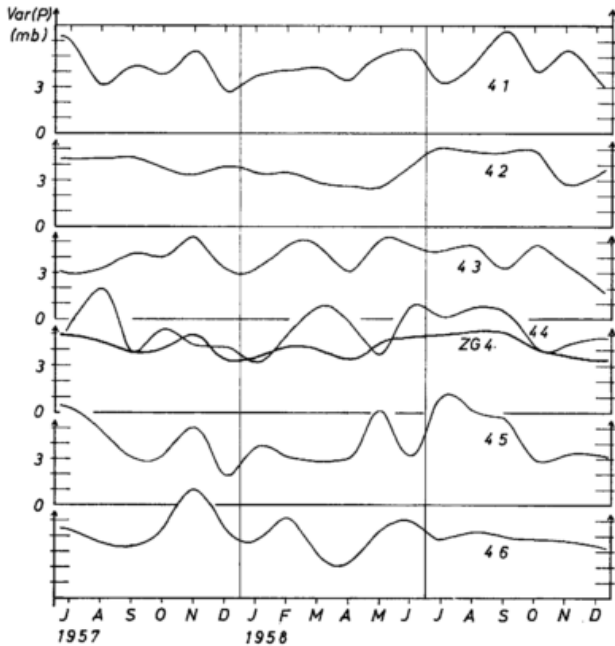


Abb. 47

Variation des Luftdrucks der Zonen 4 1-4 6 (s. Abb. 43) in den Monaten des IGJ. ZG: Zonengürtelmittel

4.1.3. Jahresgang des Luftdrucks

Nun vergleichen wir den Jahresgang des Luftdrucks in den einzelnen Zonen.

In den nördlichen gemäßigten Breiten (65°N-35°N) haben die kontinentalen Zonen im Winter einen höheren Luftdruck als im Sommer, die maritimen Zonen weisen im Winter einen niedrigeren Druck auf als im Sommer (Abb. 48). Den stärksten Jahresgang hat die Zone 1 2; so beträgt das Monatsmittel des Januar 1958 1030.6 mb, das Monatsmittel des Juli 1958 1002.0 mb (IGJ-Werte), eine Differenz von 28.6 mb! - Bescheiden wirken dagegen die Jahresgänge der anderen Zonen: 1 5 bringt es auf 7.5 mb, 1 4 auf 17.2 mb (Juli 1957 - Januar 1958).

Um die Unterschiede zwischen einer kontinentalen und einer maritimen Zone des Gürtels 1 herauszustellen und zugleich die Unterschiede zwischen den einzelnen

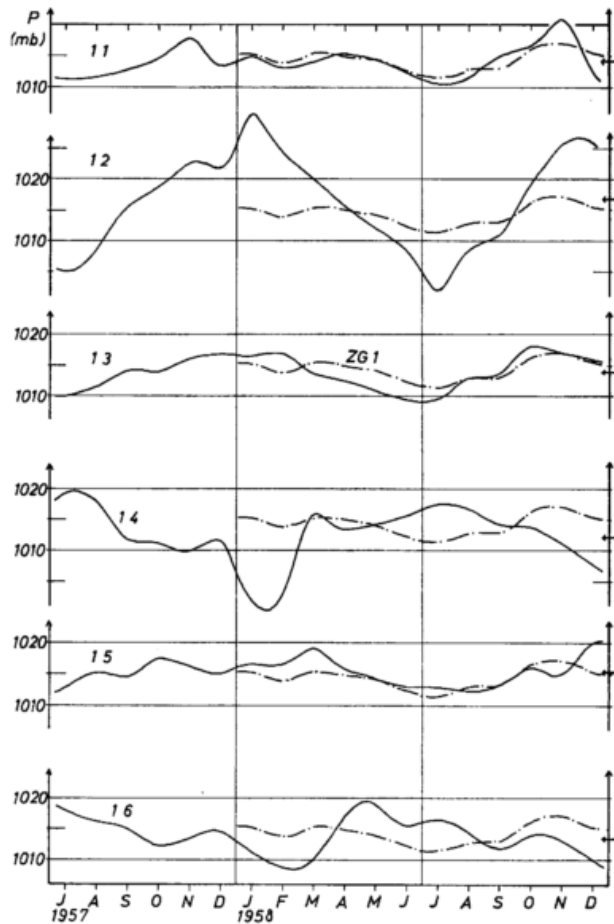


Abb. 48

Luftdruck-Monatsmittel der Zonen 1 1-1 6 (s. Abb. 43) im IGJ. ZG: Zonengürtelmittel.

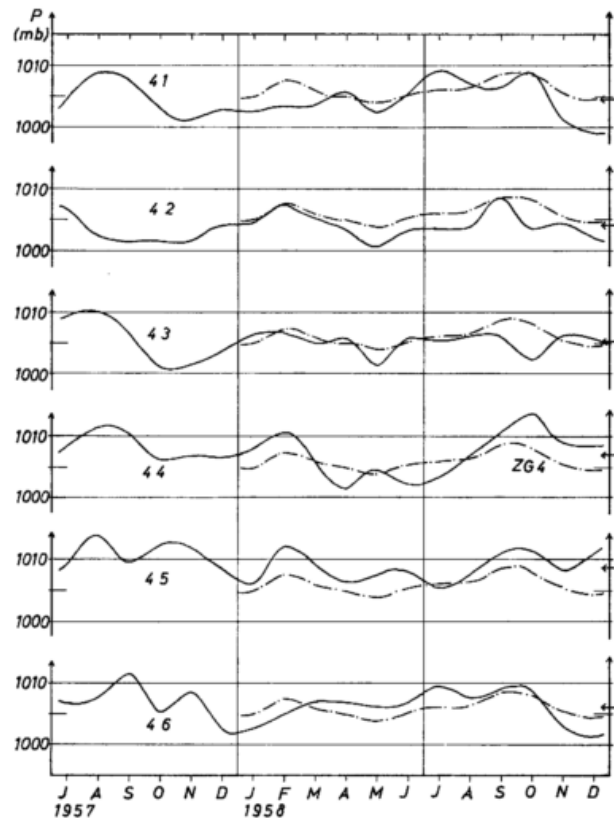


Abb. 49

Luftdruck-Monatsmittel der Zonen 1 1-1 6 (s. Abb. 43) im IGJ. ZG: Zonengürtelmittel.

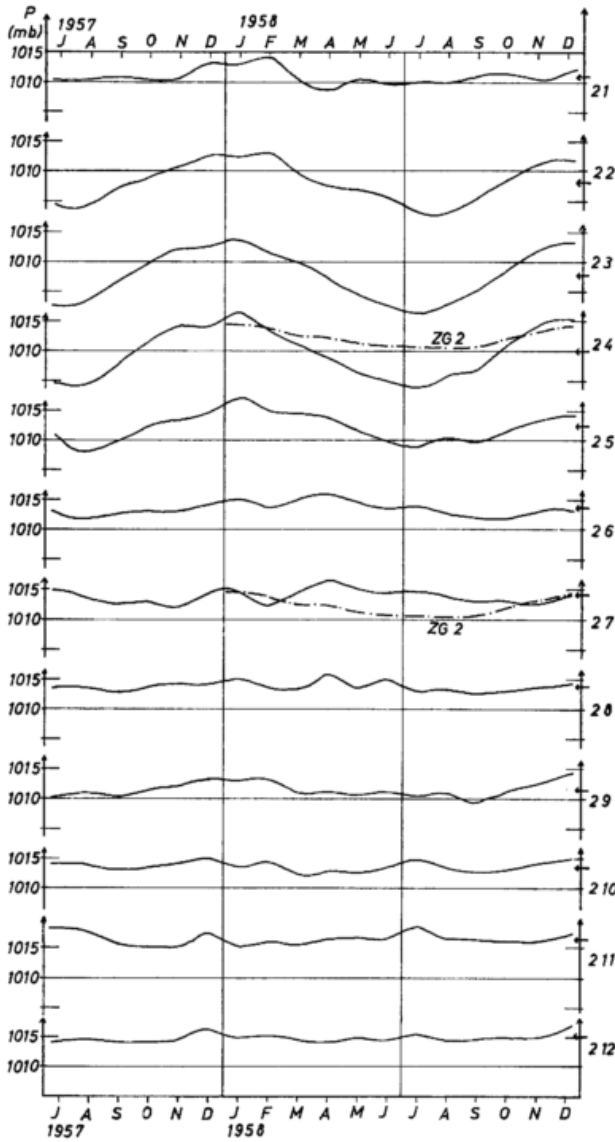


Abb. 50

Luftdruck-Monatsmittel der Zonen 2 1—2 12 (s. Abb. 43) im IGJ. ZG: Zonengürtelmittel.

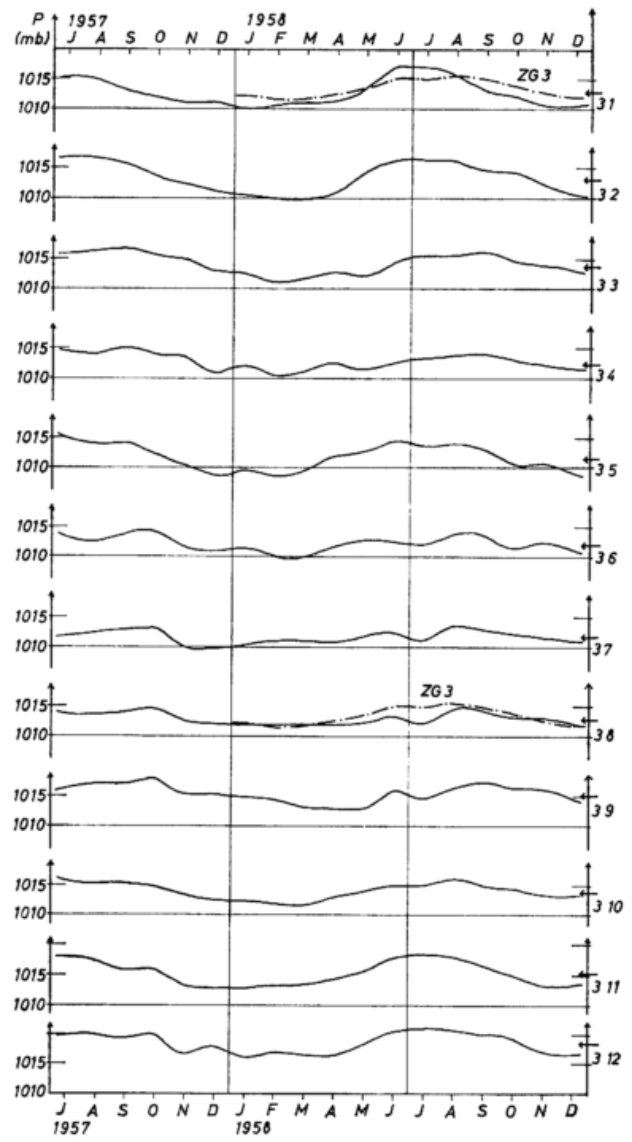


Abb. 51

Luftdruck-Monatsmittel der Zonen 3 1—3 12 (s. Abb. 43) im IGJ. ZG: Zonengürtelmittel.

Jahren aufzuzeigen, wurden aus den MMS-Werten die Abb. 52 und 56 angefertigt.

Mittelt man die Monatsmittelwerte aller Zonen des Zonengürtels, so erhält man die Zonengürtelmonatsmittel, die in Abb. 48 strichpunktiert dargestellt sind. Die Abweichungen der einzelnen Kurven von dieser strichpunktierten Kurve stellen in etwa den Monsunaleffekt dar, wenn man davon ausgeht, daß die strichpunktierte Kurve keine Monunaleffekte mehr enthält.

Wir sehen: Zone 1 1 (Europa) hat kaum jahreszeitlich bedingte monsunale Effekte, wohl aber unregelmäßige wetterhafte, wie sie die Monate November und Dezember 1958 zeigen. — Zone 1 2 (Zentralasien) weist stark positive Abweichungen im Winter, negative im Sommer auf. — Zone 1 3 (Ostasien) stellt den Übergang vom Kontinent zum Ozean dar. Der Jahresluftdruck liegt schon etwas unter dem Mittel des Zonengürtels 1 (maritimer Effekt). Eine negative Abweichung herrscht im Frühling und Frühsommer und eine positive im Herbst und Winter, hier herrscht also noch etwas stärker der Einfluß des Kontinents vor. — Zone 1 4 (Nordpazifik) ist eine maritime Zone mit negativer Abweichung im Winter, positiver im Sommer, wobei das starke Minimum im Januar/Februar 1958 wettermäßig bedingt ist. — Zone

1 5 (Nordamerika) ist auch monsunale als kontinental zu erkennen, wenn auch sein Effekt längst nicht so stark ist wie der Zentralasiens. — Zone 1 6 (Nordatlantik) verhält sich wie 1 4 nur ohne das Minimum Anfang 1958.

In der maritimen südlichen Westwindzone (Gürtel 4) ist aus den Daten des IGJ (Abb. 49) weder ein Jahresgang noch ein Halbjahresgang zu erkennen. In den gleichen Monaten zweier verschiedener Jahre herrscht oft ein ganz unterschiedlicher Luftdruck.

Beispiele:

Zone 4 1 :	Oktober 1957 : 1003.2 mb
	Oktober 1958 : 1008.8 mb
Zone 4 2 :	September 1957 : 1001.5 mb
	September 1958 : 1007.9 mb
Zone 4 4 :	Oktober 1957 : 1006.3 mb
	Oktober 1958 : 1013.5 mb.

In den Zonen des Gürtels 4 (Abb. 53) dominieren kurzzeitige und unregelmäßige Druckschwankungen. Erst im 6-Jahresmittel zeigt sich ein Halbjahresgang mit Maxima zu den Äquinoktien, Minima zu den Solstitien und ein schwacher Jahresgang mit Maximum im Winter, Minimum im Sommer (Abb. 55).

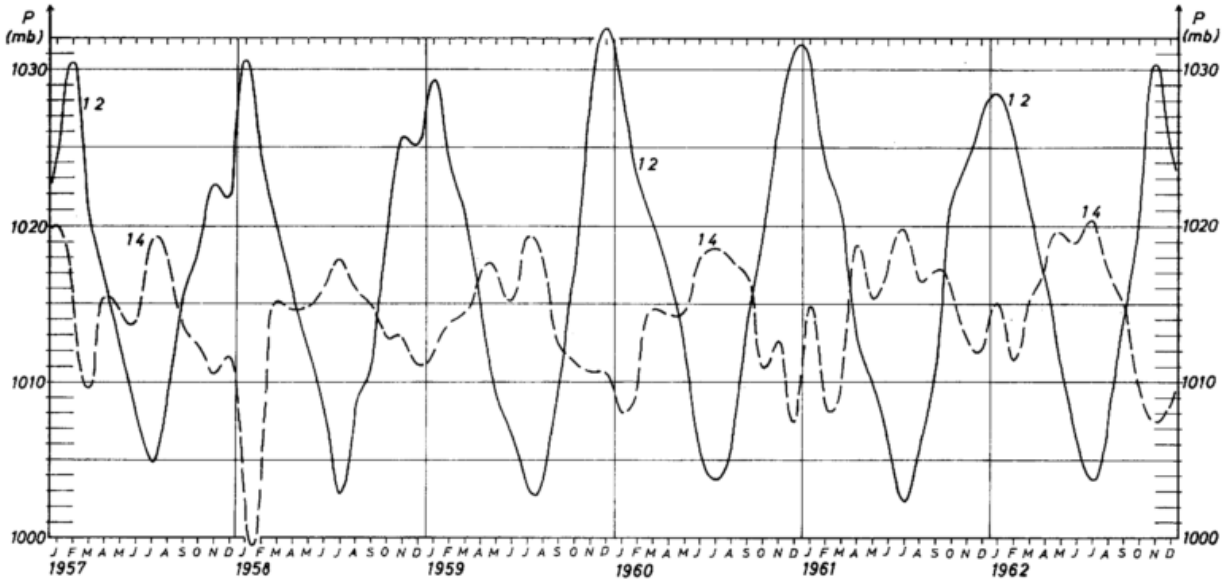


Abb. 52
Druckgang in den Jahren 1957-1962 in ausgewählten Zonen.
(s. Abb. 43)

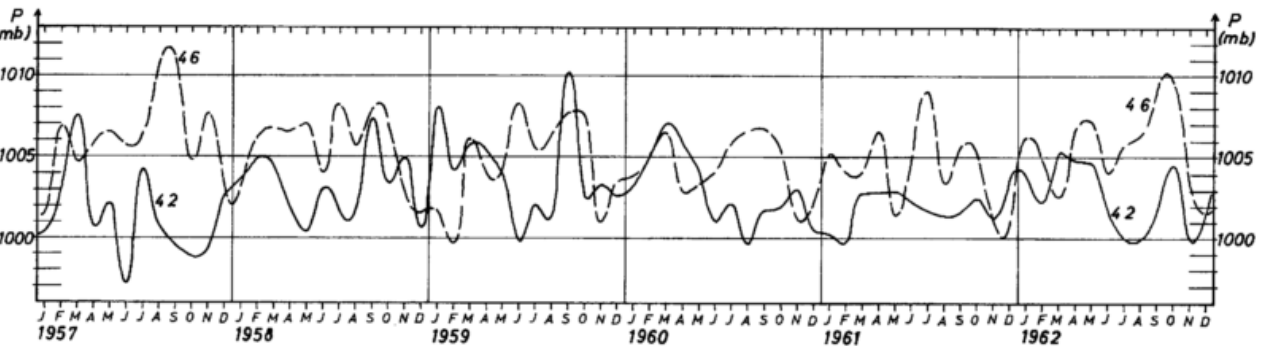
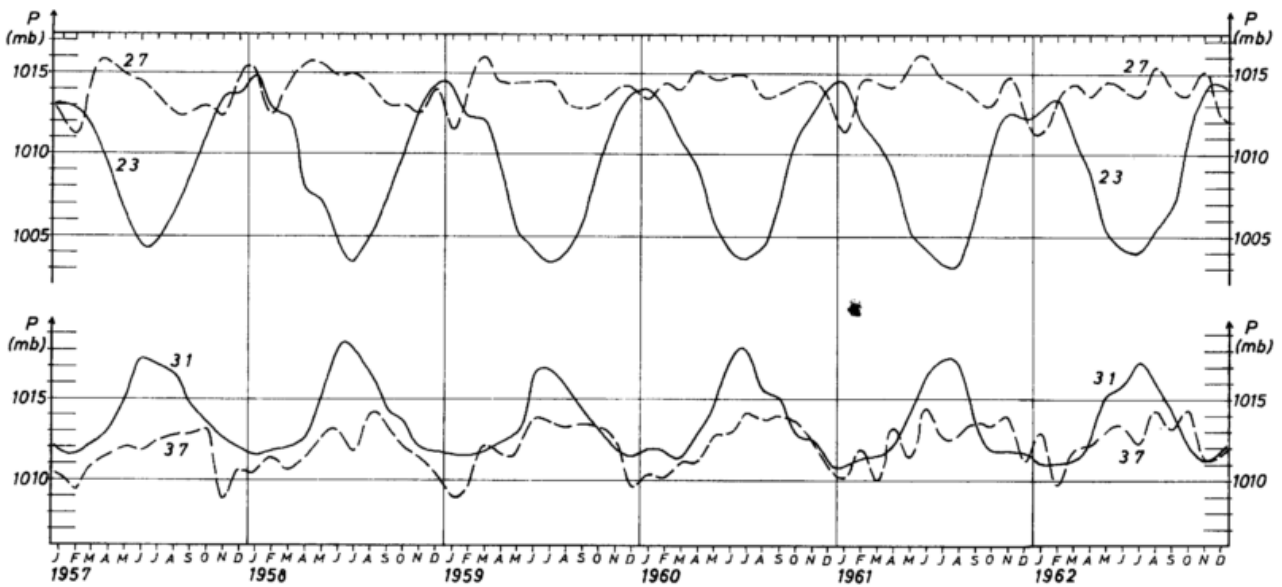


Abb. 53
Druckgang in den Jahren 1957-1962 in ausgewählten Zonen.
(s. Abb. 43)

Abb. 54
Druckgang in den Jahren 1957-1962 in ausgewählten Zonen.
(s. Abb. 43)

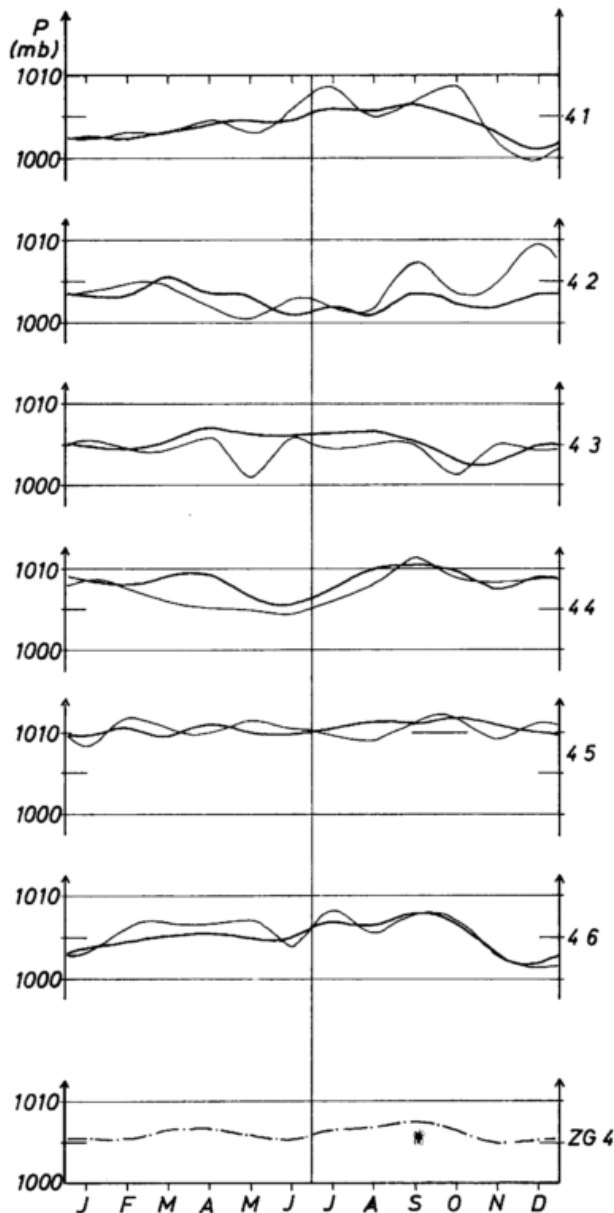


Abb. 55
Luftdruckmittel 1957-62 des Zonengürtels 4

In den Nordtropen (Zonengürtel 2, Abb. 50) herrscht in den kontinentalen Zonen oder Zonen, die am Süd- und Südostrand Asiens liegen, ein Jahresgang mit einem Maximum im Winter und einem Minimum im Sommer; die rein maritimen Zonen haben keinen Jahresgang oder das Maximum im Sommer.

In den Südtropen (Zonengürtel 3, Abb. 51) haben alle Zonen das Maximum im Winter; am stärksten ist dieser Jahresgang in den kontinentalen Zonen ausgeprägt. Der Jahresgang ist in den Nordtropenzonen größer als in den Südtropenzonen; insgesamt haben beide Tropenzonengürtel Maxima im Winter, Minima im Sommer (strichpunktierte Kurve der Abb. 50, 51).

Der Unterschied zwischen kontinentalen und maritimen Tropenzonen wird in Abb. 54 deutlich (kontinentale Zone durchgezogen, maritime gestrichelt).

Es taucht die Frage auf, woher die Luftmassen kommen, die den Druckanstieg vom Sommer bis Winter über Asien (besonders Zone 1 2) bewirken.

Sie stammen nicht aus dem Nordpolargebiet, denn hier findet selbst ein kräftiger Luftdruckanstieg statt. Da in diesem Gebiet die Verdunstung gering ist, muß

also auch hier Luftmasse zugeführt worden sein. Im gesamten Zonengürtel 1 steigt der Luftdruck vom Sommer zum Winter 1958 um etwa 5 mb (Juni 1958: 1012.3 mb, November 1958: 1017.1 mb). Im mehrjährigen Mittel steigt der NN-Druck im Zonengürtel 1 vom Juni bis zum November um 3.6 mb an (10), während der physische Druck um 1.2 mb, das ist ein Drittel, steigt. Legt man diese Zahl zugrunde, so ergibt sich für den Anstieg des physischen Drucks vom Sommer 1958 zum Winter 1958/59 ein Wert von 1.6 mb. Um diesen Anstieg zu verursachen, muß entweder Wasser in den maritimen Zonen des Gürtels 1 verdunstet sein und / oder Luftmassen aus dem südlich davon liegenden Zonengürtel 2 zugeführt worden sein. 1. Möglichkeit: Erklärung des Luftdruckanstiegs durch verstärkte Verdunstung im Zonengürtel 1: Das Verhältnis von Land zu Wasser beträgt in diesem Zonengürtel etwa 7:5, d. h. 41% sind wasserbedeckt. Es müßte also über den Meeren soviel Wasser zusätzlich verdampft werden, daß sich über diesen ein Druck von 4 mb ergäbe, das wären 40 mm Wasser. Diese Menge müßte in den Meeresgebieten des Gürtels 1 mehr verdampfen als im Zonengürtel 1 an Niederschlag fällt, um den Luftdruckanstieg vom Sommer zum Winter zu erklären, d. h. im Winter müßte sich im Zonengürtel 1 etwa 16 mm mehr Wasser in der Atmosphäre befinden als im Sommer. Das ist aber unwahrscheinlich, da im Winter die Temperatur niedriger ist als im Sommer. Daher muß die Luftdruckzunahme (hauptsächlich über Asien) durch Luftzufuhr durch die südliche Grenze des Zonengürtels 1 erfolgen (Möglichkeit 2).

Gleichzeitig mit dem asiatischen Druckanstieg im Herbst steigt auch der Druck in den Nordtropen (Abb. 50, strichpunktierte Kurve). Das heißt, daß die Luftmassen, die sich auf der Nordhalbkugel speziell über Asien im Winter ansammeln, größtenteils von der Südhalbkugel stammen, und zwar aus dem südhemisphärischen subtropischen Hochdruckgürtel, da dieser als einziges Luftdruckgebilde der Südhalbkugel eine große Fläche und einen regelmäßigen Jahresgang aufweist. Der andere Teil des Druckanstiegs im Zonengürtel 1, der mit dem Steigen des Globaldrucks einhergeht, wird durch Änderung der Menge des Wasserdampfes in der Atmosphäre hervorgerufen (Beispiel: September/Oktober 1958).

4.1.4. Jahresmittel der Zonen

Die Jahresmittel der Zonen (Abb. 56) schwanken von Jahr zu Jahr mit ca. 1-2 mb im Gürtel 1 etwas stärker als in den Tropen mit $\frac{1}{2}$ bis $1\frac{1}{2}$ mb; etwa doppelt so groß sind die Schwankungen im Zonengürtel 4.

Das Jahresmittel liegt in den kontinentalen Zonen höher als in den maritimen (Abb. 57). So heben sich deutlich die Kontinente Asien (1 2) und Amerika (1 5) heraus. Ein Teil dieses Ganges ist temperaturbedingt, weil der Druck der kontinentalen Stationen im Winter mit einer fiktiven kalten Luftschicht auf Seehöhe reduziert wurde. Der Unterschied des Jahresmittels 1958 zwischen den Zonen 1 2 und 1 4 beträgt 4.5 mb. Weitaus stärker als der jahreszeitliche Gang ist in den Tropen der Druckunterschied der Zonen untereinander im Jahresmittel (Abb. 57). Wir sehen im Gegensatz zu den gemäßigten Breiten: In den Tropen haben kontinentale und kontinental-maritime Zonen einen tieferen Luftdruck als die rein maritimen. So beträgt z. B. der Unterschied zwischen den Zonen 2 3 (Indien) und 2 11 (Atlantik) im Jahresmittel 1958 (IGJ-Werte) 8.6 mb! Auch in den Südtropen sind die Jahresmittel sehr unterschiedlich: Zone 35 (Australien) hat 1011.4 mb, Zone 3 12 (trop. Südatlantik) 1017.4 mb, eine Differenz von 6.0 mb (Abb. 57).

Nun fällt auf, daß der Atlantik in den Tropen den höchsten Luftdruck aufweist; er ist viel höher als über dem tropischen Pazifik. Beispiel: Luftdruckdifferenz

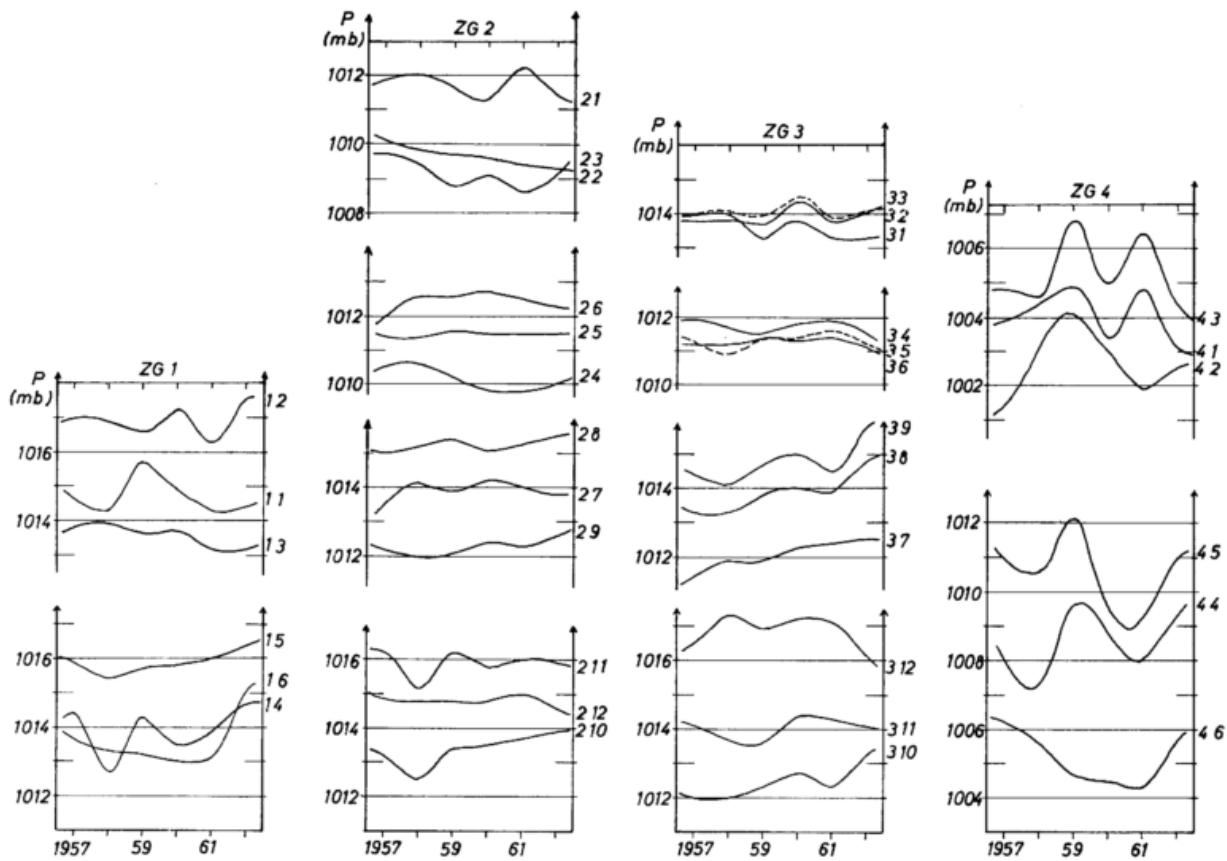


Abb. 56
Luftdruck-Jahresmittel der Jahre 1957-62 der Zonen

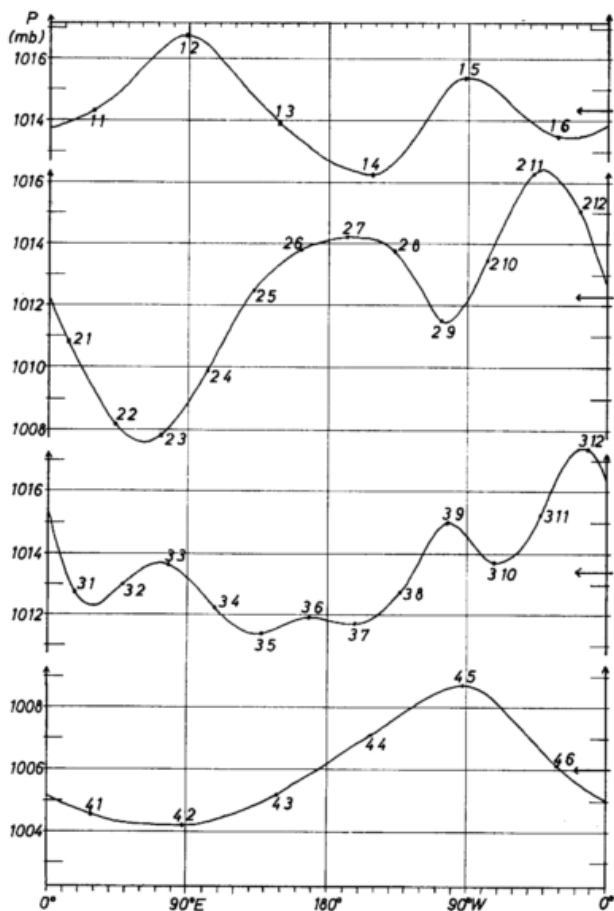


Abb. 57
Luftdruck-Jahresmittel der einzelnen Zonen 1958 (IGJ-Werte)
Pfeile am rechten Abbildungsrand: Zonengürtelmittel

der Zonen 2 11 - 2 7: 2.1 mb, Differenz der Zonen 3 12 - 3 9: 2.4 mb (nach Abb. 57).

Insgesamt herrscht in den Tropen über der Westhalbkugel ein höherer Druck als über der Osthalbkugel (s. Tab. 19).

Eine Erklärung für diese unterschiedliche Druckverteilung, insbesondere für den außergewöhnlich hohen Luftdruck im tropischen Atlantik (Zonen 2 11 und 3 12) wird in der Verteilung von Land und Meer in diesen Breiten vermutet.

Man könnte annehmen, daß alle Zonen des Gürtels 4 den gleichen Jahresmitteldruck haben müßten, weil alle Zonen maritim sind. Das ist aber nicht der Fall. Die Abb. 57 belehrt uns, daß die Zone 4 5 den höchsten Jahresmitteldruck hat, Zone 4 2 den niedrigsten. Die Differenz beträgt im IGJ 4.5 mb. Auch hier wie in den Zonengürteln 2 und 3 hat die Westhalbkugel einen höheren Luftdruck als die Osthalbkugel. - Ein Blick auf die Karte (Abb. 43) zeigt uns, daß sich am Ostrande der Zone 4 5 auf 70°W die Anden bis 55°S, auf 65°W das Graham Land bis auf 63°S vorschieben, daß also bis auf einen schmalen Spalt von 8° Breite die Westwinde der unteren Schichten abgeriegelt werden. Durch den Stau vor einem Gebirge entsteht ein Hochdruckgebiet. Die Intensität des hinter einem Gebirge entstehenden Troges, der in Zone 4 6 liegen müßte, kann durch andere Effekte abgeschwächt sein, z. B. durch das Hereinragen des gerade über dem subtropischen Südatlantik besonders kräftigen Hochdrucks in Zone 4 6.

4.2. Harmonische Analyse der Monatsmittelwerte des globalen Luftdrucks

4.2.1. Rechnung und Darstellung der Ergebnisse

Für jeden der in Kapitel 1.1. beschriebenen Netzpunkte des Globaldruckfeldes, außer denen in der Tropenzone von 25°N - 25°S auf 5°, 15°, 25°, ... 355° Länge,

Tab. 19

Luftdruckdifferenz zwischen West- und Osthalbkugel in den Tropen

Mittel 1958 (IGJ-Werte)	Differenz	mittl. Differenz
Westhalbkugel, Gürtel 2: 1014.1 mb Osthalbkugel, Gürtel 2: 1010.5 mb	3.6 mb	2.7 mb
Westhalbkugel, Gürtel 3: 1014.3 mb Osthalbkugel, Gürtel 3: 1012.5 mb	1.8 mb	

wurden die 12 Monatsmittelwerte des Jahres 1958 harmonisch analysiert. Der konstante Anteil gibt den Jahresmittelwert des Luftdrucks an dem betreffenden Punkt an. Aus diesen Werten wurde das Globalmittel berechnet, das 1011.15 mb beträgt. Nun wurde das Globalmittel von den einzelnen Netzpunkt-Jahresmitteln abgezogen und die so erhaltenen Druckabweichungen vom globalen Jahresmittel 1958 in eine Karte eingetragen (Abb. 58).

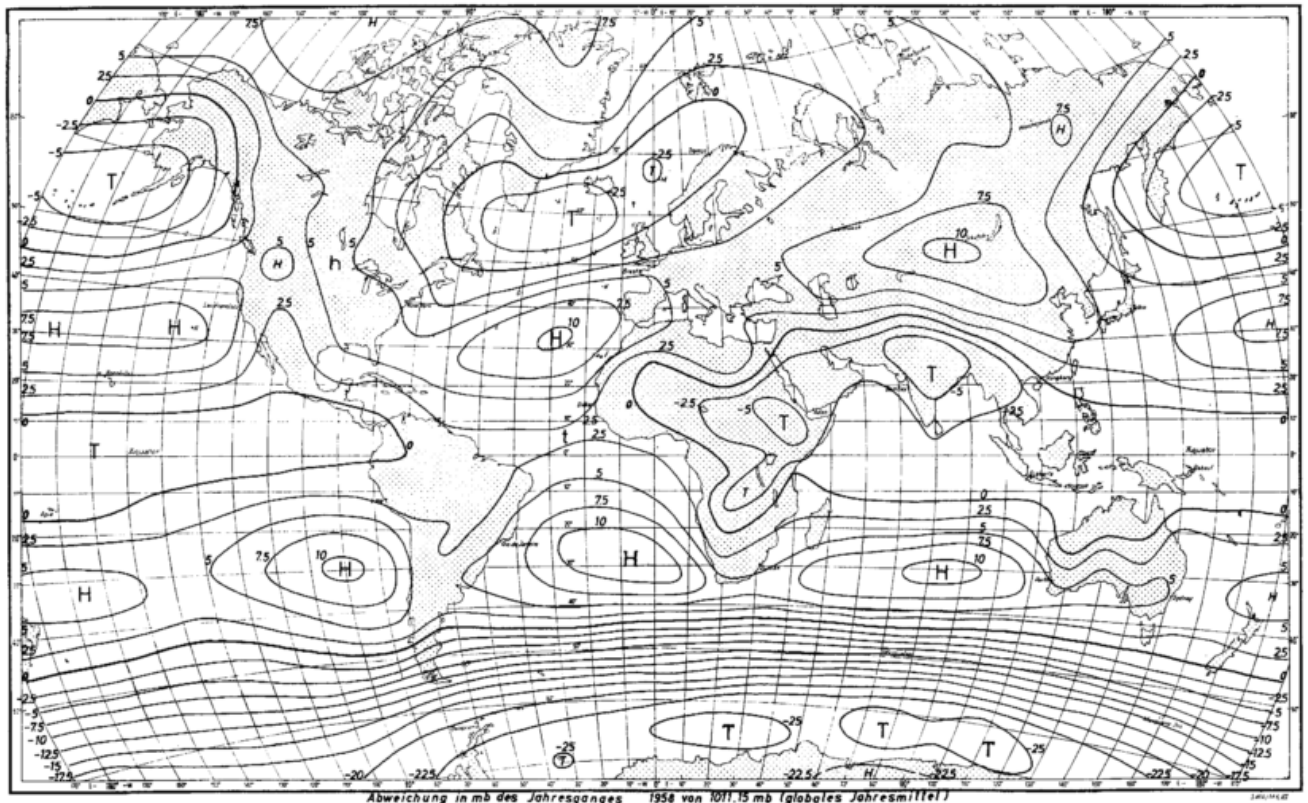
Dann wurden Karten für Amplitude und Phase der 1. und 2. Harmonischen gezeichnet, von denen hier nur die der 1. Harmonischen präsentiert werden (Abb. 59 und 59a). Die Phase gibt den Tag des Jahres 1958 an, an dem das Druckmaximum eintrat. Es wurden Linien gleicher Phase gezeichnet, die die Monate voneinander trennen.

4.2.2. Luftdruckabweichungen vom globalen Jahresmittelwert 1958

Wie wir schon in Kapitel 4.1.4. gesehen haben, ist im Jahresmittel der Druck in höheren Breiten über den Kontinenten höher als über den Ozeanen; in niederen Breiten haben kontinentale und kontinental-maritime Gebiete tieferen Druck als die rein maritimen. Die Grenze verläuft bei etwa 40°N.

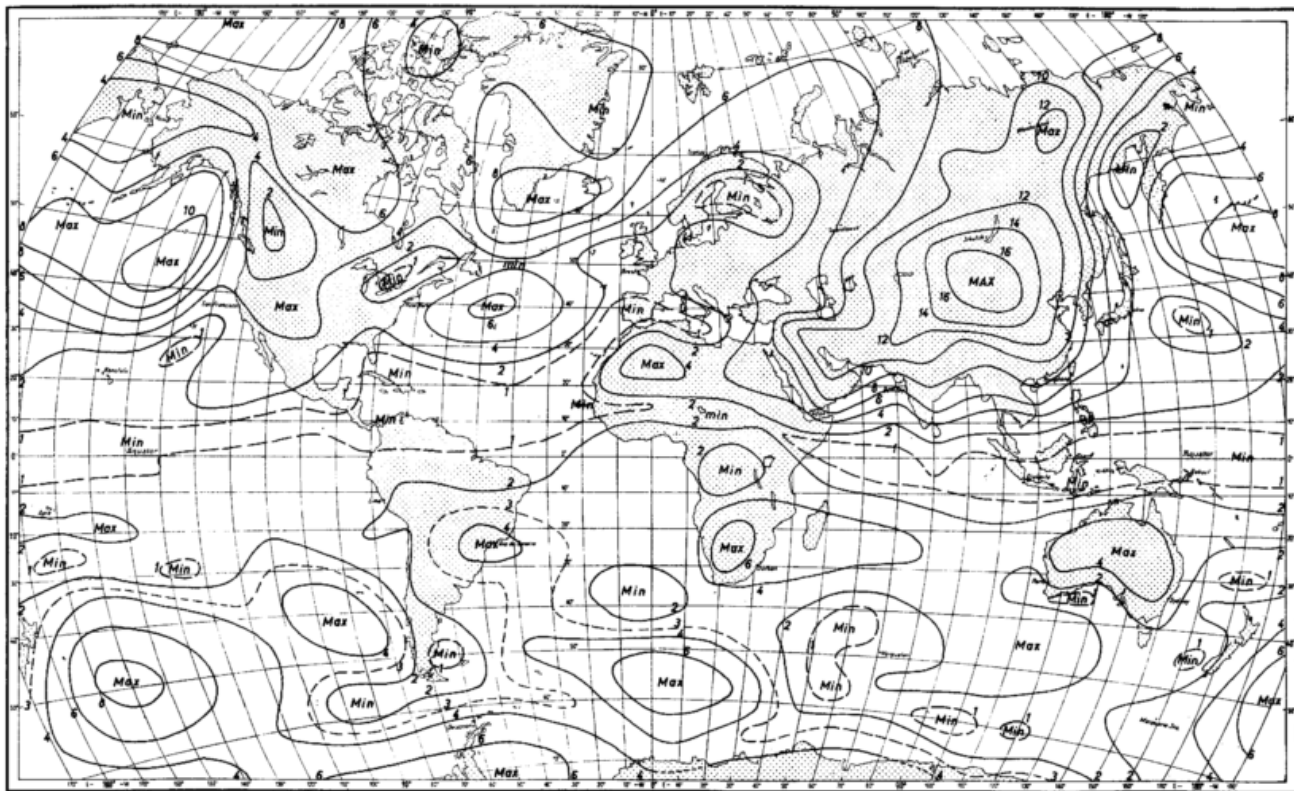
Die hervortretenden Merkmale des nordhemisphärischen Jahres-Druckfeldes sind: das zwischen Alaska und dem Pol liegende Nordpolarhoch, der hohe Druck

über Zentralasien und Nordamerika sowie die Tiefs bei den Aleuten und dem nördlichen Nordatlantik. Gut ausgeprägt ist der subtropische Hochdruckgürtel bei 30°N über dem Nordpazifik und, besonders kräftig, über dem Nordatlantik. — Fast ebenso intensiv wie das Aleutentief ist das indische Monsuntief, das mit dem kräftigen Ostafrikatief verbunden ist; über Südamerika fehlt ein kräftiges Tief. Gut ausgeprägt ist der südliche subtropische Hochdruckgürtel mit Hochdruckzellen über den Ozeanen, von denen die südatlantische am stärksten ist. — Zwischen 40° und 70°S fehlen Kontinente; hier fallen die zonale Druckverteilung und die starken Luftdruckgegensätze zwischen subtropischem Hochdruckgürtel und dem Tiefdruckring, der den antarktischen Kontinent umschließt, auf. Die Tatsache, daß die Westhalbkugel im Gebiet der südhemisphärischen Westwindzone höheren Druck hat als die Osthalbkugel, erklärt sich durch die Form des antarktischen Kontinents. Er reicht auf der Osthalbkugel weiter äquatorwärts als auf der Westhalbkugel, so daß die Isobaren auf der Osthalbkugel weiter äquatorwärts ausgreifen als auf der Westhalbkugel. Der Druck der subantarktischen Tiefdruckrinne liegt 20–27 mb unter dem globalen Jahresmittel, hat also etwa 986 mb Jahresmitteldruck. Der Druckanstieg zum Zentrum der Antarktis, wo ca. 990 mb herrschen, ist nur gering.



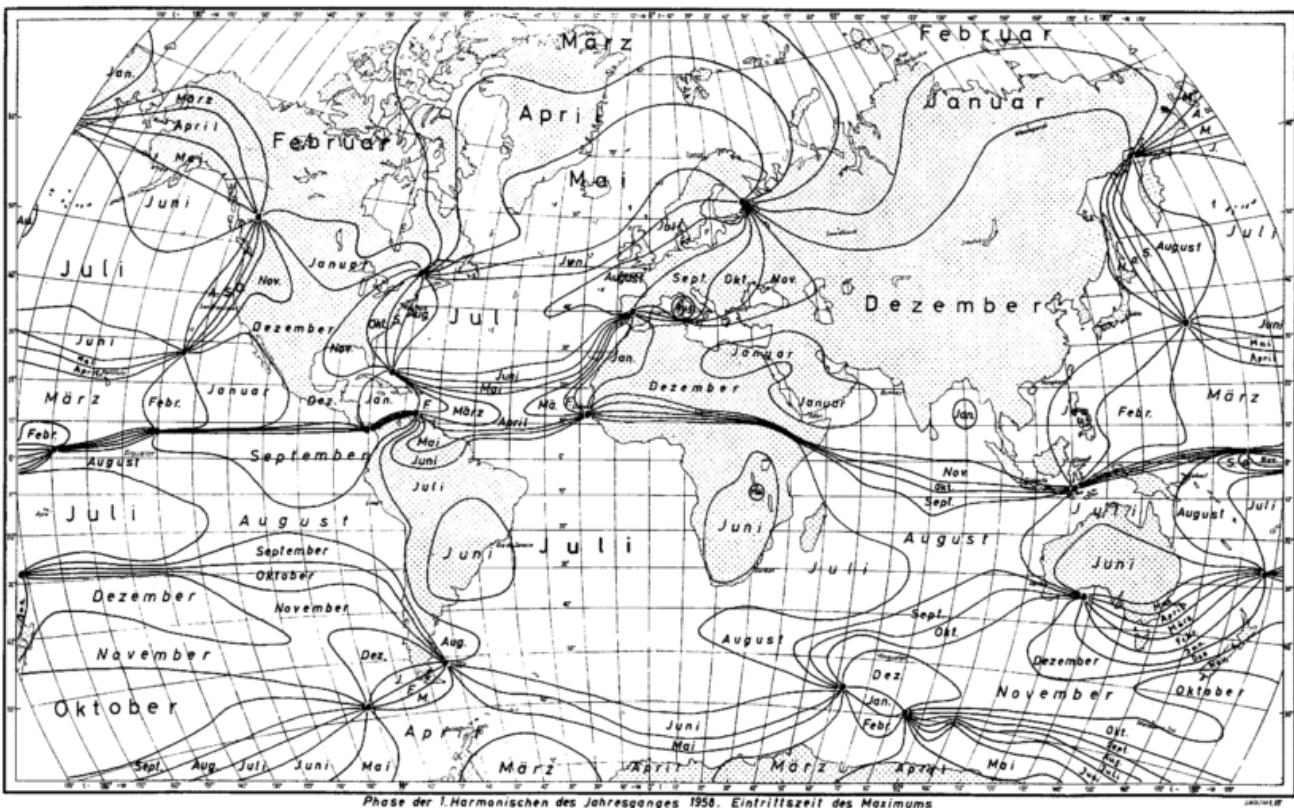
Abweichung in mb des Jahresganges 1958 von 1011.15 mb (globales Jahresmittel)

Abb. 58
Abweichung in mb des Jahresluftdruckes 1958 von 1011.15 mb (globales Jahresmittel)



Amplitude in mb der 1. Harmonischen des Jahresganges 1958

Abb. 59
Amplitude in mb der 1. Harmonischen des Jahresganges 1958



Phase der 1. Harmonischen des Jahresganges 1958. Eintrittszeit des Maximums

Abb. 59a
Phase der 1. Harmonischen des Jahresganges 1958,
Eintrittszeit des Maximums

4.2.3. Der Jahresgang

Da in den Tropen die Luftdruckschwankung von Monat zu Monat sehr gering ist, findet man hier das Amplituden-Minimum aller Harmonischen. Deutlich ins Auge fällt beim Betrachten der Abb. 59 (Amplitude der Jahresschwingung) der Unterschied zwischen Nord- und Südhalbkugel. Das globale Maximum des Jahresganges liegt mit über 17 mb Amplitude über Zentralasien; weitere Maxima finden wir über der Ostsibirischen See und dem östlichen Nordpazifik. Etwas schwächer sind die Maxima bei Südgrönland und über dem mittleren Nordatlantik. Minima liegen an den Küsten der Kontinente. In den Tropen und Subtropen liegen die Maxima über den Kontinenten: Südwestliche USA, Nordafrika, Arabien; Brasilien, Südafrika, Australien.

Auf der Südhalbkugel ist die Jahreswelle nicht so stark ausgeprägt wie auf der Nordhemisphäre; die Maxima erreichen nicht mehr als 8.6 mb. Sie liegen im Bereich der Westwinde bzw. bei 110°W, 73°S, wo der Tiefdruckring unterbrochen ist. Im subantarktischen Tiefdruckring ist die Amplitude des Jahresganges auf der Osthalbkugel z. T. unter 1 mb.

Das Maximum liegt über den Kontinenten im Frühwinter, auf der Nordhalbkugel im Dezember/Januar, auf der Südhalbkugel im Juni/Juli (Abb. 59a).

Als Kompensation hat der Druck über den nordhemisphärischen Ozeanen im Frühwinter das Minimum, also das Maximum im Frühsommer. — Im Nordpolargebiet erfolgt der Übergang vom Maximum im Januar über Nordsibirien bis zum Mai über dem nördlichen Nordatlantik allmählich, weite Teile des nördlichen Eismeeres und Kanadas haben das Maximum im Februar.

Auf der kontinentarmen Südhalbkugel wirkt sich der planetarische Effekt stärker aus als auf der Nordhalbkugel: Das Maximum liegt im Winter, das Minimum im Sommer; die Kontinente bewirken eine Verfrühung des Maximums um etwa 1 Monat.

Im Bereich der äquatorialen Tiefdruckrinne kommt es zu einer sehr starken Drängung der Phasenlinien. Durch den Kompensationseffekt des Drucks über den Ozeanen der Nordhalbkugel und der Dominanz des planetarischen Effektes über großen Teilen der Südhalbkugel kommt es, daß die Ozeane der Nord- und der Südhalbkugel ihr Maximum zur gleichen Zeit im Juli haben. Diese Tatsache stellen auch SCHWERDTFEGER und PROHASKA (14) heraus. Über dem Südpazifik und dem südlichen Indik liegt das Maximum des Jahresganges in der Zeit von Oktober bis Dezember. Im Bereich der subantarktischen Tiefdruckrinne liegen die Phasenlinien sehr eng beieinander. Sie trennen die Ozeane mit Maximum im Juli bzw. Oktober-Dezember von der Antarktis, über der das Maximum einheitlich im März/April liegt.

Während die globalen Züge der 1. Harmonischen in Amplitude und Phase gut mit den in (14) geschilderten Zuständen, die aus langjährigen Beobachtungen ermittelt wurden, übereinstimmen, ist das bei der 2. Harmonischen nicht der Fall. Während nach (14) langjährig die 3. und alle höheren Harmonischen nahezu verschwinden, erreicht im Jahre 1958 die 3. Harmonische noch Amplituden bis zu 5.6 mb, die 4. bis 4.1 mb und die 5. bis 5.6 mb. Dies wird durch spezielle wettermäßige Erscheinungen des Jahres 1958 hervorgerufen; es sind keine charakteristischen Züge des globalen Druckfeldes. Auch bei der Halbjahreswelle sind die Amplituden im Jahre 1958 mit maximal 7 mb weit höher als die in (14) beschriebenen von 2 mb. Die Phasen stimmen ebenfalls nicht mit den langjährig ermittelten überein.

4.3. Autokorrelation der Luftdruck-Oktantenmittel

In einem früheren Programm wurden die Zonengürtel 25°N - 0° und 0° - 25°S jeweils in 8 Zonen, Oktanten genannt, eingeteilt.

0 - 25°N

1: 5° - 45°E: Nordafrika, 2.: 50° - 90°E: Indien, 3.: 95° bis 135°E: Südostasien, 4: 140° - 180°E: Mikronesien, 5: 175° - 135°W Hawaii, 6: 130° - 90°W: Mexiko, 7: 85° bis 45°W: Karibien, 8: 40° - 0°W: nördlicher Mittelatlantik.

0 - 25°S

-1: 5° - 45°E: Südafrika; -2: 50° - 90°E: Zentralindien, -3: 95° - 135°E: Indonesien, -4: 140° - 180°E: Korallenmeer, -5: 175° - 135°W: Polynesien, -6: 130° - 90°W: Osterinsel, -7: 85° - 45°W: Südamerika, -8: 40° - 0°W: südlicher Mittelatlantik.

Tägliche Luftdruckmittelwerte von diesen Oktanten liegen vor. Bildet man von jedem dieser Oktantenmittel Autokorrelationskoeffizienten von 0 bis 33 Tagen Zeitverzögerung, so ergibt sich das Bild der Abb. 60, wo die Zeitverzögerung auf der Abszisse, der Autokorrelationskoeffizient (AKK) auf der Ordinate aufgetragen ist. Die Zufallsgrenze (0.27% Zufallswahrscheinlichkeit) beträgt bei 549 Fällen (Tage des IGJ) 0.128. Der Zufallsbereich ist schraffiert. Wir erkennen an durchweg hohen positiven AKK deutlich Oktanten mit großer Erhaltungstendenz (Oktanten 1, 2, 3, 4; -1, -2, -3, -4, -5, -6, -7, -8). Die Oktanten 5, 6, 7, 8 zeigen hingegen nur geringe Erhaltungstendenz, die AKK liegen größtenteils im Zufallsbereich oder nur knapp darüber.

Die Oktanten mit der höchsten Erhaltungstendenz sind die stark monsunal beeinflussten Oktanten 2, 3 und -1: Indien, Südostasien und Südafrika. Hier dominieren die langdauernden jahreszeitlichen Luftdruckänderungen über die wetterhaften kurzperiodischen.

Will man die kurzperiodischen Wellen und wetterhaften Erscheinungen herauskristallisieren, so muß man den Trend eliminieren. Dies geschah nach der Methode von Kapitel 3.6.3. Man erhält die Abb. 61. Nun befinden sich die AKK größtenteils im Zufallsbereich. Dennoch kann man eine halbmonatliche Schwingung deutlich erkennen, besonders an den überzufällig negativen AKK bei 6-7 Tagen, die bei allen Oktanten deutlich auftritt, besonders bei den Oktanten 1, 3, 4, 8, -5, -8. Auch eine kurzperiodischere Schwingung von etwa 6 Tagen Dauer läßt sich am sekundären Minimum bei 3 Tagen erkennen, das in den Oktanten 2, 4, 6, 7, -1, -2, -3, -4, -7, -8 zutage tritt.

5. Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse

In dem Abschnitt über die Breitenkreismittel hatten wir gefunden: Das *Nordpolarhoch* hat seine größte Intensität meist am Nordpol. Den höchsten Druck erreicht es im Frühling, den niedrigsten weist es im Sommer und Frühherbst auf.

Im Jahresmittel von 1958 liegt der *nördliche subpolare Tiefdruckring* bei 58°N; im Sommer und Herbst hat er die nördlichste Lage und den tiefsten Druck; im Frühling wird er vom Nordpolarhoch nach Süden abgedrängt und dabei fast zugeschüttet.

Der *nördliche subtropische Hochdruckgürtel* hat seine Jahresmittelposition bei 37°N. Er wandert im Jahresgang genau wie die äquatoriale Tiefdruckrinne um 14 Breitengrade von 42°N im August-Oktober nach 28°N im Winter (Februar). Er hat im November den höchsten Druck, den niedrigsten im Juli und ist von November bis Februar kräftiger als der südliche subtropische Hochdruckgürtel.

Die *äquatoriale Tiefdruckrinne* liegt im Breitenkreismittel ständig auf der Nordhalbkugel. Im Nordwinter spaltet sie sich auf in eine nördlich und in eine südlich des Äquators liegende Rinne, von der die nördliche aber druckmäßig die kräftigere ist. Sie wandert von 15°N im Nordsommer nach 1°N im Nordwinter. Sie hat im Jahresmittel einen Druck von ca. 1009.7 mb, der (in den

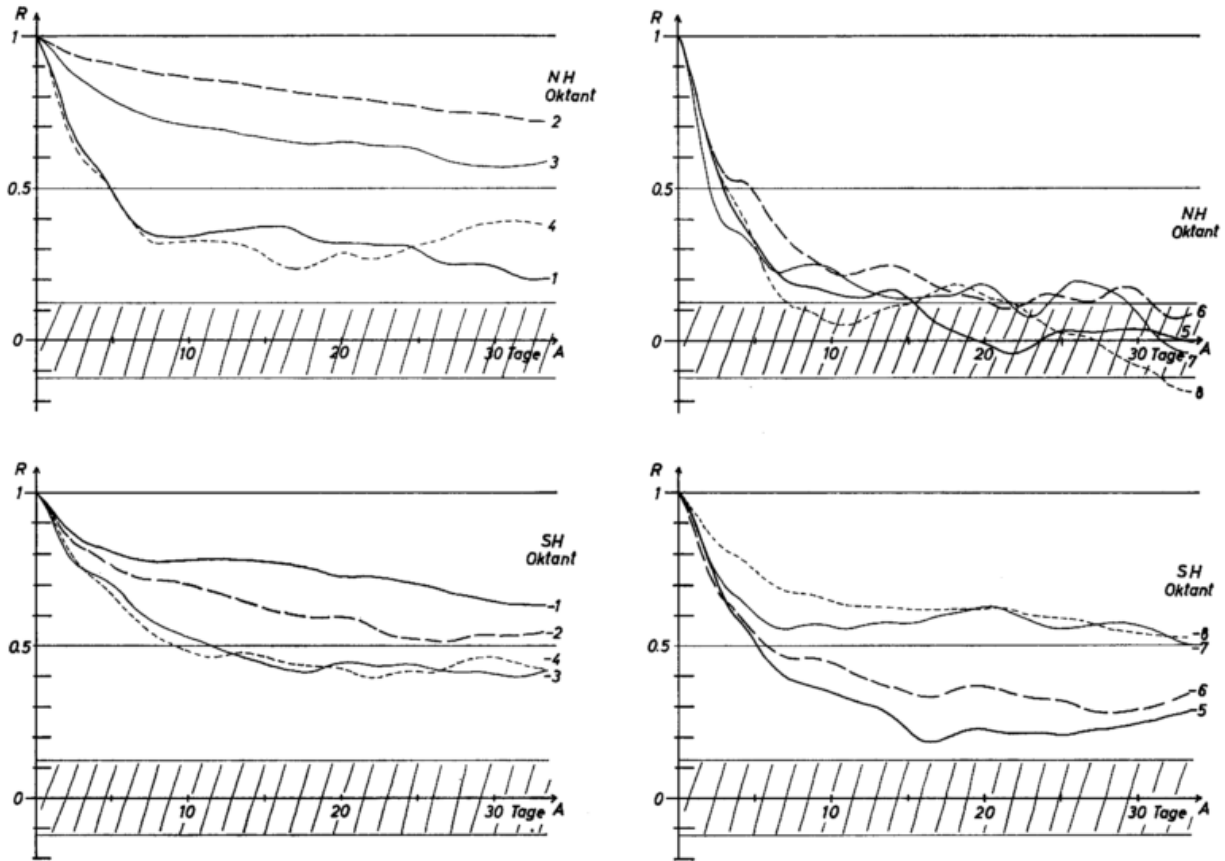


Abb. 60
Autokorrelationskoeffizienten R der Luftdruck-Oktantenmittel
ohne Elimination der langzeitlichen Tendenzen.
N.H.: Nordhalbkugel, S.H.: Südhalbkugel, A: Zeitverzögerung

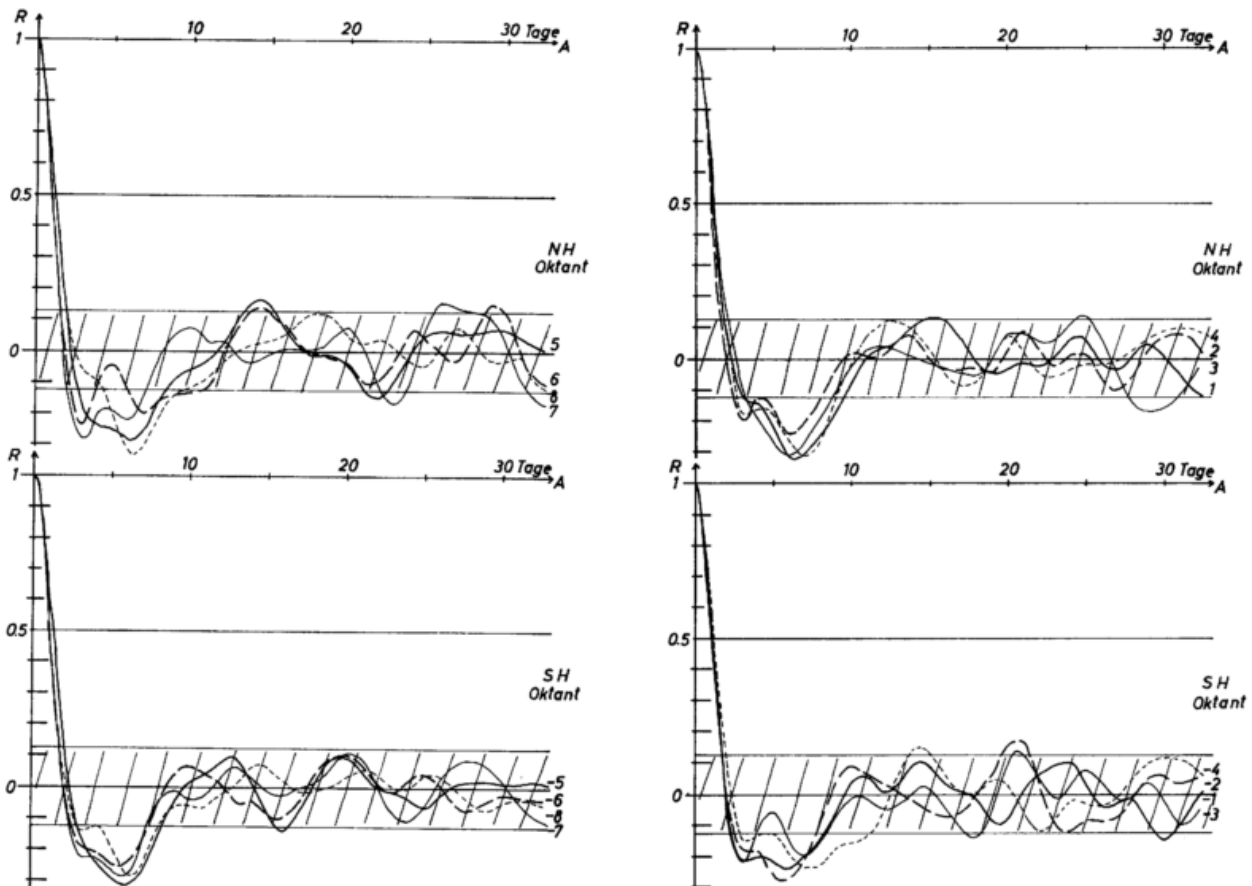


Abb. 61
Autokorrelationskoeffizienten R der Luftdruck-Oktantenmittel
nach Elimination der langzeitlichen Tendenzen.
N.H.: Nordhalbkugel, S.H.: Südhalbkugel, A: Zeitverzögerung

Monatsmitteln) weniger als 1 mb innerhalb des Jahres schwankt. Die sekundäre südliche Rinne wandert von 7°S im Nordsommer, wo sie an einer zyklonalen Krümmung der Luftdruckprofilkurve erkennbar ist, nach 12°S im Nordwinter.

Kurzzeitig sind auch andere als die oben geschilderten „normalen“ Zirkulationsformen auf der Nordhalbkugel möglich.

Der *südliche subtropische Hochdruckgürtel* wandert mit dem Sonnenstand von 36°S im Februar (Sommer) nach 29°S im Juni (Winter). Seine mittlere Lage ist bei 33°S. Er hat mit 1018.4 mb einen höheren Jahresmittel- druck als der nördliche subtropische Hochdruckgürtel mit 1016.2 mb.

Als einziges Luftdruckgebilde liegt die *südliche sub- polare Tiefdruckrinne* im Winter weiter polwärts als im Sommer, 68°S–70°S im Zeitraum Juli–November, 65°S–67°S von Dezember–Juni. Sonst haben alle Luft- druckgebilde der Erde im Winter eine äquatornähere Position als im Sommer. Der Jahresgang des Druckes besteht aus der Kombination von einer Jahresschwin- gung mit höchstem Druck im Winter, tiefstem im Som- mer und einer Halbjahresschwingung mit Minima zu den Äquinoktien und Maxima zu den Solstitien. Im Juni herrscht höchster Druck mit 990.9 mb, im Oktober tiefster mit 984.5 mb, der Jahresmitteldruck beträgt 987.6 mb (6-Jahresmittel von 1957–1962).

Der Luftdruckabfall der *südhemisphärischen West- windzone* hat einen Jahresgang mit Maximum im Süd- frühlings, Minimum im Süderbst und einen Halbjahres- gang mit Maxima zu den Äquinoktien, Minima zu den Solstitien.

Unterbrechungen der sonst so kräftigen südlichen Westwindzone durch starkes Mäandern der Höhenströ- mung kommen gelegentlich vor.

Im *Südpolargebiet* ist der Druck in der 1. Jahreshälfte höher als in der 2. Das Druckmaximum liegt meistens am Südpol, es schwankt in seiner Intensität zwischen 998.2 mb im Juni und 987.9 mb im Oktober (6-Jahres- mittel).

Beide *Halbkugeln* haben im Sommer stets und in fast allen Breiten einen niedrigeren Luftdruck als im Winter.

Grenzbreiten der atmosphärischen Zirkulation sind 55°N, 5°N, 35°S (und 55°S); hier ist die Variation (Ver- änderlich des Druckes von Tag zu Tag) relativ gering.

Die für die Jahre 1957–1962 gebildeten Jahresmittel- werte des Luftdrucks in verschiedenen Breitengürteln zeigen uns, daß je höher die geographische Breite ist, desto stärker die Luftdruckänderungen von Jahr zu Jahr sind. Sie sind auf der *Südhalbkugel* stärker als auf der *Nordhalbkugel*. Die Nordhalbkugel hat stets einen hö- heren Druck als die Südhalbkugel; die Differenz liegt im mehrjährigen Mittel zwischen 4.1 und 4.8 mb; sie ist im Nordsommer gering, im Nordwinter groß. Der Gang des Drucks auf der Nord- und auf der Südhalbkugel so- wohl der Jahres- als auch der Monatsmittel ist nicht ge- nau invers, so daß sich der *Globaldruck* von Jahr zu Jahr und von Monat zu Monat ändert. Die Erde hatte im Zeitraum 1957–1962 den höchsten Monatsmitteldruck im Januar 1958 mit 1011.9 mb, den tiefsten mit 1010.4 mb im Juli 1957. — Der Jahresgang im IGJ beträgt auf bei- den Halbkugeln etwa 3½ mb, im 6-Jahresmittel 3.7 mb auf der Nordhalbkugel, 2.4 mb auf der Südhalbkugel.

Tägliche Breitengürtelwerte lassen die Berechnung der Variation zu: Die Luftdruckmittel der beiden Halbkugeln zeigen keinen erkennbaren Jahresgang der Variation mehr; diese schwankt unregelmäßig zwischen 0.2 mb und 0.9 mb für den Nordhalbkugeldruck und zwischen 0.4 mb und 1.0 mb für den Südhalbkugeldruck. Die Variation des Globaldrucks liegt zwischen 0.2 mb

und 0.5 mb; sie hat einen Jahresgang mit Minimum im Nordwinter und Maximum im Nordsommer. Von den Tropen bis zu den Polen verdoppelt sich in jedem Brei- tengürtel die Luftdruckvariation.

Die Druckunterschiede auf den Breitenkreisen bzw. in den Breitengürteln, gemessen durch die *Streuung*, sind im Winter größer als im Sommer, wobei der stärk- ste Jahresgang im Bereich des nordhemisphärischen Streuungsmaximums auftritt. Die Maxima liegen auf beiden Halbkugeln im Bereich der subpolaren Tief- druckrinnen. Ein weiteres Maximum auf der Nordhal- kugel tritt von April bis September bei 30°N auf. Das Minimum ist in Äquatornähe. Die Streuung beider Halb- kugeln und der Erde ist etwa gleich; sie beträgt ca. 6 mb. Außer in Polnähe ist die Streuung stets größer als die Variation.

In allen Breitengürteln, die einen Jahresgang des Luftdrucks aufweisen, speziell auch auf den beiden Halbkugeln, liegt das Druckmaximum im Winter, das Druckminimum im Sommer. Auch die Variation hat in allen Breitengürteln, die einen Jahresgang zeigen, das Maximum im Winter und das Minimum im Sommer.

Der *Globaldruck* schwankt auch von Tag zu Tag, meist nur um Beträge von ±0.1 mb und ±0.2 mb; 14% aller täglichen Druckänderungen sind größer gleich 0.4 mb. Stärkste Schwankungen sind 0.9 mb pro Tag und 1.5 mb in zwei Tagen. Die tägliche Luftdruckänderung enthält keine Periode.

Die kurzzeitigen Globaldruckänderungen werden auf Wasser dampfgehaltsänderungen der Atmosphäre zu- rückgeführt; 1 mb Luftdruckfall des Globaldrucks be- deutet, daß 10 mm mehr Niederschlag gefallen als Was- ser verdunstet ist. Im Monatsmittel betragen die Was- serdampfänderungen bis zu 27%, kurzzeitig über 38% des mittleren Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre.

Die *Genauigkeit* (0.27% Zufallswahrscheinlich- keit) liegt für Globaldruckwerte bei Anwendung stren- ger Maßstäbe bei ±0.4 mb für tägliche Druckänderun- gen, ±0.07 mb für monatliche. Die festgestellten Druck- änderungen können nicht alle durch Analysenfehler entstanden sein. — Bis auf den Breitengürtelwert der südlichen Westwindzone (40°–65°S) sind alle Jahres- mittel für 1958 (IGJ-Werte) auf Zehntel mb genau. — Trotz des lückenhaften Stationsnetzes in den südlichen Außertropen sind die Breitengürtelmittelwerte so ge- nau, daß die dort festgestellten Luftdruckschwankungen nicht alle nur vorgetäuscht sein können.

Es wurden *Korrelationsrechnungen* durchgeführt, die bezüglich der kurzfristigen wetterhaften Luftdruck- schwankungen folgendes aussagen: Nördliche Außertropen und Tropen haben einen inversen Luftdruck- gang; die Tropen sind nicht mit dem Luftdruck der außertropischen Südhalbkugel korreliert. Nordhal- kugel und Tropen bilden ein zusammenhängendes Sys- tem. Der südliche subtropische Hochdruckgürtel ist seine Grenze. — Kurzzeitige Änderungen des Global- drucks sind fast ausschließlich Luftdruckschwankungen der südhemisphärischen Außertropen; Änderungen dort wirken sich voll auf den Globaldruck aus. — Im Winter sind die Korrelationen besser als im Sommer.

Berücksichtigt man nicht nur kurzzeitige Druckände- rungen sondern auch den Jahresgang, so findet man: Nordhalbkugel und Südhalbkugel mit Tropen zeigen einen inversen Gang. Die drei Gürtel der Nordhalbkugel sind schwach positiv miteinander korreliert, die inneren Tropen und die beiden Gürtel der Südhalbkugel haben untereinander eine höhere positive Korrelation, beson- ders die Tropen und der südliche Hochdruckgürtel. — Änderungen des Globaldrucks sind hauptsächlich auf die Druckänderungen der südlichen Westwindzone zu- rückzuführen.

*

Herrn Professor Dr. G. FISCHER danke ich für die Diskussion dieser Arbeit und Herrn Diplom-Meteorologen V. RENNER für seine Ratschläge, speziell beim Erstellen der Rechenprogramme.

Mein besonders herzlicher Dank gilt Herrn Dr. W. RUDLOFF, der diese Arbeit betreut hat, für seine zahlreichen wertvollen Anregungen, Hinweise und Diskussionen.

Literatur

- (1) International Geophysical Year. World Weather Maps Part I. Northern Hemisphere, Sea Level and 500 mb Charts. U. S. Department of Commerce, Washington D. C., 1965.
- (2) International Geophysical Year 1957-1958: World Weather Maps Part II. Tropical Zone, Daily Sea Level and 500 mb Charts. D. Wetterd., Seewetteramt.
- (3) International Geophysical Year 1957-1958: World Weather Maps Part III. Southern Hemisphere, Daily Sea Level and 500 mb Charts, Republic of South Africa, Weather Bureau, Department of Transport.
- (4) KAUFELD, L.; RUDLOFF, W.: Streuungskarten des Luftdrucks in Seehöhe für die sechs Vierteljahre des Internationalen Geophysikalischen Jahres 1957/1958. Einzelveröff. Nr. 79, Dt. Wetterd. Seewetteramt (1972) S. 31-49.
- (5) KOLLER, S.: Graphische Tafeln zur Beurteilung statistischer Zahlen. Darmstadt: Dr. Dietrich Steinkopff 1953.
- (6) Notos Weather Bur., Pretoria, Vol. 7-16 (1958-1967).
- (7) PALMEN, E.; RIEHL, H.: Budget of angular momentum and energy in tropical cyclones. Tellus, Stockholm, 7 (1957) S. 186-188.
- (8) PANOFSKY, H. A.; BRIER, G. W.: Some applications of statistics to meteorology. College of Mineral Industries, The Pennsylvania State Univ., 1958.
- (9) PETERSSEN, S.; BRADBURY, D. L.; PEDERSEN, K.: The Norwegian cyclone models in relation to heat and cold sources. Geofys. Publ. 24 (1962) S. 243-280.
- (10) PFLUGBEIL, C.: Hemisphärische und globale Luftdruckbilanzen. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 104, Bd. 14 (1967).
- (11) RUDLOFF, W.: Measurable seasonal variations in the total mass of the atmosphere. Proc. Sympos. Tropical Meteor. Univ. Hawaii, Honolulu, AMS-WMO 1970 S. N III-1-5.
- (12) RUDLOFF, W.: Weltwetterkarten. Wetterkarte Offenbach/Main, 26. Februar 1965.
- (13) SCHUMANN, T. E. W.; VAN ROOY, M. P.: Continentiality and the analysis of atmospheric pressure over the northern hemisphere. Pretoria Weather Bur. W. B. 15 (1950).
- (14) SCHWERDTFEGER, W.; PROHASKA, F.: Der Jahresgang des Luftdrucks auf der Erde und seine halbjährige Komponente. Meteor. Rdsch. 9 (1956) S. 33-43.
- (15) SELLERS, W. D.: Physical Climatology. Univ. of Chicago Press, 1966.
- (16) STARR, V. P.; PEIXOTO, J. P.; MCKEAN, R. G.: Pole to pole moisture conditions for the IGY. Pure and appl. Geophys. 75 (1969) S. 300-336.
- (17) TALJAARD, J. J.; VAN LOON, H.; CRUTCHER, H. L.; JENNE, R. L.: Climate of the upper air. Part 1 - Southern Hemisphere, Vol. 1. Commander, Naval Weather Serv. Command, Washington, D. C., 1969.