

DEUTSCHER WETTERDIENST

Seewetteramt

Einzelveröffentlichungen

Nr. 88

Über den Regen in Afrika
und die Trockenheit der letzten Jahre
im Sahel (1967 - 1974)

von

Dietrich Stranz



Hamburg

1975

DK 551.577.21 (662.2)
551.577.38 (662.2)

DEUTSCHER WETTERDIENST

Seewetteramt

Einzelveröffentlichungen

Nr. 88

Über den Regen in Afrika
und die Trockenheit der letzten Jahre
im Sahel (1967 - 1974)

von

Dietrich Stranz



Hamburg
1975

Wetteramt München
Handbibliothek Nr. 4840

DK 551.577.21 (662.2)
551.577.38 (662.2)

Zusammenfassung

Der Niederschlag ist in Afrika das bestimmende Klimaelement. Vier verschiedene Zonen kennzeichnen seine Verteilung über dem Kontinent: Äquatorialer Regengürtel, monsunale oder jahreszeitlich bestimmte Regenzone, Wüstenzone und Winterregenzone im äussersten Norden und Süden. Im Luftdruckbild entsprechen diesen Zonen die Intertropische Konvergenzzone zwischen den beiden subtropischen Hochdruckgebieten nördlich und südlich des Äquators und schliesslich die Zonen der vorherrschenden Westwinde, die in den Wintermonaten den Norden und Süden Afrikas berühren.

Orographische Besonderheiten, sowie synoptische Erscheinungen beeinflussen dieses Bild und bringen ortsgebundene bzw. zeitlich veränderliche Abweichungen in dieses Schema der Niederschlagsverteilung.

In den Jahren ab 1968, insbesondere von 1970 bis 1974, zeigten sich schwerwiegende Veränderungen im Niederschlagsbild von Afrika, die in weiten Gebieten katastrophale Auswirkungen hervorgebracht haben. Die offensichtliche Verschiebung der Niederschlagszonen mit deutlichen Verminderungen der Niederschlagsmengen über weiten Teilen Afrikas wird eingehend analysiert und mit anderen globalen Erscheinungen in der atmosphärischen Zirkulation, wie z.B. der Abkühlung des Polarwirbels in der 500 mbar-Fläche, in Verbindung gebracht. Auffällige Luftdruck- und Temperaturanomalien in Afrika während der letzten Jahre scheinen ebenfalls im Zusammenhang mit der Trockenheit in weiten Gebieten zu stehen.

Summary

In Africa the precipitation is the dominant element of climate. Four different zones characterize its distribution over the continent: Equatorial rain belt, monsoonal rain areas with precipitation highly dependent on the season, desert zone, and belt of winter rains in the extreme north and south. The distribution of atmospheric pressure corresponds to the zones of precipitation: Low pressure in the Intertropical Convergence Zone, high pressure in both subtropical anticyclones north and south of the equator and finally their northern resp. southern slopes against the depressions with predominant westerly winds touching the north and south of Africa in winter.

Orographic peculiarities and synoptic features modify the pattern of rain distribution either locally or temporarily.

From about 1968, particularly in the years 1970 to 1974, spectacular variations of the precipitation have been observed over most of Africa. They caused widespread and often disastrous droughts in large areas of the Sahel, i.e. south of the Sahara desert, and abundant rain in many parts mainly of northern Africa. Obviously a shift of the zones of precipitation has taken place. The consequent changes of precipitation amounts and their distribution have been analyzed. Possible relations with other global phenomena of the atmospheric circulation (e.g. cooling of the polar vortex at 500 mbar) have been discussed. Also anomalies of atmospheric pressure and temperature in Africa seem to be correlated with the precipitation anomalies of the recent period.

Der Regen ist in Afrika das weitaus wichtigste Klimaelement, und seine räumliche und zeitliche Verteilung setzt die Grenzen für das Wohlergehen des Menschen und für das Leben überhaupt in diesem Kontinent. Aus diesem Grunde gibt es grosse Gebiete, in denen das Leben unmöglich oder gerade noch in sehr bescheidenem Masse möglich ist. Etwa ein Drittel von Afrika ist Wüste oder nahezu vollkommen trocken mit nur spärlichstem Pflanzenwuchs. - Abb. 1 (26,30)

Bei den hohen Temperaturen im grössten Teil Afrikas und entsprechend hoher Verdunstung sind etwa 50 mm Niederschlag im Monat erforderlich, damit eine Vegetation am Grünen bleibt. Allein im äquatorialen Regengürtel ist gewährleistet, dass diese Regenmenge nahezu das ganze Jahr über fällt (10 - 12 Monate). Im Juni hat die Fläche mit 50 oder mehr Millimeter Niederschlag ihr Minimum.

Sowohl nach Norden als auch nach Süden nimmt die Anzahl der Monate mit mindestens 50 mm Niederschlag ab, zum Rand der Wüste Sahara sogar sehr rasch. Weniger als 1000 km nördlich des Regengürtels beträgt die Anzahl nur noch 4 - 6 Monate. Weitere 200 km nördlicher ist der Wüstenrand erreicht. Hier ist die Anzahl der Monate mit mindestens 50 mm Niederschlag auf 2 oder weniger gesunken. Der gesamte Jahresniederschlag fällt hier - sehr unzuverlässig - meist an wenigen Tagen etwa $1\frac{1}{2}$ Monate nach der Sonnenwende.

Während die Niederschläge im äquatorialen Regengürtel und in den angrenzenden Zonen monsunaler Art sind, also ihr jahreszeitliches Auftreten durch die Intertropische Konvergenzzone, in der die Passatströmungen der beiden Halbkugeln konvergieren, hervorgerufen wird, gibt es in den subtropischen Gebieten Afrikas im Norden wie im Süden Winterregen. Sie treten beim Durchzug von Störungen der gemässigten Breiten (Westwindzone) auf, Je nachdem wie stark die Westwindzone ausgeprägt ist und in niedrigere Breiten durchgreift, fallen diese Winterregen sehr unterschiedlich aus. Im Norden Afrikas erfassen sie im allgemeinen nur die Randzonen des Kontinents von Marokko bis Ägypten. Die mittleren Jahresmengen liegen hier zwischen 400 und 600 mm im Westen und nur noch 200 bis 100 mm oder weniger im Osten. Im äussersten Süden Afrikas verzeichnet man ebenfalls Niederschlagsmengen um 500 mm, die überwiegend im Winter fallen.

Sehr unterschiedlich sind die monsunalen Regenmengen je nach der Dauer der Regenzeit. Sie liegen um 100 mm oder weniger am Wüsten-

rand und nehmen im Übergangsbereich (Steppe und Savanne) zum äquatorialen Regengürtel bis zu 1000 mm zu, die überwiegend in 7 bis 9 Monaten des Jahres fallen. Im Regengürtel selbst erreichen die Jahressummen zwischen 1000 und 3500 mm.

Die mittleren Niederschlagssummen der Normalperiode 1931-1960 (50) sind in Abb. 2 dargestellt. Diese zeigt deutlich die Drängung der Isohyeten sowohl am Nordrand als auch am Südrand der Wüste Sahara, aber auch die begrenzten Gebiete mit sehr hohen, oftmals orographisch bedingten Niederschlagsmengen im Regengürtel (z.B. Guinea, Sierra Leone, Liberia, Kamerun), wo an einzelnen Stellen bis zu 9000 mm Niederschlag im Jahr fallen können.

Es stellt sich nun die Frage, wie ein solches Bild der räumlichen Niederschlagsverteilung zustandekommt. Wir wissen, dass ausser in den Gebieten der Winterregen im äussersten Norden und Süden das Auftreten von Niederschlag nicht an vorhandene oder durchziehende Störungen der atmosphärischen Zirkulation gebunden ist. Niederschlag fällt dort, wo ausreichend feuchte Luft vorhanden ist und zum Aufsteigen bis in solche Höhen gebracht wird, dass Kondensation und die Bildung von ergiebigen Regen- (Nimbostratus) oder Schauerwolken (Cumulonimbus) erfolgen. Dies ist in einer feucht-labil aufgebauten Atmosphäre möglich, wenn sie durch Konvergenz in bodennahen Schichten und / oder durch Divergenz in den höheren Schichten der Troposphäre zum Aufsteigen veranlasst wird. In einer äquatorialen Luftmasse finden sich praktisch immer solche Voraussetzungen. Das Aufsteigen geschieht jedoch nicht in kontinuierlicher Folge von Ort zu Ort oder von Tag zu Tag, sondern diskontinuierlich in periodischen oder auch nicht-periodischen Abständen.

Wie sich die äquatoriale, feucht-labil aufgebaute Luftmasse über den Kontinent verteilt, zeigt Abb. 3a, in der das bodennahe Störungsfeld im Monat Juli dargestellt ist. Man sieht die ausgeprägte Konvergenz von heissen und trocknen Nordost- bis Ostwinden (Passat, über dem Kontinent auch "Harmattan" genannt) mit dem feucht-warmen Südwestmonsun, der sich aus dem Südostpassat der Südhalbkugel entwickelt. Die dort aus Südosten (Passat) herangeführten feuchten Luftmassen überqueren den Äquator, biegen auf Südwest um und strömen als Südwestmonsun in den erhitzten Kontinent, wo im Sommer die höchsten Temperaturen herrschen. Abb. 3b zeigt das zugehörige mittlere Luftdruckfeld am Boden.

Legt man nun einen Nord-Süd-Schnitt längs des Nullmeridians durch Afrika, dann erhält man die in Abb. 4 dargestellten Isohypsen der einzelnen Isobarenflächen und den Bodenluftdruck (Entnommen aus: B.W. Thompson, The Climate of Africa, S. 13 (46)). Hier sieht man, dass die Trogachse, in der die beiden Luftströmungen konvergieren, von etwa 23°N am Erdboden mit zunehmender Höhe zum Äquator hin verschoben ist. (Vgl. auch Abb. 16) Südlich der Trogachse sind die Winde westlich, nördlich davon östlich. Für die Entwicklung hochreichender Wolken kommt es nun sehr darauf an, wie mächtig die Schicht der feuchten westlichen (Monsun-) Winde ist (9). Denn wenn die aufsteigende feuchte Luft bald in die trockene Ostströmung hineingelangt, wird die Bildung von Cumulonimben einmal durch starke Scherung und zum anderen durch die Vermischung mit trockener Luft behindert oder unmöglich gemacht. Aus diesem Grunde ist die Ergiebigkeit des Niederschlags unmittelbar in der Nähe der Trogachse am Boden (Intertropische Konvergenz) ganz gering. Erst weiter zum Äquator hin nimmt die Mächtigkeit der feuchten Monsunströmung zu und damit auch die Niederschlagsmenge und -häufigkeit.

Bei einer starken Ausprägung des subtropischen Hochdruckgürtels in der unteren Troposphäre, d.h., im allgemeinen bei weiträumig übernormalen Temperaturen wird die Ostströmung an dessen Südseite verstärkt, und die Trogachse rückt näher an den Äquator. Die Niederschlagsentwicklung wird vermindert. Wandert die Trogachse in der Höhe hingegen vom Äquator weg nordwärts, so dass man westliche Winde antrifft, dann kommt es leichter zu feucht-labilem Aufsteigen und vermehrter Wolkenbildung. Der Niederschlag wird häufiger und reichlicher. In dieser Weise unterscheiden sich die Monsunregen im tropischen Afrika von Jahr zu Jahr und von Gebiet zu Gebiet je nach der synoptischen Situation.

Die Intertropische Konvergenzzone (d.h. der äquatoriale Trog) unterliegt in ihrer Mittellage einerseits den jahreszeitlichen Wanderungen zwischen den Extremlagen im Januar/Februar im Süden und im August im Norden und andererseits auch den synoptisch bedingten Änderungen je nach dem Auftreten von Störungen in den Zonalströmungen an der Nord- und Südflanke des subtropischen Hochdruckgürtels (Westwindzone und "Easterly Waves"). Ein kräftiges Subtropenhoch schränkt das Nordwärtswandern des äquatorialen Troges über Afrika im Nordsommer ein, vor allem wenn es zusätzlich noch eine südliche Lage einnimmt. Dann fallen die Monsunregen vermehrt

näher zum Äquator hin und vermindert in den Steppen- und Wüstenrandzonen. (S. auch 23, 24, 27, 38)

Neben der jahreszeitlich bedingten Abwandlung der globalen Niederschlagsverteilung in Afrika und neben den synoptisch verursachten Schwankungen gibt es auch Anomalien, die sich auf Grund der orographischen Verhältnisse herausheben. (Siehe Abbildung 2.) So werden die Monsunregen auf der Westseite des Kontinents durch das Aufsteigen am Gebirge erheblich verstärkt (Guinea, Liberia, Kamerun). Diese Gebiete weisen zugleich auch die höchste Gewitterhäufigkeit in Afrika auf. (18)

Andererseits findet man in Gebieten mit überwiegend diffluenter Bodenströmung, also Absinken (Südwestafrika, Angola, Somalia, Nordkenya) für äquatoriale Breiten ungewöhnlich niedrige Niederschlagsmengen und nahezu keine Gewitter.

In der Nähe des Äquators, d.h. im äquatorialen Regengürtel selbst beobachtet man im allgemeinen zwei Jahreszeiten mit reichlichem Regen, die jeweils durch Zeiten verminderten Niederschlags unterbrochen werden. Die Sonne geht im Laufe des Jahres zweimal durch den Zenit. Das Maximum des Regens folgt im allgemeinen nach 1 bis $1\frac{1}{2}$ Monaten. Wie unterschiedlich sich die Regenzeiten und auch die Niederschlagsmengen selbst entlang dem Äquator auswirken, zeigt die Tab. 1.

Wir wissen aus der mittleren Luftdruckverteilung und aus den resultierenden Strömungslinien in der unteren Troposphäre, dass der für den Niederschlag über Afrika benötigte Wasserdampf in erster Linie mit dem Südostpassat vom Indischen Ozean herangeführt wird. Sehen wir uns in Tabelle 1 die Jahresmengen der Stationen längs des Äquators von Ost nach West fortschreitend an, dann finden wir jedoch paradoxerweise eine beachtliche Zunahme von der Ostküste mit etwa 300 mm bis zur Westküste mit etwa dem Zehnfachen.

Ähnliches gilt auch noch für die Breite von 12°N , wo im Osten am wüstenhaften Kap Guardafui nur 64 mm im Jahr fallen, dagegen von Äthiopien bis Mali mehr als das Zehnfache, nämlich ansehnliche 800 mm, die sich im allgemeinen auf eine Regenzeit von 6 bis 8 Monaten verteilen, aber mit der Hauptmenge im August. Direkt an der Küste des Atlantik steigt die Jahresmenge dann auf 2000 mm

(Bissau) an. Etwa ein Drittel davon kommt allein auf den August, wenn die Monsunregen ihre grösste Stärke erreichen.

Allein aus der Bodenwindverteilung würde man nun annehmen, dass die starken Niederschläge im Westen Afrikas auf den Einfluss des Atlantik zurückzuführen sind. Das rasche Abfallen der Regenmengen vor der Westküste Afrikas (São Tomé, Ascension Island, und Kapverdische Inseln) zeigt jedoch, dass die bodennahe Diffluenz des Südostpassats bzw. Südwestmonsuns im Golf von Guinea stark ist und diesen bodennahen Luftmassen, die in den erhitzten Kontinent hineinströmen, keinen genügend langen Weg über das Meer lassen (30), um grössere Wasserdampfmengen aufzunehmen. Die Feuchtigkeit wird vielmehr in der unteren Troposphäre mit dem Südostpassat vom Indischen Ozean her über das zentrale Afrika hinweg herangeführt (siehe Malagasy, Moçambique, Congobecken) und an der Westküste Afrikas durch den Südwestmonsun aufgehalten und zum feuchtlabilen Aufsteigen gezwungen. Newell, Kidon, Vincent und Boer (34) weisen darauf hin, dass der Grossteil des horizontalen Wasserdampftransports in den Tropen unterhalb des 800 mbar-Niveaus stattfindet. Deshalb muss man in erster Linie mit dem mittleren Windfeld in den unteren 1000 bis 2000 Metern über Grund arbeiten. Die Topographie und der ausgesprochene Tagesgang spielen bei dieser Betrachtung gerade in Afrika die Hauptrolle. Die Windvektoren in 850 mbar zeigen eindeutig den starken Massentransport aus Südosten, also vom Indischen Ozean her, bis in den westlichen Teil des äquatorialen Afrika, wo offenbar die Vertikalbewegungen überwiegen. Die Horizontalkomponenten werden in dieser Höhe gering, während darüber im 700 mbar-Niveau sich der starke Transport in den äquatorialen Trog (Intertropische Konvergenzzone) bei etwa 5°N - Breite fortsetzt. Das St. Helena-Winter-Hoch in 850 mbar reicht im Juli mit einem Ausläufer über den Äquator hinweg bis über Accra hinaus nach Norden, was zu einer Art Blockierung des Südostpassats bei etwa 5°O führt (Abb 5).

Störungen in der oberen äquatorialen Troposphäre können ausgelöst werden durch Tröge, die in den Westwindzonen der nördlichen oder südlichen Halbkugel wandern und vorübergehend den subtropischen Hochdruckgürtel der unteren Troposphäre unterbrechen. Dies hat Lumb (31) beschrieben und darauf hingewiesen, dass in einem solchen Fall der äquatoriale "Duct" (=Ostwinde zwischen den beiden subtropischen Antizyklonen) zur "Drift" oder, bei gleichzeitigem Durchzug von

Trögen in beiden Halbkugeln, auch zur "Bridge" (nach Johnson 19,46) umgebildet wird. Es entsteht ein Gebiet mit oberer Divergenz durch eine Luftströmung quer über den Äquator oder durch obere Westwinde entlang dem Äquator mit ageostrophischen Komponenten vom Äquator weg in die beiden Tröge nördlich und südlich davon. Bei einer solchen oberen Divergenz kann die feuchte Luftmasse darunter zur Hebung bis um 150 - 200 mbar veranlasst werden mit entsprechender Auslösung von Niederschlag über einige Tage, bis der oder die Tröge abgezogen sind und der "Duct" wieder hergestellt ist. (32)

Abb. 6a und 6b zeigen zwei Radiosondenaufstiege von Nairobi am 29.4. und 30.4.1958, als eine solche Umstellung von "Duct" auf "Drift" erfolgte. Es ist sehr auffällig, wie die Troposphäre oberhalb 600 mbar (etwa 2500 m über Grund) innerhalb von 24 Stunden - ohne jeden Luftmassenwechsel, den es hier im gewohnten Sinn ja nicht gibt - nahezu durchweg gesättigt wurde. Ein Aufsteigen in der feucht-labilen Atmosphäre konnte nunmehr ungehindert bis in grosse Höhe stattfinden, was am Vortage nicht möglich war.

Ebenso schnell kann die obere Troposphäre bei der Rückkehr zum "Duct" bzw. zu östlichen Winden auch wieder abtrocknen. (32) Tritt zu der oberen Konvergenz noch eine bodennahe Diffluenz hinzu, wird jegliche Wolkenbildung unterbunden. Das Absinken überwiegt bei weitem.

Wo ein gutes Netz von Beobachtungsstationen über längere Zeiträume vorhanden gewesen ist, konnten Mittelwerte der Niederschlagsmenge und der Anzahl der Tage mit Regen hergeleitet werden. Man muss sich aber klar darüber sein, dass die Aussagekraft dieser Mittelwerte begrenzt ist wegen der grossen Veränderlichkeit des Niederschlags in Afrika an sich. (46)

Dort, wo reichlich Regen fällt, hat es relativ wenig Bedeutung, ob die Jahresmenge einmal nur die Hälfte des Normalwertes beträgt. Es dürfte kaum zu schwerwiegenden Beeinträchtigungen der Umwelt führen. Im allgemeinen ist das Kommen des Regens nach der Trockenzeit um so zuverlässiger, je höher die mittlere Jahresmenge ist. Es ist erstaunlich, wie die Vegetation auf diesen Rhythmus eingespielt ist, und auch der Mensch in Afrika hat sich darauf in seinem Verhalten eingestellt.

In Gegenden wiederum mit ganz geringem jährlichen Niederschlag ist die Frage praktisch auch bedeutungslos, weil die Mengen ja doch auf jeden Fall unzureichend sind. Auch hier hatte sich die Bevölkerung der dünn besiedelten Wüstenrandgebiete darauf eingestellt, kannte 'die fetten und die mageren Jahre', wie sie die Bibel schon erwähnt, und zog mit den Viehherden dorthin, wo noch etwas wuchs.

In weiten Bereichen, in denen bei beachtlichem Niederschlag die Schwankung von Monat zu Monat und von Jahr zu Jahr beträchtlich sein kann, wird diese zur Beurteilung der Verhältnisse wichtiger als der vieljährige Mittelwert selbst.

Als Beispiel sei angeführt, was in der Hauptregenzeit im August in Gao in Mali vorkommen kann: Das Monatsmittel ist 127 mm, eine ausreichende Menge. Es ist aber auch schon die doppelte Menge im August gefallen, nämlich 259 mm. Das ist nahezu die mittlere Jahresmenge! Schlimm wurde es jedoch, als im August einmal nur 5 mm Regen fielen. Traten ähnliche Abweichungen auch in den anderen Monaten der Regenzeit auf, dann konnte das zur Katastrophe für das betroffene Gebiet werden.

Tatsächlich hat die Jahrsniederschlagsmenge in Gao, seit Beobachtungen durchgeführt werden, zwischen einem Minimum von 115 (1949) und einem Maximum von 490 (1930) mm geschwankt. 5 Monate ist es ganz trocken, also verteilt sich der gesamte Niederschlag auf 7 Monate im Jahr, und man sieht, dass es sehr wichtig ist, wieviel davon auf die einzelnen Monate kommen.

Nun haben nicht nur Gao in Mali, sondern die gesamte Sahelzone, d.h. das weite Randgebiet im Süden der Sahara von Senegal und Maurititanien im Westen, ja sogar die Kapverdischen Inseln, bis zum Sudan im Osten des Kontinents, zumindest in den letzten 5 Jahren, viel zu wenig Niederschlag erhalten.

Folgende Prozentzahlen der Jahressumme (bezogen auf den Normalwert 1931-1960) gelten für Gao in den Jahren seit 1966:

1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1966 - 1973
71	66	97	71	93	70	62	55%	73%

Gao ist dabei mit durchschnittlich 73 % des normalen Niederschlags noch nicht einmal besonders hart betroffen. Wesentlich schlimmer ist die Lage, vor allem in den letzten 4 Jahren, z.B. im Senegal und in Mauritanien gewesen, wo etliche Stationen wiederholt nur 20 bis 30 % des normalen Niederschlags verzeichnet haben.

Bezogen wird der Niederschlag auf die Mittel der Werte der Jahre von 1931 bis 1960, (50) die man als "normal" ansieht. Aus den Mittelwerten der Stationen, die schon länger Beobachtungen angestellt haben, so dass man auch einen "Normalwert" der vorhergegangenen 30 Jahre kennt, sieht man, dass ausser den Schwankungen von kürzerer Dauer wie jetzt in den Jahren 1970 bis 1973 auch Veränderungen über längere Zeiträume vorgekommen sind.

Wir kennen die 30-jährigen Mittelwerte sowohl von 1901 bis 1930, als auch von 1931 bis 1960 an den Stationen Dakar und St. Louis im Senegal. (1)

Diese 'Normalwerte' sind in Dakar 536 bzw. 578 mm und in St. Louis 391 bzw. 347 mm. Abweichungen von 10 % nach der einen oder anderen Seite selbst bei vieljährigen Mittelwerten wurden also auch an nahe beieinander liegenden Stationen beobachtet. Die Entfernung beträgt etwa 200 km! Der begrenzte Aussagewert der mittleren Niederschlagssumme in diesem Bereich Afikas ist damit noch einmal verdeutlicht.

Nach dieser allgemeinen Übersicht über die Niederschlagsverhältnisse in Afrika wird noch auf Untersuchungen hingewiesen, die sich mit Besonderheiten in verschiedenen Gebieten des Kontinents befassen und in Monographien beschreiben, was meist aus eingehenden Studien an Ort und Stelle gefunden worden ist. So gibt es aus den ehemaligen französischen Kolonialgebieten, aber auch aus anderen Gebieten Afikas, eine Reihe von Arbeiten (2,3,4,5,10,12,16,17,41,45,47), die umfangreiche und oft wertvolle Ergebnisse aus dem seinerzeitigen Neuland der tropischen Meteorologie festgehalten haben. Es soll hier im einzelnen nicht darauf eingegangen werden. Der Hinweis auf diese Literatur mag genügen und für manche heutige Untersuchung von Interesse und immer noch wertvoll sein.

Mit anfangs vereinzelt, aber im Laufe des Jahres 1973 stark zunehmenden Meldungen in der Tages- und Wochenpresse, (52) im Rundfunk und schliesslich auch in der Fachpresse (5,10) über unge-

wöhnliche Trockenheit im Sahel ist die Aufmerksamkeit verstärkt auf das Problem "Niederschlag in Afrika" gerichtet worden und zwar in einem Masse, wie man es zuvor kaum gekannt hatte.

Das hat verschiedene Gründe. - Und auch die Tatsache, dass in meteorologischen Kreisen das Thema erst relativ spät aktuell wurde, deutet darauf hin, dass die Auswirkungen der Katastrophe (40) früher gefühlt und erkannt wurden als ihre Ursache, nämlich der mehr und mehr ausbleibende Regen in immer weiteren Gebieten. Denn es ist an sich nichts Aussergewöhnliches, dass in den Randgebieten der Wüsten Afrikas - wie übrigens auch der anderen Kontinente ^{x)} - der Niederschlag einmal ausbleibt und zwar in einer oder in mehreren aufeinanderfolgenden Regenzeiten. Das ging aus dem oben Gesagten bereits hervor. Es ist aus den unterschiedlichen synoptischen Situationen zu verstehen.

Die Unzuverlässigkeit des Niederschlags ist in diesen Gebieten sozusagen ein "Normalzustand". Wir kennen Perioden mit reichlichen und auch mit dürftigen Niederschlagsmengen (Abb. 7 und Tab. 2 und 3). Seitdem regelmässige Beobachtungen durchgeführt werden, weiss man von 'Dürre Jahren' im Sahel in den Jahren 1910-1913, 1933/34, 1940/41, 1947/48. Und nun erleben wir seit 1967 eine Reihe von Jahren, in denen weiträumig der Niederschlag immer mehr zurückgegangen ist. Das wurde besonders auffällig, weil dieses markante Defizit eingelagert ist in eine Entwicklung, die offenbar schon länger im Gange ist, aber in den Fünfziger Jahren durch vorwiegend überreiche Niederschläge überdeckt war. (25,47,48) Aus der Arbeit von Winstanley (48) geht auch hervor, dass sich die Entwicklung weltweit gezeigt und nicht nur die Sahelländer in Afrika betroffen hat, von wo die alarmierenden Meldungen den Weg über die FAO in die Welt- presse gefunden haben, als Hilfeleistungen dringend erforderlich wurden. Wir haben es wahrscheinlich mit grossräumigen Änderungen in der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre zu tun (48). Die katastrophalen Auswirkungen eines solchen Naturereignisses, das jedoch über längere Zeiträume gesehen nichts Aussergewöhnliches im Geschehen der Atmosphäre darstellt, sind nur deshalb so offenbar geworden, weil in den betroffenen Ländern seit der vorigen grösseren Dürre umwälzende Ereignisse politischer und wirtschaft-

^{x)} siehe: "die sieben fetten und sieben mageren Jahre", die die Bibel erwähnt. - Vgl. auch (38,48,49)

licher Art stattgefunden haben, die die Krisenanfälligkeit dieser Grenzgebiete im Lebensraum von Mensch, Tier und Pflanze nun so stark hervortreten lassen. Es ist hier nicht der Raum, diese Gesichtspunkte der Trockenheit im Sahel und ihrer Auswirkungen zu untersuchen. Hierüber hat Professor Mensching (33) im April 1974 an einem Kolloquium des Deutschen Instituts für Afrika-Forschung e.V. in Hamburg ausführlich berichtet. (Vgl. auch Neue Zürcher Zeitung vom 24.2.1974.) Er hat sehr treffend von der beschränkten Belastbarkeit der Sahelgebiete gesprochen. Die Fortführung dieser Gedankengänge zu den "Grenzen des Wachstums" auch in dieser Hinsicht ist naheliegend. (Vgl. auch (20)).

Der Zweck der vorliegenden Arbeit ist, eine Analyse der meteorologischen Faktoren des Ereignisses mit Daten und Tatsachen aus den betroffenen Ländern zu geben. Ausgelöst wurde das Ganze durch eine Anfrage der "Deutschen Welle" in Köln im April 1973, als diese eine Spezialemission für Westafrika ausstrahlen wollte. Einen erheblichen Beitrag dazu leisteten verschiedene Institutionen in den betroffenen Ländern wie ASECNA in Paris und ihre Vertretungen in Mauritien, Senegal und Niger sowie der Meteorologische Dienst in Mali, die alle mithalfen, Lücken im Beobachtungsmaterial (siehe Anhang) zu füllen. An dieser Stelle sei ihnen vielmals gedankt. Es liegen auch andere Arbeiten vor, die das Thema unter den verschiedensten Gesichtspunkten angeschnitten oder behandelt haben (5,6) und auf die zurückgegriffen werden konnte.

Einen Absatz aus dem Beitrag "Significant Weather in 1973" im WMO-Bulletin XXIII, (51) No. 2, S. 82, möchte ich hier ganz zitieren, weil er den Schlüssel zu enthalten scheint, der das Niederschlagsgeschehen in Afrika im wesentlichen beherrscht.

"The general circulation of the atmosphere in 1973 was characterized, as in 1972, by fairly intense cyclonic activity and high zonal index over large parts of the northern hemisphere, in particular in the European-Atlantic and northern Pacific sectors. This was due to continued intensification of the polar vortex" (vgl. hierzu auch Dronia (11)) "together with increased heights of the contours in lower latitudes." (Vgl. auch Abb. 4).

"Pressure in the polar vortex was 2 to 3 mbars lower than the mean value for the period 1931 to 1960 and in the Asiatic part temperature was about 2°C lower than normal, indicating that the

cooling of the Arctic which has been going on since the 1950s is indeed continuing. Extensive blocking occurred for considerable periods over eastern Europe, Central Asia and Canada."

Weiter wird dann erwähnt, dass sich im Winter ungewöhnlich tiefe Tröge über dem Atlantik südwärts ausdehnten. Hierzu seien die Abweichungen der Lufttemperatur von den Normalwerten in den Winter- und Frühjahrsmonaten in Dakar und auf den Kapverdischen Inseln mitgeteilt, wie sie in Abb. 8 dargestellt sind. Der Unterschied zwischen den Jahren 1971 bis 1973 gegenüber 1969 und 1970 ist auffällig. (siehe auch (22))

Die Zonalströmung über dem Nordatlantik in mittleren Breiten war verstärkt, wodurch die subtropische Antizyklone (Azoren) kräftiger war und dem Nordwärtswandern der Intertropischen Konvergenzzone im Nordsommer entgegenwirkte.

Im Gegensatz dazu heisst es im WMO-Bulletin für die Südhalbkugel:

"Fluctuations between zonal flow and low index pattern occurred throughout the year, except for the Atlantic where the flow remained less zonal than normal for almost the entire period".

Auch aus den monatlichen Kartendarstellungen des Luftdrucks und seiner Abweichungen vom Normalwert (Die Witterung in Übersee, Seewetteramt Hamburg (8)) geht deutlich hervor, dass die St. Helena-Antizyklone - z.B. im August 1972, also im Hauptmonat der Regenzeit nördlich des Äquators - bis zu 9 mbar schwächer als normal war.

In Abb. 9 sind die gemittelten Luftdruckabweichungen für 1970 bis 1972 zusammen und auch für die einzelnen Jahre in verschiedenen Gebieten Afrikas angegeben. Charakteristisch für diese Jahre der Niederschlagsanomalien ist der höhere Luftdruck im Norden und vor allem im Nordwesten und das Defizit südlich des Äquators, aber vor allem im Innern Zentralafrikas um über 3 mbar. Diese aussergewöhnlich grosse Abweichung ist über alle Dürrejahre hinweg beobachtet worden. Sie wird einen nachhaltigen Einfluss auf das Strömungsbild der unteren Luftschichten im tropischen Afrika gehabt haben.

Im WMO-Bulletin (51) wird dann im Abschnitt Afrika über die abnormalen Niederschlagsverhältnisse in den einzelnen Ländern berichtet. Nicht nur in den von Nomaden bevölkerten nördlichen Regionen, sondern auch im landwirtschaftlich genutzten Raum weiter südlich hatte das 6. Jahr mit zu geringem Niederschlag katastrophale Auswirkungen. Die Erdnussernte z.B. erreichte in der Republik Niger noch nicht ein Viertel der Menge, die sonst anfällt.

Die Niederschlagssummen in Prozent der normalen Menge von zwei Stationen im Sahel, Dakar (Senegal) und Tombouctou (Mali), sind in Abb. 10 zusammengefasst. Der Abfall seit dem Anfang der 60er Jahre von überdurchschnittlichen Mengen zu den augenblicklichen Defizitwerten ist recht beachtlich und besorgniserregend für die betroffenen Gebiete.

Auch die in Abb. 11 aufgetragenen monatlichen Niederschlagswerte im Vergleich zu den vieljährigen Mittelwerten zeigen das gleiche Bild des Ausbleibens der Monsunregen in Dakar, hier im Jahre 1972. Im Gegensatz dazu sieht man, dass die Winterregen auf der Nordseite der subtropischen Antizyklone in Agadir durch die schon erwähnte verstärkte Zonalströmung in diesen Breiten des Atlantik erheblich über dem Normalen lagen, nämlich um nahezu 40 %. ((21), aber auch (35, 13))

Es wurden nun vier Nord-Süd-Schnitte durch Afrika gelegt (Abb. 12a, b). Daraus wird noch einmal deutlich, dass die nordafrikanischen Stationen dank ergiebigerer Winterregen 1971 einen Überschuss an Niederschlag hatten, der vor allem in Marokko, also im Westen, beachtlich war.

Die Wüstenstationen um 20°N hatten überwiegend nur wenige Prozente ihres an sich kärglichen Niederschlags oder blieben ganz trocken. Relativ günstig schnitt dabei noch Khartoum ab mit über 70 %. In der Sahelzone erreichten die Monsunregen im Westen die geringsten Mengen, während zum Sudan hin wenigstens der August reichlichen Niederschlag brachte.

Erst im äquatorialen Regengürtel und vor allem südlich des Äquators zeigten die Niederschläge normale und verbreitet auch übernormale Werte (115 bis 125 %). Die schon erwähnte negative Luftdruckabweichung (Abb. 9) im zentralen und südlichen Afrika gab Anlass

zu vermehrter Konvergenz der feuchten, aber abgeschwächten Südostströmung vom Indischen Ozean über Malagasy hinweg, wo 1971 ebenfalls fast durchweg sehr reichliche Regenmengen verzeichnet wurden.

Den prozentualen Niederschlag im Jahre 1971 für ganz Afrika zeigt die Abb. 13a. In den Jahren 1970, 1972 und 1973 sieht das Bild in grossen Zügen recht ähnlich aus, so dass auch die Zusammenfassung der drei Jahre 1970 bis 1972 eindrucksvoll die grosse Dürre in weiten Teilen Afrikas vor Augen führt (Abb. 13b).

Nimmt man anstatt der Regenmengen die Anzahl trockener Monate ($\leq 0,5$ mm) zur Charakterisierung der Niederschlagsverhältnisse, dann bekommt man für das vieljährige Mittel die Abb. 14. (Vgl. auch (29)). Man erkennt deutlich den äquatorialen Regengürtel, wo normalerweise kein Monat ohne Niederschlag bleibt. Nördlich davon reihen sich dicht gedrängt die Trockenzeiten mit 2,3,4, bis 6 und 8 Monaten an. Die östliche Sahara weist normalerweise 11 bis 12 Monate ohne jeden Regen auf. Der Osten und Süden des südlichen Afrika kennt im allgemeinen keinen Monat ohne Regen. Das Gebiet mit einer längeren Trockenheit beschränkt sich auf einen wüstenhaften Streifen längs der Küste vom südlichen Angola (Moçamedes) bis nach Südwestafrika (Wüste Namib).

Wesentlich anders sah das Bild in den Jahren der verbreiteten Trockenheit in Afrika aus, wie man in Abb. 15 sieht. Der breite Gürtel mit Regen in allen Monaten von Sierra Leone bis Ostkenya war erheblich zusammengeschrumpft und reichte nur noch von Douala bis zum Kilimandscharo. Dazu blieben noch die südlichen Gebiete der Elfenbeinküste und ein kleiner Raum um den Tschadsee. Zwei Gebiete mit einer normalerweise kurzen Trockenzeit (das nordöstliche Angola und der Süden Zaires, sowie Teile von Gabun) hatten sogar Regen in allen Monaten.

Weite Gebiete hatten jedoch eine um etliche Monate verlängerte Trockenzeit. Am schlimmsten betroffen waren Südwestafrika mit einer Verlängerung um 5 und das Gebiet von der Spanischen Sahara bis zum Senegal um 6 bis 8 Monate. Das gleiche gilt für das nördlichste Äthiopien bis etwa Port Sudan, aber auch das nordöstliche Kenya und wahrscheinlich Somalia, von wo keine Meldungen vorliegen. Auch die Oasen im Innern der Sahara haben sich bei ihren spärlichen Niederschlagsmengen, die sonst vereinzelt einmal fallen, ganz ohne

Niederschlag abfinden müssen. Abb. 15 zeigt am anschaulichsten, welche Ausmasse die Trockenheit in Afrika in den letzten Jahren angenommen hat.

Die Darstellung der Niederschlagsverhältnisse in Afrika und insbesondere der schwerwiegenden Abweichungen in den Jahren 1970 bis 1973, und auch noch 1974, bleibt unvollständig, weil kaum etwas über die Aerologie gesagt wird. Wohl kennen wir die mittleren Verhältnisse in der freien Atmosphäre über Afrika aus der Arbeit von B.W. Thompson (45), aber es stand leider kein ausreichendes aerologisches Material aus den Jahren der Trockenheit zur Verfügung, um zeigen zu können, in wieweit die Strömungsverhältnisse der unteren Troposphäre in diesen Jahren abwichen. Es wird noch einmal auf Abb. 4 verwiesen, in der die mittlere Lage der Achse des äquatorialen Troges zu sehen ist. Wie sich dies in der Karte der mittleren Höhe der 700 mbar-Fläche darstellt, zeigt Abb. 16. Anstelle eines "Ducts" entlang dem Äquator mit östlichen Winden begrenzt durch zwei gleich ausgebildete Antizyklonen in den Subtropen haben wir im Mittel einen um einige Breitengrade nach Norden verschobenen äquatorialen Trog mit einem kräftigen Hoch über der algerischen Sahara und einem schwächeren Hoch mit zwei Kernen über dem südlichen Afrika und Angola, das sich ziemlich flach bis zum Äquator im Golf von Guinea fortsetzt und somit eine "Duct"-Ausbildung verhindert. Im Juli finden wir normalerweise südliche bis westliche Winde über dem südlichen Teil Westafrikas selbst bis in Höhen über 3000 Meter.

Wenn nun aber die Antizyklone südlich des Äquators deutlich abgeschwächt und gleichzeitig diejenige über dem nördlichen Afrika verstärkt ist (vgl. auch die übernormalen Temperaturen, die gemeldet wurden), dann wird die Trogachse näher an den Äquator herangerückt, und es kann eine östliche, im Ausgang des "Ducts" vorwiegend difffluente Strömung in der unteren Troposphäre vorgeherrscht haben. Hierüber könnten Höhenwindbeobachtungen in den betreffenden Jahren Aufschluss geben.

Dass sich am Südrand des troposphärischen Saharahochs sehr kräftige östliche Winde entwickelt haben, wurde indirekt durch Staubbeobachtungen (36) über dem Atlantik bis hinüber in den karibischen Raum bestätigt. Die Staubbeimengungen in der Luft sollen bis zum Drei- bis Vierfachen gegenüber früheren Jahren betragen haben. Dieser Staub entstammt vermutlich den Trockengebieten im Sahel

und am Wüstenrand der westlichen Sahara.

Folgender indirekte Schluss ist vielleicht zulässig:

Bei geringerem Druckgradienten am Südrand des Saharahochs wäre die Windstärke in der unteren Troposphäre geringer gewesen und damit die Regenhäufigkeit grösser. Dies wiederum bedeutet geringere Aufnahme von Sand vom Erdboden, der nicht so stark austrocknet. Da die Luftdruckverteilung am Boden in den Sommermonaten der untersuchten Jahre nicht wesentlich von der normalen abgewichen ist, bleibt die Verlagerung der Trogachse in der Höhe näher zum Äquator hin und damit die Stabilisierung in der Ostströmung als Schlussfolgerung für die Erklärung der verminderten Niederschlagstätigkeit im Sahelgebiet.

Allgemein hat über grössere Räume betrachtet der Niederschlag in Afrika - und anderswo in den Tropen - nachgelassen; ob vorübergehend oder über einen längeren Zeitraum, sei dahingestellt. Die Ursachen dafür dürften in der Änderung der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre zu suchen sein (48).

Es wird hierzu auf eine interessante, kürzlich veröffentlichte Untersuchung über die Zunahme der Albedo in der Nordhalbkugel hingewiesen (22). Aus Satellitenbeobachtungen seit dem Jahre 1967 sind die Verfasser zu dem Ergebnis gekommen, dass die Schnee- und Eisbedeckung in der Nordhalbkugel seit 1971 im Herbst fast sprunghaft um einige Wochen früher einsetzte und auch im Frühjahr länger erhalten blieb. Als weiteres Mass für die klimatischen Veränderungen in diesen Jahren ist der Reflexionsverlust angegeben, der mit seinen Höchstwerten im Frühjahr im Mittel der Nordhalbkugel von $1,75 \cdot 10^9$ cal/Tag im Jahre 1970 auf $2,05 \cdot 10^9$ cal/Tag in den Jahren 1972 und 1973, also um etwa 18 % zugenommen hat. Am 10.2.1972 hatte die Schnee- und Eisbedeckung der Nordhalbkugel mit $66,7 \cdot 10^6$ km² ihren höchsten Wert dieser Jahre.

Im Oktober 1972 (also etwa zur Zeit des Jahresminimums) war die Gesamtfläche etwa doppelt so gross wie 1968! Die Verfasser weisen darauf hin, dass die Verhältnisse der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre 1968 bis etwa 1970/71 einigermaßen "normal" waren, aber dann in den Jahren 1972 und 1973 in den Zusammenfassungen "Significant Weather" der WMO (50) als abnormal aufgeführt sind. Nirgendwo wird jedoch auf die Schnee- und Eisbedeckung der Erde

und des Meeres hingewiesen, die die Verfasser dank der Satellitenbeobachtungen erstmalig untersucht haben.

In den behandelten Jahren hat die mit Schnee und Eis bedeckte Fläche der Nordhalbkugel um etwa $4 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ zugenommen. Das ist ein Siebentel dessen, was im Höhepunkt der letzten Eiszeit gegenüber heute mehr an Eisbedeckung vorhanden gewesen ist. Dieses Siebentel hat sich jetzt in nur wenigen Jahren angesammelt und ist offenbar mit einschneidenden Veränderungen in der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre einhergegangen. Man erkennt daraus, wie schnell beachtliche Änderungen der Albedo, die sich in erster Linie im Frühjahr und im Herbst auswirken, auftreten können. Im allgemeinen kommen solche nachhaltigen Veränderungen nicht allzu häufig vor, und die Verhältnisse kehren dann in der Regel auch wieder zum Normalzustand zurück.

Bei der Betrachtung der Niederschlagsverhältnisse im Sahel, d.h. in einer Klimazone mit grosser Krisenanfälligkeit muss man derartige Erscheinungen, wie sie Kukla und Kukla in (22) beschrieben haben, auf jeden Fall berücksichtigen, auch wenn man vorerst noch keine unmittelbaren Zusammenhänge nachweisen, sondern nur indirekt schliessen kann.

Schlussbemerkung

Im Zusammenhang mit den folgenschweren Auswirkungen des ausgebliebenen Regens in den letzten Jahren in weiten Teilen Afrikas wird immer wieder die Frage aufgeworfen, ob eine Vorhersage für die kommenden Jahre oder wenigstens die Ankündigung einer Änderung gebracht werden kann. Es wird hierzu auf die Notiz des Verfassers in der Beilage zur Wetterkarte des Deutschen Wetterdienstes, Frankfurt, Nr. 28/1974, hingewiesen (36,41,42,43), in der das Problem in einer Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse der Analyse behandelt worden ist. Eine Vorhersage der weiteren Entwicklung beim jetzigen Stand der Kenntnisse erscheint äusserst zweifelhaft. Unsere Kenntnisse werden aber hoffentlich durch die umfangreichen Ergebnisse bereichert, die bald aus dem GATE-Projekt erwartet werden können.

Zur Zeit lässt sich nur feststellen, dass gewisse Voraussetzungen für die gegenwärtigen abnormalen Niederschlagsverhältnisse sich auch

dieses Jahr noch nicht grundlegend, wenn überhaupt geändert haben.

Abb. 17 enthält die Mittelwerte je einer Gruppe von 13 Stationen am Wüstenrand und 17 im Regengürtel ausgedrückt in Prozenten des Normalwertes für die Jahre 1970 bis 1973. Für das Jahr 1974 werden die Verhältnisse in den einzelnen Monaten dargestellt, soweit die Meldungen der Stationen bereits eingegangen sind. Auch diese Regenzeit, nunmehr die fünfte in einer Folge, hat die Erwartungen wieder nicht erfüllen können. Selbst der für viele Orte regenreichste Monat August hat im Sahel im Durchschnitt von 12 Stationen nur 76 % des normalen Niederschlages gebracht. Die gesamte Regenzeitdauer des Jahres 1974 war wieder viel zu kurz.

Für Accra und Libreville im Regengürtel sind auch die Abweichungen der Jahresmitteltemperatur angegeben. Bei Accra scheint ein gewisser Zusammenhang zwischen der Lufttemperatur und der Regenmenge zu bestehen. Vgl. auch (14).

Geht man dagegen nach Dakar, dann ist dies nicht der Fall. Hier scheinen die Winter- und Frühjahrstemperaturen die kommende Regenzeit wesentlich mitzuprägen. Hierauf weist auch Leroux (27,28) in seinen Untersuchungen hin. Siehe auch (22).

Wie weit nun die Zunahme der Temperatur und des Niederschlags in Accra und Libreville im Jahre 1973 ein Vorzeichen für die Entwicklung im Jahre 1974 sein konnte, sieht man bei Accra, wo schon bis Ende Oktober ein Niederschlag von 118 % des Jahresdurchschnitts gefallen war. Die Station hatte wieder in allen Monaten eine positive Temperaturabweichung mit einem Höchstwert von + 1,2° im August. Es ergeben sich also nahezu die gleichen Verhältnisse wie im Jahre 1973. Für Libreville dagegen scheint sich erstmalig seit 4 Jahren wieder eine leicht negative Temperaturabweichung zu ergeben, vor allem während der Monate August bis Oktober, also während des ausgehenden Winters der Südhalbkugel. Gleichzeitig blieben die Niederschlagsmengen im wesentlichen unter dem Normalwert von 3068 mm. Die Regenzeit setzte im September vorerst nur schwach ein.

Deutlich waren jedoch die Wintertemperaturen 1973/74 in Dakar, Tombouctou und auf den Kapverdischen Inseln wie in den Jahren zuvor wesentlich zu niedrig. Der Zug zu niedrigeren Werten setzt sich seit 1970/71 unverändert fort und macht sich nun auch in den

Sommertemperaturen bemerkbar.

Die neuesten eingegangenen Meldungen aus den von der Trockenheit betroffenen Gebieten in der jetzt auslaufenden Regenzeit (15) liessen die Hoffnung auf eine Wende zum Besseren verschwinden. Wieder erhielt der Regengürtel weitverbreitet überdurchschnittlichen Niederschlag, während im Steppen- und Wüstenrandgebiet die Regemengen erneut unter dem Durchschnitt blieben. Die Tabelle 4a (Wüstenrand und Steppe) und die Tabelle 4b (Regengürtel) zeigen die Entwicklung in diesem Jahr.

Auf einer kürzlich stattgefundenen Zusammenkunft unter der Leitung des Permanent Inter-State Committee for the Fight against Drought in the Sahel (CTLSS) in Ouagadougou ist an die WMO herangetreten worden, man möge klimatologische, agrarmeteorologische und hydrologische Studien in den von der Trockenheit betroffenen Gebieten durchführen (7). Entsprechende Massnahmen sind hierauf beschlossen worden, und es bleibt zu wünschen, dass solche Untersuchungen bald anlaufen, die notwendige Unterstützung finden und dass deren Ergebnisse einerseits unsere Kenntnisse erweitern und andererseits den betroffenen Ländern und ihren Menschen zur Meisterung ihrer Probleme in geeigneter Weise beitragen helfen.

Literatur

1. ASECNA - Service Météorologique.
Normales climatologiques du Sénégal. - Dakar 1963
2. Aubréville, A.: Climats, Forêts et Désertification de
l'Afrique tropicale. - Paris 1949
3. Chaxel, R. du: La pluie à Dakar. - La Météorologie, Juillet-
Septembre 1950. S. 153-170.
4. Dammann, W.: Zur Meteorologie des Tschadsees. - Berichte
des Bundes der Diplomgärtner e.V. Heft 12, 1967
5. Davy, E.G.: Drought in West Africa. - WMO - Bulletin 23,
No. 1, S. 18-23, Genève 1974
6. Davy, E.G.: A survey of meteorological and hydrological data
available in six Sahelian countries of West Africa. -
WMO No. 379, Genève 1974
7. Davy, E.G.: A programme for development of applications of
meteorology in the Sudano-Sahelian Zone. -
Bericht und Empfehlungen auf einer Zusammenkunft
des Permanent Inter-State Committee for the Fight
against Drought in the Sahel (CTLSS) in
Ouagadougou. - Dazu WMO drought Project
(Resolution 19, EC-XXVI).
8. Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt Hamburg: Die Witterung
in Übersee. August 1972 u.a.
9. Dhonneur, G.: Circulation générale et types de temps sur
l'Afrique Occidentale et Centrale.
In: WMO No. 340. - Agroclimatology in the Semi-Arid
Areas south of the Sahara. - Genève 1973
10. Dresch, J.: Drought over Africa. - UNESCO Courier 26, (August-
September 1973), S. 44-47
11. Dronia, H.: Temperaturänderungen der freien Atmosphäre auf
der Nordhalbkugel in den letzten 25 Jahren.
Meteorol. Rundschau (im Druck)
12. Ekhart, E.: Die Strömung der Luft über Afrika und den an-
grenzenden Gebieten. - Reichsamt für Wetterdienst
(Luftwaffe) Reihe A, Nr. 10. - Berlin 1941

13. Flohn,H.: Étude des conditions climatologiques de l'avance du Sahara Tunesien. - WMO No. 279, Genève 1971
14. Flohn,H.: Globale Energiebilanz und Klimaschwankungen. - Bonner Meteorol. Abhandlungen H. 19 (Sonderhaft), 1973, S. 75-117
15. Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 26.8.1974 (DPA): Heftige Regenfälle in der Sahelzone.
16. Hubert,H.: Nouvelles recherches sur les grains orageux et les pluies en Afrique Occidentale. - Paris 1922
17. Hubert,H.: Nouvelles études sur la météorologie de l'Afrique Occidentale française. - Paris 1926
18. Jackson,St.P.: Climatological Atlas of Africa. - Lagos - Nairobi 1961
19. Johnson,D.H.: Methods of analysis. Part 2. - Contour analysis WMO Techn.Note No. 64 - Vol.1, S. 76-82. - Genève 1964
20. Kaufmann,R.: Letzte Warnung. - Weltwoche-Magazin, Zürich, 4.7.1973. S. 37
21. Krijnen,H.J.: An indication of climatic shift in the NW-African region derived from precipitation measurements. - Meteorol. Rdschau 26, (4-6) 1973, S. 4-6
22. Kukla,G.J.und Kukla,H.J.: Increased surface albedo in the northern hemisphere. - Science 183 (No. 4126) 1974, S. 709-714
23. Lamb,H.H.: Some comments on atmospheric pressure variations in the northern hemisphere. - (Auszug aus: "Drought in Africa" edited by D.Dolby and R.J.Harrison-Church, London 1973)
24. Lamb,H.H.: Recent climatic changes. - Statement presented at the symposium on "Drought in Africa". 19-20. July 1973. - Climatic Research Unit Monthly Bulletin (CRUMB) 2 (3) 1973
25. Lamb,H.H.: Is the earth's climate changing? - UNESCO Courier 26 (August-September 1973), S. 17-20

26. Landsberg, H.E. (Editor in Chief): World Survey of Climatology. Vol. 10. - Climate of Africa edited by J.F. Griffiths. - Amsterdam-London-New York 1972
27. Leroux, M.: La saison des pluies 1973 au Sénégal. - Dakar 1973
28. Leroux, M.: La circulation générale de l'atmosphère et les oscillations climatiques tropicales. - Dakar 1973
29. Lockwood, J.G.: World Climatology. - An environmental approach. London 1974. (Fig. 4.14, S. 126)
30. Loewe, Fr.: Die geographische Verteilung der Niederschläge in Afrika. - Dissertation 1923
31. Lumb, F.E.: Upper tropospheric disturbances of the equatorial atmosphere and their influence on rainfall near the equator. - Meteorol. Mag. 102 (1973), S. 269-272
32. Lumb, F.E.: The magnitude of the horizontal divergence and vertical motion associated with upper tropospheric disturbances of the equatorial atmosphere. - Meteorol. Mag. 103 (1974), S. 146-147
33. Mensching, H.: Ursachen der Dürrekatastrophe in Afrika. - Neue Zürcher Zeitung. 24.2.1974
34. Newell, R.E., Kidson, J.W., Vincent, D.G., Boer, G.J.: The General Circulation of the Tropical Atmosphere. - Vol. 1. - MIT Press, Cambridge, Mass. und London, 1972 S.193 ff.
35. N.N.: Klimatologische Beiträge für den Marinewetterdienst Nr. 11. - Das Klima der Atlantikküste von Marokko. (Übersetzung aus: Mémoires de la Société des Sciences naturelles du Maroc. - No. 28 (1931))
36. N.N.: African dust affects Caribbean weather. - Bull. Am. Meteorol. Soc. 55 (No. 4) 1974, S. 348-349
37. Plaetschke, J. und Stranz, D.: Die Niederschlagsverhältnisse in Westafrika während der Jahre 1970 bis 1972. - Wetterkarte des Deutschen Wetterdienstes, Seewetteramt Hamburg. Nr. 134 vom 13.7.1973
38. Ramage, C.S.: An unfashionable view of the interaction between the tropics and middle latitudes. - Austral. Meteorol. Mag. 21 (2) 1973, S. 89-91

39. Rao, Y.P. und Desai, B.N.: Conditions for normal summer monsoon rainfall and causes of droughts over western India. - Indian J. Met. Geophys. 24 (No. 2) 1973, S. 131-136
40. Santini, A. und Scianna, F.: Warten auf den grossen Regen. - Weltwoche-Magazin, Zürich. 4.7.1973
41. Soliman, K.H.: On the Intertropical Front and Intertropical Convergence Zone over Africa and adjacent oceans. (In: Symposium on monsoons of the world. - S. 135-142. New Delhi 1960)
42. Stranz, D.: Geht die Dürre in Afrika zu Ende? - Beilage zur Wetterkarte des Deutschen Wetterdienstes Frankfurt. Nr. 28/1974
43. Stranz, D.: Noch einmal: Die Niederschlagsverhältnisse im westlichen Afrika. - Wetterkarte des Deutschen Wetterdienstes. Seewetteramt Hamburg. Nr. 222/223 vom 14. und 15.11.1973
44. Stranz, D.: Geht die Dürre im westlichen Afrika zu Ende? - Wetterkarte des Deutschen Wetterdienstes, Seewetteramt Hamburg. Nr. 107/108 vom 6. und 7.6.1974
45. Swami, K.: Moisture conditions in the savanna region of West Africa.. - Savanna Research Series No. 18, December 1973. - Dept. of Geography and Climatology, Montreal 1973
46. Thompson, B.W.: The Climate of Africa. - Nairobi-London-New York 1965
47. Walker, H.D.: The monsoon in West Africa. - (In: Symposium on monsoons of the world. - S. 35-42. New Delhi 1960)
48. Winstanley, D.: Recent rainfall trends in Africa, the Middle East and India. - Nature 243, 1973. S. 464-465
49. Winstanley, D.: Rainfall patterns and general atmospheric circulation. - Nature 245, 1973. S. 190-194
50. World Meteorological Organization. No. 117 TP. 52. - Climatic Normals (CLINO) for Climat and Climat Ship stations for the period 1931-1960. - Genève 1962.

51. World Meteorological Organization. - WMO Bulletin 23 (No. 2)
S. 82-93. Genève 1974
52. Aus der Tages- und Wochenpresse (Die Welt, Frankfurter Allgemeine Zeitung, Frankfurter Rundschau, Die Weltwoche, Der Spiegel, Deutsche Zeitung, Stern, Pinneberger Zeitung u.a.) im Zeitraum 1973/74

Mittlere Niederschlagsmengen an Äquatorstationen in Afrika in Millimetern

Tabelle 1

m	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Mogadiscio	1	0	9	58	56	<u>82</u>	58	40	23	27	<u>36</u>	9	399
Gariisa	10	6	27	<u>52</u>	16	5	1	6	6	21	<u>77</u>	64	298
Nairobi	88	70	96	155	<u>189</u>	29	17	20	34	64	<u>189</u>	115	1066
Equator	33	34	72	<u>168</u>	142	123	163	<u>205</u>	111	53	63	55	1222
Entebbe	100	86	141	<u>280</u>	257	98	65	91	87	108	<u>146</u>	126	1585
Kisangani	83	104	146	172	<u>181</u>	112	116	179	178	<u>215</u>	161	114	1761
Mbandaka	82	102	156	141	131	120	100	110	206	213	195	122	1678
Libreville	331	305	<u>410</u>	363	291	18	1	9	113	384	<u>506</u>	389	3120
São Tomé	82	84	<u>132</u>	120	113	16	0	1	18	<u>108</u>	100	98	872
Mittlere Niederschlagsmengen in Millimetern in etwa 12° N-Breite													
Bender Cassim	0	0	1	<u>2</u>	2	0	0	0	0	2	<u>7</u>	3	19
Djibouti	10	13	<u>25</u>	12	5	1	2	8	8	10	<u>22</u>	13	129
Roseires	0	Tr	1	11	58	126	166	<u>221</u>	152	36	5	0	770
Maiduguri	1	Tr	1	4	34	78	180	<u>227</u>	112	23	Tr	0	659
Ouagadougou	0	2	13	16	83	122	203	<u>280</u>	144	33	1	0	897
Bougouni	Tr	1	5	17	68	140	231	<u>335</u>	210	61	10	Tr	1078
Bissau	1	1	0	1	15	175	472	<u>682</u>	435	195	42	2	2021

Tabelle 2

Niederschlag (in mm) im August (Hauptregenzeit) in Dakar

	1901-10	1911-20	1921-30	1931-40	1941-50	1951-60	1961-70	1971-80
1	128	217	132	54	91	218	140	196
2	185	224	158	455	288	175	410	35
3	283	93	251	226	271	71	200	170
4	345	184	248	241	264	383	280	136
5	199	458	213	405	202	235	200	
6	504	139	206	179	362	112	140	
7	109	331	476	162	127	142	260	
8	366	417	209	251	351	493	20	
9	405	98	480	290	196	123	279	
10	191	184	246	381	411	299	110	
Normal	256		249			184		

Tabelle 3

Mittlere, maximale und minimale monatliche Niederschlagssummen in Nouakchott (Mauritanien)

	Max.	Mittel	Min.
Jan.	5	1	0
Feb.	18	1	0
März	15	1	0
Apr.	10	1	0
Mai	16	1	0
Juni	13	1	0
Juli	46	18	0
Aug.	386	81	3
Sept.	190	38	0
Okt.	42	10	0
Nov.	28	5	0
Dez.	25	1	0

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahressumme 1974	Normal (1931-60)
a) <u>Wüstenrand und Steppe</u>														
Dakar	0	0	0	0	0	0	51	136	149	31	0	0	367	578
St. Louis	0	0	1	0	0	0	25	80	79	12	0	0	197	347
Matam	0	0	0	0	*	17	76	186	49	2	0	0	(330)	537
Tidjikja	0	0	0	0	0	9	10	31	*	2	*	0.5	*	142
Nioro du Sahel	0	0	0	0	2	31	66	229	82	11	*	0	(421)	631
Mopti	0	0	0	0	18	75	3	129	23	32	0	0	280	552
Hombori	0	0	0	0	0	39	84	160	23	*	*	*	*	(454)
Gao	0	0	0	0	3	14	65	37	33	*	0	0	(147)	261
Kidal	0	0	0	0	0	2	59	*	*	*	0	0	*	132
Agadès	0	0	0	0	5	1	47	81	0	0	0	0	134	164
Bilma	15	0	0	0	0	0	4	11	0	0	0	0	30	21
Faya Largeau	0	0	0	0	0	0	*	11	10	0	0	0	*	(16)
Ati	0	0	0	0	0	6	107	199	54	0	0	0	366	(457)
Summe	(15)Spuren	1	Spuren	(28)	194	(597)	(1285)	(502)	(90)	(0)	Spuren			
"Normal"	4	10	3	13	99	316	1003	1751	879	179	16	14		
	(0)	33	(0)	(29)	61	(59)	(76)	(62)	(56)	(0)	(0)	(0)		
	Durchschnitt = $\frac{330 \text{ mm}}{4287 \text{ mm}}$													Prozent

* = Wert nicht erhalten

Die Regenzeit 1974

Tabelle 4b

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahressumme 1974	Jahressumme Normal (1931-60)
b) <u>Regengürtel</u>														mm
Lungi	0	0	0	12	86	257	850	635	510	367	49	0	2766	(3321)
Bonthe	0	10	0	33	*	*	*	1130	570	*	45	*	*	(3718)
Kabala	0	0	36	33	91	381	*	*	385	*	97	0	*	(2251)
Odienne	0	0	76	76	73	131	296	325	185	147	7	*	*	1596
Tabou	7	135	63	60	90	731	251	83	138	182	154	206	2100	(2383)
Bobo-Dioulassou	0	0	45	53	56	116	228	324	222	44	0	0	1088	(1185)
Abidjan	38	16	207	187	143	805	273	34	163	143	84	104	2197	(2144)
Kumasi	0	26	181	153	191	345	211	173	138	111	*	35	*	1465
Sokodé	20	0	33	107	148	162	420	286	236	63	1	0	1476	1413
Cotonou	41	1	146	103	157	492	194	5	148	69	21	14	1391	(1339)
Kandi	0	0	0	18	73	119	276	245	278	46	0	0.5	1056	1026
Ilorin	0	0	27	*	173	157	122	197	373	107	*	*	*	1277
Jos	0	0	0	*	87	188	369	396	308	*	0	*	*	1414
Pointe Noire	*	89	226	158	*	4	4	1	3	103	*	47	*	1254
Bossangoa	0	7	81	125	134	228	175	415	*	117	*	*	*	1404
Bangui	3	40	82	185	136	78	183	177	211	175	*	*	*	1560
Bangassou	6	69	51	164	179	195	197	277	124	368	*	*	*	1715
Summe	393	1254												Durchschnitt = 1792 mm
"Normal"	453	635	1299	1860	3418	4578	4239	4449	4153	3135	1487	726		30465 mm

* = Wert nicht erhalten

Abbildungen

- Abb. 1 - Allgemeine Übersicht über die Vegetationszonen in Afrika
(Aus: H.E. Landsberg: World Survey of Climatology. -
(26) Vol. 10: Climates of Africa, S. 5)
- Abb. 2 - Mittlere Niederschlagssummen im Jahr in Millimetern. -
Normalperiode 1931-1960.
- Abb. 3a - Bodennahe Strömungsfeld in Afrika im Juli.
3b - Mittlere Luftdruckverteilung am Boden in Afrika im Juli.
- Abb. 4 - Nord-Süd-Schnitt der Isobarenflächen längs des Null-
meridians.
(Aus: B.W. Thompson "The Climate of Africa". - Nairobi -
London - New York 1965).
- Abb. 5 - Mittlere Höhe der 850 mbar-Fläche in geopot. Metern
im Juli.
- Abb. 6a - Radiosondenaufstieg Nairobi am 29.4.1958
Abb. 6b - Radiosondenaufstieg Nairobi am 30.4.1958
- Abb. 7 - Jährliche Niederschlagssummen in Dakar von 1901 bis 1973
- Abb. 8 - Abweichung der Monatsmitteltemperatur vom Normalwert
in Dakar und Sal (Kapverdische Inseln) für die Jahre
1967 bis 1973.
- Abb. 9 - Mittlere Abweichung des Luftdrucks vom Normalwert in
den Jahren 1970 bis 1972.
- Abb. 10 - Prozentualer jährlicher Niederschlag zusammengefasst für
Dakar (Senegal) und Tombouctou (Mali) - 1960 bis 1974.
- Abb. 11 - Monatliche Niederschlagssummen im Jahre 1972 im Vergleich
mit den vieljährigen Normalwerten in Dakar - Monsunregen -
und Agadir - Winterregen - südlich und nördlich der
subtropischen Antizyklone.

Abb. 12a-) Nord-Süd-Schnitte ausgewählter Niederschlagsstationen
12b-) in Afrika. -

Monatliche Niederschlagssummen im Jahre 1971 im Vergleich mit den vieljährigen Normalwerten an ausgewählten afrikanischen Stationen.

Abb. 13 - Prozentualer Niederschlag im Jahre 1971
(Normalwert 100 %).

Abb. 14 - Normale Anzahl trockener Monate im Jahr (Niederschlag $\leq 0,5$ mm)

Abb. 15 - Mittlere Abweichung der Anzahl trockener Monate der Jahre 1970 bis 1972 vom Normalwert (Vgl. Abb. 14).

Abb. 16 - Mittlere Höhe der 700 mbar-Fläche in geop. Metern im Juli.

Abb. 17 - Prozentualer Niederschlag der Jahre 1970 bis 1973 bezogen auf den mittleren Normalwert einer Auswahl von Stationen am Wüstenrand und im Regengürtel.

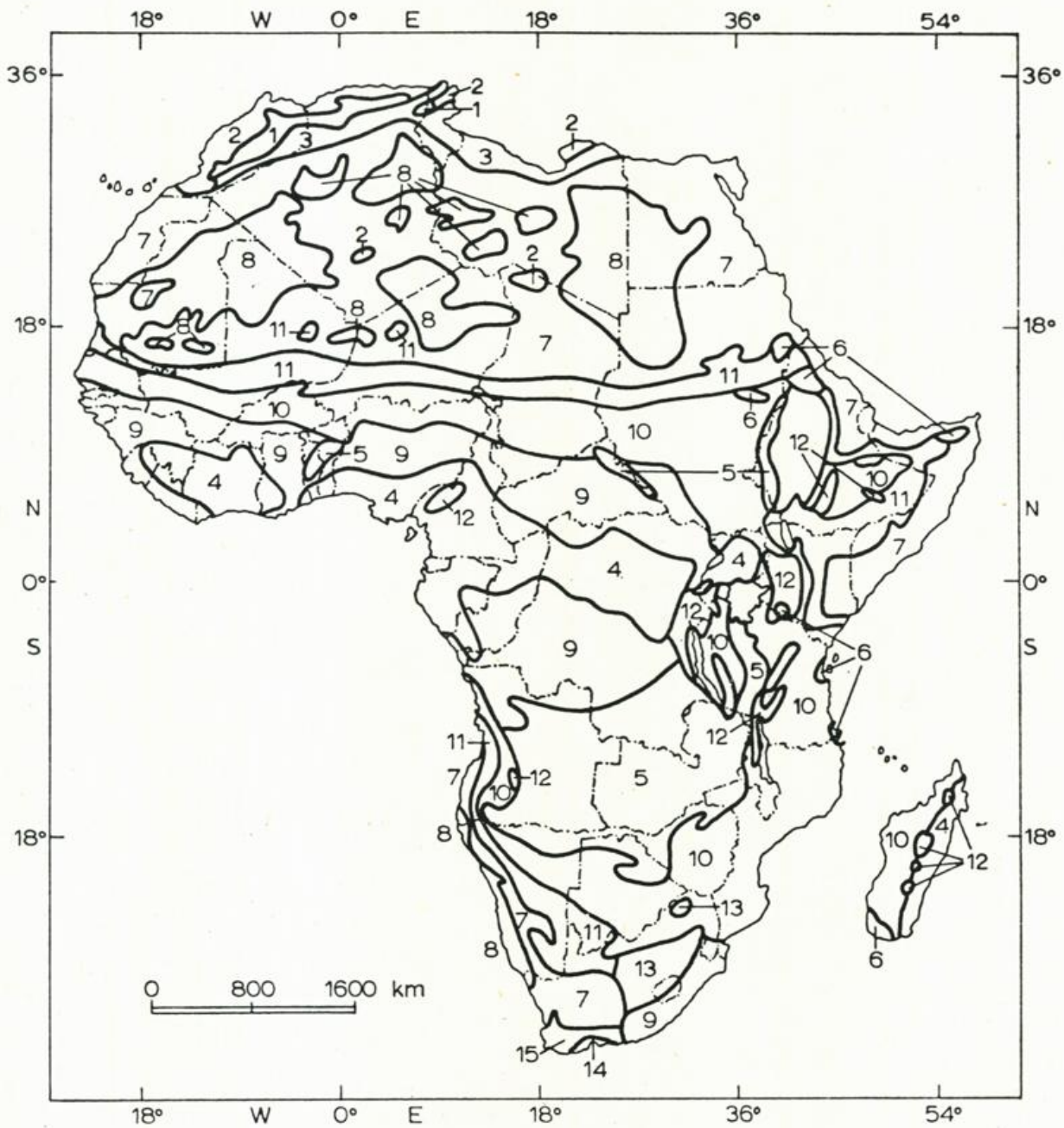


Abb. 1 Basic vegetation types (generalized). 1 = cedar forest; 2 = maquis; 3 = garrigue and desert grass; 4 = tropical rain forest; 5 = tropical semi-evergreen and deciduous forest; 6 = thorn woodland and scrub; 7 = semi-desert and scrub; 8 = desert; 9 = broad-leaved tree savanna; 10 = thorn tree, tall grass savanna; 11 = thorn tree, desert grass savanna; 12 = tropical montane forest; 13 = veld; 14 = evergreen mixed forest; 15 = Cape sclerophyllous scrub.

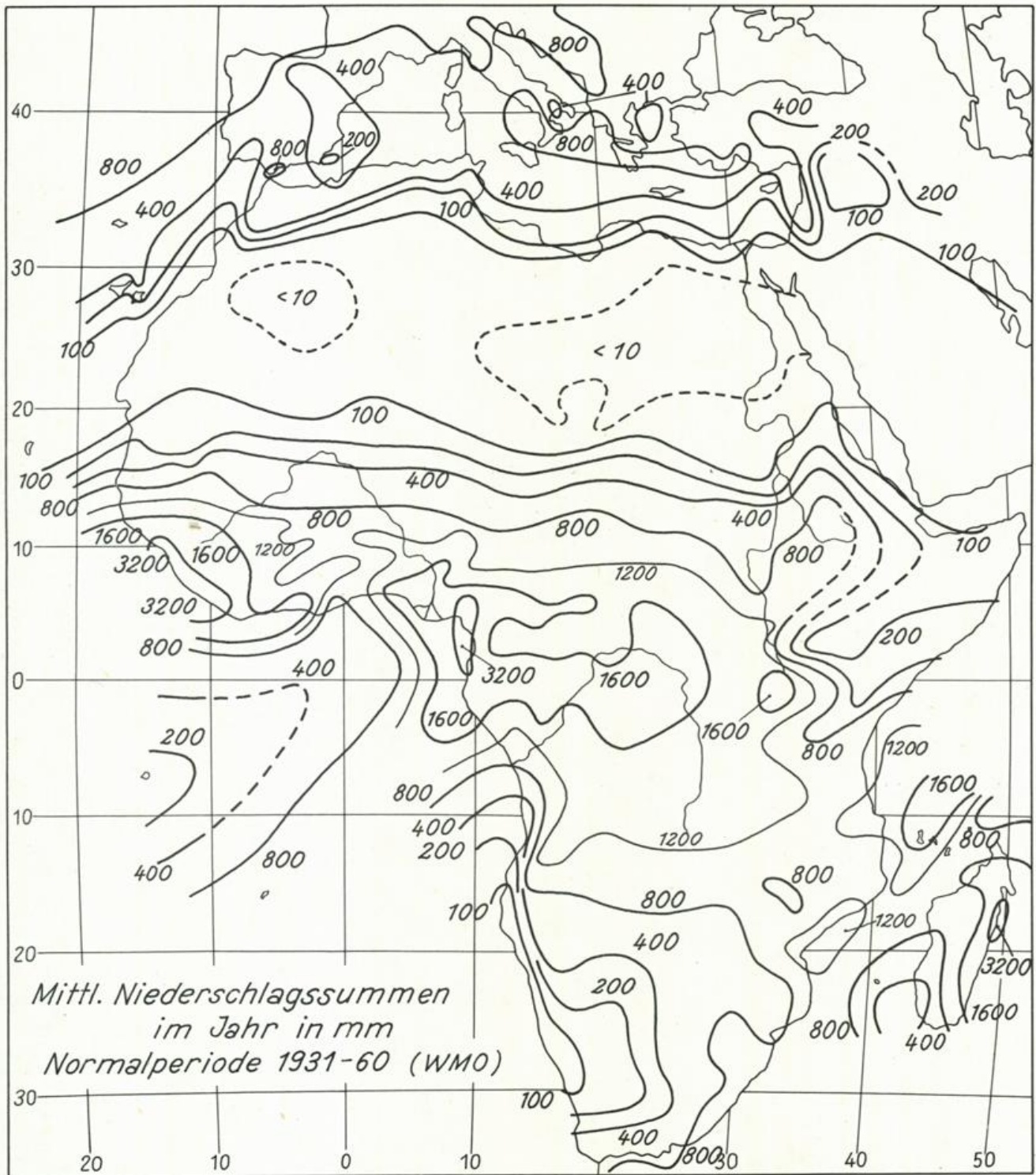


Abb. 2

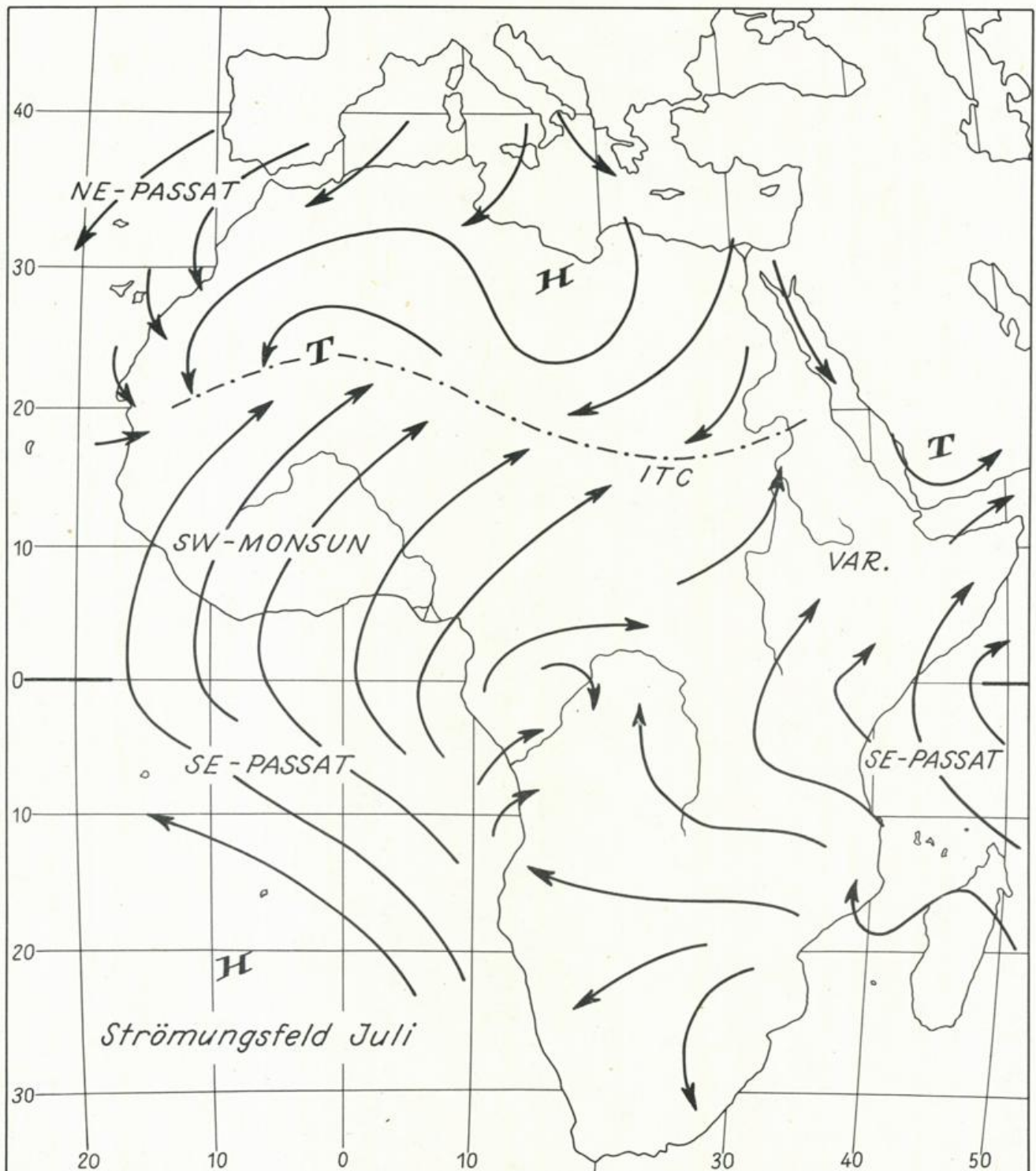


Abb. 3a

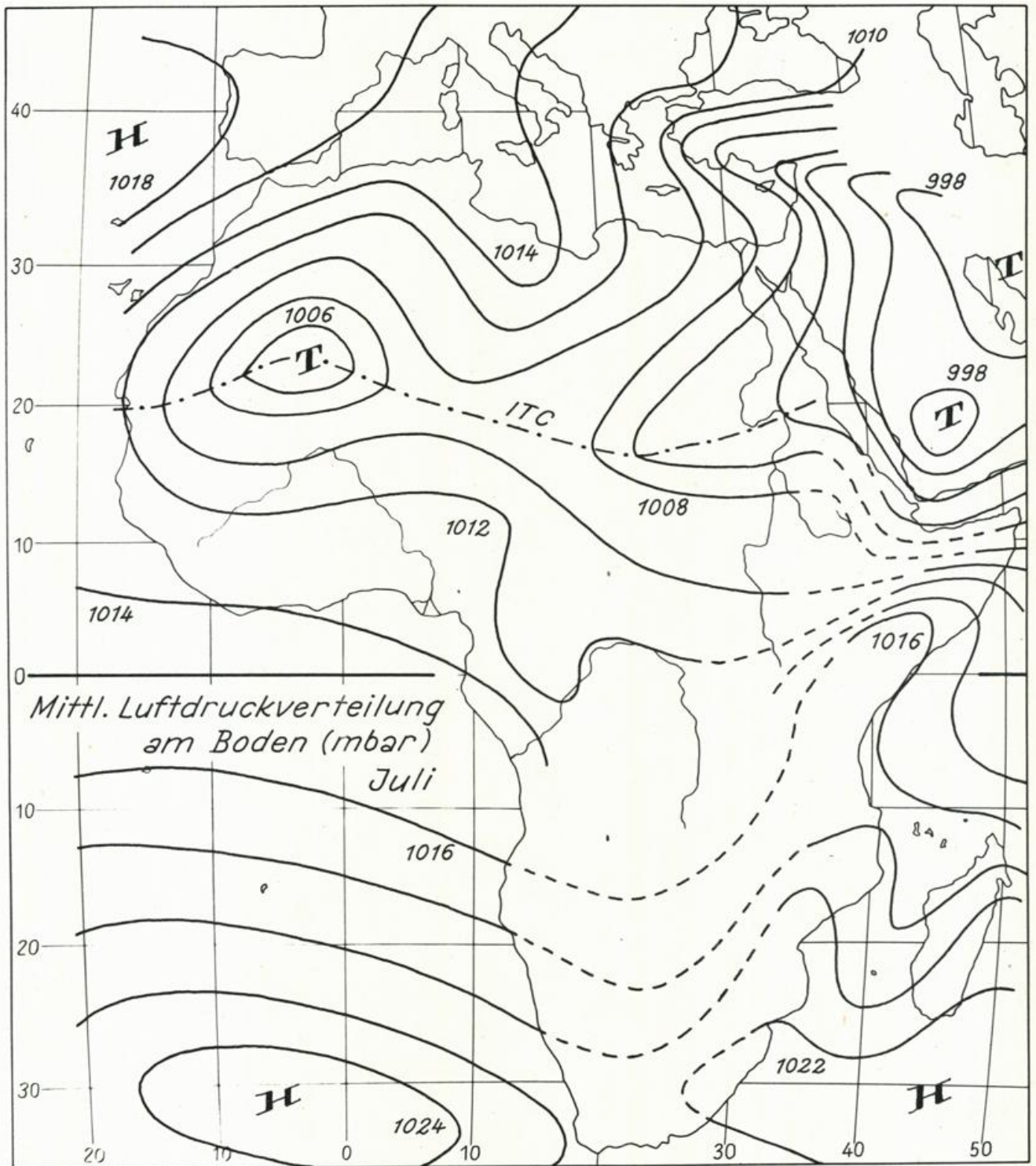
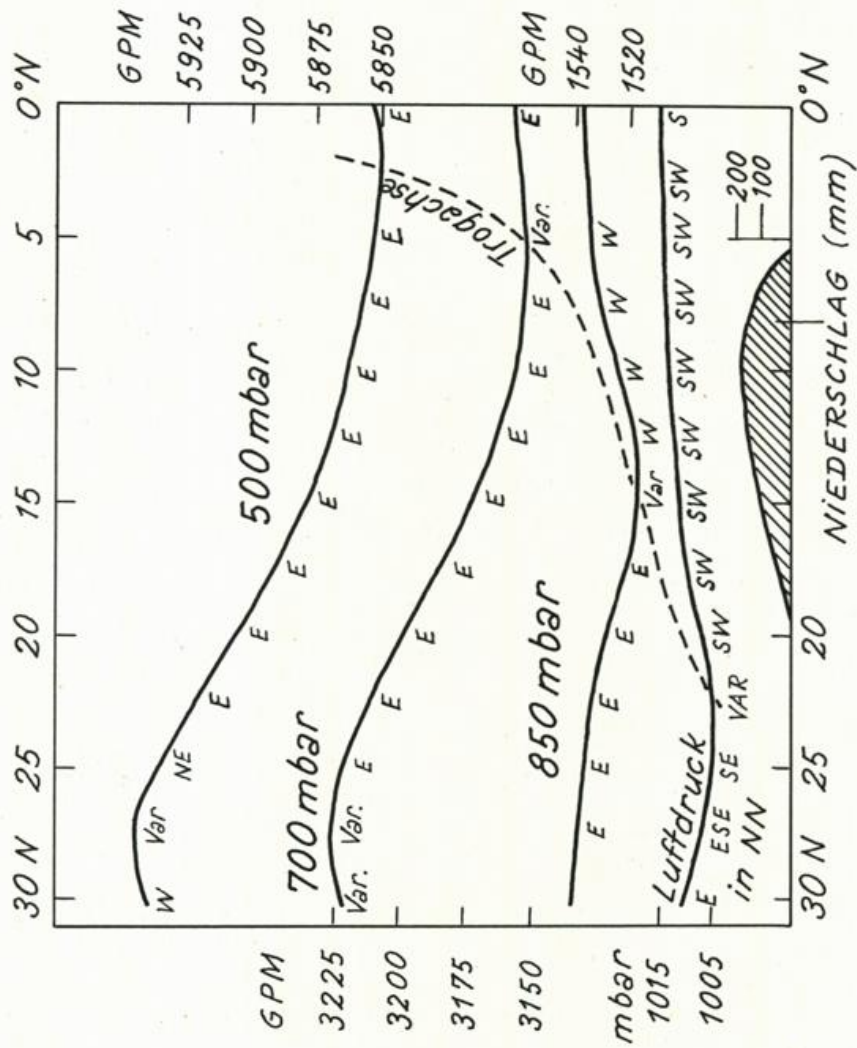


Abb. 3 b



N-S-Schnitt entlang dem Null-Meridian, Juli

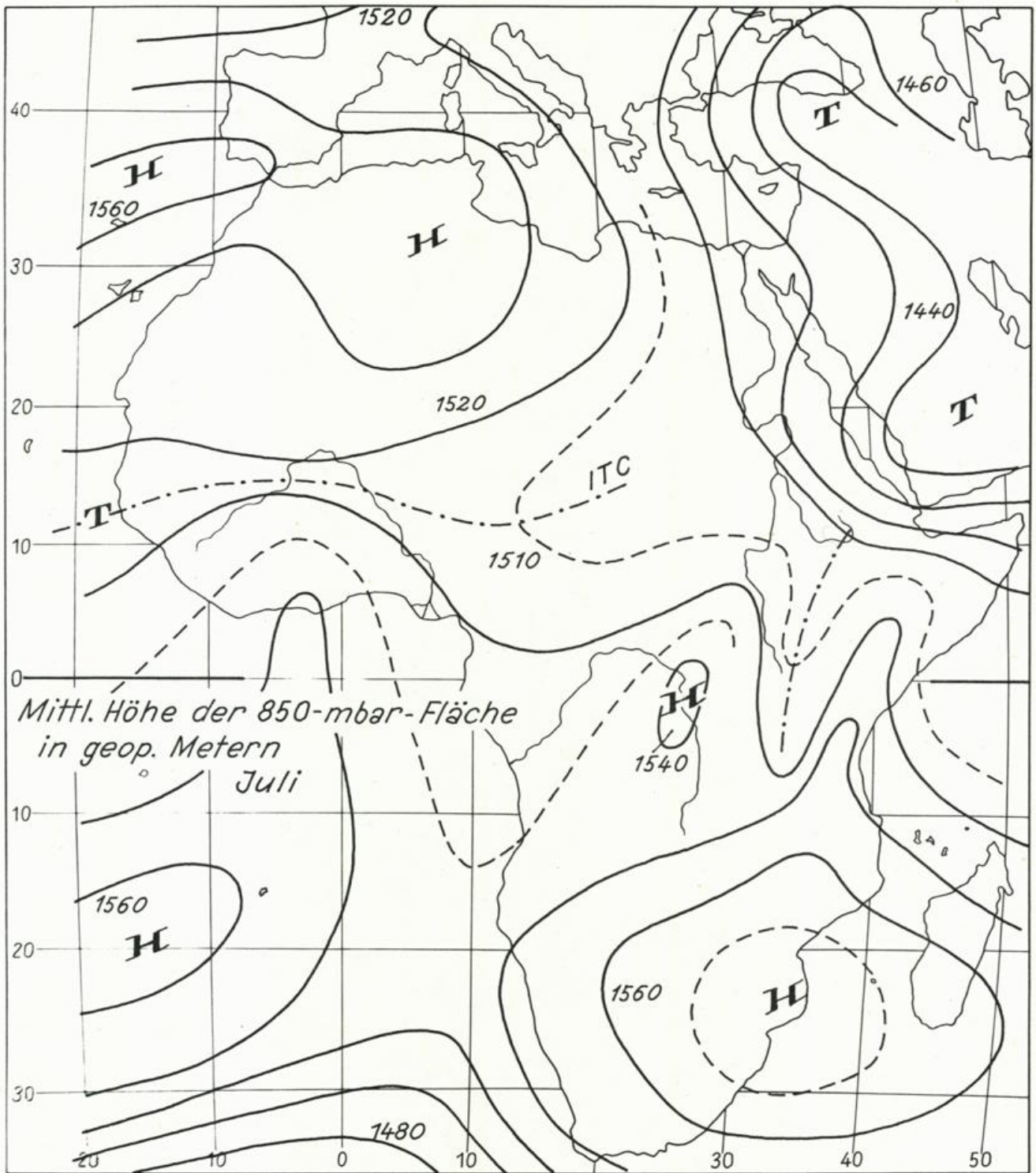


Abb. 5

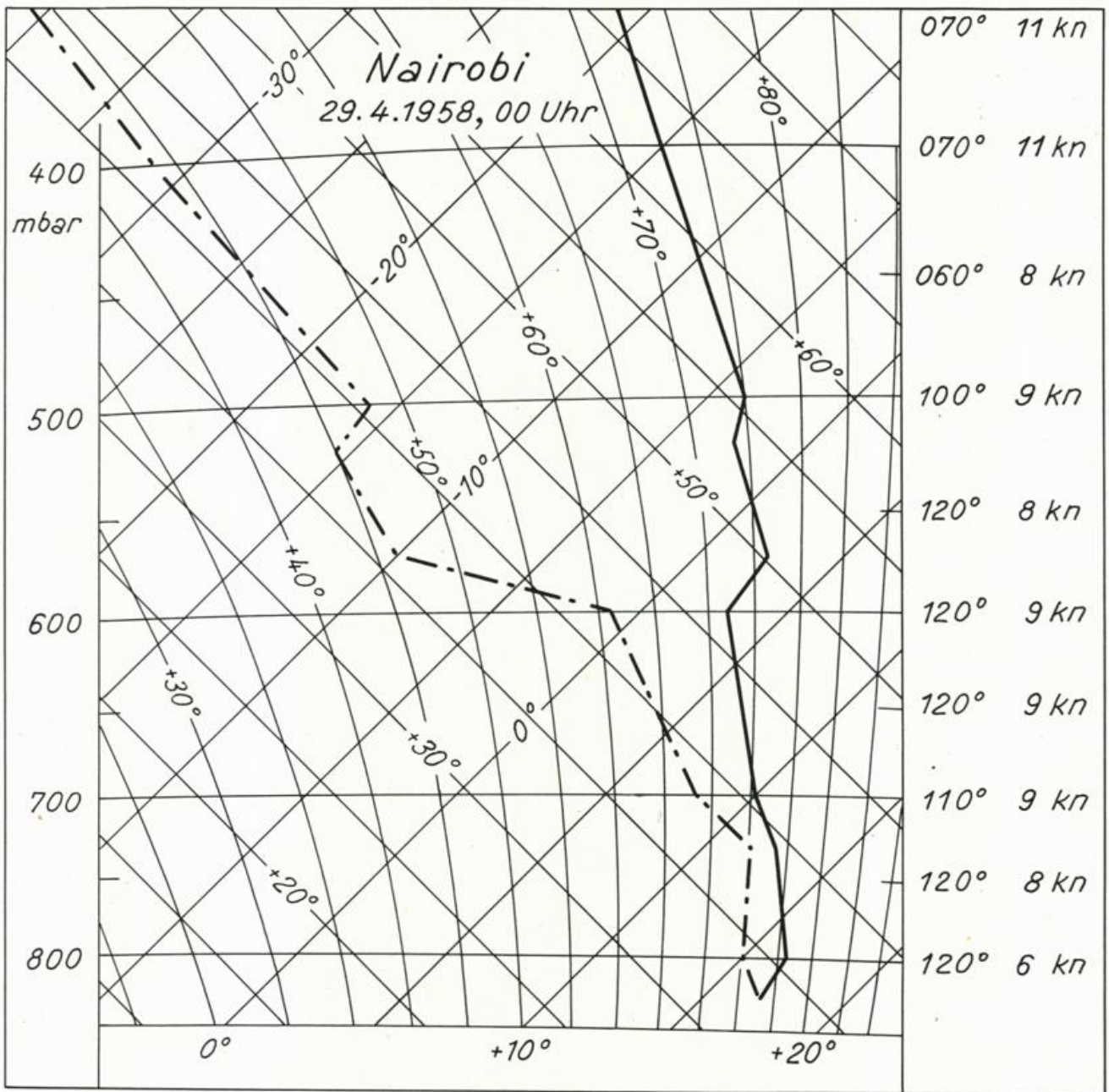


Abb. 6a

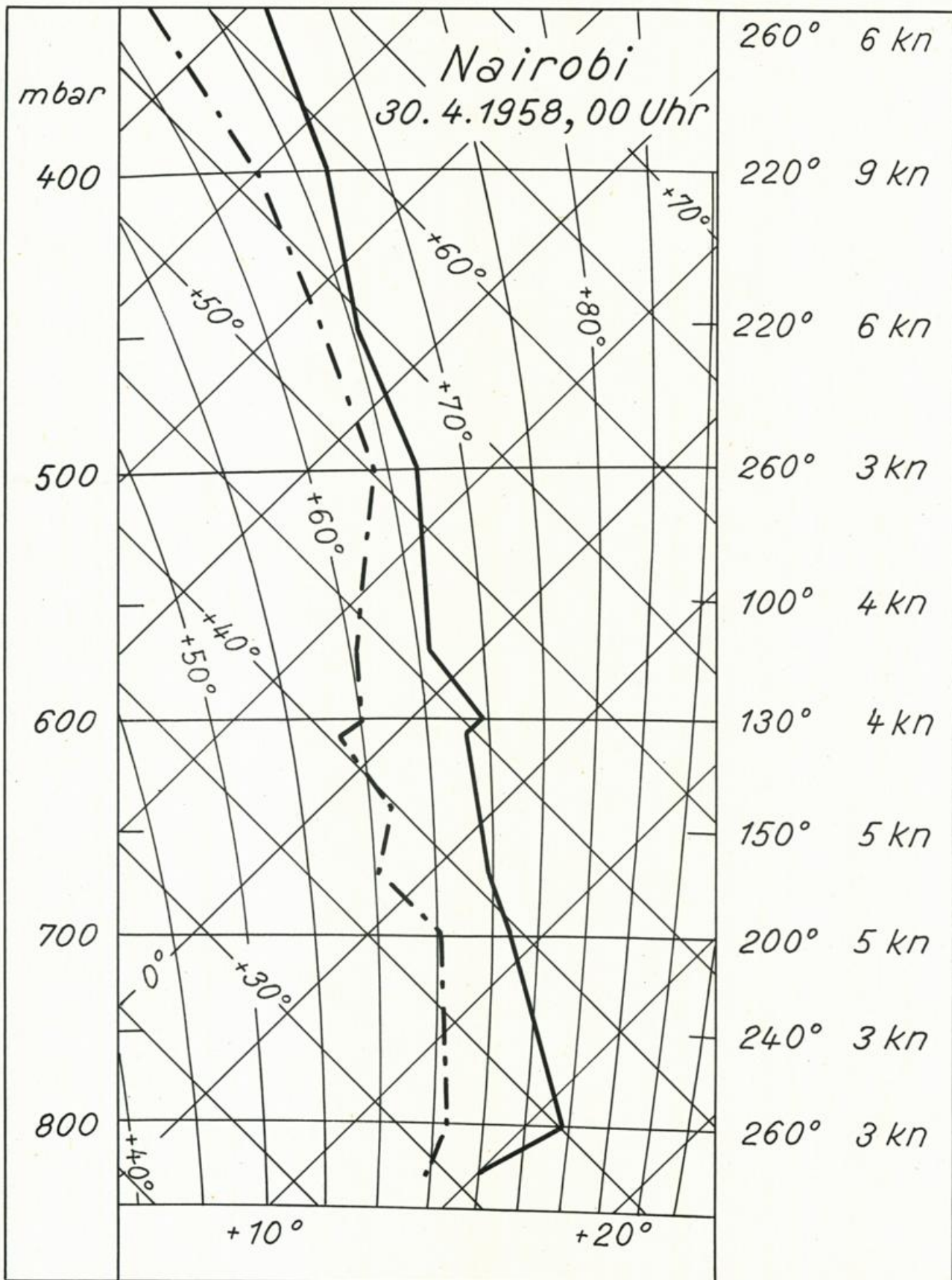


Abb. 6 b

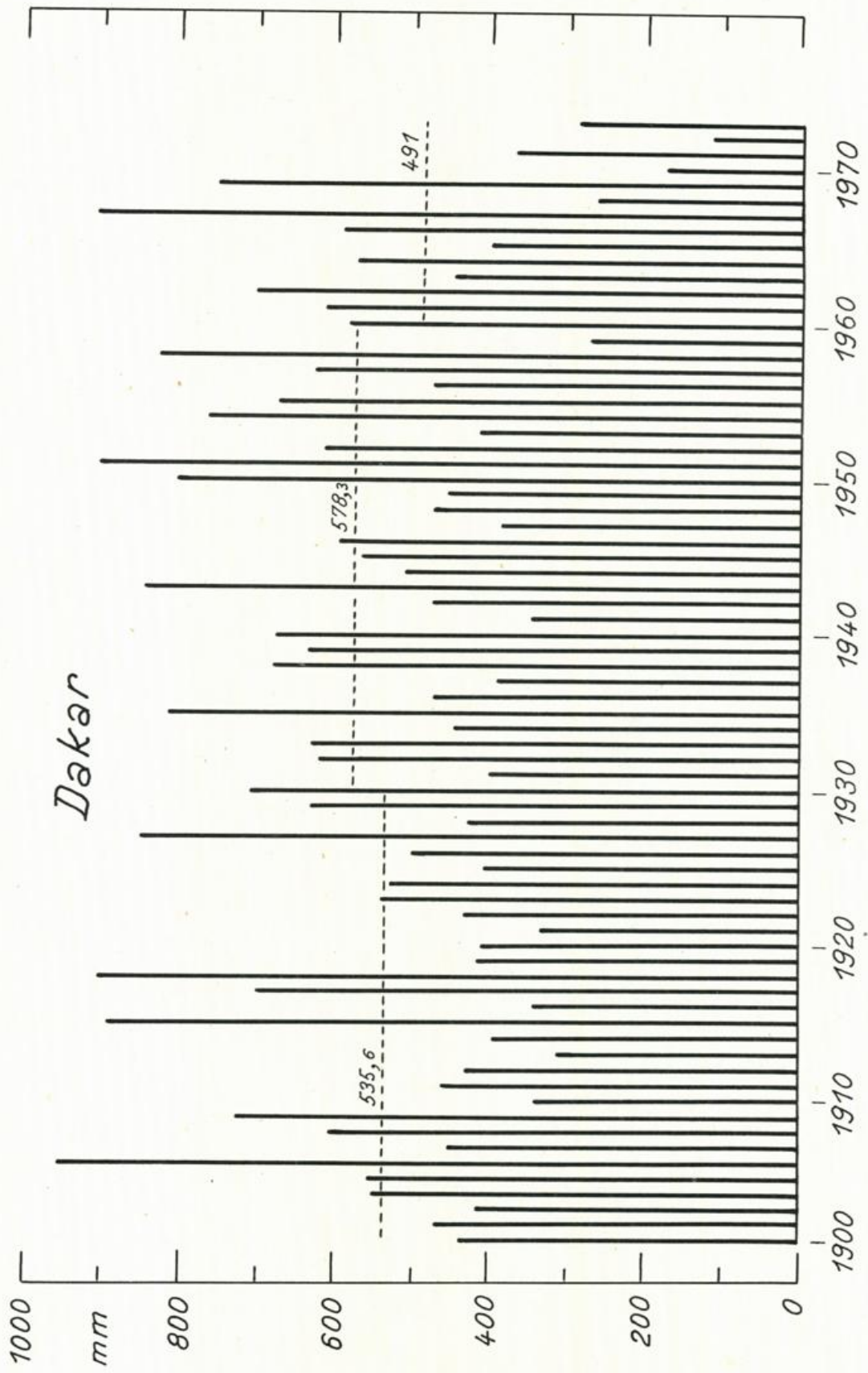


Abb. 7

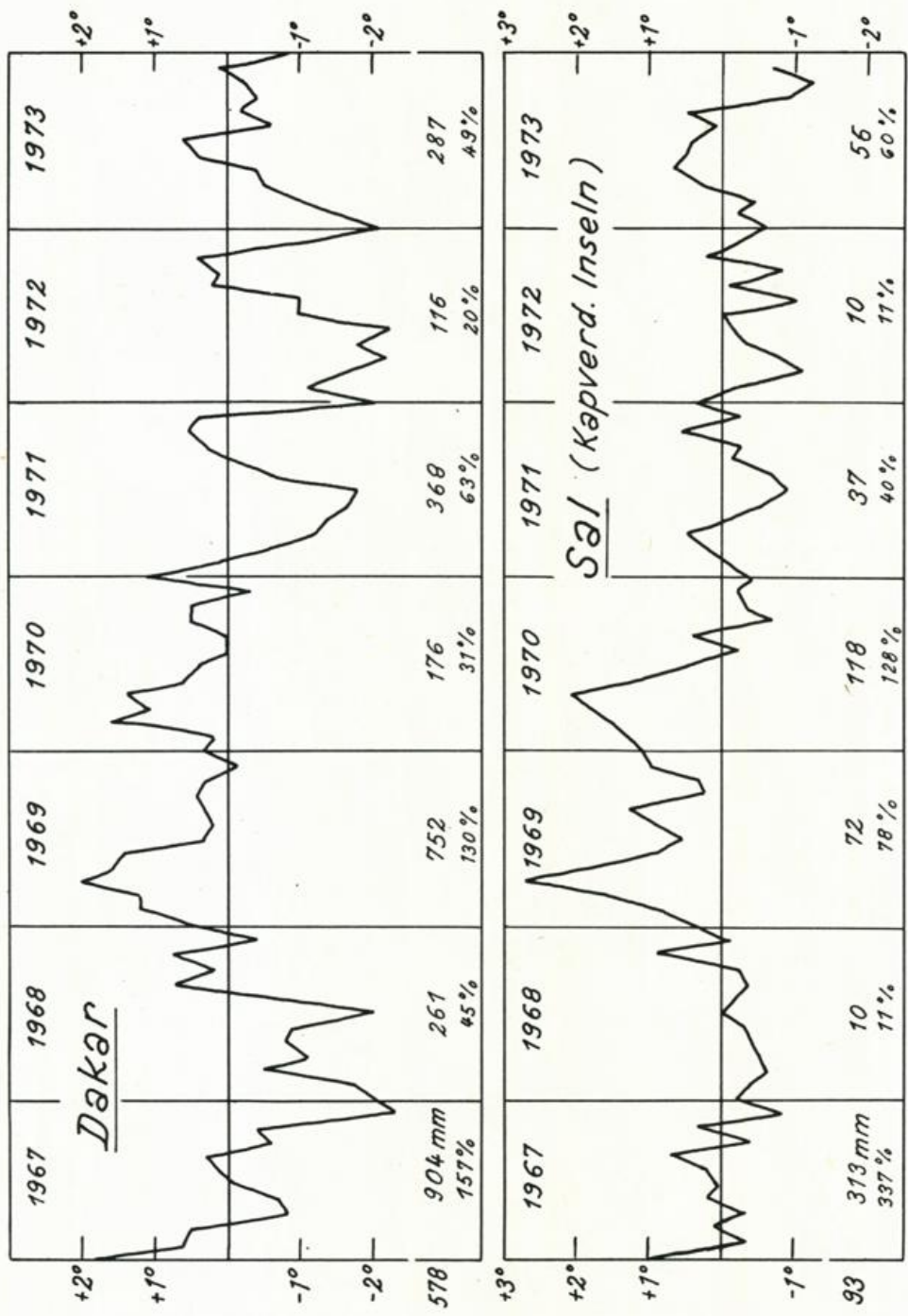


Abb. 8

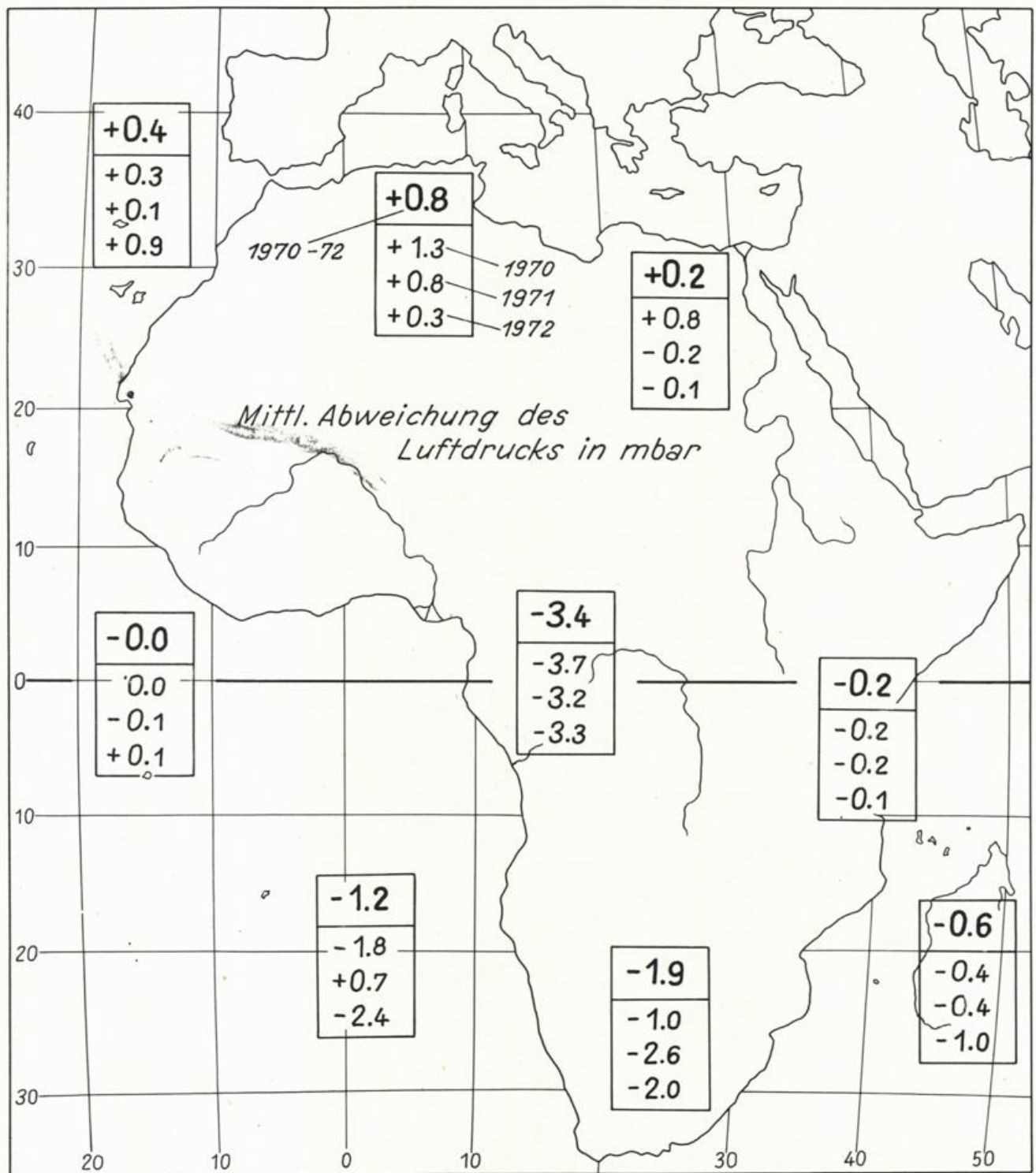


Abb. 9

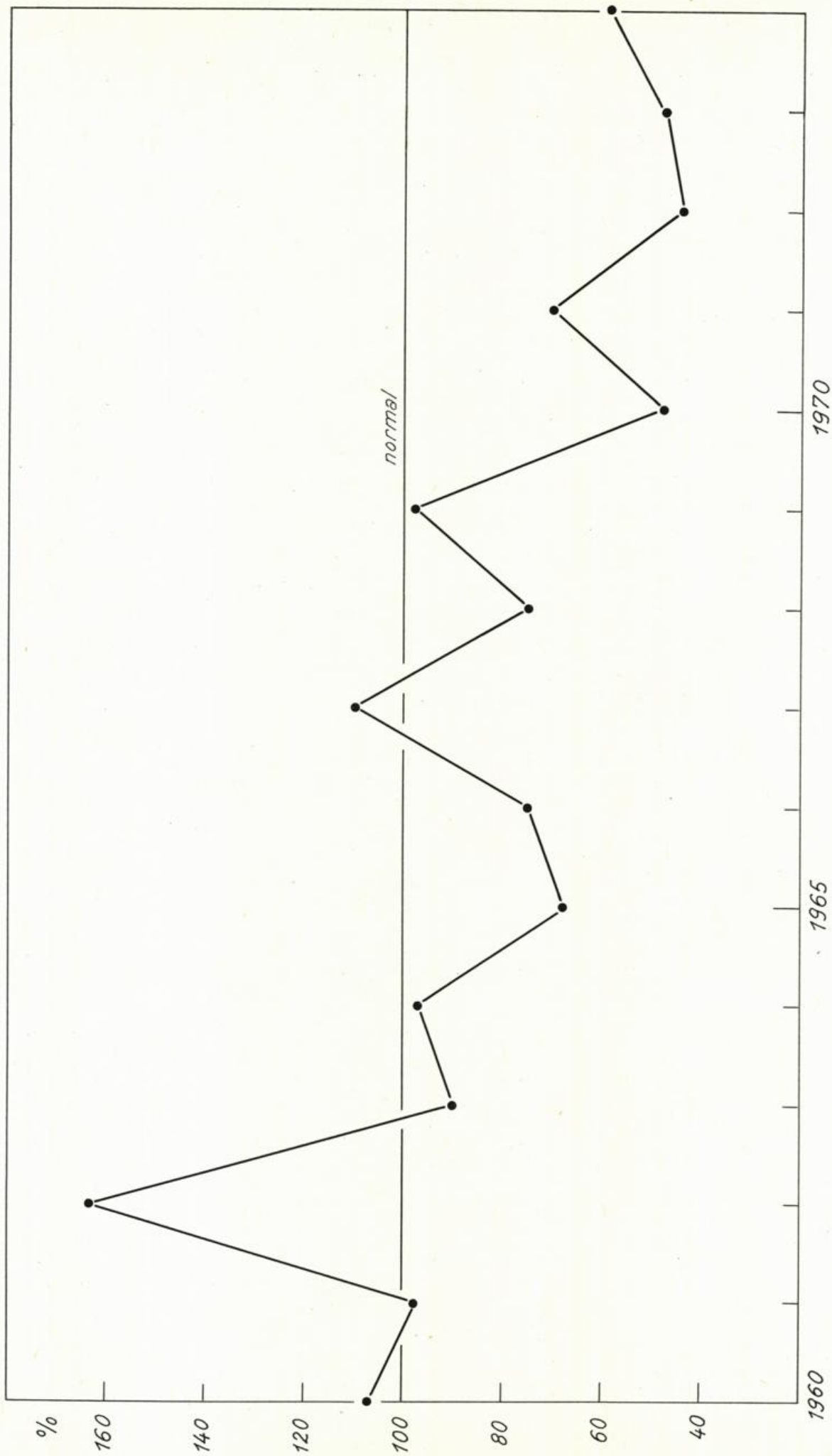


Abb. 10

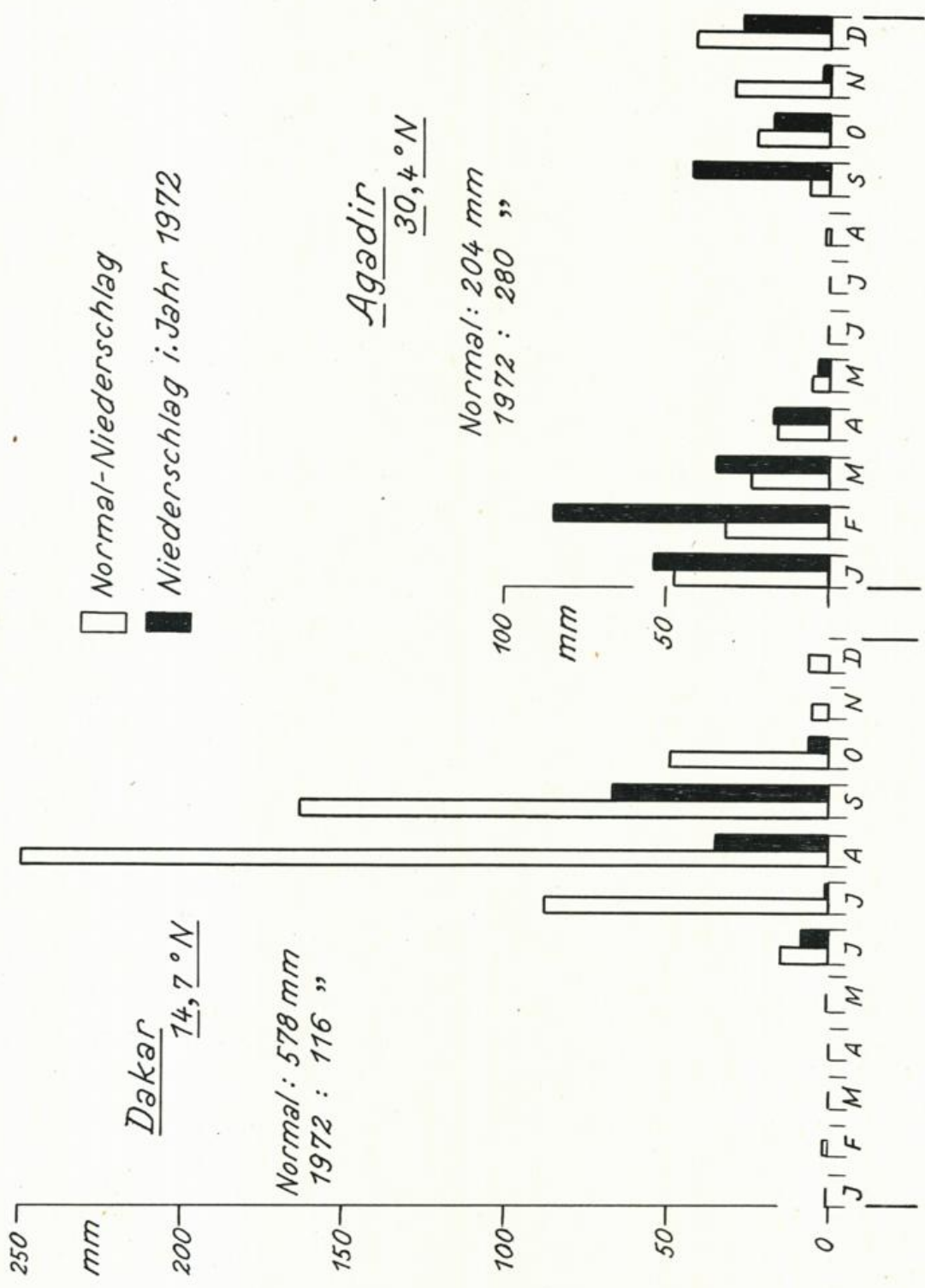


Abb. 11

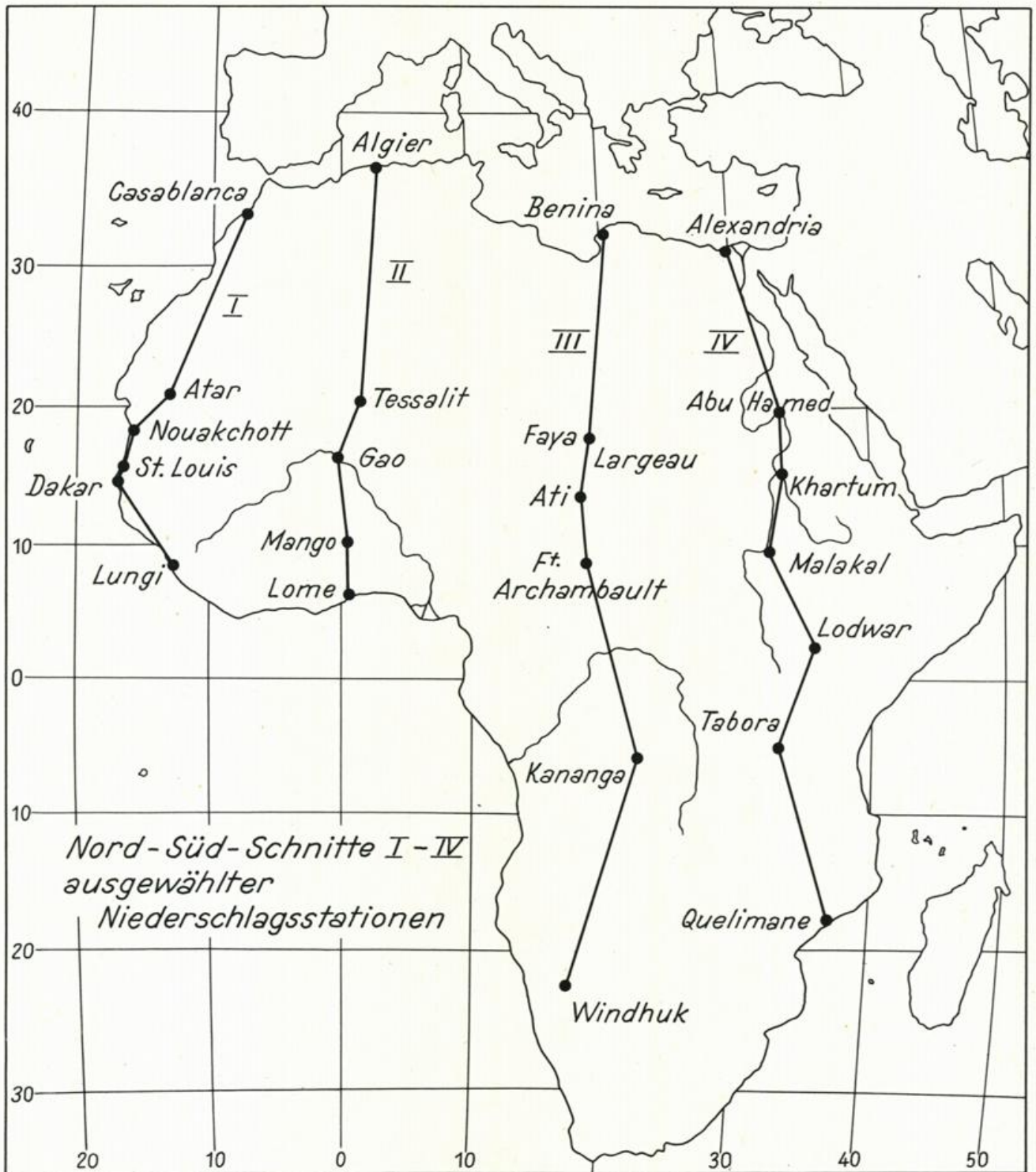
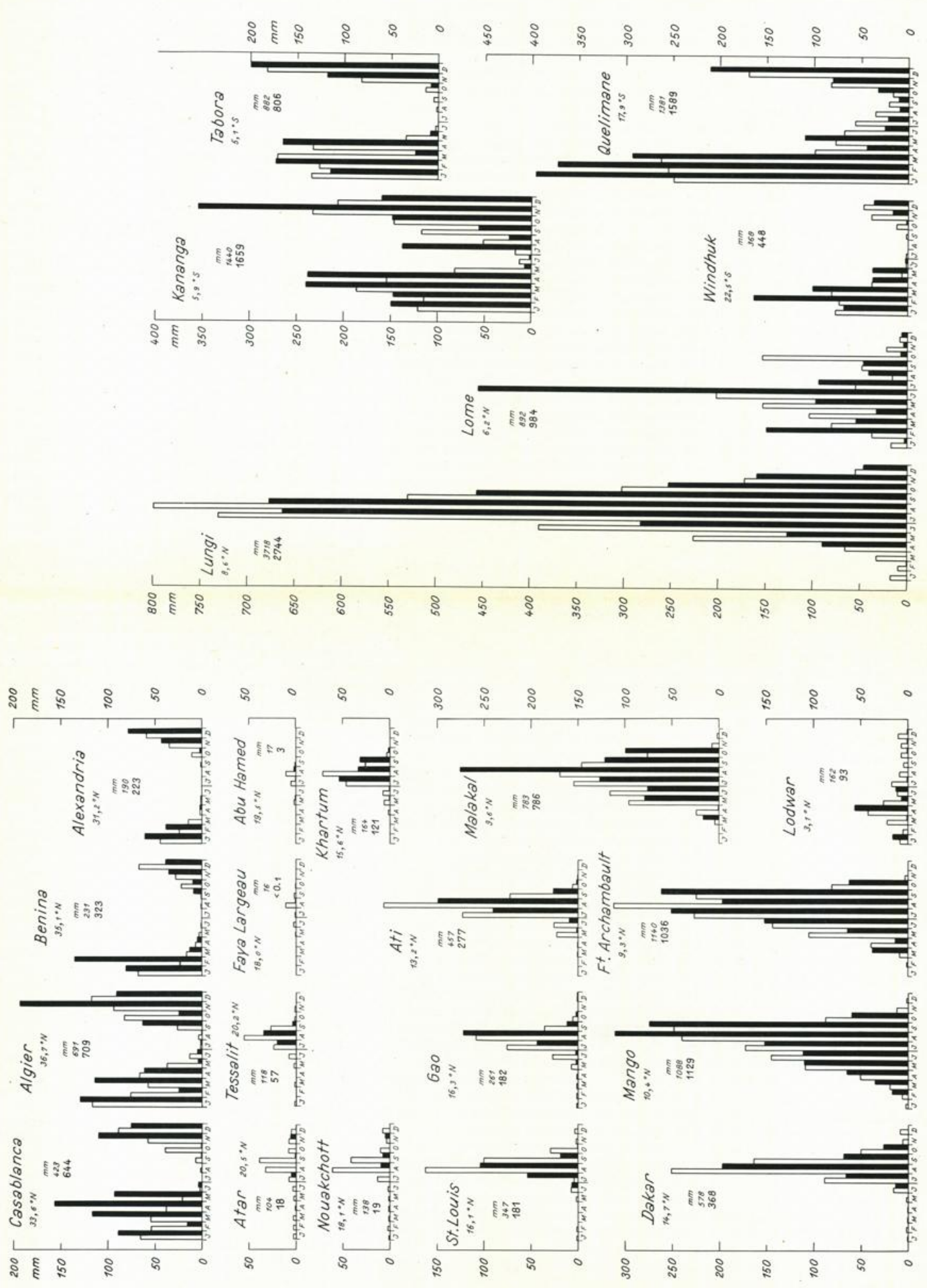


Abb. 12a



□ Mittelwert 1931-1960 ■ Wert für 1971

Abb. 12 b1

Abb. 12 b2

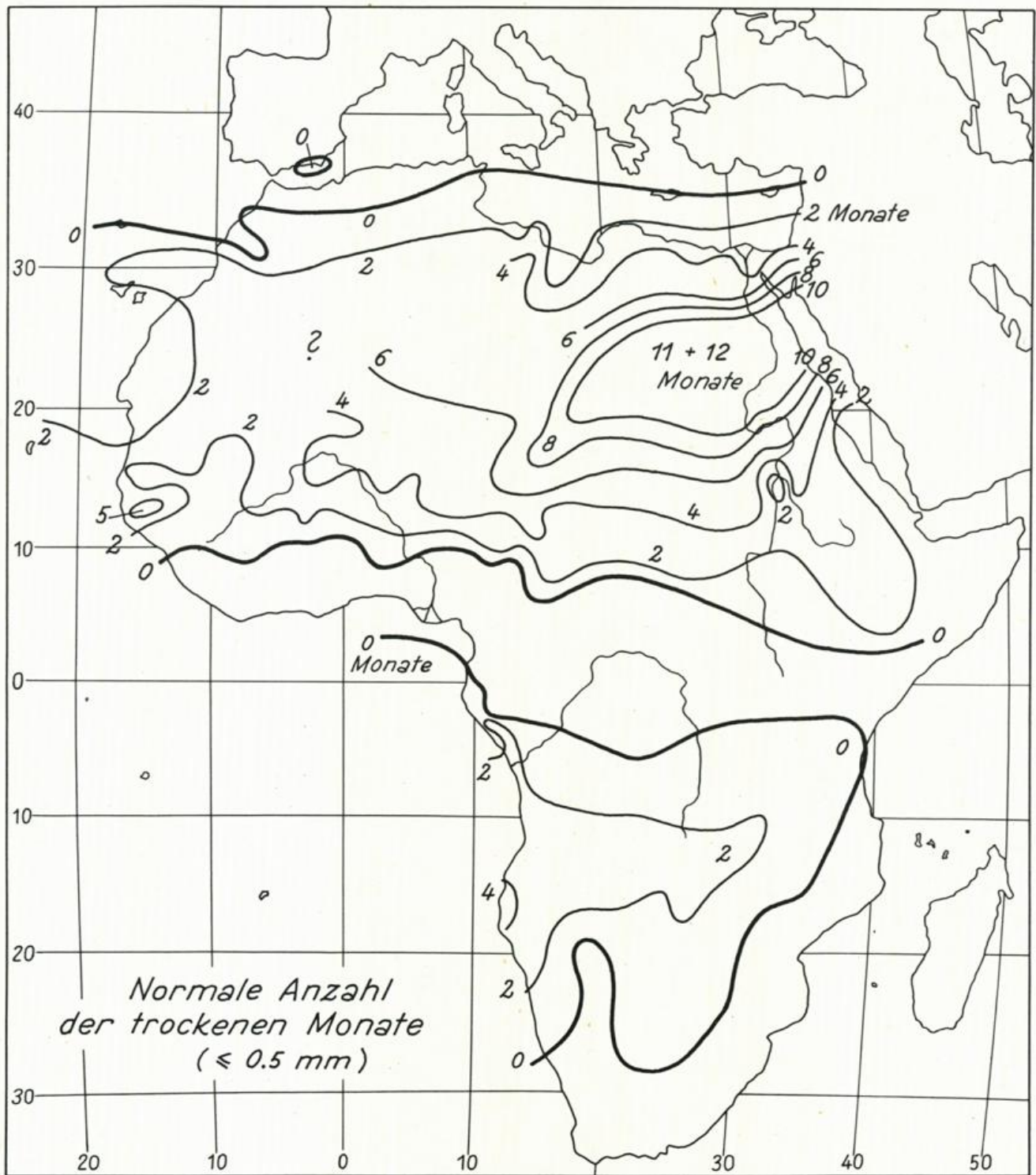


Abb. 14

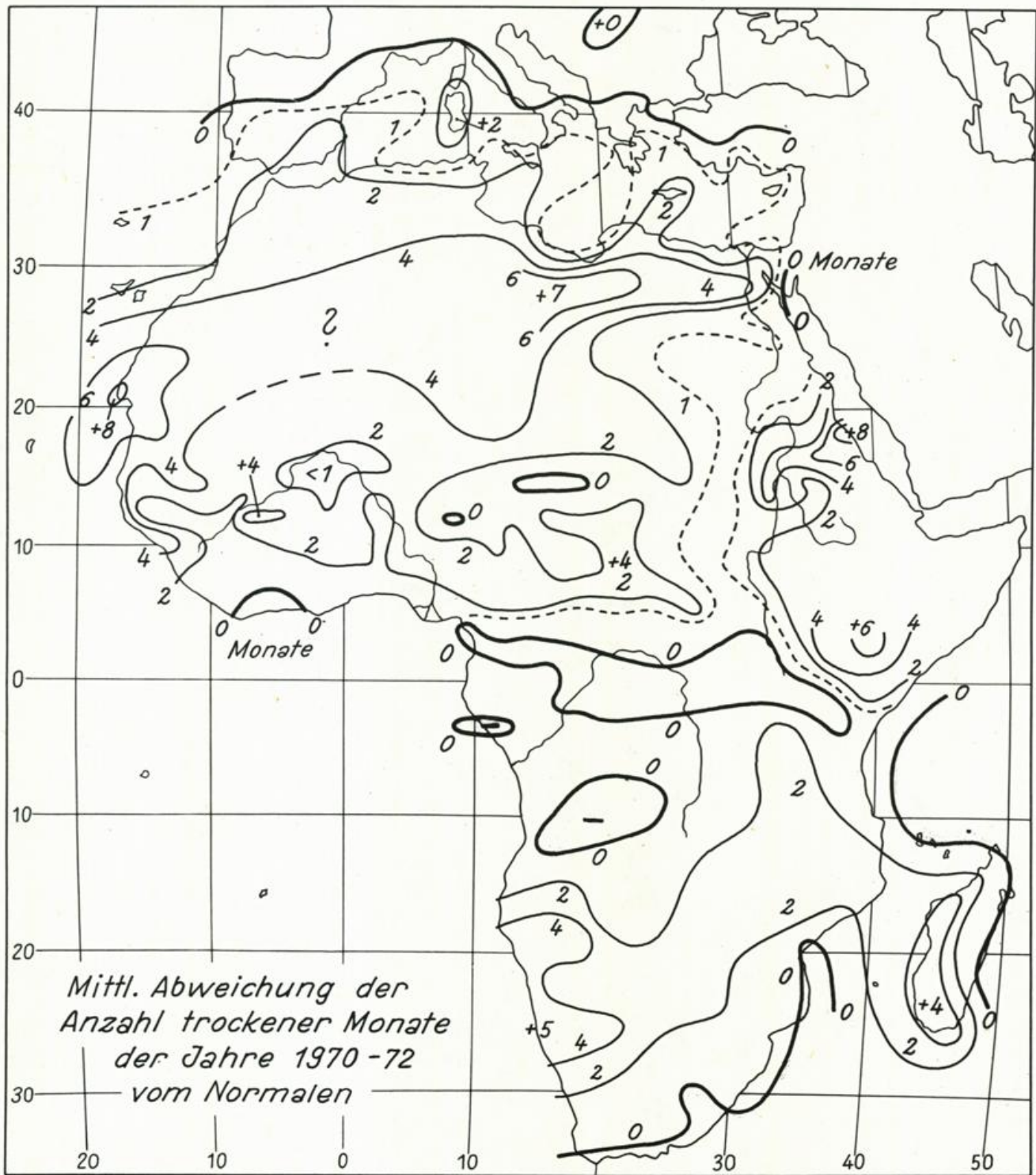


Abb. 15

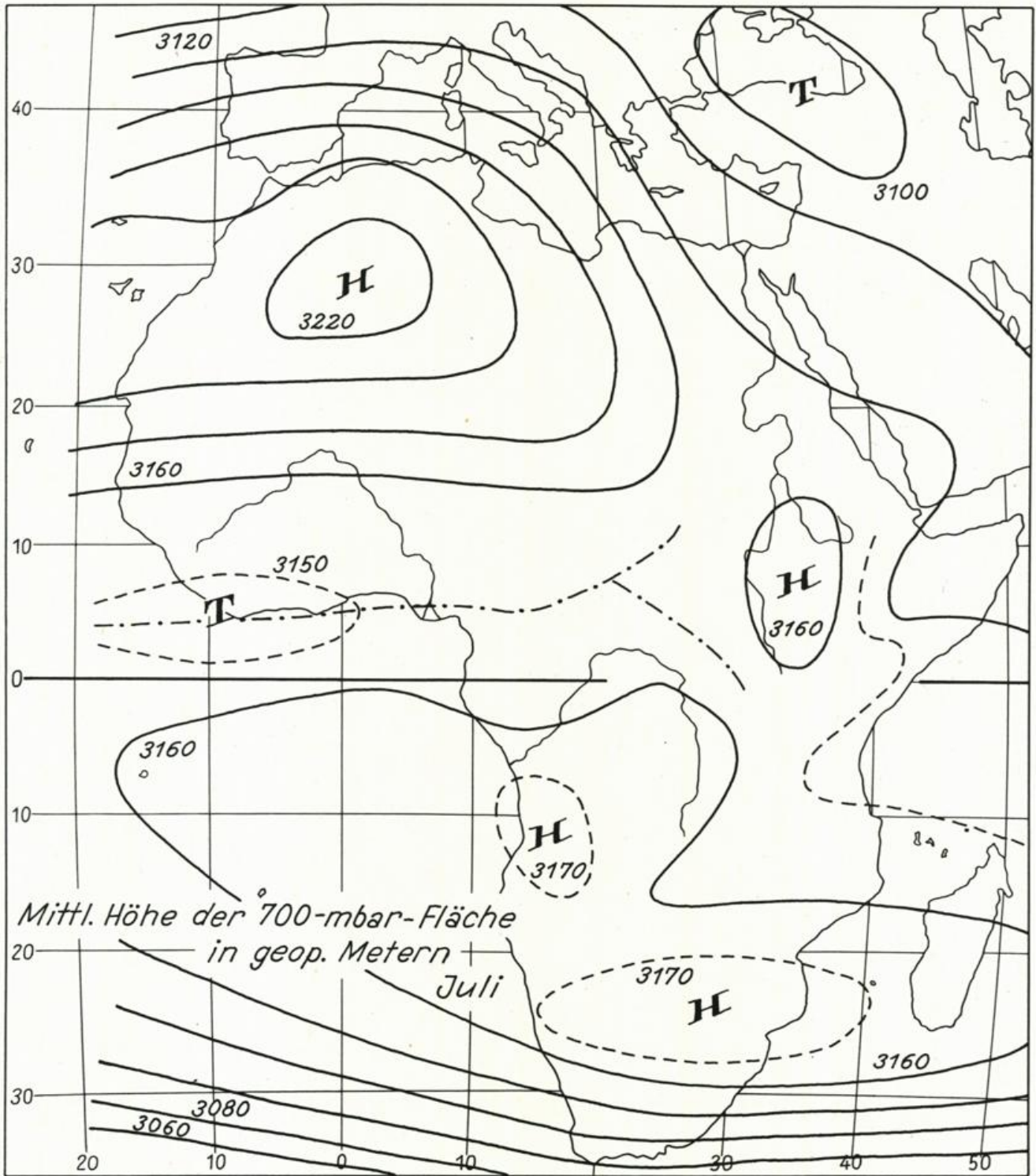


Abb. 16

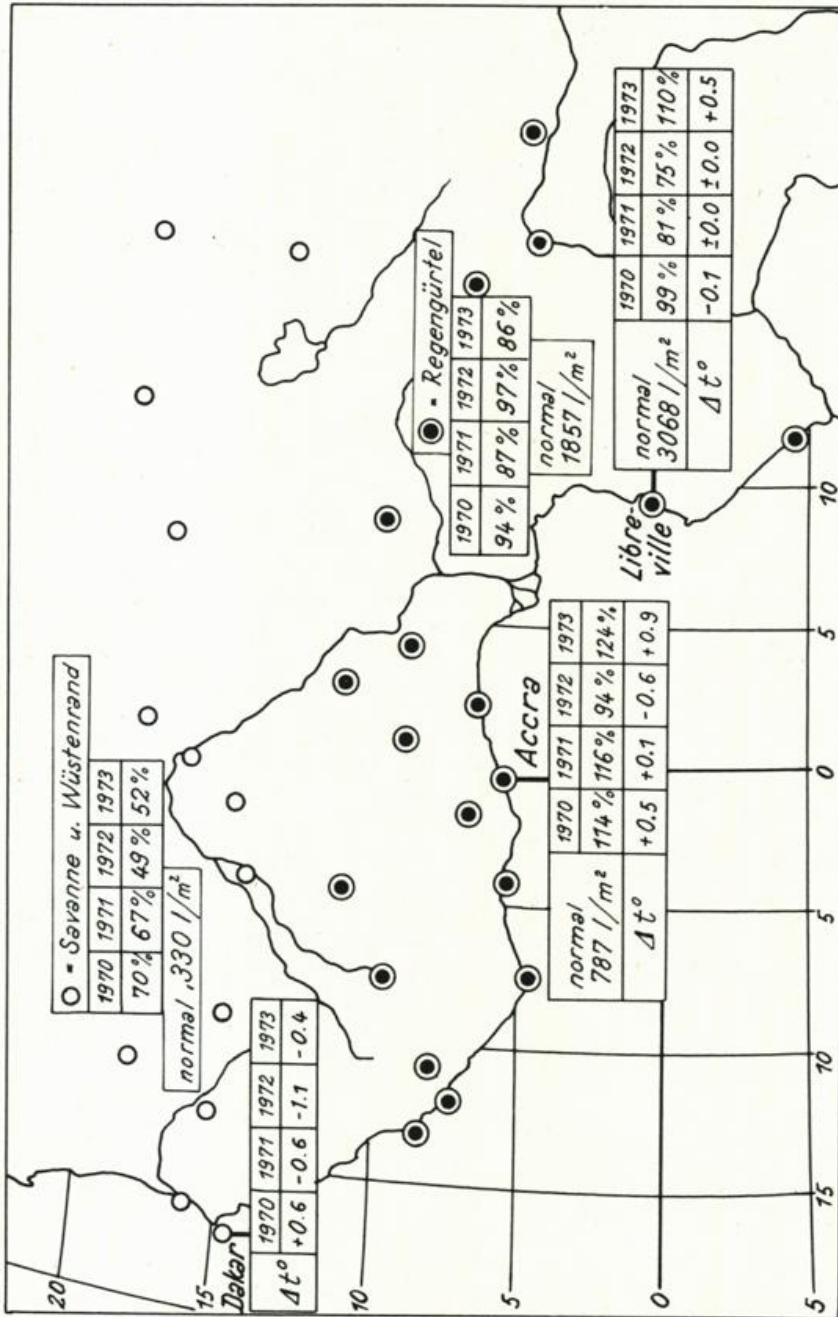


Abb. 17