



Berichte des Deutschen Wetterdienstes

139

Monatskarten des Niederschlags für die ganze Erde

von
Lutz Jäger



Zitationsvorschlag:

Jäger, Lutz: Monatskarten des Niederschlags für die ganze Erde. - Offenbach am Main:
Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 1976.
(Berichte des Deutschen Wetterdienstes ; 139)

ISSN der Onlineausgabe: 2194-5969

ISSN der Druckausgabe: 0072-4130

Nutzungsbedingungen



Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz

Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden und es darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Mit der Verwendung dieses Dokumentes erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Herausgeber und Verlag: :

Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Straße 135
D- 63067 Offenbach am Main

Internet: www.dwd.de
Mail: bibliothek@dwd.de

Inhalt		Seite
Vorwort		2
Zusammenfassung		5
Abstract		5
1 Die Entwicklung globaler Niederschlagskarten		5
2 Die Entwicklung globaler Niederschlagsbilanzen		9
3.1 Die Bestimmung der Niederschläge		11
3.1.1 Gewinnung von Gitterpunktwerten der Kontinentalniederschläge		11
3.1.2 Gewinnung von Gitterpunktwerten der Meeresniederschläge		12
4 Die Konstruktion globaler Karten des mittleren Monatsniederschlags und einer neuen Karte des mittleren globalen Jahresniederschlags		12
5 Die Berechnung globaler Niederschlagsbilanzen aus den gewonnenen Gitterpunktwerten		14
6 Vergleich der Niederschlagswerte von BROOKS/HUNT mit den Werten dieser Arbeit		25
7 Vergleich der Niederschlagswerte von MÖLLER mit den Werten dieser Arbeit		28
8 Vergleich der Niederschlagswerte von KUBOTA mit den Werten dieser Arbeit		28
9 Weitere Vergleiche		28
10 Die Betrachtung von in Klimamodellen simulierten Niederschlägen aus der Sicht dieser Arbeit		32
11 Einige Bemerkungen zu den Niederschlägen im tropischen Pazifik		34
12 Luftdruck und Niederschläge über Afrika und Südamerika		36
13 Literatur		37

Anschrift des Verfassers:

**Dr. Lutz Jaeger, Meteorologisches Institut der Universität Freiburg, Werderring 10
7800 Freiburg i. Br.**

Zusammenfassung

Die Grundlagen für die Konstruktion der Niederschlagskarten bilden Gitterpunktweite des Niederschlags. Die Erdoberfläche wird in 2592 Fünfgradfelder aufgeteilt, in deren Zentren die Gitterpunkte gelegt werden. Für jeden Gitterpunkt werden nun Monatswerte des Niederschlags bestimmt. Auf den Kontinenten geschieht dies unter Verwendung von Klimaatlantiken mit Monatskarten, möglichst aus dem Registrierzeitraum 1931-60; auf den Ozeanen fand die Jahreskarte von GEIGER Verwendung. Der Jahresgang des Niederschlags wurde mit Hilfe von Häufigkeitswerten aus Atlanten der US-Navy festgelegt. Mit den so gewonnenen monatlichen Gitterpunktweiten wurden Monatskarten des Niederschlags für die ganze Erde gezeichnet; die Summation der Monatswerte führte zur Konstruktion einer neuen Jahreskarte.

Im Anschluß daran wurden aus den Gitterpunktweiten Bilanzen berechnet, sowohl monatlich und zonal, für Landflächen und Ozeane als auch für zwölf auf der Erdoberfläche gebildete Großareale. Es schließen sich Vergleiche an, etwa mit den Isolethendarstellungen von BROOKS/HUNT, den Vierteljahreskarten von MÖLLER oder den amerikanischen Simulationen von Globalniederschlägen an Großrechenanlagen. Die Niederschläge im tropischen Pazifik werden an Hand eines aus Inselwerten von TAYLOR erstellten Atlas gesondert betrachtet.

Die Untersuchung wird abgeschlossen mit der Betrachtung des Zusammenhangs der monatlichen Niederschläge über Südamerika und Afrika mit der Länge der ITC.

Abstract

With the help of grid-points of precipitation values maps of precipitation for the whole world are plotted in this study. The surface of the earth is divided into 2592 five-degree-fields in the center of which are situated the grid-points. For each grid-point monthly values of precipitation data are now determined. On the continents by using climatic atlases with monthly maps, as far as possible out of the registration period 1931-60, on the oceans the annual map of GEIGER was used. The monthly precipitation rates were determined with the help of percentage frequencies from the atlases of the US Navy. On the basis of the so found monthly grid-point-values monthly maps of precipitation were plotted for the whole earth. The sum of the monthly values enabled the construction of a new annual map.

In addition to this balances were computed, as well as monthly and in zonal relation for land and oceans as for twelve big areas shaped on the surface of the earth. As far as possible the results here were compared with earlier publications, for example with the isopleth-diagrams of BROOKS/HUNT, the quarterly values of MÖLLER or the American simulations of global precipitation on data processing machines. The precipitations in the tropical Pacific are looked at separately by the help of an atlas made with island data by TAYLOR.

The study is concluded by the examination of the correlation of the monthly amounts of precipitation over South America and Africa with the length of the ITC.

1 Die Entwicklung globaler Niederschlagskarten

1882 trat der Schotte E. LOOMIS (27) mit einer ersten Niederschlagskarte für die ganze Erde an die Öffentlichkeit. Er stützte sich auf die bis dahin bekannten Niederschlagsdaten der festen Erdoberfläche und auf die als Schiffsbeobachtungen vorliegenden Häufigkeiten der Regenfälle auf See. Offenbar hat diese Karte keine größere Bedeutung erlangt, denn sie wird sowohl in der angelsächsischen als auch in der deutschen Literatur nur selten erwähnt. Anders verhält es sich mit einer von A. SUPAN entworfenen und 1898 veröffentlichten Karte. Die SUPANSche Karte ist in Abbildung 1 dargestellt. Sie wurde wie alle hier wiedergegebenen Karten zur besseren Vergleichbarkeit in eine einheitliche Projektion umgezeichnet. Es handelt sich dabei um eine flächentreue, modifizierte Mercator-Sansonsche Zylinderprojektion (Pollinie = halbe Äquatorlänge, Äquatorialmaßstab 1 : 325 180 000).

SUPAN schätzt die Niederschlagswerte auf Atlantik und südlichem Indischen Ozean, dagegen bleiben Pazifik, Karibische See, Ostsee, europäisches Mittelmeer und die Polargebiete weiß. Andererseits überzieht er sämtliche Festländer mit Ausnahme fast gesamt Grönlands und der Antarktis mit Isolinien, deren Verlauf von späteren Autoren praktisch nur unwesentlich geändert worden ist.

Abgesehen vom Anwachsen der Schiffsbeobachtungen, das mit der Ausweitung des Welthandels verknüpft war,

war eine genauere Kenntnis der Meeresniederschläge durch die Einrichtung von Inselstationen zu erwarten. HERBERTSON (18), JEFFERSON (22) und EKHART (12) waren die Nächsten, die unter Benutzung von Beobachtungen auf Inseln globale Niederschlagskarten vorlegten. EKHART verwendet für seine Karte den mittleren Niederschlag aus dem Zeitraum 1911-1920. Rein optisch scheint sie ein Rückschritt gegenüber der Karte von SUPAN zu sein, da SUPAN mehr Rücksicht auf orographische Gegebenheiten genommen zu haben scheint als EKHART, andererseits sind jetzt auch die bei SUPAN fehlenden Flächen erfaßt, und die Isolinien dringen auch in polare Bereiche vor. Der zentrale Punkt jedoch ist bei der EKHARTSchen Karte die einheitliche Registrierperiode 1911-20. Wie JEFFERSON, der nur die Regenverteilung über den Festländern wiedergibt, glaubt EKHART mit Mittelwerten aus zehn Jahren auskommen zu können. Möglicherweise hat diese Meinung ihren Ursprung in der Tatsache, daß die noch relativ dünnen Meßnetze, verbunden mit der subjektiven Auswertung durch die einzelnen Autoren keine auffallenden qualitativen Unterschiede bei zeitlicher Eingrenzung ergaben.

Mit dem Problem der Niederschläge speziell auf den Meeren beschäftigt sich auch der Ozeanograph G. SCHOTT. Seine Arbeiten über den Atlantik und den Indopazifik sind die Voraussetzung für spätere globale Arbeiten. Methodisch geht SCHOTT (40) so vor, daß er für einen definierten Punkt der Meeresoberfläche dessen Regenhäufigkeit mit seiner „Regendichte“ multipliziert und damit den jeweiligen Jahresniederschlag

erhält. Unter Regenhäufigkeit wird die wahrscheinliche Anzahl der Tage im Jahr, an denen Regen fällt, verstanden, die Regendichte ist der „Ertrag“ eines Regentages in mm. Die Regenhäufigkeit kann aus Schiffstagebüchern entnommen werden, bei der Regendichte greift SCHOTT auf SUPANSCH (44) Werte zurück.

Die Verwendung dieser SUPANSCHEN Ansätze bei SCHOTT macht deutlich, was bei späteren Autoren ebenso erkennbar ist: neue Niederschlagskarten werden durch Verbesserung und gestützt auf vorhergehende entwickelt. Eine Ausnahme bildet hierbei die schon zitierte Regenkarte von EKHART. EKHART entwickelt seine Karte eigenständig, ohne Verwendung von Vorbildern. Es gibt aber andererseits keine globale Regenkarte, die seine Darstellung als Grundlage hat. Die Relevanz von Klimakarten auf der Basis von nur zehnjährigen Mitteln scheint eben doch eingeschränkt zu sein.

1933 legte SCHOTT (41) in den Annalen der Hydrographie „die jährlichen Niederschlagsmengen auf dem Indischen und Stillen Ozean“ vor. (Die SCHOTTschen Karten des Atlantischen Ozeans und des Indopazifik wurden in Abb. 2 zusammengezeichnet.) Wohl bedingt durch die geringe Dichte des Seeverkehrs zeichnet SCHOTT die 1000er Isohyete östlich von Neuseeland nicht durch, am Rande der Antarktis endet die 250-mm-Isohyete, weil die Vereisung eine genaue Abgrenzung des Ozeans nicht zuließ, und als dritte pazifische Region weist die Fläche zwischen 95° und 170° w. L. und 10° n. B. und dem Äquator keine Isolinien auf.

Die beiden SCHOTTschen Karten, obwohl nur auf die Meere bezogen, mußten hier erwähnt werden, weil sie gezielt die Schwächen der bis dahin erschienenen Darstellungen zu beseitigen versuchten. Sie ermöglichten das Erscheinen einer Niederschlagskarte von MEINARDUS (31) im Jahre 1934 (Abb. 3). Als Quelle zur Darstellung der Meeresniederschläge konnte MEINARDUS eine bereits verbesserte Regenkarte verwenden, die SCHOTT nach einer Revision seiner Karten gezeichnet hatte. Für die Landflächen verwendet MEINARDUS die Veröffentlichungen der einzelnen meteorologischen Zentralstellen, sowie die Monographien in KÖPPEN-GEIGERS „Handbuch der Klimatologie“ (25). Mangelnde Niederschlagsdaten in den polaren Bereichen sind für MEINARDUS nicht störend, weil die Ausdehnung der Polargebiete flächenmäßig gering ist und auch die absoluten Niederschlagshöhen relativ gering sind.

Die MEINARDUSSCHE Karte hat eine sehr große Bedeutung erlangt – nicht nur im deutschsprachigen Raum – und sie kann auch noch heute, trotz neuer Ansätze, als relevant angesehen werden.

1938 veröffentlichte das US Weather Bureau den „Atlas of Climatic Charts of the Oceans“ unter der Federführung von McDONALD (29). Karten der mittleren Niederschlagshäufigkeit für die Jahreszeiten in diesem Atlas konnten nun als Grundlage zur Konstruktion auch saisonaler Niederschlagskarten für die ganze Erde herangezogen werden. Hier sind die 1951 erschienenen Karten von JACOBS (19) und MÖLLER (34) zu nennen. MÖLLER entwirft seine Vierteljahreskarten (Abb. 4–7) auf der Grundlage der MEINARDUSSCHEN Karte, indem er die Beträge der Meeresniederschläge im Schnitt um $\frac{1}{5}$ herabsetzt und für den Atlantik die SCHOTTsche Karte ohne Änderung verwendet. Für die Kontinente verwendet MÖLLER die Datensammlungen verschiedener Handbücher, sowie eine große Anzahl von Einzelveröffentlichungen. Hinweise auf den Zeitraum, aus dem die Niederschlagswerte gemittelt wurden, fehlen. Bei diesen Vierteljahreskarten taucht – was die Ozeane anbetrifft – die Frage auf, inwieweit, wenn von saisonalen Regenhäufigkeiten ausgegangen wird, auch ein Jahresgang der „Ergiebigkeit“ von Niederschlagstagen

angenommen werden muß. MÖLLER geht an Hand von Niederschlagsmessungen an Inselstationen dieser Frage nach und verneint einen Jahresgang der Ergiebigkeit. Er führt dies auf die andere Definition des Niederschlagstages auf See zurück.

Ebenfalls im Jahre 1951 veröffentlichte ALBRECHT (1) seine Monatskarten des Niederschlags im Indischen und Stillen Ozean. Diese, den Jahresgang der Niederschläge nun schon in Monatsabschnitten untersuchende Arbeit, basiert auf drei Komponenten:

- 1.) der von SCHOTT 1935 entworfenen Karte der Niederschlagsmenge im Indischen und Stillen Ozean,
- 2.) den mittleren monatlichen Niederschlagsmengen an 384 Insel- und Küstenstationen,
- 3.) den Vierteljahreskarten der Niederschlagshäufigkeit aus den „Climatic Charts of the Oceans“ von McDONALD.

Sechs dieser Karten (für Februar, April, Juni, August, Oktober und Dezember) hat ALBRECHT veröffentlicht und diskutiert. Festzustellen ist aber auch hier, daß keine einheitliche Meßperiode zugrunde liegt.

Die beiden nächsten in Tabelle 1 erwähnten Niederschlagskarten sind im Physisch-Geographischen Weltatlas, Moskau 1964, veröffentlicht. Auf Seite 41/42 findet sich hier die von DROZDOV 1953 entworfene Niederschlagskarte für Kontinente und Meere, auf Seite 60/61 die Karte von LVOVITCH/OVTCHINNIKOV, die nur die Festländer berücksichtigt. Über den Zeitraum der Niederschlagsmessungen wird nichts ausgesagt.

1965 erscheinen im Verlag JUSTUS PERTHES in Darmstadt verschiedene Klimakarten im Maßstab 1 : 30 Millionen, darunter auch eine Karte des jährlichen Niederschlags von GEIGER (Abb. 8).

Für die Ozeane sind noch zwei Arbeiten zu erwähnen. ALBRECHT (2) legt 1960 eine Jahreskarte des Niederschlags nun ausgedehnt auf alle Meere vor. Er stellt fest, daß seine Gesamtniederschlagssumme 12 % unter der von MEINARDUS, aber 15 % über der von MÖLLER liegt und sich dem Wert von DROZDOV auf 1,5 % annähert.

Tabelle 1: Niederschlagskarten für die ganze Erde

LOOMIS	1882	Erde
SUPAN	1898	Erde
HERBERTSON	1908	Festland
SCHOTT	1926	Atlantik
JEFFERSON	1926	Festland
EKHART	1930	Erde
SCHOTT	1932	Indopazifik
MEINARDUS	1934	Erde
McDONALD	1938	Häufigkeiten (vierteljährlich)
JACOBS	1951	Meere (jährlich u. saisonal)
ALBRECHT	1951	Indopazifik (jährlich u. Monate)
MÖLLER	1951	Vierteljahreskarten Erde
DROZDOV	1953	Erde
ALBRECHT	1960	Meere
LVOVITCH/OVTCHINNIKOV	1964	Kontinente
GEIGER	1965	Erde
JACOBS	1968	Ozeane (saisonal)

Schließlich sei noch auf die Arbeit von JACOBS (20) hingewiesen. JACOBS, der schon 1951 Jahreskarten des Niederschlags auf den Ozeanen veröffentlicht hatte, befaßt sich hier erneut mit der saisonalen Niederschlagsverteilung auf dem Meer. Er verwendet ebenfalls keine neuen Quellen, sondern beruft sich auf MEINARDUS, DROZDOV und bei der Verteilung der Niederschläge auf die Jahreszeiten wieder auf McDONALD. JACOBS bemerkt, daß das Anbringen von Korrekturfaktoren die Linienführung der Isohyeten bei den ge-

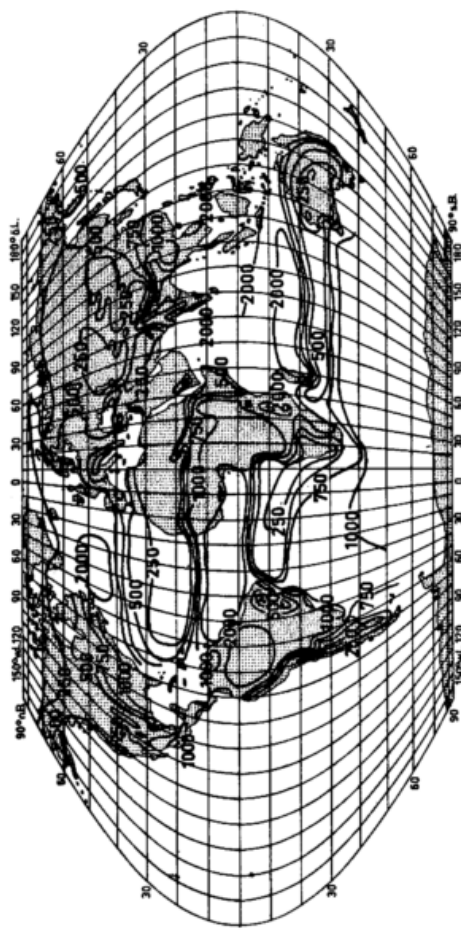


Abb. 1: Verteilung der mittleren jährlichen Regenmenge (mm) nach Supan (1898)

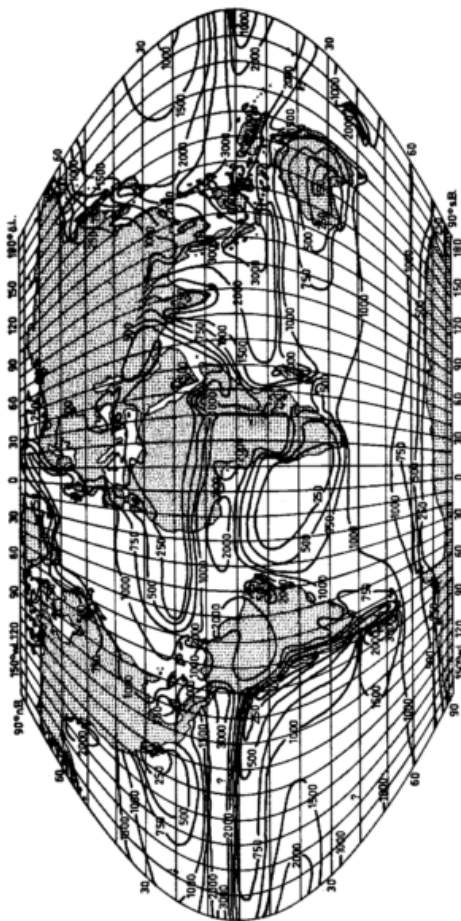


Abb. 2: Niederschlag im Jahresmittel (mm) auf Atlantik, Indischem Ozean und Pazifik nach Schott

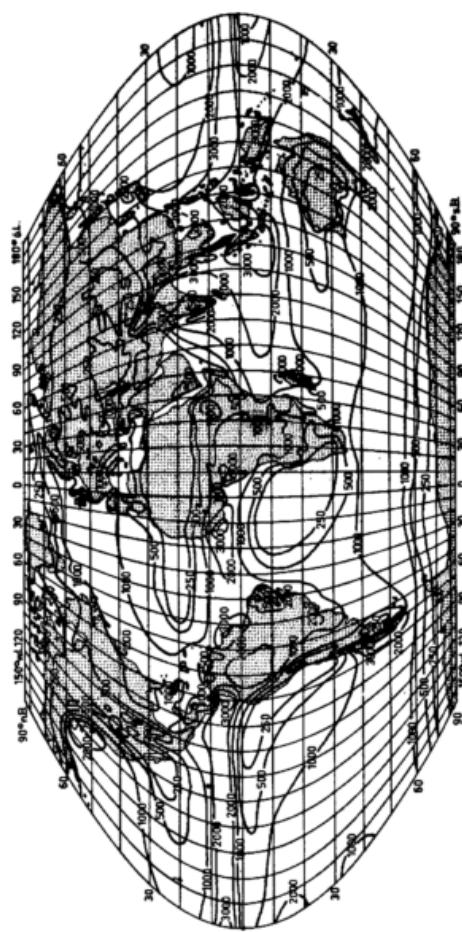


Abb. 3: Jährliche Niederschlags Höhen (mm) nach Meinardus (1934)

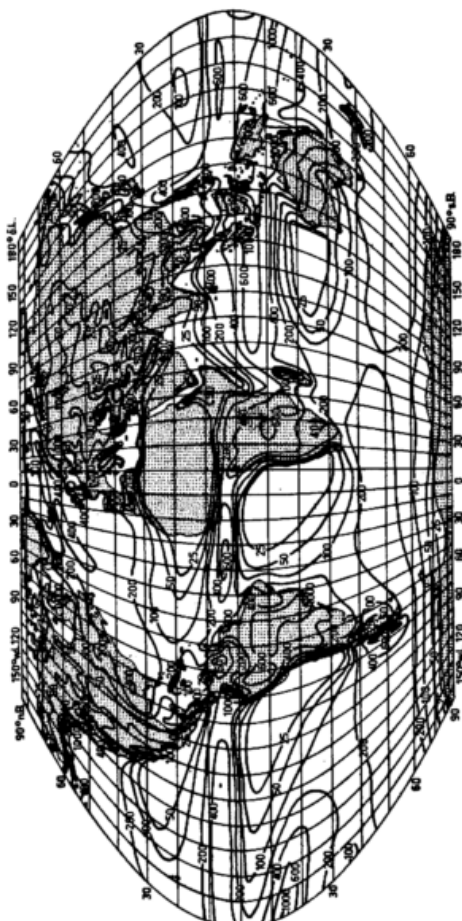


Abb. 4: Vierteljahreskarte des Niederschlags (mm) für die ganze Erde Dezember - Februar nach Möller (1951)

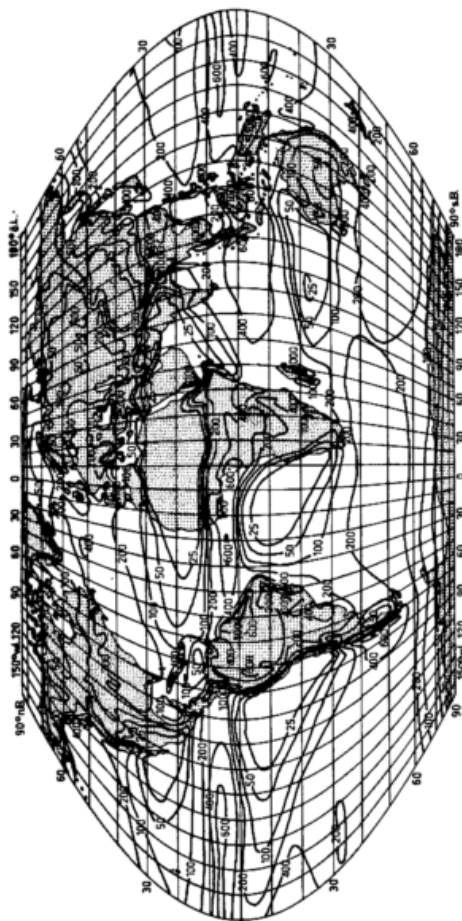


Abb. 5: Vierteljahreskarte des Niederschlags (mm) für die ganze Erde
März - Mai
nach Möller (1951)

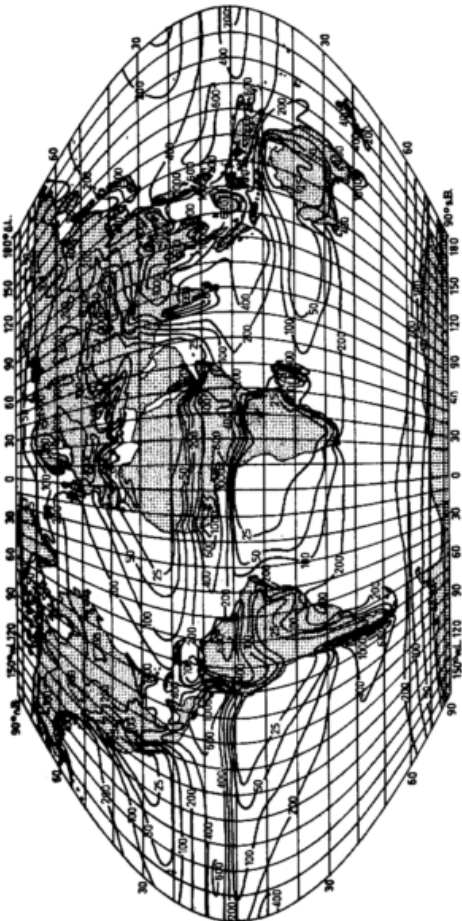


Abb. 6: Vierteljahreskarte des Niederschlags (mm) für die ganze Erde
Juni - August
nach Möller (1951)

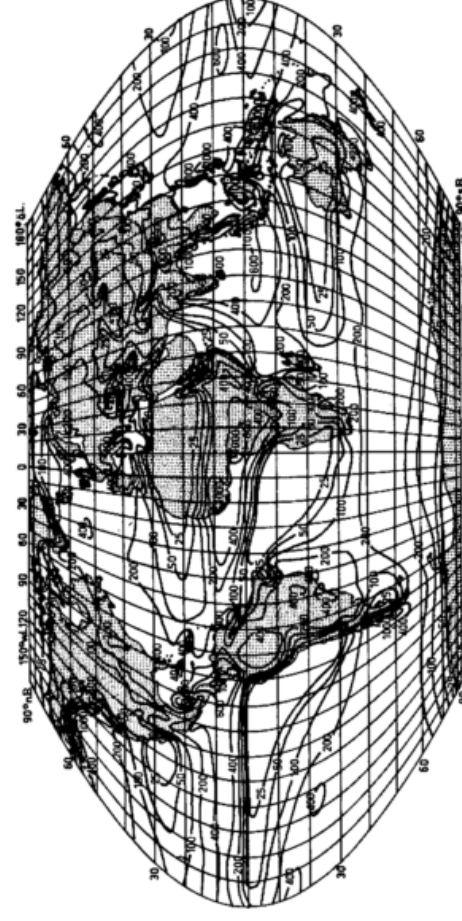


Abb. 7: Vierteljahreskarte des Niederschlags (mm) für die ganze Erde
September - November
nach Möller (1951)

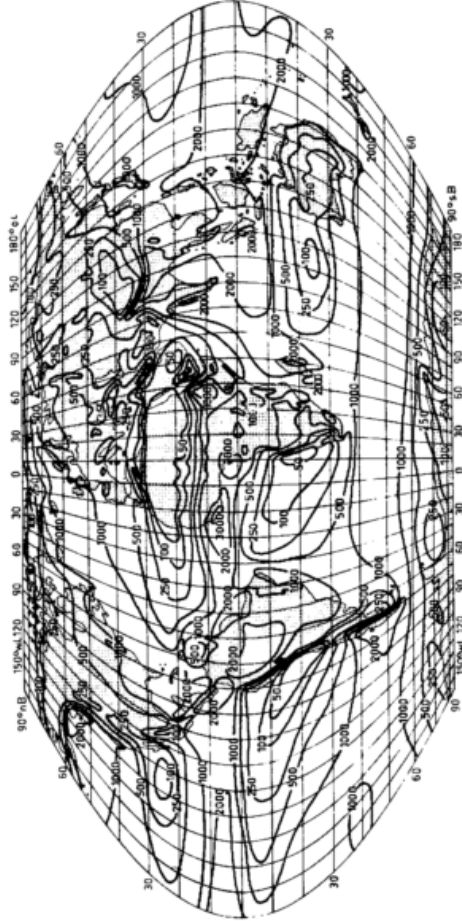


Abb. 8: Jahresniederschlag nach Geiger (1965) in mm

nannten Autoren nicht zerstören würde. Hierdurch erklärt JACOBS die grundsätzliche Übereinstimmung seiner Vierteljahreskarten von 1951 mit denen von MÖLLER. Seine neue Arbeit liefert Vierteljahreskarten des Niederschlags in Prozent des Jahresniederschlags. Er berechnet Werte für 5°-Felder der Ozeane und konstruiert damit die Karten. Rechnung und Zeichnung erfolgten elektronisch. Die jahreszeitlichen Schwankungen des Niederschlags über den Ozeanen können mit diesen Karten drastischer illustriert werden als mit Vierteljahreskarten der Absolutwerte, schreibt JACOBS, um seine Arbeit zu begründen. Aus diesem Grunde seien sie für Meteorologen und Ozeanographen auf ihre eigene Weise von Nutzen.

2 Die Entwicklung globaler Niederschlagsbilanzen

Die Geschichte der Bilanzierungsversuche der Wasserhaushaltsgrößen und damit auch des Niederschlags reicht weiter zurück als die kartographische Darstellung deren Verteilung. Natürlich stimulierte das Auftreten von Niederschlagskarten auch die Berechnungen, nicht zuletzt dadurch, daß die Autoren solcher Karten die Bilanzen meist mitlieferten (SCHOTT, MEINARDUS u. a.). Eine Übersicht über die Entwicklung der Wasserhaushaltsgrößen gibt Tabelle 2, 1970 von BAUMGARTNER und REICHEL (3) zusammengestellt. Es soll hier nicht auf alle Bilanzen im einzelnen eingegangen werden, aber es ist doch interessant, die eine oder andere herauszugreifen.

BLACKS (7) Untersuchung von 1864–81 wird 1899 von SUPAN einer kritischen Beurteilung unterzogen und korrigiert. BLACK wertet die Schiffsjournale von 9 britischen Kriegsschiffen aus, nach SUPAN allerdings mit zu hohem Anspruch, d. h. er wollte mit dem ihm zur Verfügung stehenden Material zu viel leisten. Andererseits erhielt die BLACKSche Untersuchung dadurch Gewicht, daß die neun Kriegsschiffe die Niederschläge auch absolut gemessen haben (bei allem Vorbehalt, den man an derartige Messungen knüpfen muß). SUPAN berechnet mit Daten dreier deutscher Kriegsschiffe die Breitenniederschläge des Atlantiks und des Indischen Ozeans neu.

Die Verteilung des Niederschlags nach den geographischen Breiten des Ungarn BEZDEK (6) hat die SUPANSche Regenkarte zur Grundlage. BEZDEK betrachtet nur die Kontinente. Entlang der 10°-Breitenkreise konstruiert er graphisch Niederschlagsprofile und kommt durch deren Planimetrierung zu zonalen Mittelwerten, die er anschließend unter klimatologischen Gesichtspunkten diskutiert.

E. BRÜCKNER (9) war der erste, der es wagte, über sämtliche Komponenten der global gültigen Wasserhaushaltsgleichung eine Aussage zu machen, auch differenziert nach Ozeanen und Kontinenten. Dies war im Jahre 1905. Als Festlandsniederschlag nahm er den Wert von MURRAY (1887). Dies überrascht zunächst, da MURRAY sich auf die LOOMISSche Karte stützt und diese zu jenem Zeitpunkt durch die SUPANSche bereits überholt war. Doch BRÜCKNER vergleicht beide miteinander, stellt dabei Abweichungen in beiden Richtungen fest und glaubt, daß sich diese im Mittel aufheben. Daher hat er keine Bedenken, den Wert von MURRAY zu verwenden. Auch der Abflußwert wurde von MURRAY übernommen. Dieser entstand aus Wassermengenmessungen an 33 größeren Strömen durch Berechnung von Abflußfaktoren, aus denen ein mittlerer Abflußfaktor von 22 % errechnet wurde. Der maximale Fehler, den BRÜCKNER bei den Festlandsniederschlägen zu 20 % errechnete, erreicht beim Abfluß den Wert von 50 %.

Bevor BRÜCKNER die Meeresverdunstung berechnet, geht er ausführlich auf die Problematik der Verdunstung ein. Den Wert selbst gewinnt er durch Mittelung von Verdunstungsmessungen an Landstationen. Dabei achtet er darauf, daß die verwendeten Meßstellen möglichst

an großen Wasserflächen und im maritimen Bereich des Festlands liegen. Da die Verdunstung bei salzhaltigem Wasser gegenüber Süßwasser herabgesetzt ist, mußte an den Werten eine Reduktion um 5 % vorgenommen werden. Die Herkunft des Wertes der Verdunstung auf dem Lande wird nirgends beschrieben, er scheint aber ebenfalls von MURRAY zu stammen.

1930 schien den Engländern C. E. P. BROOKS und THERESA M. HUNT die Zeit reif zu sein für eine völlige Neuberechnung der zonalen Verteilung der Niederschläge, auch in methodischer Hinsicht. Die Autoren wählten von jedem Land die beste Niederschlagskarte, die sie erhalten konnten zur Auswertung aus. Die Festlandsflächen auf diesen Karten werden in Ein-Grad-Felder (Quadranten) aufgeteilt und die Anzahl der Felder zwischen zwei ungleichnamigen Isohyeten gezählt. Mit der Anzahl der Felder in den verschiedenen Niederschlagsintervallen wird eine Summationskurve gezeichnet und damit der mittlere Niederschlag bezogen auf die Gesamtzahl der Ein-Grad-Felder bestimmt.

Das Ziel ist die Erstellung von Niederschlagswerten nach 5°-Breitenzonen. Für den Atlantik ziehen BROOKS und HUNT SCHOTTS Karte heran, für den Indischen Ozean und den Pazifik eine von SÜRING (17) revidierte Karte. Der zweite Schritt war die Berechnung von Monatswerten. Hierzu wurden die 5°-Zonen in Segmente aufgeteilt und in diesen Segmenten jeweils eine Station, so vorhanden, ausgewählt und deren Monatswerte zur Umrechnung auf die Fläche benutzt. Ebenso wurde über dem Meer verfahren, unter Benutzung der Messungen von Inselstationen. Allzu küstennahe Stationen blieben unberücksichtigt. Ihre Monatswerte stellten BROOKS und HUNT in Tabellen und Isolethen sowohl für die Kontinente, als auch für die Ozeane und die ganze Erde dar.

Im Zusammenhang mit der Konstruktion seiner Niederschlagskarten erstellt MEINARDUS ebenfalls Niederschlagsbilanzen, allerdings nur für das Jahr, differenziert nach 5°-Breitenzonen auf Land, Meer und Erde. Die Festlandsbilanzen übernimmt er von BROOKS und HUNT, die ozeanischen Werte gehen auf die SCHOTTSchen Karten zurück.

In der Festschrift zum 60. Geburtstag von NORBERT KREBS greift WÜST (50) einen weiteren methodischen Ansatzpunkt auf, der zur Berechnung von Zonenwerten auf den Ozeanen verwendet werden kann: den Oberflächensalzgehalt der Weltmeere. WÜST kommt zu dem Ergebnis, daß der Oberflächensalzgehalt der Meere in erster Linie von der Differenz ($N - V$) abhängt und berechnet ausgehend vom Oberflächensalzgehalt mit Hilfe der Verdunstung den Niederschlag. Den Niederschlag mit Hilfe der Verdunstung deshalb, weil er der Verdunstungsbestimmung auf dem Meer eine größere Genauigkeit beibringt als der Niederschlagsmessung, die ohnehin weitgehendst auf Inseln stattfindet.

Eine letzte Möglichkeit, die Globalbilanz des Niederschlags zu erfassen, bietet die Berechnung des Wärmehaushalts der Erdoberfläche. Da im Jahresmittel global gesehen die Wärmehaushaltsgleichung sich zu dem Ausdruck

$$Q = c \cdot V + L$$

vereinfacht und ebenfalls der mittlere globale Jahreswert von V gleich N werden muß, kommt man über die Berechnung von Q und L zur Abschätzung von V (Q = Strahlungsbilanz, c = Verdampfungswärme, V = Verdunstung, L = Strom fühlbarer Wärme, N = Niederschlag). Beispielsweise enthält BUDYKOS (10) Monographie (Übersetzung von PELZL 1963) über den Wärmehaushalt der Erdoberfläche Berechnungen über diesen Ansatz.

Es ist festzuhalten, daß die Bilanzen oftmals ebenso wie die Niederschlagskarten miteinander verzahnt sind, und daß manch neuer Ansatz sich bei näherem Hinsehen als Fortschreibung eines früheren entpuppt.

Tabelle 2: Übersicht über den Wasserhaushalt

aus: A. Baumgartner u. E. Reichel "Preliminary results of new investigations of world's water balance" (1970)

Alle Zahlen von N_L bis Σ_V in 10^3 km^3 , $N_E = \hat{V}_E$ in mm

Autor	Jahr	N_L	V_L	A_L	N_M	V_M	$\Sigma N = \Sigma V$	$N_E = V_E$
Johnson	?			56				
Black	64/81				368			
Reclus	1883			28				
Woeikof	1886	78	61	17				
Murray	1887	122	97	25				
Bezdek	1904	121						
Brückner	1905	122	97	25	359	384	481	940
Fritzsche	1906	112	81	31	353	384	465	910
Lütgens	1911					506		
Schmidt	1915	112	81	31	242	273	354	690
v. Kerner	1919				363			
Wüst	1922	112	75	37	267	304	379	743
Kaminsky	1925	81	51	30	307	337	388	760
Ekhart	1930						495	970
Brooks-Hunt	1930	99			398		497	975
Cherubim	1931	112	75	37	334	371	446	880
Meinardus	1934	99	62	37	412	449	511	1002
Halbfaß	1934	100	52	48	410	458	510	1000
Wüst	1936	99	62	37	297	334	396	780
Mosby	1936					383		
Wundt	1938	99	62	37	346	383	445	880
Lvovitch	1945	107	71	36	412	448	519	1020
Albrecht	1949						393	770
Möller	1951	99	62	37	≅ 324	≅ 361	≅ 423	≅ 832
Reichel	1952	100	70	30	315	345	415	810
Wüst	1954	100	73	27	324	351	424	830
Budyko	1955	100	66	34/38	370	408	470/474	930
Albrecht	1960	100	67	33	378	411	478	940
Budyko	1963	107	61	46/48	404	452	512	1000
Marcinek	1964			36				
Mira-Atlas	1964	108	72	36	412	448	520	1020
Nace	1968	100	69	31	319	350	419	820
Keßler	1969	100	60	40	410	450	510	1000
Lvovitch	1969	109	72	37	411	448	520	1020
Mather	1970	106	69	37	382	419	488	955
Budyko	1970	107	64	43	412	455	519	1020
Eigene Berechnung Baumgartner/Reichel:								
von Jacobs	1951		65			382	447	875
von Privett	1960		65			428	493	965
von Albrecht	1960	100	67	33	385	418	485	950
von Knoch	1961	100			396		496	970
Baumgartner-Reichel	1970	100	65	35	383	418	483	950

N_L = Niederschlag, Land. V_L = Verdunstung, Land. A_L = Abfluß, Land.

N_M = Niederschlag, Meer. V_M = Verdunstung, Meer.

ΣN = Summe Niederschlag. ΣV = Summe Verdunstung.

N_E = Niederschlag Erde. V_E = Verdunstung Erde.

3.1 Die Bestimmung der Niederschläge

Den Rahmen für die Gewinnung der Niederschlagswerte bildete ein globales Netz von 2592 Gitterpunktwerten, die in den Zentren von Fünf-Grad-Feldern liegen. Der prozentuale Anteil von Land und Meer in jedem Feld wurde ausplanimetriert und mit der absoluten Größe des Feldes die Meeres- und Landflächen bestimmt. Die auf diese Weise gewonnene Land-Meer-Verteilung wurde, um die Niederschläge auch in Großräumen betrachten zu können, nach zwölf die Erde aufteilenden Arealen geordnet: Arktisches Meer, Nordamerika, Nordpazifik, Nordatlantik, Südamerika, Südpazifik, Südatlantik, Eurasien, Afrika, Indischer Ozean, Australien und Antarktis.

Die beiden amerikanischen Kontinente finden ihre Abgrenzung in Panama bei 80° westlicher Länge; Westindien wird zu Nordamerika gerechnet. Der Atlantische Ozean wird gegenüber dem nördlichen Eismeer wie folgt abgegrenzt: Nordamerikanisches Festland - Southampton-Insel - Baffin-Land - 70. nördlicher Breitengrad - Grönland - 80. nördlicher Breitengrad - Spitzbergen - Bäreninsel - europäisches Nordkap. Die Grenzen der Ozeane auf der Südhalbkugel liegen zwischen dem Pazifik und dem Atlantik auf 67° 16' westlicher Länge, zwischen Atlantik und Indischem Ozean auf dem 20. östlichen Längengrad und zwischen dem Indischen Ozean und dem Pazifik auf 146° 55' östlicher Länge.

3.1.1 Gewinnung von Gitterpunktwerten der Kontinentalniederschläge

Um nun das Gitterpunktnetz mit Niederschlagswerten zu füllen, wurden, was die Kontinente anlangt, die neuesten Klimaatlanten, soweit sie den Klimaparameter Niederschlag im Jahresgang enthielten, herangezogen. Die verwendeten Atlanten und ergänzenden Datensammlungen sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3: Quellen für die Festlandsniederschläge

1. Atlas de la Republica de Chile. Instituto geografico militar, Santiago 1966. Diagramme der Jahresgänge.
2. National Atlas of India, Calcutta 1957, Karte Nr. 6: Rainfall. Jahresniederschlag in Isolinien, dazu Diagramme selektiver Stationen.
3. Atlas of Japan, Physical, Economical and Social; Tokio 1970. Karten des Jahresniederschlags, von Januar und August, dazu Stationen mit Diagramm aus dem Klimaatlas von Japan 1948.
4. Atlas of Physical, Economic and Social Resources of the Lower Mekong Basin. United Nations, 1968. Daten verschiedener Meßperioden.
5. Atlas Mira. Physisch-geographischer Weltatlas, Moskau 1964. Monatskarten des Niederschlags für die Sowjetunion von DROZDOV, KUSNETZOWA und TYUKTIK, Registrierzeit z. T. uneinheitlich von 1881-1950.
6. Atlas of South-East-Asia. Djambatan-Amsterdam 1964. Jahreskarten des Niederschlags, sowie von Januar und Juli.
7. Atlas de Venezuela. Ministerio de obras publicas, Caracas 1969. Karte mit Niederschlagsdiagrammen, bezogen auf die Periode 1951-60.
8. An Atlas of Chinese Climatology. Office of Technical Services, Joint Publications Research Service (Übersetzung), Washington 1962. Monatskarten der Niederschläge, ohne Innerasien. Uneinheitliche Perioden, die meist 1950 enden.
9. Atlas climatológico do Brasil. Ministério da agricultura, Escritório de Meteorologia, Rio de Janeiro 1969. Monatskarten des Niederschlags aus der Periode 1931-60.
10. Atlas Climatique du Bassin Congolais, Vol. 2, Brüssel 1971. Atlas mit Monatskarten aus der Periode 1930-59.
11. Atlas Climatológico de Mexico. Secretaria da Agricultura y Fomento, Servicio Meteorológico Mexicano, Mexico City 1939. Bezogen auf die Periode 1921-30.
12. Agro-climatic Atlas of Europe. Wageningen 1965. Niederschlagswerte digital ohne Hinweisse auf die Registrierperiode.
13. Climatic Atlas of Europe. WMO, Budapest 1970. Monatskarten aus der Periode 1931-60.
14. Climatic Atlas of Iran. University of Teheran, Institute of Geography, Teheran 1965. Monatskarten des Niederschlags unter Verwendung von Daten aus der Periode 1940-1960.
15. Climatological Atlas for Iraq. Ministry of Communications, Meteorological Department, Baghdad (ohne Datum). Periode 1935-1956, uneinheitlich.
16. Climatic Atlas of Japan. Japan Meteorological Agency, Tokyo 1972. Monatskarten, Periode: Beginn der Registrierung bis 1960.
17. Climatic Atlas of Korea. Central Meteorological Office, Seoul 1962. Monatskarten 1931-60.
18. Climatic Maps, Mean Monthly Amount of Precipitation. Canada Department of Transport, 1967. Periode 1931-60, Werte in Inches.
19. Climatic Maps of the USA. US Department of Commerce, Washington D. C. 1965. Karten der monatlichen Niederschläge aus der Periode 1931-60, Niederschlagshöhen in Inches.
20. Informationen zur politischen Bildung, Folge 125: Mittelamerika, Land und Wirtschaft. Bonn 1967. Jährliche Niederschlagsverteilung von Mexico, Diagramme von Kuba, Jamaika, Hispaniola, Puerto Rico und Zentralamerika.
21. Klimakarten von Thailand. Meteorological Department, Bangkok 1964. Karte des Jahresniederschlags 1931-60.
22. Taiwan. An Economic and Social Geography, Vol. 1. Taiwan 1963. Karte des Jahresniederschlags und Daten (1897-1952).
23. World Weather Records. US Department of Commerce, Washington D. C.
24. BENTLEY, C. R., CAMERON, R. L., BULL, C., KOJIMA, K. and GOW, A. J.: Physical Characteristics of the Antarctic Ice Sheet. Antarctic Map Folio Series, Vol. 2, Amer. Geogr. Soc. 1964. Mittlerer jährlicher Schneefall in cm Wasser.
25. BERLAGE, H. P.: Regenval in Indonesie. Koninklijk Magnetisch e Meteorologisch Observatorium. Meteorologische en Geophysische Dienst. Verhandelingen No. 37, Djakarta 1949. Mittelwerte verschiedener Perioden, Ende 1941.
26. BROOKFIELD, H. C. & D. HART: Rainfall in the Tropical Southwest Pacific. Canberra 1966. Unterschiedliche Längen von Meßperioden. Angabe der Regenhöhe in Points (Inches/100).
27. KOTLYAKOV, V. M.: The Snow Cover of the Antarctic and its Role in the Present-Day Glaciation of the Continent, Translated from Russian, Jerusalem 1966. Festlegung des Jahresganges der Niederschläge der Antarktis.

28. LANDSBERG, H. E.: World Survey of Climatology, Vol. 8: Climates of Northern and Eastern Asia, ed. by H. ARAKAWA, Amsterdam, London, New York 1969. Ergänzende Daten.
29. LANDSBERG, H. E.: World Survey of Climatology, Vol. 14: Climates of the Polar Regions, ed. by S. ORVIG, Amsterdam, London, New York 1970. Niederschlagsdaten von 18 grönländischen Stationen.
30. NIEUWOLT, S.: Klimageographie der malaisischen Halbinsel. Mainzer Geographische Studien, H. 2, 1969. Daten aus der Periode 1951-60, uneinheitlich.
31. TAMAYO, J. L.: Atlas geografico general de Mexiko, Mexico City 1962. Niederschlagsdaten von 1921-1951.
32. THOMPSON, B. W.: The Climate of Africa, Oxford University press, London 1965.

Es war beabsichtigt, für die Bilanzen den mittleren Niederschlag aus den Jahren 1931-60 zu verwenden. Dies war aber nicht in allen Bereichen der festen Erdoberfläche durchführbar, wie die Anmerkungen zu den einzelnen Atlanten in Tabelle 3 bekunden, sei es, daß es auch heute noch schwierig ist, von bestimmten Landflächen überhaupt Niederschlagsdaten zu erhalten - hier sind z. B. die Polargebiete zu nennen - sei es, daß Registrierungen wegen Kriegseinwirkungen und Revolutionen vernichtet oder unterbrochen werden. Es wird noch lange dauern, bis für die gesamte feste Erdoberfläche homogene, langjährige Klimadaten vorliegen.

THOMPSON (47) beschreibt die unbefriedigende Daten-situation in Afrika, ähnliche Verhältnisse berichtet NIEUWOLT (35) aus Malaya, und es ist zu erwarten, daß diese von NIEUWOLT und THOMPSON in den von ihnen bearbeiteten Gebieten angeführten Bedingungen auch in anderen Bereichen gelten, ohne daß in den diesbezüglichen Veröffentlichungen darauf hingewiesen wird. Dennoch wurde an der Registrierperiode 1931-1960 festgehalten. Es wird aber ausdrücklich darauf hingewiesen, daß auch Datenmaterial benutzt werden mußte, das aus Zeiträumen stammt, die innerhalb der Periode 1931-60 liegen und anderes, dessen Registrierbeginn vor 1931 liegt und das auch teilweise nicht bis 1960 reicht. In Gebieten, bei denen keine Monatskarten des Niederschlags vorhanden waren, wurde auf Spezialliteratur zurückgegriffen (siehe Tab. 3). Die danach noch vorhandenen Lücken auf den Landflächen wurden mit Hilfe der "World Weather Records" geschlossen. Die auf diese Weise für alle Gitterpunkte des festen Landes erhaltenen monatlichen Niederschlagswerte wurden auf *mittlere Monatslängen* umgerechnet.

3.1.2 Gewinnung von Gitterpunktwerten der Meeresniederschläge

Die Registrierung des absoluten Niederschlags auf See wird praktisch nur von Forschungs-, Wetter- und Feuerschiffen vorgenommen. Die Aufgabenstellungen dieser Schiffe führt zu einer äußerst unregelmäßigen Verteilung der Standorte auf den Weltmeeren, so daß an eine flächendeckende Erfassung des Niederschlagsjahresganges nicht gedacht werden kann, und auch in zeitlicher Hinsicht bleiben viele Wünsche offen. Nimmt man die Regenmessungen an Küsten- und Inselstationen bei der Bestimmung der Niederschläge auf dem Meer zu Hilfe, so treten ebenfalls mannigfaltige Schwierigkeiten auf, beispielsweise Inhomogenitäten des Materials oder mangelnde Kenntnis der Stationssituationen. Darüberhinaus ist es für den Großteil der ozeanischen Fünf-Grad-Felder unmöglich, benachbarte Küsten- oder Inselstationen für eine vernünftige Festlegung des Niederschlags auf dem offenen Ozean heranzuziehen. Auch sind die Aussagen, die man von Satellitenbeobachtungen ausgehend über die Bewölkung machen kann, zumindest derzeit noch nicht geeignet, numerische Angaben über die Niederschläge zu machen.

Ein Verfahren, die Niederschlagsverteilung über die Niederschlagshäufigkeiten auf See zu errechnen, benutzt MÖLLER (34) zur Konstruktion seiner Vierteljahreskarten des Niederschlags für die ganze Erde. Diese Arbeitsweise gelangte für die Bestimmung der ozeanischen Gitterpunktwerte auch hier zur Anwendung. Angaben über die mittlere Häufigkeit von Niederschlag in Prozent für die einzelnen Monate wurden den neuen US-Marine-Atlanten entnommen (48). Die relative Häufigkeit des Niederschlags ist in den ersten fünf Atlanten in Isolinien auf Monatskarten dargestellt (percentage frequency of observations reporting precipitation), in den beiden die polaren Meere behandelnden Atlanten erfolgte die Darstellung wegen des schütterten Beobachtungsmaterials auf nur einer Karte in Säulen für einzelne Stellen (percentage frequency of precipitation by month). Darunter leidet natürlich auch die Genauigkeit der daraus errechneten absoluten Niederschlagswerte in den hohen Breiten.

Die auf die einzelnen Monate bezogenen Häufigkeitsangaben des Niederschlags wurden nun auf das Jahr umgerechnet. Jahresmittel der in den Meeresgebieten auftretenden Niederschlagsmengen wurden der Karte von GEIGER (16, Abb. 8) entnommen und hieraus mit Hilfe der prozentualen Verteilung des Niederschlags auf die Monate die Gitterpunktwerte des absoluten Monatsniederschlags bestimmt.

4 Die Konstruktion globaler Karten des mittleren Monatsniederschlags und einer neuen Karte des mittleren globalen Jahresniederschlags

Ein erstes Ziel dieser Arbeit ist es, den Jahresgang der Niederschläge auf der ganzen Erde in Monatsschritten kartographisch darzustellen. Nachdem das auf der Erdoberfläche aufgespannte Gitterpunktnetz in jedem Monat mit absoluten Niederschlagswerten voll besetzt ist, besteht die Möglichkeit, Monatskarten zu konstruieren. Vorher ist noch die Frage zu klären, ob nicht an den Meeresniederschlägen Reduktionen angebracht werden sollten.

Wie in Kapitel 3.1.2 beschrieben, wurden die Jahresmengen des Niederschlags auf den Ozeanen der Karte von GEIGER entnommen. Zusammen mit den Neuberechneten Kontinentalniederschlägen ergibt sich hierbei ein mittlerer globaler Jahresniederschlag von 966 mm. Nimmt man die Jahreskarte von ALBRECHT (2) als Grundlage für die Meeresniederschläge, so erreicht der Gesamtniederschlag der Erde den Mittelwert von 965 mm, bei Verwendung der Karte von DROZDOV (11) erhält man 1074 mm. KESSLER (24) führt solche Unterschiede in der Niederschlagsmenge der Gesamtwasserfläche vornehmlich auf die verschiedene Interpretation der Häufigkeitszahlen durch die einzelnen Autoren zurück. Allerdings kommen bei den Umsetzungen von Klimakarten, deren Parameter in Isolinien dargestellt sind, in Zahlenwerte an festgelegten Gitterpunkten die subjektiven Interpolationen der einzelnen Bearbeiter ebenfalls zum Tragen.

KESSLER (24) bestimmte die Jahresverdunstung der Gesamterde, die gleich der Niederschlagsmenge sein muß, nach verschiedenen Autoren zu 1000 mm. Wie Tabelle 2 zeigt, steht KESSLER mit diesem Wert unter den neueren Arbeiten nicht allein da, und es kann davon ausgegangen werden, daß 1000 mm Jahresniederschlag dem Mittel der tatsächlichen Verhältnisse ziemlich nahe kommt. Auch jüngste Arbeiten zum globalen Wärmehaushalt sowie die Strahlungsmessungen von Nimbus 3 am Außenrand der Atmosphäre bestätigen, daß die Annahme eines globalen Jahresniederschlagswertes von 1000 mm realistisch ist.

Damit sich die hier benutzten Niederschlagswerte in dem 1000-mm-Niederschlagsmodell bewegen, werden die aus der GEIGERSCHEN Karte gewonnenen Meeresnieder-

Tabelle 4: Monatsmittel der Niederschläge für Fünf-Grad-Breitenzonen (mm)

	Fläche (qkm)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
90 - 85 N	978908	6	19	18	1	2	3	3	4	15	16	31	19	137
85 - 80 N	2928681	8	18	18	4	4	6	6	10	20	19	29	19	162
80 - 75 N	4854424	19	17	15	17	19	14	14	17	20	18	22	20	214
75 - 70 N	6740454	24	23	15	13	14	15	15	31	28	26	26	26	265
70 - 65 N	8571586	22	23	19	24	26	46	35	53	45	37	29	24	383
65 - 60 N	10333297	36	35	31	33	36	60	55	65	60	51	41	38	541
60 - 55 N	12011886	53	52	44	46	50	75	65	74	76	69	69	56	729
55 - 50 N	13594589	67	64	61	56	59	70	70	72	68	67	69	66	794
50 - 45 N	15069680	72	69	63	61	65	73	73	69	65	67	77	75	830
45 - 40 N	16426533	76	69	68	67	68	67	67	62	64	66	74	74	820
40 - 35 N	17655661	79	78	77	68	57	57	57	54	56	58	67	76	784
35 - 30 N	18748731	63	65	60	60	59	80	66	72	56	55	56	60	761
30 - 25 N	19698557	48	49	43	51	59	83	78	72	70	44	45	45	707
25 - 20 N	20499076	37	34	32	33	59	83	85	85	70	52	44	42	694
20 - 15 N	21145318	49	42	37	42	56	100	85	101	85	55	39	42	946
15 - 10 N	21633367	59	50	47	58	61	109	101	129	135	101	72	58	946
10 - 5 N	21960325	109	88	91	120	101	156	188	188	184	137	106	81	1333
5 - 0 N	22124278	149	144	159	197	186	205	200	200	202	192	165	143	1918
0 - 5 S	22124278	141	142	157	166	216	162	158	158	151	168	154	152	2013
5 - 10 S	21960325	154	162	156	148	149	100	101	101	103	110	126	134	1542
10 - 15 S	21633367	145	151	133	106	111	83	82	82	88	102	121	146	1447
15 - 20 S	21145318	115	115	99	77	81	70	72	72	74	82	103	122	1213
20 - 25 S	20499076	93	91	76	64	61	52	48	48	51	60	76	98	908
25 - 30 S	19698557	65	66	67	65	64	50	48	48	48	53	61	77	773
30 - 35 S	18748731	57	61	60	69	78	62	60	60	57	55	54	57	735
35 - 40 S	17655661	60	65	67	81	84	87	84	84	73	71	61	55	840
40 - 45 S	16426533	86	85	90	102	97	112	111	111	95	89	77	66	1030
45 - 50 S	15069680	93	96	95	107	118	124	121	121	113	105	96	92	1255
50 - 55 S	13594589	98	100	100	106	117	122	122	122	116	107	100	96	1295
55 - 60 S	12011886	127	138	161	106	117	117	118	117	114	107	103	98	1295
60 - 65 S	10333297	126	119	144	60	58	62	48	76	51	65	114	156	1116
65 - 70 S	8571586	53	37	46	12	17	21	15	21	22	24	43	121	685
70 - 75 S	6740454	20	21	27	25	25	27	36	29	28	33	21	52	412
75 - 80 S	4854424	8	8	27	25	24	27	35	29	25	30	18	19	300
80 - 85 S	2928681	4	5	12	14	14	16	20	17	14	17	9	6	155
85 - 90 S	978908	5	6	7	8	8	9	11	9	8	9	5	3	86
Nord-H.	254975352	66.7	62.7	60.6	67.3	82.6	99.4	99.9	102.3	98.7	87.2	78.2	72.8	978.4
Süd-H.	254975352	98.0	99.8	99.6	87.1	82.8	78.6	76.3	76.1	72.7	75.3	81.4	93.3	1021.0
Erde	509950680	82.3	81.2	80.1	77.2	82.7	89.0	88.1	89.2	85.7	81.2	79.8	83.1	1000

schlagswerte mit dem Faktor 1.062 multipliziert. Mit den auf diese Art aus den ozeanischen Häufigkeitskarten errechneten Monatswerten und den unveränderten Festlandsniederschlägen wurden nun die monatlichen Globalniederschläge in den Abbildungen 9–20 kartographisch dargestellt. Die Addition der Monatsgitterpunktswerte ermöglichte die Zeichnung des mittleren Jahresniederschlags (Abb. 21). Der Äquatorialmaßstab der Abbildungen 9–21 beträgt 1 : 148 000 000.

Auf eine Schwäche der Monatskarten sei hier hingewiesen. Durch die nur wenigen und auch nur punkthaft dargestellten Beobachtungsergebnisse in den US-Marine-Atlanten Vol. 6 und 7 (Nord- und Südpolarmeer) gerät die Linienführung der Isohyeten in den polaren Bereichen des Weltmeeres sehr unbefriedigend. Es wurde nicht versucht, diesen Mangel zu korrigieren, da erstens die Methodik nicht verfälscht werden sollte und da es zweitens noch keine anderen Entscheidungskriterien für die Festlegung des Jahresganges in diesen Bereichen gibt. Bei der zonalen Betrachtung der monatlichen Niederschläge verschwinden diese Ungereimtheiten wieder, außerdem nimmt in den Außertropen mit zunehmender Breite der Einfluß der Niederschlagswerte auf die Bilanzen durch die abnehmende Ausdehnung der Breitenzonen und die temperaturbedingte Verringerung des Niederschlags ohnehin ab.

5 Die Berechnung globaler Niederschlagsbilanzen aus den gewonnenen Gitterpunktswerten

Über die Konstruktion von Niederschlagskarten hinaus ermöglichen die Gitterpunktswerte auch die Berechnung von globalen Bilanzen. Die 2592 Gitterpunktswerte jedes Monats lassen sich analog ihrer Position bei ihrer Gewinnung in einer Matrix mit 36 Zeilen und 72 Spalten darstellen. Hieraus lassen sich Mittelwerte der Breitenzonen berechnen und unter Berücksichtigung der zonal sich ändernden Flächengrößen hemisphärische und globale Bilanzsummen.

Die Ergebnisse dieser Berechnungen gibt Tab. 4 (S. 13) wieder. Betrachtet man zunächst die Summen über die ganze Erde und die Hemisphärensummen, so ist festzustellen, daß auf der Nordhalbkugel weniger Niederschlag fällt als auf der Südhalbkugel. Dies war auch nicht anders zu erwarten, da die Nordhemisphäre größere Landflächen aufweist als die südliche Erdhälfte. Ein Vergleich der beiden Erdhälften bezüglich des Jahresganges zeigt, daß sowohl das absolute Maximum (102.3 mm Niederschlag im August), als auch das absolute Minimum (60.6 mm im März) auf der Nordhalbkugel auftreten. Maximum der Nordhalbkugel und Minimum der Südhalbkugel liegen im Nordsommer, ebenso das Maximum der mittleren monatlichen Globalniederschläge. Der inverse Fall, Maximum auf der Süd- und Minimum auf der Nordhalbkugel, tritt im Nordfrühjahr auf, und auch hier folgt der Globalniederschlag mit seinem Minimum der Nordhemisphäre.

Es ist also festzustellen, daß der Jahresgang der Niederschläge auf der Erde viel stärker von der Jahreschwankung auf der Nordhalbkugel als vom Jahresgang auf der südlichen Hälfte geprägt wird. Ein Vergleich mit anderen Klimatelementen (KESSLER (24)) zeigt für den Jahresgang der Temperatur der bodennahen Luftschicht und des Ozongesamtgehalts der Atmosphäre ähnliche Verhältnisse. Beim Jahresgang der Verdunstung und dem der Strahlungsbilanz dominiert der Jahresgang auf der Südhalbkugel gegenüber der Nordhalbkugel beim Kurvenverlauf der Gesamterde. Der Jahresgang des globalen Luftdrucks folgt dem Jahresgang des Luftdrucks auf der Nordhalbkugel, gedämpft durch die Jahresschwankung auf der Südhemisphäre (KAUFELD (23)).

In Abbildung 22 wird der Jahresgang des Niederschlags auf der ganzen Erde dieser Arbeit den beiden von KESSLER (24) errechneten Jahresgängen (Niederschlag berechnet aus der Wasserbilanz der Atmosphäre unter Berücksichtigung a. nur des Wasserdampfgehaltes und b. des Gesamtwassergehaltes der Atmosphäre) gegenübergestellt. Die Jahresgänge verlaufen synchron bis auf zwei Abweichungen. Das sommerliche Maximum gerät in dieser Arbeit zweigipflig, und das herbstliche Minimum tritt im November auf. Bei den beiden Kurven von KESSLER erscheint dieses Minimum im Oktober.

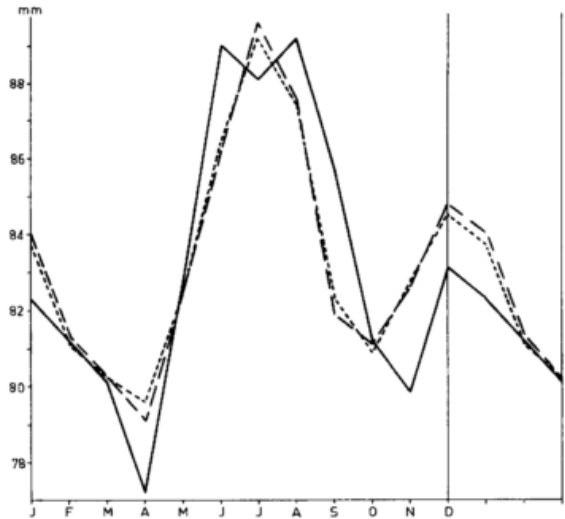


Abb. 22 Jahresgang des Niederschlags auf der ganzen Erde nach dieser Arbeit (durchgezogen) und nach Berechnungen durch KESSLER (1968) unter Berücksichtigung der Verdunstung an der Erdoberfläche, des Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre (kleinestrichelt) und des Gesamtwassergehaltes der Atmosphäre (großgestrichelt).

Der Jahresgang des Niederschlags in zonaler Hinsicht ist in den Abbildungen 23–34 illustriert, die zonale Verteilung der Jahressumme in Abb. 35. Die auf den Abszissen dieser Darstellungen gewählte Skalenteilung – die Breitenabstände sind dem Cosinus des Breitenwinkels proportional – erlaubt rein optisch einen Eindruck von den breitenabhängigen Niederschlagsverhältnissen und -mengen. Die Fläche zwischen Treppenkurve und Abszisse ist der Niederschlagsmenge der einzelnen Monate direkt proportional; eine die Fläche der Breitenzone berücksichtigende Korrektur muß nicht mehr angebracht werden.

In allen Monaten, ebenso wie bei der Jahressumme sind drei Niederschlagsmaxima festzustellen: in der nördlichen Westwindzone, im äquatorialen Bereich und in der südlichen Westwindzone. Diese drei „Hauptmaxima“ sind auf allen dreizehn Abbildungen sehr ausgeprägt. Daneben treten einige kleine Maxima auf, vom April bis Oktober am Rande der Antarktis, im März, April, Mai, Oktober, November und Dezember im Zentrum des nördlichen Eismeres und im Dezember am Südpol. Während das Maximum am Rande der Antarktis durch die Orographie erklärt werden kann, ist mit einem Verschwinden der beiden anderen kleinen Maxima mit zunehmender Beobachtungsdichte zu rechnen. Wie schon bei den Monatskarten (siehe Kapitel 4) wirken sich auch bei den monatlichen Zonenmitteln in den polaren Bereichen die im Winter praktisch auf null absinkende Beobachtungsfrequenz zusammen mit der schwierigen Bestimmung der Schneeeakkumulation äußerst negativ auf die Genauigkeit der Niederschlagsbestimmungen aus.

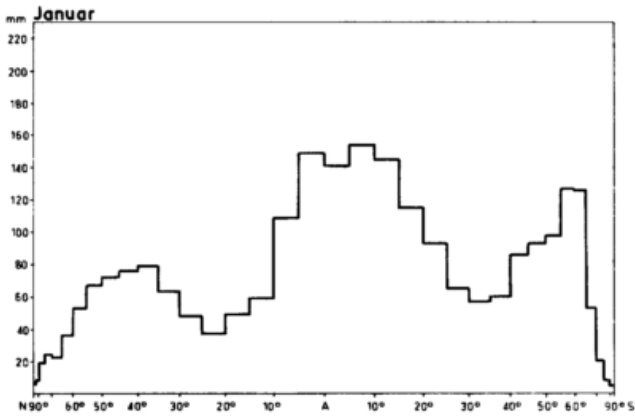


Abb. 23
Zonale Niederschlagsverteilung im Januar.

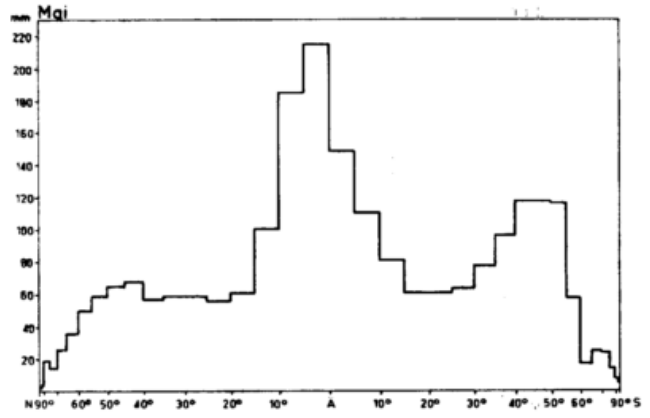


Abb. 27
Zonale Niederschlagsverteilung im Mai.

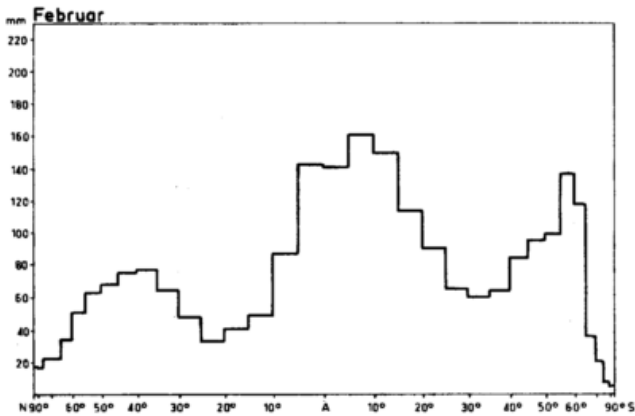


Abb. 24
Zonale Niederschlagsverteilung im Februar.

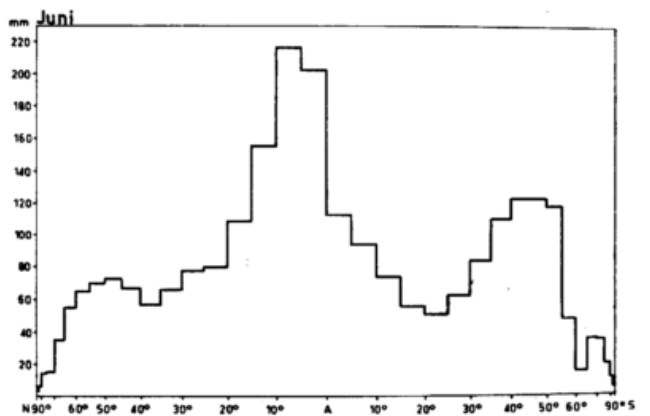


Abb. 28
Zonale Niederschlagsverteilung im Juni.

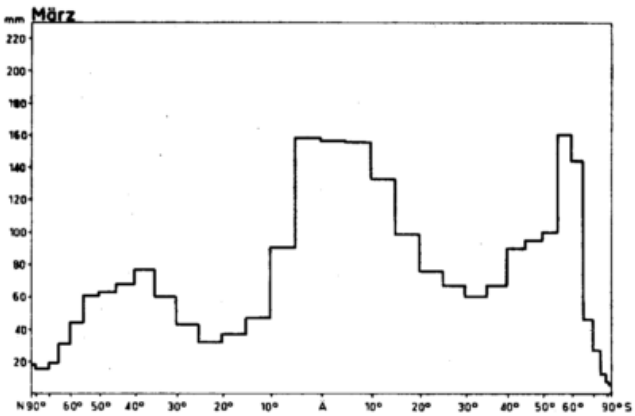


Abb. 25
Zonale Niederschlagsverteilung im März.

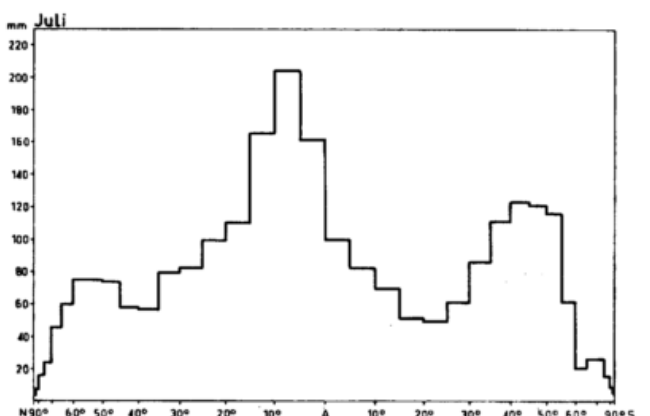


Abb. 29
Zonale Niederschlagsverteilung im Juli.

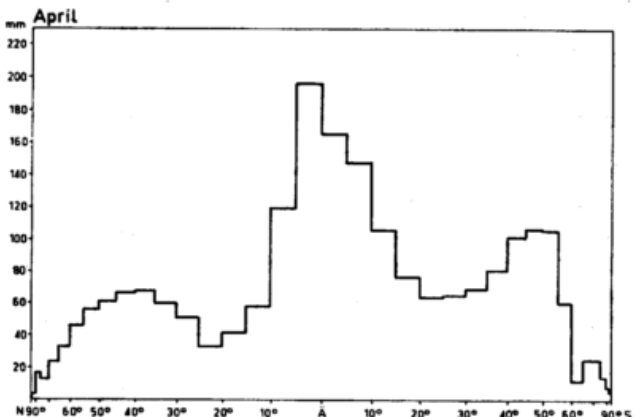


Abb. 26
Zonale Niederschlagsverteilung im April.

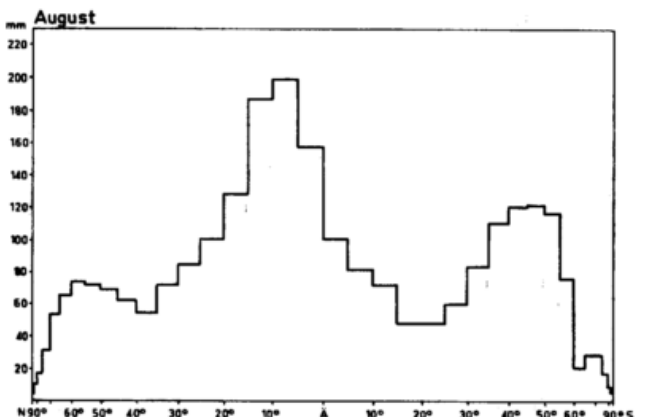


Abb. 30
Zonale Niederschlagsverteilung im August.

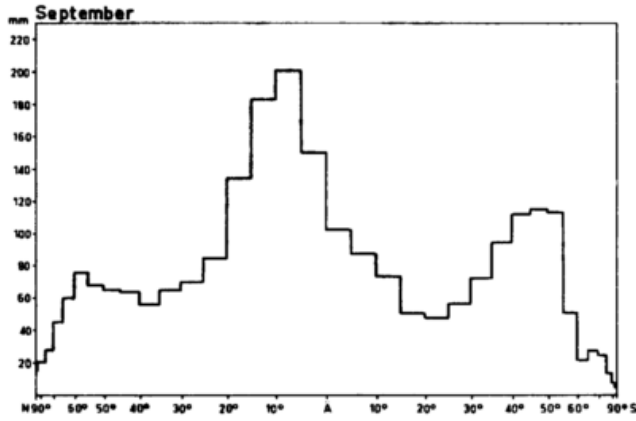


Abb. 31
Zonale Niederschlagsverteilung im September.

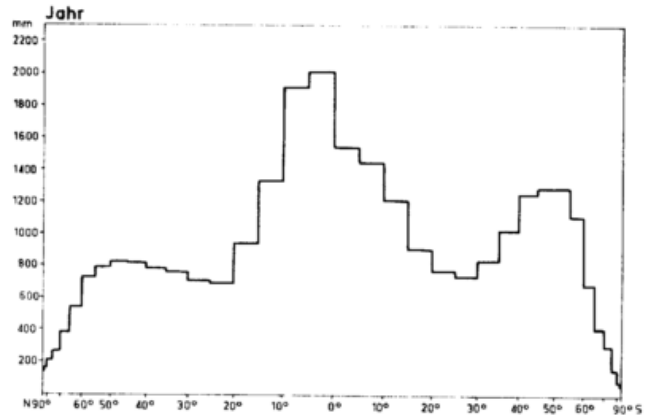


Abb. 35
Mittlere zonale Jahresniederschläge.

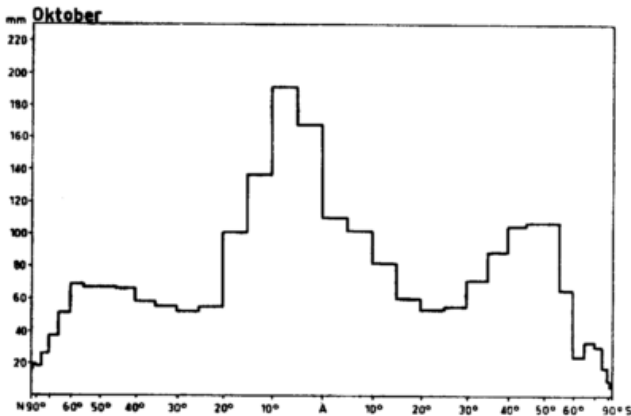


Abb. 32
Zonale Niederschlagsverteilung im Oktober.

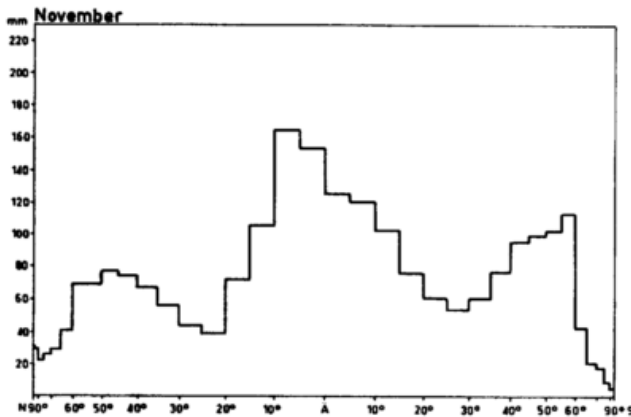


Abb. 33
Zonale Niederschlagsverteilung im November.

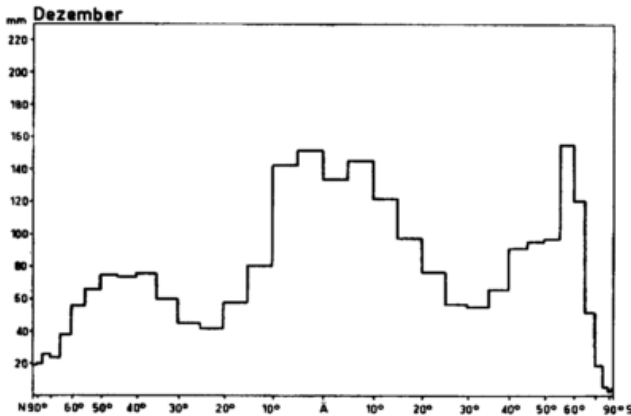


Abb. 34
Zonale Niederschlagsverteilung im Dezember.

Bei den drei großen Maxima ist festzustellen, daß das Maximum der nördlichen Westwindzone immer Nebenmaximum bleibt, während im März und im Dezember die Niederschlagshöhen der südlichen Westwindzone größer als die der ITC sind. Im Januar und im Dezember ist das Niederschlagsmaximum der ITC zweigeteilt. Die südliche Westwindzone weist höhere Niederschlagswerte auf als die komplementäre Klimazone auf der Nordhalbkugel, eine Folge der globalen Land-See-Verteilung. Diese Charakteristik ändert sich auch im Jahresgang nicht. Die bei den mittleren Jahresniederschlägen auftretenden Minima, im Nord- und Südpolargebiet und in den nördlichen und südlichen Subtropen, prägen auch den Jahresgang und sind in jedem Monat wiederzufinden. Das im Januar und Dezember am Äquator auftretende sekundäre Minimum entsteht durch die Aufspaltung der ITC während ihrer extremen Südlage zum Jahreswechsel. Dies geht auch aus den Niederschlagsfeldern über Südamerika und dem Pazifik auf den Abbildungen 9 und 20 (mittlerer Niederschlag im Januar und im Dezember) hervor. In den übrigen Monaten verschwindet dieses äquatoriale Minimum durch die Ungleichverteilung von Land und Meer und die dadurch auftretenden monsonalen Effekte.

Betrachtet man den Jahresgang des Niederschlags getrennt nach Festländern und Ozeanen, erkennt man die Dominanz der Meere im globalen Niederschlagsaufkommen (Abb. 36). Alle drei Niederschlagskurven, für Kontinente, Meere und Gesamterde, laufen mehr oder weniger synchron. Der Nordsommer verfügt über die höchsten Niederschlagswerte, ein Nebenmaximum tritt bei Ozeanen und Gesamterde im Dezember auf, auf den Landflächen im Februar. Minima weisen alle drei Jahresgänge im April auf, bei Meeren und der Gesamterde ein weniger ausgeprägtes im Oktober, November, das sich auf den Kontinenten in den November und Dezember verschiebt. Die Jahresschwankung des Niederschlags ist auf den Festländern ausgeprägter als auf den Wasserflächen; der Jahresgang auf der Gesamterde folgt aber dennoch praktisch der Kurve für die Wasserflächen, bedingt durch die größere flächenhafte Ausdehnung der Meere gegenüber den Landflächen.

Die zonale Verteilung der Niederschläge, gegliedert nach Kontinenten und Meeren, geben die Tabellen 5 und 6 (S. 17 und 18) wieder. Die graphische Darstellung dieser Berechnungen erfolgt in Form von Isolethendiagrammen im Zusammenhang mit den Ergebnissen von BROOKS/HUNT (8) im Kapitel 6.

Zonale Verteilungen des Niederschlags auf zwölf ausgewählten Arealen der Erdoberfläche geben die Tabellen 7-18 (S. 19-24) wieder.

Tabelle 5: Monatsmittel der Niederschläge für Fünf-Grad-Breitenzonen (mm) auf den Kontinenten

	Fläche (qkm)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
90	353882	11	11	8	6	4	8	11	20	21	12	16	15	143
85	1125282	19	18	13	11	10	12	17	25	22	20	20	18	205
80	2306733	16	15	12	12	13	17	27	33	27	21	21	18	232
75	6075110	19	20	16	17	21	34	45	50	40	32	26	20	340
70	7200298	23	22	19	21	31	52	60	62	54	39	32	26	441
65	6551482	30	27	23	27	39	62	75	72	63	49	46	36	549
60	8047240	31	31	29	31	45	67	75	72	60	47	44	36	568
55	8466228	33	30	30	34	49	66	66	58	51	41	42	36	536
50	8003370	35	36	37	45	55	57	48	51	51	46	45	40	546
45	7699829	44	45	49	49	44	43	47	48	42	36	42	44	533
40	7949981	40	40	41	44	48	59	47	88	61	35	31	36	625
35	7942348	17	21	28	43	53	93	114	108	77	33	18	15	620
30	7208841	13	13	13	21	48	80	119	109	87	41	16	9	569
25	6220247	26	17	14	18	47	100	101	124	114	80	47	26	714
20	5122901	13	10	13	31	92	144	212	255	192	97	43	21	1123
15	5325378	39	37	60	102	169	200	201	204	193	155	88	55	1503
10	4716772	100	102	146	175	207	175	156	144	145	163	139	114	1766
5	5377428	201	221	240	250	203	119	96	88	110	137	169	181	2015
0	5099674	237	258	247	203	99	55	39	43	85	133	183	213	1795
10	4410802	254	268	226	115	42	25	26	24	48	92	168	209	1497
15	5013202	185	185	124	56	26	19	16	13	23	47	93	145	932
20	5039355	136	134	89	52	42	28	21	18	23	42	61	94	740
25	4278964	65	63	65	43	42	38	30	26	31	43	43	55	544
30	2965944	54	58	53	54	46	50	44	44	38	53	47	37	578
35	1159878	37	46	55	59	75	69	66	59	53	59	55	48	681
40	636528	74	95	91	101	117	107	111	101	86	93	87	83	1146
45	374548	104	122	135	146	168	161	161	145	119	124	117	102	1604
50	186925	153	152	158	162	140	140	140	134	140	123	143	145	1730
55	16683	65	48	43	36	46	32	40	54	50	30	56	47	547
60	35879	20	22	31	36	35	53	39	43	36	43	24	16	398
65	1779794	21	23	33	38	37	55	41	45	38	45	25	16	417
70	3743760	11	12	17	20	20	29	22	24	20	24	13	9	221
75	3721049	7	7	10	12	12	18	14	14	12	14	8	5	133
80	2451143	4	4	6	6	6	9	8	8	6	8	4	3	72
85	972926	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	61
Summe	147580500	60	62	60	57	60	68	75	75	68	59	56	56	756

Tabelle 6: Monatsmittel der Niederschläge für Fünf-Grad-Breitenzonen (mm) auf den Meeren

	Fläche (qkm)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
90	978908	6	19	18	1	2	3	3	4	15	16	31	19	137
85	2574798	7	19	20	4	4	5	5	8	20	20	31	20	164
80	3729140	18	17	15	19	22	14	14	14	19	18	22	20	214
75	4433720	27	27	16	14	14	16	14	29	29	28	28	30	278
70	2498855	28	31	28	43	39	49	37	61	55	49	36	34	490
65	3132998	65	65	59	59	49	60	60	70	75	80	62	64	768
60	5460402	81	82	69	70	64	75	68	77	92	93	97	80	948
55	5547346	118	113	106	92	80	74	74	72	80	96	104	109	1118
50	6603449	123	119	105	95	86	83	83	82	83	102	122	125	1210
45	8423160	116	113	97	87	80	77	77	73	77	85	101	107	1081
40	9955829	107	103	99	82	67	69	69	58	67	75	87	100	979
35	10798746	81	83	74	73	68	72	72	61	67	69	74	77	862
30	11756206	70	67	54	56	63	67	67	69	65	65	62	65	765
25	13290233	49	46	42	39	60	80	80	97	84	63	51	60	760
20	14925067	59	53	46	52	67	113	113	131	143	110	82	72	1043
15	16510462	74	62	58	66	104	159	152	168	181	149	126	99	1398
10	16634944	131	105	101	125	192	222	206	199	205	204	190	171	2051
5	17407503	163	155	162	203	218	210	164	162	152	170	158	162	2079
0	16746847	122	117	130	139	131	111	102	105	101	101	112	118	1389
5	16860647	129	133	129	131	114	106	96	94	89	93	103	126	1343
10	17222561	117	121	110	104	91	87	82	84	81	80	86	100	1143
15	16132112	94	93	91	84	72	67	63	59	59	63	70	83	898
20	15452718	79	77	71	68	67	58	60	57	57	56	61	71	782
25	15419590	64	67	67	71	70	70	71	69	65	59	57	57	787
30	15782783	57	62	61	72	84	91	95	91	79	74	63	58	887
35	16495780	62	66	68	83	98	113	115	114	98	91	79	67	1054
40	15790002	86	85	90	103	118	124	125	122	114	106	96	93	1262
45	14695026	93	96	94	106	116	122	121	121	116	106	100	96	1287
50	13407659	98	99	99	105	117	118	117	117	113	106	103	97	1289
55	11995202	127	139	161	60	58	48	62	76	51	65	114	156	1117
60	10297416	127	119	145	12	17	15	21	21	21	24	43	122	687
65	6791789	61	40	50	22	22	31	23	25	25	30	20	61	410
70	2996693	30	32	39	31	30	42	33	35	32	37	24	32	397
75	1133373	11	12	18	20	20	30	23	25	20	25	14	9	227
80	477537	8	9	13	14	14	21	17	18	14	18	9	6	161
85	5982	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	72
Summe	362372468	92	89	88	86	92	97	94	95	93	90	89	94	1099

Tabelle 7: Arktisches Meer

Monatsmittel der Niederschläge für Fünf-Grad-Breitenzonen (mm)

Monatsmittel	Fläche (qkm)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
90 - 85 N	978908	6	19	18	1	2	3	3	4	15	16	31	19	137
85 - 80 N	2574798	7	19	20	4	4	5	6	8	20	20	31	20	164
80 - 75 N	3255834	20	19	17	9	12	10	16	15	20	19	24	22	203
75 - 70 N	3604270	20	20	8	8	10	13	21	29	26	24	22	24	225
70 - 65 N	1048828	16	17	12	13	19	24	38	45	39	27	21	16	287
65 - 60 N	43055	15	15	16	16	22	36	47	51	49	39	31	20	357
Summe	11505695	16	19	14	7	9	11	16	20	23	21	25	21	204

Tabelle 8: Nordamerika

Monatsmittel der Niederschläge für Fünf-Grad-Breitenzonen (mm)

Monatsmittel	Fläche (qkm)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
85 - 80 N	346560	11	11	8	6	4	8	11	20	21	12	15	15	142
80 - 75 N	896045	17	15	11	8	7	10	14	24	19	18	18	17	178
75 - 70 N	1204856	19	16	12	11	9	12	20	24	25	21	22	21	212
70 - 65 N	2408377	16	20	16	14	17	21	34	43	38	32	23	18	292
65 - 60 N	2487167	21	21	18	15	25	37	49	56	52	33	28	23	378
60 - 55 N	2095406	40	36	30	30	38	53	70	60	71	59	65	47	599
55 - 50 N	2635839	48	50	48	38	54	78	75	75	76	62	66	55	725
50 - 45 N	2595333	51	47	47	47	62	86	68	64	66	55	66	57	716
45 - 40 N	2450291	47	42	51	61	74	75	54	53	54	51	48	47	657
40 - 35 N	2297687	59	59	65	66	71	66	70	70	56	51	51	55	739
35 - 30 N	1905516	61	61	55	66	69	60	76	66	60	49	51	64	738
30 - 25 N	973984	23	26	25	25	39	61	87	92	101	41	26	42	588
25 - 20 N	697537	24	22	19	22	62	115	114	99	156	99	41	30	803
20 - 15 N	834065	146	87	60	74	137	254	149	194	265	233	174	117	1890
15 - 10 N	282435	99	57	29	52	284	388	318	334	403	286	158	129	2537
10 - 5 N	64050	26	18	22	81	245	222	208	238	281	488	298	80	2207
Summe	24173155	43	39	37	38	53	68	66	68	72	57	52	46	638

Tabelle 9: Nordpazifik

Monatsumme der Niederschläge für Fünf-Grad Breitenzonen (mm)

	Fläche (qkm)	J	F	M	A	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
70 - 65 N	38095	14	15	12	12	12	12	12	15	36	44	35	21	14	13	243
65 - 60 N	632914	33	36	40	32	28	32	28	38	57	77	64	45	33	27	510
60 - 55 N	2472446	86	90	77	66	62	66	62	63	76	78	94	92	94	82	960
55 - 50 N	3291023	118	113	113	97	80	97	80	73	73	69	80	102	106	111	1135
50 - 45 N	4008116	129	126	110	96	89	96	86	86	86	87	89	114	133	139	1284
45 - 40 N	4642776	118	117	103	89	87	89	86	86	79	82	83	88	102	113	1147
40 - 35 N	5456089	113	109	109	90	76	90	76	86	82	68	76	81	91	105	1086
35 - 30 N	6246972	85	91	81	82	83	82	83	92	77	67	76	75	76	78	963
30 - 25 N	6979307	79	82	62	60	71	60	71	77	64	75	67	71	68	70	846
25 - 20 N	7914920	59	61	52	45	65	45	65	85	99	117	92	64	59	74	872
20 - 15 N	8816422	74	69	56	60	63	60	63	99	122	145	154	120	97	92	1151
15 - 10 N	9813234	95	80	76	82	115	82	115	155	168	177	216	176	143	122	1605
10 - 5 N	10757508	149	122	118	141	205	141	205	232	217	219	233	222	196	191	2245
5 - 0 N	10487521	170	160	171	213	212	213	212	217	190	186	169	167	157	168	2180
Summe	81557248	108	101	95	100	113	100	113	130	127	132	136	126	117	118	1405

Tabelle 10: Nordatlantik

Monatsumme der Niederschläge für Fünf-Grad Breitenzonen (mm)

	Fläche (qkm)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
80 - 75 N	473306	10	10	7	91	93	43	14	8	11	10	12	10	319
75 - 70 N	829450	60	58	53	38	35	20	26	32	41	46	55	57	521
70 - 65 N	1411930	37	41	41	66	54	47	57	74	68	67	47	48	647
65 - 60 N	2457028	74	73	65	67	54	66	62	69	79	90	70	74	843
60 - 55 N	2987956	77	74	62	73	65	73	73	76	91	93	100	78	935
55 - 50 N	2256324	118	113	97	85	79	74	76	77	79	87	102	106	1093
50 - 45 N	2595333	113	109	96	92	83	77	83	73	74	83	104	104	1091
45 - 40 N	3780383	113	109	90	86	72	66	54	61	69	82	100	100	1002
40 - 35 N	4499740	99	95	87	73	55	48	46	47	56	69	81	95	851
35 - 30 N	4549171	75	72	64	61	47	43	44	51	55	59	71	76	718
30 - 25 N	4451326	58	48	44	53	55	57	64	65	69	58	55	60	686
25 - 20 N	4452854	41	27	30	33	59	72	63	62	76	68	45	44	620
20 - 15 N	4132147	48	37	42	53	71	78	69	90	98	88	72	53	799
15 - 10 N	3857950	54	42	35	47	81	107	116	129	112	95	89	67	974
10 - 5 N	2970743	103	84	80	104	180	242	242	209	178	178	187	138	1925
5 - 0 N	3653578	168	195	204	226	286	248	117	99	110	164	143	165	2125
Summe	49359225	82	78	72	78	87	90	79	81	84	88	87	84	991

Tabelle 11: Südamerika
 Monatsmittel der Niederschläge für Fünf-Grad Breitenzonen (mm)

	Fläche (qkm)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
15 - 10 N	183282	17	18	26	89	123	132	152	160	163	143	96	37	1156
10 - 5 N	1183467	71	39	55	128	210	260	225	208	164	149	157	110	1776
5 - 0 N	1683903	133	132	166	174	285	238	211	134	107	128	114	143	1965
0 - 5 S	2362995	222	257	272	283	245	146	109	83	93	105	112	154	2081
5 - 10 S	2720640	282	307	287	212	107	59	42	50	100	167	202	215	2030
10 - 15 S	2328591	251	285	231	143	64	42	45	41	75	134	206	218	1735
15 - 20 S	1920699	217	200	163	87	44	36	34	29	53	94	155	206	1318
20 - 25 S	1543124	173	165	117	70	63	42	29	31	56	89	116	152	1103
25 - 30 S	1214744	123	97	121	93	91	77	60	60	80	92	86	110	1090
30 - 35 S	1005140	93	75	86	94	56	63	49	51	54	89	82	57	849
35 - 40 S	723391	33	40	56	54	74	65	61	53	47	50	49	40	622
40 - 45 S	422070	66	88	96	100	117	110	117	106	84	89	83	75	1131
45 - 50 S	328602	107	126	143	152	176	168	174	157	126	130	120	106	1685
50 - 55 S	186925	153	152	158	162	140	140	140	134	140	123	143	145	1730
55 - 60 S	16683	65	48	43	36	46	32	40	54	50	30	56	47	547
Summe	17827262	181	188	179	151	129	101	86	74	87	117	140	156	1589

Tabelle 12: Südpazifik
 Monatsmittel der Niederschläge für Fünf-Grad Breitenzonen (mm)

	Fläche (qkm)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
0 - 5 S	9783846	113	112	139	146	128	112	101	103	93	78	97	111	1333
5 - 10 S	9613741	121	131	126	121	104	95	87	90	79	78	85	120	1237
10 - 15 S	9170142	142	146	128	125	116	110	98	107	104	103	109	120	1408
15 - 20 S	8405263	130	120	119	113	98	90	79	78	81	91	101	111	1211
20 - 25 S	7917767	108	107	102	103	100	87	85	87	86	85	87	101	1138
25 - 30 S	7425261	84	89	88	102	104	106	106	103	94	84	80	81	1121
30 - 35 S	7088061	67	76	74	93	109	120	122	119	102	88	78	71	1119
35 - 40 S	6726315	69	92	78	97	118	132	137	126	110	100	88	79	1206
40 - 45 S	6223830	95	98	108	126	141	150	153	141	135	124	113	104	1488
45 - 50 S	5772524	97	102	106	119	127	135	135	127	126	116	110	103	1403
50 - 55 S	5315106	104	107	108	114	126	134	136	130	127	118	113	105	1422
55 - 60 S	4888170	125	144	134	82	72	50	84	123	61	98	113	123	1209
60 - 65 S	4219429	108	121	112	20	32	26	42	42	43	48	55	131	780
65 - 70 S	3365537	90	51	49	13	13	20	14	16	21	25	19	94	425
70 - 75 S	2019327	36	38	47	34	33	49	37	41	36	43	25	39	458
75 - 80 S	625681	12	13	19	21	21	31	24	26	21	26	14	9	237
80 - 85 S	328663	8	9	13	15	15	22	17	18	15	18	10	6	166
85 - 90 S	5982	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	72
Summe	98894648	104	106	106	104	103	101	99	100	91	89	90	102	1194

Tabelle 13: Südatlantik

Monatsmittel der Niederschläge für Fünf-Grad Breitenzonen (mm)

	Fläche (qkm)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
0 - 5 S	3241021	74	105	99	109	81	39	30	26	32	52	64	53	764
5 - 10 S	2931093	28	34	37	55	45	62	42	32	32	22	28	25	442
10 - 15 S	3088763	22	25	35	36	36	30	35	23	24	23	27	31	347
15 - 20 S	3024935	17	28	35	40	30	26	29	26	25	24	32	37	341
20 - 25 S	3259322	38	33	32	27	26	22	28	26	29	33	32	37	363
25 - 30 S	3534796	47	36	50	45	37	37	43	45	49	43	37	35	504
30 - 35 S	3676234	54	45	49	62	60	67	76	75	66	58	50	44	706
35 - 40 S	3840106	65	65	70	78	92	102	105	105	90	80	60	59	971
40 - 45 S	3837420	76	77	76	81	106	113	99	100	94	78	67	71	1038
45 - 50 S	3627188	88	83	81	89	103	114	102	111	100	90	83	85	1129
50 - 55 S	3315569	92	88	81	89	98	103	99	100	92	86	90	90	1108
55 - 60 S	2886189	76	80	84	86	88	86	85	79	81	75	75	76	971
60 - 65 S	2446562	117	96	111	15	16	17	15	14	15	15	14	47	492
65 - 70 S	2007179	39	37	54	27	28	36	29	31	27	31	21	38	398
70 - 75 S	952689	18	19	23	24	24	28	24	24	23	24	21	18	270
75 - 80 S	507691	11	11	17	19	19	28	22	23	19	23	13	8	213
80 - 85 S	148874	7	8	12	13	13	19	15	16	13	16	9	6	147
Summe	46327475	58	58	62	61	62	63	60	59	56	52	49	52	693

Tabelle 14: Eurasien

Monatsmittel der Niederschläge für Fünf-Grad Breitenzonen (mm)

	Fläche (qkm)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
85 - 80 N	7321	17	41	35	14	10	10	14	20	22	14	54	14	265
80 - 75 N	229336	27	27	21	20	21	19	28	32	33	28	29	23	308
75 - 70 N	1101377	13	14	11	14	18	24	35	43	30	21	19	14	256
70 - 65 N	3660733	21	19	15	18	24	42	52	55	42	32	29	21	370
65 - 60 N	4713131	24	22	20	24	34	60	67	65	55	42	34	28	475
60 - 55 N	4450075	25	22	20	26	39	66	78	77	60	44	37	31	525
55 - 50 N	5411401	23	21	20	27	41	62	75	70	51	39	33	27	489
50 - 45 N	5870395	25	22	23	28	43	57	65	56	45	34	31	27	456
45 - 40 N	5553080	29	34	32	38	46	48	45	50	50	44	43	36	495
40 - 35 N	5181445	37	39	42	42	33	34	39	40	35	28	37	40	446
35 - 30 N	4629894	32	32	37	41	49	75	143	124	77	33	19	23	685
30 - 25 N	4423557	23	31	44	70	87	153	185	172	115	49	25	16	970
25 - 20 N	3533937	21	21	23	38	84	139	218	196	142	62	24	11	979
20 - 15 N	2146337	16	13	17	22	76	172	173	177	185	133	67	29	1080
15 - 10 N	1000543	23	25	33	65	160	240	241	253	259	135	126	59	1699
10 - 5 N	393455	212	144	147	151	181	206	178	167	190	255	274	284	2389
5 - 0 N	750985	233	188	231	243	214	199	159	175	199	232	290	241	2604
0 - 5 S	1127723	274	276	303	274	226	187	165	148	163	178	240	264	2698
5 - 10 S	759461	249	305	270	292	222	156	107	89	129	118	193	279	2409
10 - 15 S	30046	276	306	269	223	199	192	153	186	184	175	200	225	2588
Summe	55001048	33	38	40	47	59	83	99	95	77	55	46	41	718

Tabelle 15: Afrika

Monatsmittel der Niederschläge für Fünf-Grad Breitenzonen (mm)

	Fläche (qkm)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
40 - 35 N	220695	51	47	52	34	31	19	7	9	46	58	64	50	468
35 - 30 N	1416570	37	36	32	22	15	7	2	3	11	25	40	42	272
30 - 25 N	2544396	2	2	2	1	1	1	-	1	2	1	3	4	19
25 - 20 N	2972365	1	1	1	1	2	1	3	8	6	2	1	1	28
20 - 15 N	3239345	1	1	1	2	5	12	40	71	28	5	2	1	169
15 - 10 N	3656639	3	2	6	17	57	100	198	254	159	48	9	2	855
10 - 5 N	3681404	10	25	54	89	153	180	195	206	201	140	42	13	1308
5 - 0 N	2273884	32	51	102	153	147	120	114	141	155	166	107	49	1337
0 - 5 S	1886709	131	143	163	195	136	45	39	57	100	152	199	166	1526
5 - 10 S	1619573	155	153	169	147	30	3	3	10	39	82	146	180	1117
10 - 15 S	1697618	241	233	210	73	11	2	1	3	18	44	130	204	1170
15 - 20 S	1794415	163	176	119	42	9	5	3	3	4	20	69	130	743
20 - 25 S	1449170	124	121	95	40	19	15	11	9	10	24	57	90	615
25 - 30 S	924737	53	57	56	29	16	10	9	10	14	27	43	47	371
30 - 35 S	481738	32	41	46	38	41	36	35	33	37	35	37	33	444
Summe	29859265	55	59	63	57	52	50	66	82	72	59	54	55	724

Tabelle 16: Indischer Ozean

Monatsmittel der Niederschläge für Fünf-Grad Breitenzonen (mm)

	Fläche (qkm)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
35 - 30 N	2603	69	49	34	21	11	-	-	-	-	10	30	49	273
30 - 25 N	325573	35	12	14	7	5	-	4	-	-	3	16	32	128
25 - 20 N	922458	9	9	7	12	29	68	134	91	62	30	15	12	478
20 - 15 N	1976499	14	14	10	10	77	249	183	154	188	114	34	19	1066
15 - 10 N	2839379	29	27	29	37	100	246	142	187	155	132	116	66	1266
10 - 5 N	2906692	96	62	60	88	154	166	131	115	130	164	169	128	1463
5 - 0 N	3266403	134	94	88	147	163	144	134	158	145	184	175	143	1709
0 - 5 S	3721180	187	142	134	148	182	173	166	179	182	204	194	195	2086
5 - 10 S	4315813	218	207	199	205	182	160	152	146	148	175	191	207	2190
10 - 15 S	4963655	129	136	121	107	79	80	80	78	74	73	81	107	1145
15 - 20 S	4701896	78	87	76	60	53	52	58	47	43	39	45	61	699
20 - 25 S	4282029	56	54	44	34	36	32	39	26	23	22	35	42	443
25 - 30 S	4459334	46	53	47	38	40	36	37	32	28	28	35	36	456
30 - 35 S	5017889	46	55	52	51	65	66	71	64	57	66	52	50	695
35 - 40 S	5929359	52	60	56	69	80	98	98	106	90	87	80	60	936
40 - 45 S	5728752	83	76	80	92	102	103	111	117	105	105	96	94	1164
45 - 50 S	5295317	92	98	91	105	114	115	118	122	117	107	99	97	1275
50 - 55 S	4776987	94	98	101	107	120	110	109	114	112	107	100	93	1265
55 - 60 S	4220843	164	172	245	19	20	19	20	20	20	19	142	250	1110
60 - 65 S	3631005	155	132	207	34	1	1	1	1	1	1	50	161	712
65 - 70 S	1419073	25	20	45	18	33	49	37	40	34	40	22	17	396
70 - 75 S	25276	10	11	16	18	18	26	20	22	18	22	12	8	201
Summe	74728222	96	92	96	78	88	97	92	92	88	89	94	102	1104

Tabelle 17: Australien

Monatsumme der Niederschläge für Fünf-Grad Breitenzonen (mm)

Fläche (qkm)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
10 - 15 S	354546	329	316	265	121	29	9	6	9	39	97	175	1401
15 - 20 S	1298087	169	176	74	30	22	12	4	3	17	35	77	627
20 - 25 S	2047060	117	120	64	47	44	27	15	6	19	21	54	555
25 - 30 S	2139482	38	47	37	20	25	28	15	10	22	19	27	310
30 - 35 S	1479066	35	52	33	31	42	46	42	28	35	27	25	439
35 - 40 S	436487	44	56	52	67	76	75	71	63	73	65	61	776
40 - 45 S	214457	87	108	81	102	116	102	92	88	100	94	99	1166
45 - 50 S	46046	86	91	83	102	105	107	57	67	78	95	77	1020
Summe	8015234	94	102	61	40	38	33	23	16	29	32	52	548

Tabelle 18: Antarktis

Monatsumme der Niederschläge für Fünf-Grad Breitenzonen (mm)

Fläche (qkm)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
60 - 65 S	35879	20	22	31	36	35	53	39	36	43	24	16	398
65 - 70 S	1779794	21	23	33	38	37	55	41	38	45	25	16	417
70 - 75 S	3743760	11	12	17	20	20	29	22	20	24	13	9	221
75 - 80 S	3721049	7	7	10	12	12	18	14	12	14	8	5	133
80 - 85 S	2451143	4	4	6	6	6	9	8	6	8	4	3	72
85 - 90 S	972926	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	61
Summe	12704553	9	10	14	16	16	24	18	16	20	11	7	182

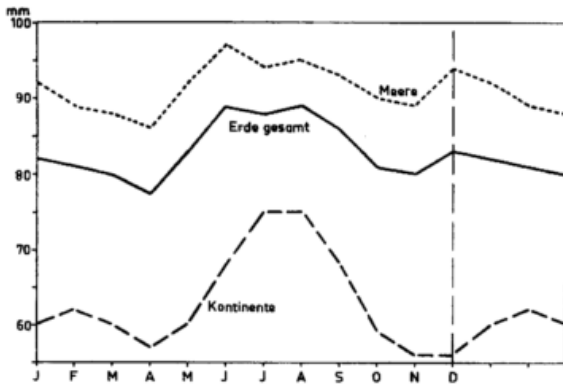


Abb. 36
Jahresgang der Niederschläge auf den Kontinenten,
Meeren und auf der gesamten Erde.

Südamerika verfügt zwar über die größte Niederschlagshöhe, rangiert aber im Niederschlagsvolumen infolge seiner vergleichsweise geringen Flächenausdehnung erst an siebter Stelle. Nordpazifik, Südpazifik und der Indische Ozean verfügen mit ihren großen flächenmäßigen Ausdehnungen, ihren hohen Anteilen an den Innertropen und den damit verbundenen großen Niederschlagshöhen auch über die größten absoluten Niederschlagsmengen. Am anderen Ende der Skala stehen Australien mit seiner geringen Flächenausdehnung, sowie Nordpolarmeer und Antarktis aufgrund ihrer geringen Niederschlagshöhen.

62 % des Niederschlagsgeschehens spielen sich im indopazifischen Raum ab. Hierdurch ist auch erklärbar, daß, bedingt durch Monsunasiens, das Areal Eurasien den größten Anteil an den Festlandsniederschlägen hat. Die geringsten Niederschlagsanteile erhalten die Festländer, aber auch Südatlantik und Arktisches Meer. Der Südatlantik ist überwiegend als Verdunstungsüberschußgebiet anzusehen, d. h. der vergleichsweise geringe Niederschlagswert kann dadurch erklärt werden, daß der Südatlantik Wasserdampf exportiert, selbst aber nur geringe Wasserdampfzufuhr aus benachbarten Gebieten erfährt. Die Stellung des nördlichen Polarmeeres erklärt sich durch den quasi kontinentalen Charakter dieses Areals durch Eisbedeckung und, wie auch bei der Antarktis, durch die geringen Wasserdampfmengen in der Luft in polaren Bereichen.

Sowohl Menge als auch Jahresgang des Niederschlags in den polaren Bereichen sind mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Hier fällt praktisch der gesamte Niederschlag als Schnee, und die große Häufigkeit der Luftbewegungen führt durch Verdriftung des Schnees zu Mehrfachmessungen. Hinzu kommt die geringe Dichte der Stationen und die kurzen Meßreihen, die z. T. erst seit dem IGY intensiviert worden sind. Wie die Tabellen für Arktis (Tab. 7) und Antarktis (Tab. 18) zeigen, läßt sich ein gewisser komplementärer Jahresgang feststellen, der auch durch den alternativen Sonnenstand auf beiden Hemisphären erwartet werden kann. Es wäre gefährlich, hier weiter zu interpretieren, da der Verlauf beider Kurven auch durch Fehler in der Messung und in der Statistik erklärt werden kann.

Tabelle 8 und 11 zeigen die Niederschlagsverhältnisse der kontinentalen Areale Nord- und Südamerika. Der hohe Anteil Nordamerikas an den polaren Zonen (Alaska, Kanadischer Archipel, Nordkanada und Grönland) reduziert die monatlichen Mittel; das Sommermaximum wird erklärt durch das typische sommerliche Niederschlagsmaximum der gemäßigten Breiten. Die mittleren Niederschläge Nordamerikas bleiben aber in jedem Monat unter den Monatsmitteln der Gesamterde. Südamerika weist sowohl den höchsten mittleren Monatsniederschlag (188 mm im Februar) als auch die größte

Jahresschwankung (114 mm) auf. Diese Jahresschwankung wird durch die Verhältnisse im Amazonastiefland hervorgerufen, was auch beim Betrachten der Niederschlagskarten deutlich wird. Da das Amazonasbecken auch durch seine Fläche im Niederschlagsgeschehen dominiert und die Niederschläge wiederum stark von der Lage der ITC abhängen, läßt sich der Jahresgang über Südamerika leicht erklären. Dies wird im Kapitel 12 noch genauer zu erläutern sein. Geringe Niederschläge in Nordamerika treten in denselben Monaten auf wie hohe Niederschläge in Südamerika und umgekehrt.

Der hemisphärenbedingte Gegensatz im Jahresgang zwischen Nord- und Südamerika läßt sich auch zwischen Nord- und Südpazifik feststellen (Tab. 9 und 12). Beide pazifischen Jahresgänge liegen über dem der Gesamterde. Als Folge des asiatischen Monsuns ist die Schwankung des Nordpazifiks ausgeprägter als die des Pazifiks südlich des Äquators.

Bei den beiden Teilbereichen des Atlantik ist dieser gegensätzliche Jahresgang nicht in dem Maße zu finden (Tab. 10 und 13). Zwar steht einem nordatlantischen Minimum im März ein Maximum auf dem Südatlantik gegenüber und im Oktober/November, wenn auf dem Nordatlantik ein Maximum zu finden ist, regnet es auf dem Südatlantik minimal, aber der Nordatlantik hat im Juli noch ein ausgeprägtes sekundäres Minimum aufzuweisen. Dadurch oszilliert der Jahresgang des Nordatlantiks um den der Gesamterde; die Monatswerte des südlichen Atlantik liegen um durchschnittlich 20 mm darunter. Der Südatlantik ähnelt in Schwankung und Phase dem Südpazifik, allerdings nicht in den Absolutwerten.

Der Jahresgang der Niederschläge Eurasiens (Tab. 14) und Afrikas (Tab. 15) schwankt im gleichen Sinne, eine Folge der Lage beider Landmassen zum Äquator; Eurasien liegt fast vollständig und Afrika überwiegend auf der Nordhalbkugel. Beide Maxima liegen im Sommer; Afrika weist noch ein Nebenmaximum im März auf. Monsunregen führen dazu, daß die Niederschläge Eurasiens im Juli und August die der Gesamterde übersteigen, in den übrigen Monaten liegen sie darunter, in Afrika ganzjährig, bedingt durch die Trockenräume Sahara, Namib und Kalahari.

Alle Monatsmittel des Indischen Ozeans liegen über denen der Gesamterde. Die Jahresschwankung ist vergleichsweise gering, obwohl der Indische Ozean auch monsunal beeinflusst ist. Das absolute Minimum ergibt sich im April, Maxima entstehen im Dezember (höchstes), März und Juni. Dieser unruhige Kurvenverlauf wird durch die Lage des Ozeans auf beiden Hemisphären verursacht. Die Jahresgänge auf beiden Halbkugeln interferieren in der Bilanz.

Australien (Tab. 17) dagegen weist einen ausgeprägten Jahresgang auf. Die Lage Südaustraliens in der subtropischen Winterregenzone läßt dies auch erwarten, allerdings müßte dann das Niederschlagsmaximum im Südwinter liegen. Dies ist nicht der Fall; die Jahresschwankung ähnelt der in Südamerika (Tab. 11) und wird ebenso wie in Südamerika vom tropischen Niederschlagsgeschehen beherrscht. Im Nordwinter hat Nordaustralien Anteil an der ITC, und dies prägt die Niederschlagsverhältnisse entscheidender als die Regenfälle des Südwinters. Das Niederschlagsmaximum liegt im Februar, das Minimum im September, und die Jahresschwankung beträgt 86 mm.

6 Vergleich der Niederschlagswerte von Brooks/Hunt mit den Werten dieser Arbeit

Die von BROOKS/HUNT (8) zur Gewinnung der breitenabhängigen Monatsniederschläge benutzte Methodik wurde in Kapitel 2 bereits besprochen. Die beiden Autoren stellten ihre Ergebnisse in Isoplethen dar, auf die hier vergleichend eingegangen werden soll.

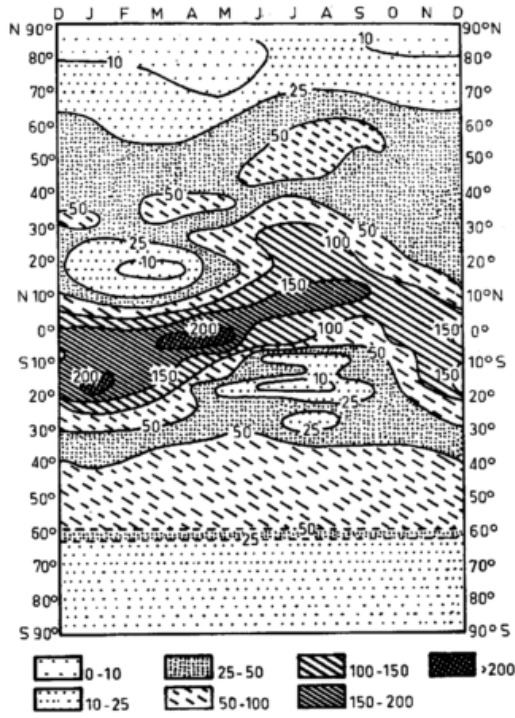


Abb. 37
Jahresgang der Niederschläge (mm) über Land nach
Brooks/HUNT.

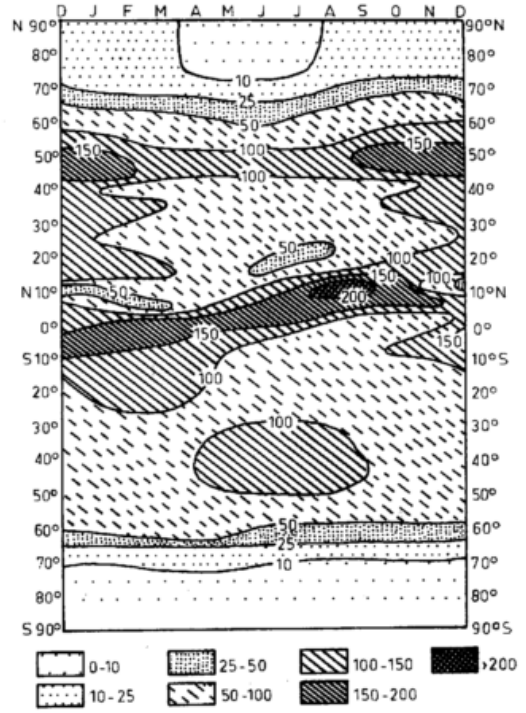


Abb. 39
Jahresgang der Niederschläge über den Ozeanen nach
Brooks/HUNT (mm).

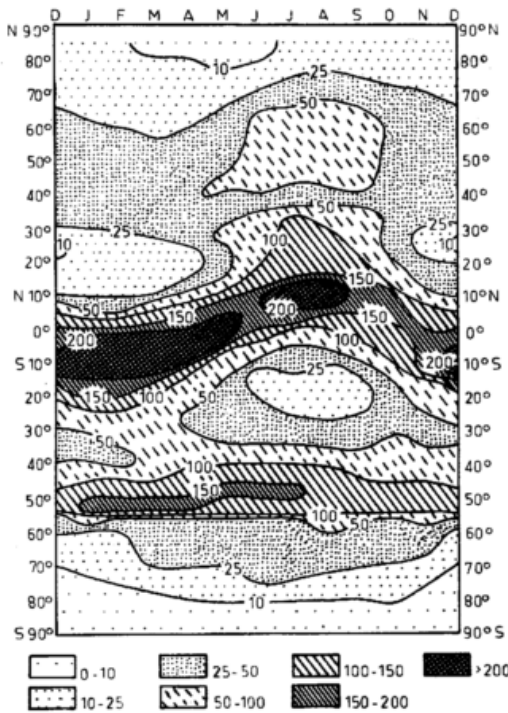


Abb. 38
Jahresgang der Niederschläge (mm) über Land (diese Arbeit).

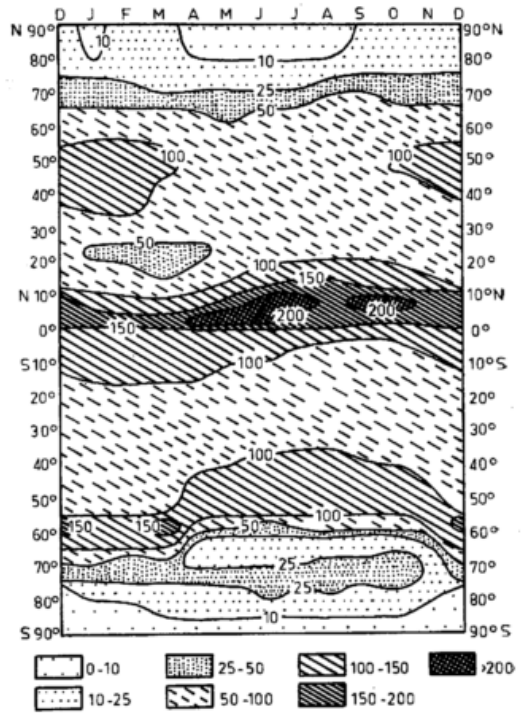


Abb. 40
Jahresgang der Niederschläge (mm) über den Ozeanen
(diese Arbeit).

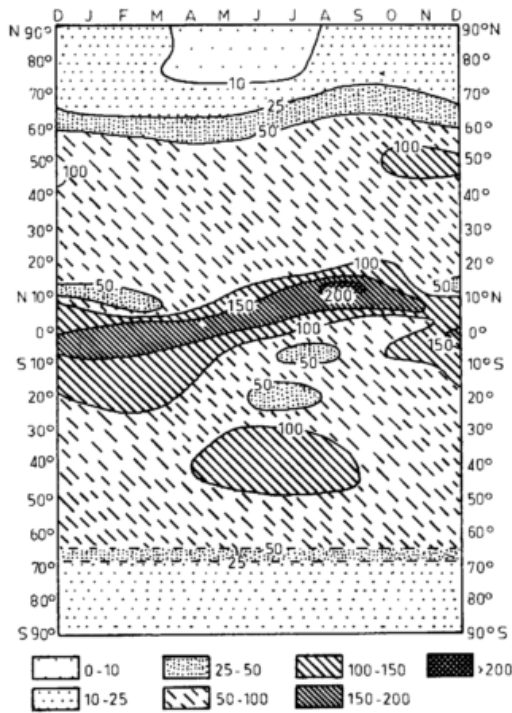


Abb. 41
Jahresgang der Niederschläge (mm) über der ganzen Erde
nach BROOKS/HUNT.

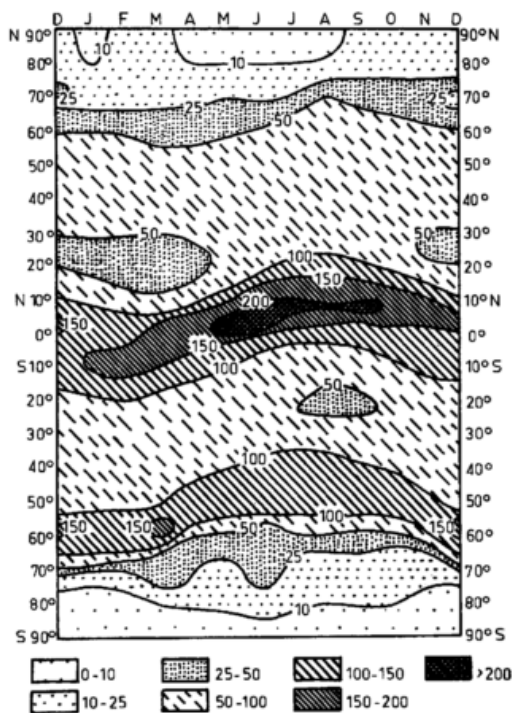


Abb. 42
Jahresgang der Niederschläge (mm) über der ganzen Erde
(diese Arbeit).

Den Jahresgang über Land und Meer zeigen die Abbildungen 37 und 39, den über dem gesamten Globus Abbildung 41. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind in gleicher Weise in den Abbildungen 38, 40 und 42 zu finden. Auf den Ordinaten sind die Breiten linear aufgetragen, auf den Abszissen die zwölf Monate. In allen drei Bereichen, auf Land, Meer und der gesamten Erde ergeben sich Ähnlichkeiten bei den Isoplethen. Die von BROOKS/HUNT erwähnten Charakteristika auf den Kontinenten werden auch durch diese Arbeit bestätigt. Die jährliche

Wanderung des Gürtels der innertropischen Regenfälle mit der Sonne zeichnet sich ab, ebenso wie die fast vollständige Trockenheit der Subtropen im Winter der jeweiligen Hemisphäre. Auch die Sommerregenfälle der höheren Breiten kommen zum Ausdruck, bei BROOKS/HUNT wegen der fehlenden Daten allerdings nur auf der Nordhalbkugel. Die Niederschläge der ITC erhalten in dieser Arbeit mehr Gewicht, die der südlichen Westwindzone kommen bei BROOKS/HUNT nicht zur Darstellung. Die winterlichen Trockengebiete der Subtropen sind bei BROOKS/HUNT ausgeprägter als in dieser Arbeit. Ab 55° südlicher Breite schätzen BROOKS/HUNT die Niederschläge nur noch, wobei im Diagramm die 50 mm Isohyete unterschlagen wird. Auch unterscheiden sich beide Diagramme durch die unterschiedliche Quantität der Niederschläge in den polaren Bereichen; bei BROOKS/HUNT liegen sie – im Süden geschätzt – niedriger.

Aufgrund der geringen zur Verfügung stehenden damaligen Datenmenge ordnen BROOKS/HUNT ihrer Isoplethendarstellung für die Ozeane (Abb. 39) eine geringe Bedeutung zu. Am ausgeprägtesten ist für sie der Winterregen in den gemäßigten Breiten beider Hemisphären und in den Subtropen der Nordhalbkugel (entfällt in Abb. 40) und der geschwungene Gürtel hoher Niederschläge in Äquatornähe. Auch für die Meere gilt, daß die äquatorialen Niederschläge dieser Arbeit größere Quantitäten erreichen als dies bei BROOKS/HUNT der Fall ist. Das Niederschlagsgeschehen erhält in Abb. 40 ab 40° südlicher Breite durch eine verbesserte Datensituation eine stärkere Differenzierung, wodurch auch die Niederschläge der gemäßigten südlichen Breiten mehr Gewicht erhalten. Das Niederschlagsminimum im Frühjahr und Sommer am Nordpol ist in beiden Diagrammen zu finden, im Diagramm Abb. 40 nicht so ausgeprägt, dagegen verschwindet hier das bei BROOKS/HUNT vorhandene sommerliche Minimum bei 20° nördlicher Breite. Anders als bei BROOKS/HUNT entsteht in dieser Arbeit ähnlich wie auf den Landflächen ein nordhemisphärisches Minimum zwischen 20° und 30° im Spätwinter und Frühjahr.

Bezüglich der Isoplethendarstellung für die ganze Erde bemerken BROOKS/HUNT, daß im allgemeinen, wie erwartet, dieselben Züge wie in der Isoplethendarstellung der Meeresniederschläge auftreten, ausgenommen das Gebiet um 50° nördlicher Breite, wo die großen kontinentalen Trockenräume dazu führen, daß der Gesamtniederschlag pro Monat um 50 mm unter dem der Ozeane allein liegt. Ähnliches gilt auch für die hier errechneten Isoplethen von Ozeanen und Gesamterde. Im Vergleich mit BROOKS/HUNT fällt wiederum die Gleichartigkeit im polaren Bereich der Nordhalbkugel und in den Innertropen auf. Das Spätherbst- und Frühwintermaximum um 50° nördlicher Breite bei BROOKS/HUNT erscheint in dieser Arbeit nicht, dagegen ist hier der Niederschlagsgürtel in der südlichen Westwindzone ausgeprägter. Das Niederschlagsfeld mit Beträgen über 200 mm hat hier eine sehr viel größere Ausdehnung als bei BROOKS/HUNT, anders ausgedrückt, die absoluten Niederschlagshöhen werden in den Innertropen in dieser Arbeit höher veranschlagt als von BROOKS/HUNT. Dies kommt auch in der Abbildung 43 zum Ausdruck. Die dünn ausgezogene Treppenkurve repräsentiert den breitenabhängigen Globalniederschlag nach BROOKS/HUNT, die starke Linie verdeutlicht die Ergebnisse dieser Arbeit. Man kann sagen, daß hier die Niederschlagsgürtel mit Ausnahme der nördlichen Westwindzone stärker akzentuiert sind als bei BROOKS/HUNT. In dieser Arbeit erhalten die Niederschlagsverhältnisse in den Innertropen nördlich des Äquators ein stärkeres Gewicht; beiden Treppenkurven gemeinsam ist, daß sie auf eine stärkere Ausprägung der Niederschläge in der südlichen gegenüber der nördlichen Westwindzone hinweisen.

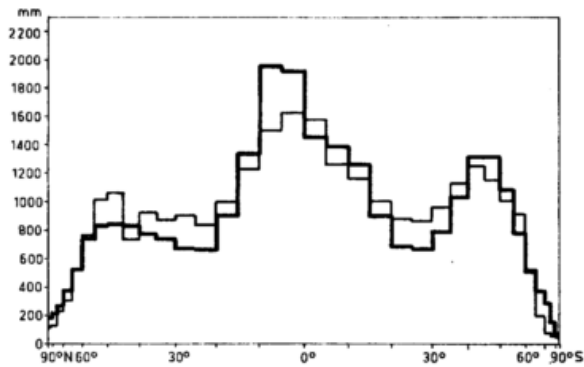


Abb. 43
Globale Jahresniederschläge nach Breitenzonen. Stark
ausgezogene Treppenkurve: diese Arbeit, dünn
ausgezogene Treppenkurve: BROOKS/HUNT.

7 Vergleich der Niederschlagswerte von Möller mit den Werten dieser Arbeit

Dem Aufsatz in „Petermanns Geographischen Mitteilungen“, in dem MÖLLER (34) seine Vierteljahreskarten des Niederschlags für die ganze Erde vorstellt, fügt er auch eine zahlenmäßige Auswertung bei. Durch Ausmessen der von den Isohyeten eingenommenen Areale erhält er Zahlen, mit denen er saisonale Mittelwerte für Fünfgradzonen berechnet. Die Ergebnisse sind zusammen mit den auf Vierteljahre umgerechneten Monatswerten dieser Arbeit in Tabelle 19 aufgelistet. Summen für die Hemisphären und die Gesamterde fügt MÖLLER hinzu. Er errechnet aber diese Werte nicht auch noch für Land- und Wasserflächen getrennt. Da MÖLLER auf den Kontinenten die Werte von BROOKS/HUNT verwendet, kann man nachträglich die fehlenden Global- und Hemisphärensummen berechnen und durch Differenzbildung mit den Ergebnissen für die Gesamterde die saisonalen Verhältnisse auf den Meeren.

MÖLLER liegt mit seinen Niederschlagsdaten, was die Global- und Hemisphärensumme angeht, unter den Werten dieser Arbeit. Dies hat seinen Grund darin, daß sowohl die Niederschläge auf dem Land, als auch die auf den Meeren bei MÖLLER niedriger sind als hier. Auf den Kontinenten, weil die Werte von BROOKS/HUNT unter denen dieser Arbeit liegen (659 mm gegenüber 756 mm), und auf den Ozeanen, weil MÖLLER die von MEINARDUS verwendete Karte auf den Ozeanen in den Beträgen etwas herabsetzt (um etwa $\frac{1}{5}$), wodurch er ebenfalls unter die Werte dieser Arbeit absinkt. Der MEINARDUSsche Wert für das Weltmeer liegt bei 1139 mm, die Reduzierung um $\frac{1}{5}$ ergibt 911 mm, der entsprechende Wert dieser Arbeit ist 1099 mm.

Nicht nur die Absolutwerte dieser Arbeit liegen über den MÖLLERSchen Ergebnissen, auch die saisonalen Schwankungen sind hier größer. Im allgemeinen sind die Schwankungen gleichsinnig; wo dies nicht der Fall ist, weist die Schwankung ohnehin einen nur geringen Betrag auf, so z. B. im Winter auf den Ozeanen.

Festzuhalten ist auch, daß die kontinentalen Niederschlagswerte relativ nahe beieinander liegen. Die letzten Endes doch starke Differenz zwischen den Saisonniederschlägen MÖLLERS und dieser Arbeit wird durch den Einfluß der Meere geliefert. Die Vierteljahresniederschläge auf den Ozeanen dieser Arbeit liegen in derselben Größenordnung wie jene MÖLLERS für die ganze Erde. Auch dies ist bemerkenswert. Betrachtet man die bei KESSLER (24) angegebenen MÖLLERSchen Werte für Nord- und Südhalbkugel getrennt, so ergibt sich ein ähnliches Bild. Zunächst ist zu bemerken, die Maxima und Minima auf Nord- und Südhalbkugel sind invers, das heißt auf der Nordhalbkugel treten Maxima im Juni bis August und auf der Südhemisphäre im Dezember bis Februar auf;

für die Minima gilt das Umgekehrte. Auf dem Land liegen die Niederschläge wieder dicht beieinander, um so mehr entfernen sie sich auf den Meeren und damit auch auf der Gesamthemisphäre.

Die Nordhalbkugel zeichnet sich sowohl bei MÖLLER als auch in dieser Arbeit durch größere jahreszeitliche Schwankungen gegenüber der Südhalbkugel aus. In beiden Bearbeitungen ergeben sich hohe Jahresschwankungen auf den Kontinenten gegenüber geringen auf den Ozeanen, und dies auf beiden Hemisphären.

8 Vergleich der Niederschlagswerte von Kubota mit den Werten dieser Arbeit

In dem von YOSHINO herausgegebenen Buch „Water Balance of Monsoon Asia“ findet sich ein Beitrag von KUBOTA (26) über die jahreszeitliche Schwankung der Wasserdampfbilanz über der Nordhemisphäre und Asien. In 10° -Abständen bezüglich der geographischen Breite als auch der Länge bestimmt KUBOTA punkthaft Werte für die Verdunstung und den Niederschlag. Bei der Verdunstung nimmt er BUDYKOS Wärmehaushaltsatlas als Grundlage, die Niederschläge werden aus den Messungen von 814 Stationen der Nordhalbkugel hergeleitet. Die Quelle hierfür sind die „Climatological Normals“ der WMO und verschiedene Klimatographien.

In Abb. 44 wird KUBOTAs Darstellung der Niederschläge für Ozeane, Kontinente und gesamte Nordhalbkugel den Ergebnissen dieser Arbeit gegenübergestellt. Die Monatskurven der Niederschläge enden bei 80° nördlicher Breite. Es fällt auf, daß in dieser Arbeit das tropische Niederschlagsmaximum schärfer ausgeprägt ist, auch ist hier bei vielen Monaten ein Absinken der Niederschläge zum Äquator hin festzustellen. Bei KUBOTA ist dies weniger oft der Fall. Niederschlagsverminderung am Äquator tritt bei der Betrachtung der gesamten Nordhalbkugel in dieser Arbeit bei allen Monaten auf, auf den Meeren ebenso, nur auf den Kontinenten fällt die Kurve im Winterhalbjahr in beiden Arbeiten erst auf der Südhalbkugel wieder. Das ganzjährig vorhandene sekundäre Maximum auf der wasserbedeckten Nordhalbkugel bei etwa 50° ist in dieser Arbeit ausgeprägter als bei KUBOTA. Auf den Kontinenten ist dieses Nebenmaximum nicht so ausgeprägt. Es wandert über die Breitenkreise, in beiden Arbeiten in gleicher Weise.

Der Jahresgang des Gesamtniederschlags von KUBOTA wird der entsprechenden Berechnung dieser Arbeit in Abbildung 45 gegenübergestellt. Die Kurve KUBOTAs hat einen unruhigeren Verlauf als die aus dieser Arbeit resultierende. Besonders im Juni entsteht dadurch eine große Differenz zwischen beiden Kurven.

Als Jahresmittel des mittleren Niederschlags auf der Nordhalbkugel gibt KUBOTA 1001,3 mm an, als Verdunstungswert für denselben Zeitraum und dieselbe Hemisphäre 969,6 mm. Das heißt der Niederschlagsüberschuß von 31,7 mm wird durch den auf der Südhalbkugel verdunsteten und über den Äquator transportierten Wasserdampf verursacht. In dieser Arbeit wurde für die Nordhalbkugel ein mittlerer Jahreswert von 978,4 mm errechnet, dieser Wert liegt um 22,9 mm unter dem KUBOTAs. KESSLER (24) gibt für die Nordhalbkugel einen Verdunstungswert von 920,9 mm im Mittel an. Damit wird der Niederschlagsüberschuß 57,5 mm. Der Wasserdampftransport ist also gleichsinnig, bei KUBOTA werden allerdings 25,8 mm weniger Wasser in Form von Wasserdampf nach Norden verfrachtet.

9 Weitere Vergleiche

Ausgehend von den von BAUMGARTNER und REICHEL (3) mitgeteilten und auch hier in Tabelle 2 wiedergegebenen Werten wurde nach BAUMGARTNER und REICHEL die Abbildung 46 gezeichnet und um den globalen Jahresmit-

Saisonale Niederschlagsverteilung auf der Erde nach
Fünf-Grad-Breitenzonen

Tabellle 19

Breite	Dezember - Februar						März - Mai						Juni - August						September - November						
	Land	Jae	Meer	Jae	Meer	Ges.	Land	Jae	Meer	Jae	Meer	Ges.	Land	Jae	Meer	Jae	Meer	Ges.	Land	Jae	Meer	Jae	Meer	Ges.	
90 - 35° N	Jae	38	26	44	28	44	Jae	19	24	22	16	22	Jae	38	38	10	34	10	Jae	49	25	62	25	62	25
85 - 30° N	Moe	54	32	46	29	45	Moe	33	20	28	21	27	Moe	38	38	20	34	22	Moe	25	71	27	66	27	
80 - 75° N	Jae	49	33	56	32	56	Jae	38	31	57	19	51	Jae	44	44	45	40	47	Jae	63	58	58	37	59	
75 - 70° N	Moe	59	37	85	40	73	Moe	53	35	45	29	42	Moe	44	44	65	56	70	Jae	69	86	63	63	80	
70 - 65° N	Jae	71	37	93	84	69	Jae	71	66	110	60	70	Jae	83	83	146	79	134	Jae	98	140	140	121	110	
65 - 60° N	Moe	93	76	194	197	108	Moe	89	74	167	119	100	Moe	121	121	191	124	180	Jae	124	122	117	121	124	
60 - 55° N	Jae	98	103	242	212	161	Jae	105	101	202	153	140	Jae	174	174	219	162	214	Jae	158	122	217	121	152	
55 - 50° N	Moe	99	103	340	269	197	Moe	113	116	278	233	176	Moe	156	156	220	230	216	Jae	150	169	280	247	215	
50 - 45° N	Jae	110	104	367	293	216	Jae	137	128	286	274	189	Jae	171	171	249	255	216	Jae	134	186	307	295	203	
45 - 40° N	Moe	134	127	336	268	226	Moe	142	161	265	254	202	Moe	145	145	218	215	187	Jae	142	178	263	276	204	
40 - 35° N	Jae	115	152	241	214	188	Jae	132	146	214	192	160	Jae	170	170	195	161	218	Jae	127	162	229	229	175	
35 - 30° N	Moe	53	82	202	172	142	Moe	124	154	173	143	153	Moe	314	336	199	157	245	Jae	127	228	174	174	166	
30 - 25° N	Jae	35	63	155	126	113	Moe	82	99	141	99	120	Moe	308	297	266	176	281	Jae	144	218	199	170	180	
25 - 20° N	Moe	44	75	184	123	150	Moe	80	62	165	100	89	Moe	324	320	266	235	281	Jae	161	218	170	170	166	
20 - 15° N	Jae	69	63	235	159	190	Moe	136	120	228	122	140	Moe	411	439	360	373	349	Jae	144	241	199	170	180	
15 - 10° N	Moe	44	75	184	123	150	Moe	80	62	165	100	89	Moe	324	320	266	235	281	Jae	161	218	170	170	166	
10 - 5° N	Jae	131	176	407	391	340	Moe	331	225	418	450	397	Moe	604	494	478	535	510	Jae	241	332	335	373	427	
5 - 0° N	Moe	316	418	480	411	445	Moe	527	448	584	425	472	Moe	475	352	536	302	523	Jae	332	447	479	324	472	
0 - 5° S	Jae	603	545	357	314	463	Moe	693	649	401	310	415	Moe	303	361	296	204	315	Jae	416	447	314	225	472	
5 - 10° S	Moe	708	468	389	376	418	Moe	550	392	374	284	321	Moe	138	64	253	206	259	Jae	401	447	284	227	311	
10 - 15° S	Jae	516	580	270	254	328	Moe	383	360	305	235	321	Moe	75	90	189	142	216	Jae	309	401	206	188	260	
15 - 20° S	Moe	364	329	227	188	261	Moe	206	192	247	216	207	Moe	49	23	176	144	156	Jae	163	170	193	150	162	
20 - 25° S	Jae	184	199	188	148	187	Moe	184	197	206	178	195	Moe	67	105	189	144	149	Jae	117	139	174	142	141	
25 - 30° S	Moe	150	104	177	123	173	Moe	153	142	217	190	207	Moe	95	79	176	144	185	Jae	126	139	180	149	162	
30 - 35° S	Jae	131	131	195	152	191	Moe	189	200	249	251	245	Moe	138	144	277	206	255	Jae	139	113	217	180	204	
35 - 40° S	Moe	251	178	264	216	263	Moe	308	225	311	290	311	Moe	194	204	342	265	332	Jae	182	182	267	230	261	
40 - 45° S	Jae	329	172	264	244	286	Moe	449	185	317	303	320	Moe	319	255	371	319	369	Jae	265	185	316	275	314	
45 - 50° S	Moe	451	262	294	251	296	Moe	460	252	321	273	323	Moe	467	186	365	339	367	Jae	360	170	322	280	323	
50 - 55° S	Jae	160	150	422	212	421	Moe	125	252	279	221	279	Moe	223	223	186	212	352	Jae	406	224	323	252	324	
55 - 60° S	Moe	58	58	367	146	366	Moe	102	146	175	148	174	Moe	126	126	186	111	186	Jae	136	136	230	195	230	
60 - 65° S	Jae	60	60	163	142	142	Moe	108	108	93	93	96	Moe	135	142	79	111	92	Jae	108	108	89	76	82	
65 - 70° S	Moe	31	31	94	59	59	Moe	57	57	100	76	76	Moe	75	75	77	77	91	Jae	57	57	93	59	73	
70 - 75° S	Jae	19	19	32	22	22	Moe	35	35	59	40	40	Moe	46	46	55	55	53	Jae	34	34	59	41	40	
75 - 80° S	Moe	10	10	23	12	12	Moe	18	18	42	22	22	Moe	25	25	19	19	30	Jae	18	18	41	22	22	
80 - 85° S	Jae	16	16	19	16	16	Moe	16	16	19	16	16	Moe	16	16	19	19	16	Jae	16	16	19	16	16	
85 - 90° S	Moe	96	96	271	202	202	Moe	136	136	259	211	176	Moe	265	265	325	302	302	Jae	178	178	320	238	264	
Südh.	Jae	350	278	275	291	247	Moe	262	271	271	270	231	Moe	117	117	257	231	231	Jae	192	187	237	187	229	
Erde	Jae	178	275	247	210	177	Moe	266	266	240	204	213	Moe	183	183	273	273	213	Jae	183	273	247	207	247	

Niederschlagsangaben in mm. Jae: Niederschlagswerte dieser Arbeit, Moe: Niederschlagswerte von MÖLLER

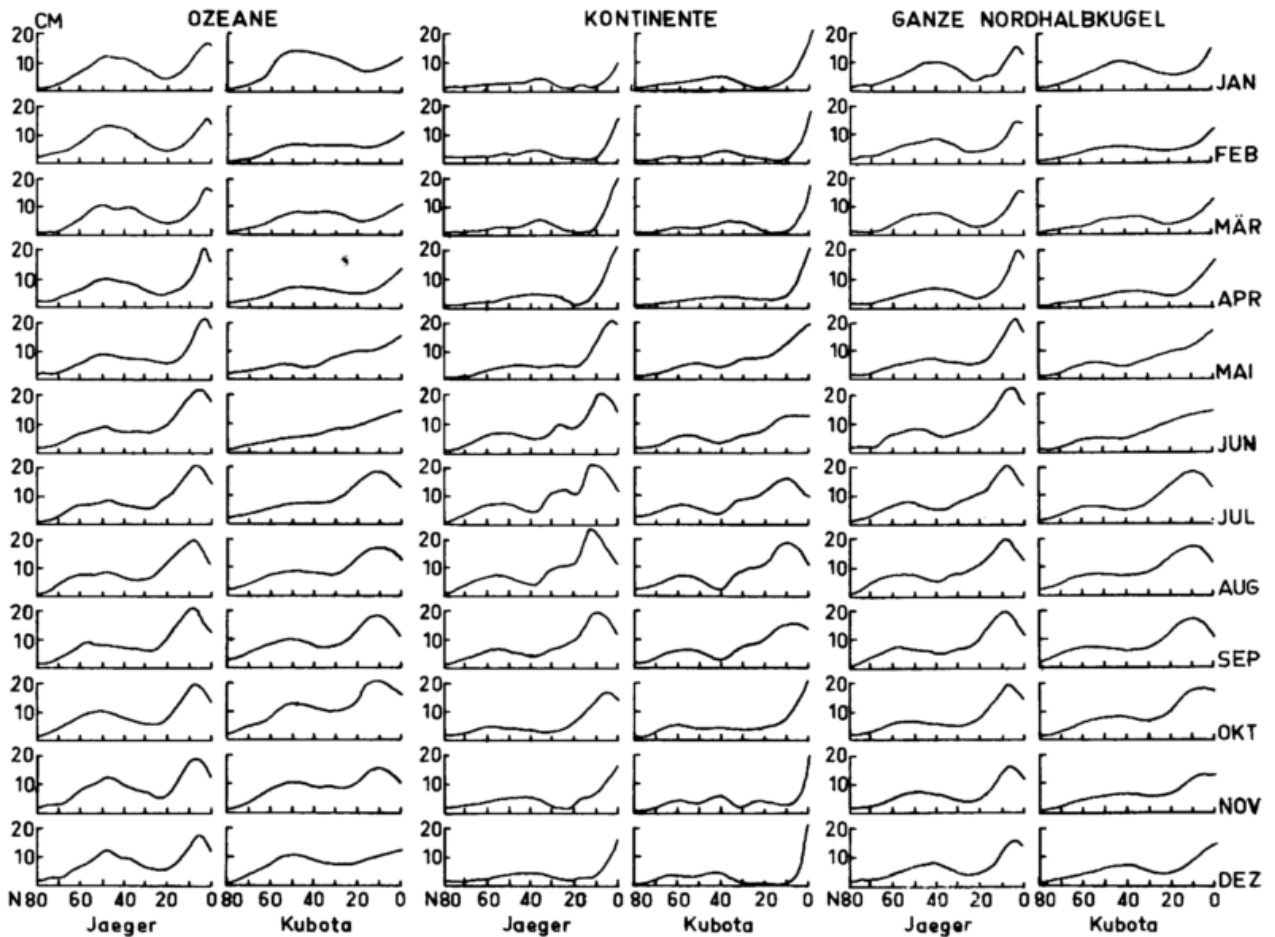


Abb. 44 Breitenabhängige Verteilung des zonal gemittelten Niederschlags über den Ozeanen, den Kontinenten und der gesamten Nordhalbkugel im Jahresgang nach KUBOTA und dieser Arbeit.

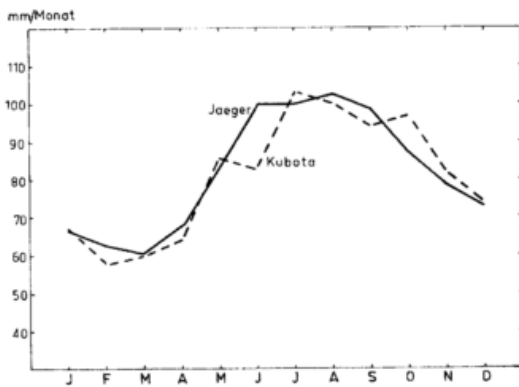


Abb. 45 Niederschlag auf der Nordhalbkugel (mm) nach KUBOTA (gestrichelt) und nach dieser Arbeit (durchgezogen) im Jahresgang.

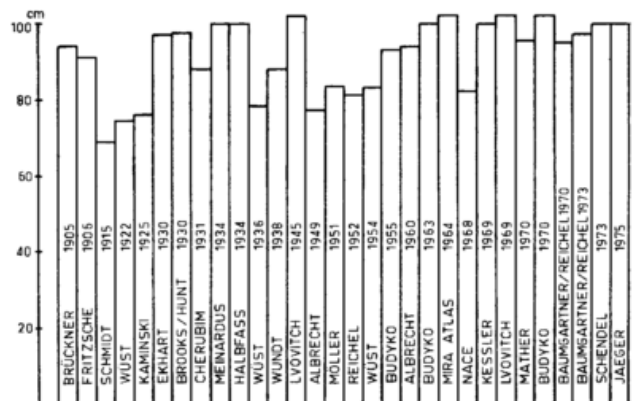


Abb. 46 Globale Jahresmittel des Niederschlags nach verschiedenen Autoren in cm/Jahr.

telwert von SCHENDEL (38) und den dieser Arbeit, die beide bei 1000 mm liegen, erweitert. Die getrennte Betrachtung des Jahresniederschlags auf Land- und Wasserflächen verschiedener Autoren gibt Abbildung 47 wieder. Bei den Niederschlagswerten über den Ozeanen fällt die Angabe von JACOBS (20) mit 694 mm sehr stark aus der Verteilung der übrigen Niederschlagshöhen heraus. Je mehr man auf der Zeitachse nach rechts wandert, desto weniger streuen die Angaben der verschiedenen

Autoren. Dies gilt in noch stärkerem Maße für die Niederschlagshöhen auf den Landflächen. Ist die Differenz zwischen dem höchsten und dem tiefsten hier angegebenen Niederschlag auf den Ozeanen 548 mm (MEINARDUS - JACOBS), so beträgt sie auf den Kontinenten nur 150 mm (BRÜCKNER - MEINARDUS). Auch hierin kommt zum Ausdruck, daß das Niederschlagsproblem auf den Meeresflächen der Erde schwieriger zu lösen ist als auf den Kontinenten.

Tabelle 20: Arealniederschläge nach ausgewählten Autoren (mm/Jahr)

	FRITZSCHE 1906	FLOHN 1958	JACOBS 1968	LVOVITCH 1970	ZUBENOK 1970	SCHENDEL 1973	BUDYKO 1974	JAEGER 1975
Afrika	807	670		683	690	686	690	724
Nordamerika	631	670			660	670	660	638
Südamerika	1424	1350			1630	1648	1630	1589
Australien	475	470			470	736	470	548
Europa	595	600		714	640	734	640	
Asien	607	610			600	726	600	
Eurasien	604	608			607	727	607	718
Antarktis	300							182
Nordpazifik			975					1405
Südpazifik			631					1194
Pazifik		1210				1210	1330	1289
Nordatlantik			633					991
Südatlantik			464					693
Atlantik		780				780	890	846
Ind. Ozean		1010	755			1010	1170	1104
Arktisches Meer		240				240		204

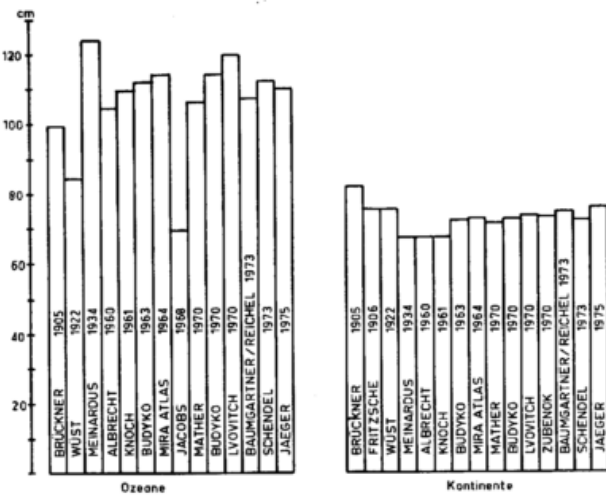


Abb. 47
Globale Jahresmittel des Niederschlags auf Ozeanen und Kontinenten nach verschiedenen Autoren in cm/Jahr.

Werte einzelner Areale, so vorhanden, von verschiedenen Autoren ergeben dasselbe Bild: Die Niederschläge auf den Wasserflächen streuen mehr als jene auf den Kontinenten (Tabelle 20). Die überragende Bedeutung Südamerikas für den Wasserhaushalt der Kontinente wird hier deutlich. Ein Fehler bei der Bestimmung des Niederschlags in Südamerika beeinflusst die Erstellung einer Gesamtbilanz in hohem Maße. Afrika, der zweite große Gondwanakontinent, geht mit einer um $\frac{1}{3}$ größeren Fläche gegenüber Südamerika nur mit halb so großem Gewicht in die Bilanz ein. Dies ist bei allen Autoren festzustellen. Bei Australien liegt SCHENDEL (38) sehr weit über den in den übrigen Arbeiten mitgeteilten Werten. Bei den von JACOBS (20) veröffentlichten ozeanischen Niederschlagsdaten fällt die geringe Höhe gegenüber den Vergleichswerten auf.

Die in Tabelle 20 aufgeführten Niederschlagswerte von FLOHN (13) stammen aus einer Besprechung des „Russischen Atlas des Wärmehaushalts der Erdoberfläche“. Die neben anderen Gliedern der Wärme- und Wasserbilanz der Kontinente und Ozeane angegebenen

Niederschlagswerte entstammen der Karte von DROZDOV. Bei Division des globalen Jahresmittelwertes des Stromes latenter Wärme durch die Verdampfungswärme ergibt sich die mittlere jährliche globale Verdunstung. BUDYKO (10) gibt hierfür und damit auch für den globalen Jahresniederschlag einen Wert von 93 cm an. Nach FLOHN (13) liegt die Ursache der Differenzen hauptsächlich in der unsicher bekannten Meeresverdunstung, die ebenso unsicher bekannt ist wie die Meeresniederschläge. Eine Verbesserung ist zu erwarten durch eine genaue Bestimmung der Koeffizienten der Verdunstungsgleichung.

Die 1968 von JACOBS (20) angegebenen ozeanischen Niederschlagswerte stammen aus einer früheren Arbeit von ihm (19). Obwohl die Bestimmung der Niederschlagshöhe über den Ozeanen schwierig bleibt und kontrovers ist, scheint das saisonale Isohyetenmuster über den Ozeanen allgemein akzeptiert zu sein, da viele Autoren in der Linienführung übereinstimmen. Wenigstens scheinen sie mit unserer gegenwärtigen Kenntnis der Dynamik von Niederschlagsprozessen über den Ozeanen übereinzustimmen, und die regionalen und saisonalen Verhältnisse scheinen auch Kontinuitätsbetrachtungen in den Fällen, wo solche Untersuchungen möglich gewesen sind, zu befriedigen (JACOBS). So motiviert JACOBS den Nutzen der Erstellung von saisonalen Verteilungen, wobei der Niederschlag nicht in seiner absoluten Menge, sondern als relatives Verhältnis dargestellt wird.

Es sei noch ein Blick auf die Jahreswerte von Verdunstung und Niederschlag in ihrer Breitenabhängigkeit geworfen. Da die Verdunstungswerte von KESSLER (24) auf Breitenkreisflächen bezogen sind, die gegenüber denen dieser Arbeit um $2,5^\circ$ versetzt sind, wurden sie auf die in dieser Arbeit verwendete Einteilung umgerechnet. Abb. 48 zeigt die Jahresmittelwerte des Niederschlags dieser Arbeit aufgetragen gegen die KESSLERschen Verdunstungswerte. Nördliche und südliche Westwindzone sowie die Innertropen treten hier als Niederschlagsüberschussgebiete hervor, Subtropen und die randtropischen Bereiche beider Halbkugeln dagegen weisen Verdunstungsüberschuss auf.

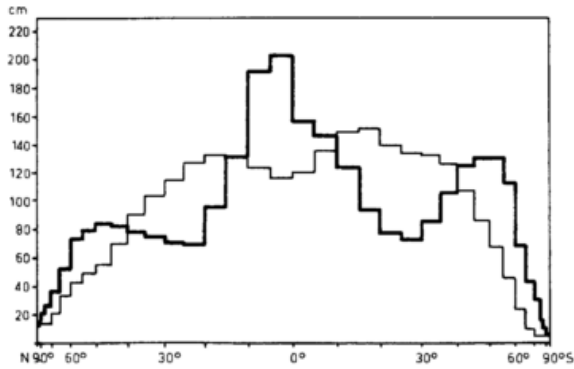


Abb. 48
Breitenkreismittel der jährlichen Verdunstung und des jährlichen Niederschlags. Stark ausgezogen: Niederschlag nach dieser Arbeit, dünn ausgezogen: Verdunstung nach KESSLER.

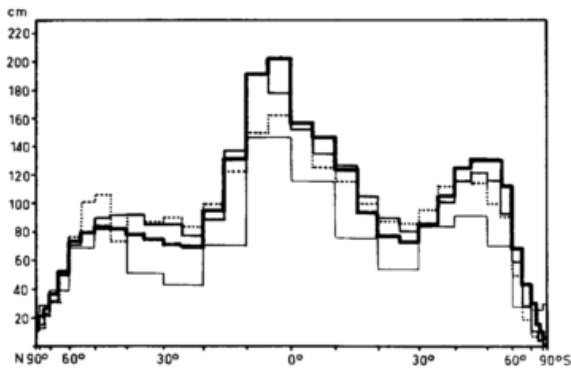


Abb. 49
Vergleichende Darstellung der Breitenkreismittel des Niederschlags nach dieser Arbeit (dick ausgezogen), SCHMIDT (1923) (dünn ausgezogen), BROOKS/HUNT (1930) (punktiert) und MEINARDUS (1934) (in mittlerer Stärke ausgezogen).

In Abb. 49 kommen die Niederschlagswerte von SCHMIDT (39), BROOKS/HUNT (8), MEINARDUS (32) und jene dieser Arbeit in der Zusammenschau zur Darstellung. Die MEINARDUSSCHE Treppenkurve kommt dem Kurvenzug dieser Arbeit am nächsten. SCHMIDT weicht gegenüber allen anderen stark nach unten ab, abgesehen von den polaren und gemäßigten Klimazonen der Nordhalbkugel. Das Maximum der Innertropen und der südlichen Westwindzone liegt bei dieser Arbeit über allen anderen, an der nördlichen Westwindzone und in den Sub- und Randtropen beider Hemisphären zeigen BROOKS/HUNT und MEINARDUS höhere Werte in der Graphik.

10 Die Betrachtung von in Klimamodellen simulierten Niederschlägen aus der Sicht dieser Arbeit

Zahlreiche Arbeiten zur Bestimmung von Klimaparametern durch Simulationen sind in den letzten zwei Jahrzehnten veröffentlicht worden. Es ist klar, daß ein simuliertes Klima an der Realität gemessen werden muß, und die Realität ist um so besser, je exakter die Parameter dieser „Realität“ gemessen oder berechnet werden können.

Bezüglich des Niederschlags oder der Verdunstung treten hier die bekannten Schwierigkeiten auf. Dies bedeutet, daß die Simulation des Niederschlags als Bestandteil eines Klimamodells und dessen Test unter der Schwierigkeit der Bestimmung des (globalen) Niederschlags auf konventionelle Art leidet. In der angelsächsischen Literatur werden die konventionellen Vergleichswerte immer als „observed“ (beobachtet) bezeichnet – im Gegensatz zu den simulierten, die man „computed“ (berechnet) nennt – obwohl diese nicht alle beobachtet sind, sondern auch hergeleitet, berechnet.

Einer Arbeit von WETHERALD U. MANABE (49) sind die in Abbildung 50 dargestellten Isoplethen des Niederschlags für Landflächen und Ozeane entnommen. Die Isohyeten der beiden Diagramme beziehen sich auf den mittleren Tagesniederschlag in Millimetern. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind als Isoplethendarstellungen in den Abbildungen 38 und 40 zu finden und, obwohl hier die Niederschläge in mm/Monat ausgedrückt sind, lassen sich doch aus diesen Graphiken im Vergleich mit den Simulationswerten Gemeinsamkeiten erkennen. Alle vier Niederschlagsverteilungen weisen einen ausgeprägten Regengürtel auf, der auf den Sommerhalbkugeln in tropischen oder subtropischen Breiten zu finden ist. Bei der Landverteilung ist der simulierte tropische Regengürtel während der Sommermonate, was seinen Schwerpunkt anlangt, bei 10°–15° Breite lokalisiert. Die Niederschlagsintensität ist ziemlich gleichmäßig mit Ausnahme der Monate, in denen der Gürtel den Äquator passiert. Ähnliches ist aus Abbildung 38 abzulesen. Auch hier sinken die Niederschläge mit Annäherung des Gürtels an den Äquator ab, und in beiden Darstellungen liegt diese Zone stärksten Niederschlags überwiegend auf der Südhalbkugel. Die Simulation ergibt einen Bereich hoher Niederschläge in den mittleren bis höheren Breiten der Sommerhemisphären und trotz des Auftretens intensiver zyklonaler Aktivitäten geringere Niederschläge in den korrespondierenden Winterhalbkugeln. Abbildung 38 zeigt Ähnliches für die Nordhalbkugel mit allerdings vergrößerter Fläche, in der diese Sommerniederschläge auftreten, auf der anderen Seite reichen die hohen Niederschläge des südlichen Spätsommers auch in den Südwinter hinein. Die Niederschlagsgebiete auf den Sommerhemisphären werden im simulierten Modell auf den Kontinenten durch ein relativ schmales Band mit dem Zentrum bei 55° gebildet, das durch geringe zyklonale Störungen gekennzeichnet ist.

Bei der ozeanischen Niederschlagsverteilung ist zunächst festzustellen, daß beide Graphiken (die des Simulationsmodells als auch Abbildung 40) einen tropischen Niederschlagsgürtel aufweisen, der nördlich des Äquators liegt. Sein Schwerpunkt liegt bei der Simulation zwischen 10° und 25° nördlicher Breite und bei den Meeresniederschlägen dieser Arbeit bei 0° bis 10° nörd-

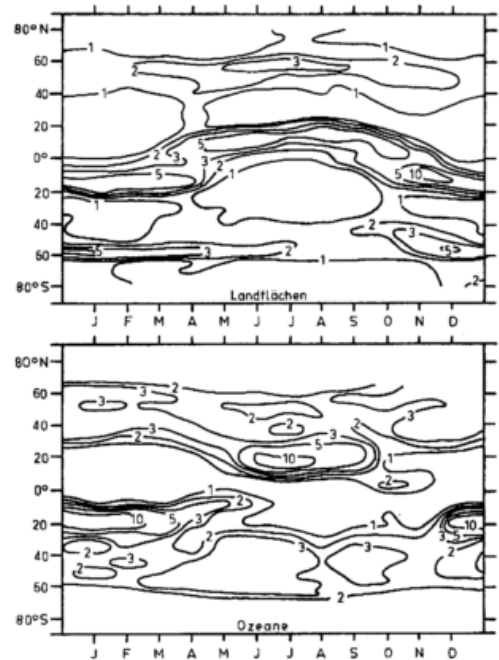


Abb. 50
Zeitliche Änderung der mittleren zonalen Niederschlagsmengen in mm/Tag nach WETHERALD & MANABE, getrennt nach Kontinenten und Meeren dargestellt.

licher Breite. Die Nord-Süd-Erstreckung bei der Simulation ist breiter im ozeanischen als im kontinentalen Fall, aber die erhöhte Intensität der Niederschläge umfaßt einen kürzeren Zeitabschnitt des Jahres. Dasselbe kann für die Isoplethendarstellung der Abbildung 40 gesagt werden.

WETHERALD und MANABE (49) erklären das Absinken der ozeanischen Niederschläge in Äquatornähe mit hier vorherrschendem kalten Auftriebswasser. Die im Süd-sommer bei ca. 15°–20° südlicher Breite auftretenden hohen tropischen Regenfälle im Simulationsmodell fehlen in dem diese Arbeit repräsentierenden Diagramm (Abbildung 40). Was die mittleren und höheren Breiten anlangt, so ergeben sich wiederum Gemeinsamkeiten bei der Simulation und „Beobachtung“: die jahreszeitliche Verteilung des Niederschlags über den Meeren ist invers zu der kontinentalen Situation. Das heißt die Flächen des erhöhten Niederschlags treten auf der Winterhalbkugel auf und erreichen eine breite Erstreckung in zentraler Hinsicht (für die Südhalbkugel der Abbildung 40 gilt dies nur mit Einschränkungen). Diese großen Gebiete entstehen durch die relativ starken, großräumigen zyklonalen Störungen, die sich an den Ostküsten der Kontinente entwickeln und in der kälteren Jahreszeit polwärts wandern.

Abschließend bemerken WETHERALD und MANABE, daß die geringe Auflösung des zur Berechnung benutzten Gitternetzes im äquatorialen Bereich dazu geführt hätte, daß der Gürtel kalten Auftriebswassers zu groß geraten sei. Diese Tatsache ist möglicherweise dafür verantwortlich, daß der Niederschlagsschwerpunkt der Nordhalbkugel (über 10 mm/Tag) in den Subtropen zu finden ist und nicht in den Tropen. Eine genauere Handhabung des Auftriebswassers könnte unter Umständen im Verein mit den übrigen Klimaparametern dazu führen, daß die bei der Simulation entstandene Zone hohen Niederschlags bei 20° südlicher Breite, die in der Abbildung 40 fehlt, ebenfalls verschwindet.

Ein anderes Klimamodell, auf das hier kurz eingegangen werden soll, ist das sogenannte „Two-Level, Mintz-Arakawa Atmospheric Model“ (GATES (14)). Es wird als einfach beschrieben, weil der Wind, das Geopotential und die Temperatur in nur zwei troposphärischen Niveaus und die Feuchte nur im unteren Niveau eingehen. Daher können nur die wichtigsten Elemente des Wärme- und Wasserhaushalts der Erdoberfläche simuliert werden. Der Vorteil dieser Einfachheit ist es, in dem „Two-Level, Mintz-Arakawa Atmospheric Model“ eine wirtschaftliche Formulierung zur klimatischen Simulation zu haben.

GATES (14) veröffentlicht die Ergebnisse seiner Simulation mit diesem Modell am Beispiel des Monats Januar. Die graphische Darstellung der simulierten, zonalen mittleren Januarniederschläge zusammen mit den Testwerten seien hier herausgegriffen und die zeichnerische Wiedergabe um die mittleren globalen Januarniederschläge dieser Arbeit erweitert (Abbildung 51). Zum Test werden zwei Quellen herangezogen. Zum einen benutzt er von SCHUTZ und GATES (43) mitgeteilte Dezember-Januar-Februar-Niederschlagsdaten, die diese aus Werten von LVOVITCH und OVTCHINNIKOV (28) hergeleitet haben. Zum anderen finden die Vierteljahresniederschläge (Dezember/Januar/Februar) von MÖLLER (34) Verwendung. Hier ist offenbar bei der Umrechnung der saisonalen Niederschläge auf mm pro Tag im Januar ein Fehler entstanden, denn das bei MÖLLER auftretende absolute winterliche Niederschlagsmaximum zwischen 0° und 5° nördlicher Breite ist in der Abbildung bei GATES nicht vorhanden.

Zu den simulierten Niederschlägen selbst ist zu sagen, daß diese nur in wenigen Breitenzonen mit den zum Vergleich herangezogenen, auf andere Weise gewonnenen Januarwerten harmonieren. Die ungewöhnlich ho-

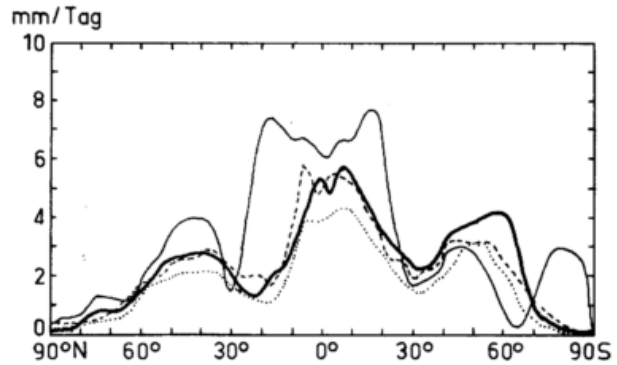


Abb. 51
Breitenabhängige Verteilung des zonalen Mittels der simulierten Gesamtniederschläge im Januar (dünn ausgezogene Kurve) nach GATES (1973). Die stark ausgezogene Kurve ist das Januarmittel dieser Arbeit, die gestrichelte Kurve das Mittel des Januarniederschlags von SCHUTZ und GATES (1971) nach LVOVITCH und OVTCHINNIKOV (1964). Die punktierte Kurve stellt den Januarniederschlag errechnet aus der Arbeit von MÖLLER (1951) dar.

hen Niederschläge über der Antarktis sind durch einen durch die Albedo verursachten Simulationsfehler bedingt, der aber später bemerkt wurde (GATES (15)). Auch im Bereich zwischen 30° Nord und 30° Süd treten durch die Simulation starke Überschätzungen des Niederschlags auf, wobei auch das tropische Maximum um 10°–15° nach den Polen verschoben ist. Der von GATES angegebene, bei der Simulation entstandene mittlere Januarniederschlag liegt bei 4.11 mm/Tag, aus den Daten von LVOVITCH/OVTCHINNIKOV (28) wird ein Wert von 2.94 mm/Tag errechnet, MÖLLER (34) kommt auf 2.20 mm/Tag und aus dieser Arbeit wird ein mittlerer Tagesniederschlag im Januar von 2.65 mm bestimmt. In der Graphik (Abbildung 51) kommt die starke Niederschlagsüberschätzung durch das Klimamodell nicht in dem Maße zum Ausdruck, da die Breitenkreisabstände auf der Abszisse linear aufgetragen sind. Dadurch verliert die starke Abweichung im tropischen Bereich an Ausprägung.

Als drittes Simulationsbeispiel sei die Arbeit von MANABE, HAHN und HOLLOWAY (30) erwähnt. Die Niederschläge werden hier vierteljährlich simuliert, zunächst nur in den Tropen. Ihre kartographische Darstellung wird den Karten des jeweiligen Mittelwerts der Temperatur der Erdoberfläche (°K) aus den drei betrachteten Monaten und dem tropischen Ausschnitt aus den Vierteljahreskarten des Niederschlags von MÖLLER (34) gegenübergestellt. Auch die Jahresmittelwerte werden auf diese Weise wiedergegeben, wobei als Test der Simulation der tropische Teil der Niederschlagskarte aus dem russischen „Physikalisch-Geographischen Weltatlas“ benutzt wird.

Die Darstellung des breitenabhängigen Jahresniederschlags von MANABE, HAHN und HOLLOWAY zeigt wie bei GATES eine Überschätzung des tropischen Regenmaximums gegenüber der als Kontrolle verwendeten BUDYKOSCHEN (10) Niederschlagsverteilung und auch gegenüber den Ergebnissen dieser Arbeit. Allerdings weist die Lage des Maximums keinen Unterschied auf (zwischen 0° und 10° nördlicher Breite). Das sekundäre Maximum der gemäßigten Breiten der Nordhalbkugel wird durch die Simulation ebenfalls unterschätzt. BUDYKO (10) und diese Arbeit weisen hier ca. 80 mm Jahresniederschlag auf, während die Simulation von MANABE et al. mehr als 100 mm ergibt. Auf der Südhalbkugel geht die Simulation mit dieser Arbeit konform, was die Höhe des Sekundärmaximums anlangt (ca. 130 mm gegenüber ca. 110 mm bei BUDYKO), in der Lage ergibt sich allerdings wieder eine Diskrepanz. Bei der Simulation entsteht das Sekundärmaximum bei 40° südlicher Breite; in dieser Arbeit liegt sein Zentrum auf dem südlichen fünfzigsten Breitengrad.

Bezüglich der subtropischen Minima ist zu sagen, daß die Simulation von MANABE, HAHN und HOLLOWAY auf der Nordhalbkugel in Lage und Niederschlagshöhe mit dieser Arbeit übereinstimmt (20° nördlicher Breite, ca. 70 mm/Jahr). Auf der Südhemisphäre besteht Übereinstimmung in quantitativer Hinsicht mit ca. 70 mm/Jahr, aber simuliert wird das Minimum in 20° südlicher Breite, in dieser Arbeit wird es hingegen bei 30° südlicher Breite angesiedelt.

11 Einige Bemerkungen zu den Niederschlägen im tropischen Pazifik

Zu den wenigen ozeanischen Arealen der Erdoberfläche, für die Monatskarten des Niederschlags konstruiert worden sind, gehört der Pazifik zwischen 30° nördlicher und 30° südlicher Breite. Hier ist vor allem der „Atlas of Pacific Islands Rainfall“ von TAYLOR (46) zu nennen. In ihm sind Karten des mittleren monatlichen Niederschlags erstmalig für alle Monate veröffentlicht worden. Zwar hat ALBRECHT (1) schon die monatlichen Niederschläge auf dem gesamten pazifischen Raum untersucht, aber er publiziert nur sechs Monatskarten (Februar, April, Juni, August, Oktober und Dezember).

Der Titel besagt bereits, TAYLORS Isolinien über dem freien Ozean werden an den Inselstationen aufgehängt. Von den meteorologischen Parametern sind es die Niederschläge, die im pazifischen Raum am meisten beobachtet werden. Bei Nichtbeachtung Indonesiens und der Philippinen zählt TAYLOR etwa 720 Stationen. 64 % davon sind auf den Inselgruppen von Hawaii und Fidschi zu finden; der Rest ist verstreut auf den Raum zwischen 130° östlicher Länge und 130° westlicher Länge. Dies ergibt eine mittlere Stationsdichte im tropischen Pazifik von einer Station auf 4×10^5 km² oder eine Station auf 6.3 Eingradfelder. In begrenzten Regionen (Gilbert - Ellice Inseln) kann die Stationsdichte bis auf eine Station auf 2.0 Eingradfelder anwachsen. TAYLOR wählt 118 Inselstationen aus und konstruiert unter deren Verwendung eine Jahreskarte und zwölf Monatskarten, wobei er fünfjährige Beobachtungen der Wolkendecke durch Satelliten mit heranzieht. Als Beispiele sind hier die TAYLORSche Jahreskarte sowie die Monatskarten für Januar und Juli (Abbildungen 52-54) wiedergegeben.

Die Jahreskarte von TAYLOR und der tropische Kartenausschnitt dieser Arbeit weisen große Gemeinsamkeiten in der Linienführung der Isohyeten auf. Diskrepanzen ergeben sich in der Niederschlagshöhe. Während in dieser Arbeit Regenfälle von über 3000 mm nur im indonesischen Bereich sowie nördlich und westlich von Neu-Guinea und über dem Nordteil der Insel selbst und vor der Küste Kolumbiens auftreten, weist TAYLOR ein schmales Band von Niederschlägen über 5000 mm zwischen 120° und 165° westlicher Länge und um 5° nördlicher Breite aus, andererseits erreichen bei ihm die Regenfälle in den Seen Indonesiens keine 3000 mm. Grundsätzlich mißt TAYLOR dem Verlauf seiner Isohyeten eine größere Sicherheit bei als ihren Werten. Diese werden empirisch bestimmt durch Vergleich der mittleren monatlichen Regenfälle auf den Line Inseln ($4^\circ 43'N$, $160^\circ 25'W$) mit der mittleren Wolkenbedeckung aus der sechsjährigen Periode von 1965-1971, berechnet aus Satellitenbeobachtungen. Die Jahreswerte entstehen so durch Summation der Monatshöhen der Regenfälle.

Um den Verlauf der monatlichen Isohyeten festzulegen, nimmt TAYLOR auch Satellitenbeobachtungen zu Hilfe. Es wird aber nichts ausgesagt über das Problem der Passatinversion. Die hier auftretenden dünnen Passatcumuli erscheinen wie andere Wolken auch auf den Satellitenphotos als „brightness“, ergeben aber meist keinen Niederschlag. Durch die Uneinheitlichkeit der Registrierperioden auf den Inseln treten Fälle auf, in denen die Regenbeobachtungen an der Erdoberfläche

und die dazugehörigen Wolkenbilder aus der oberen Atmosphäre sich zeitlich nicht überschneiden. Trotzdem sind weitgehende Ähnlichkeiten in den Kartenbildern im Vergleich festzustellen; durch die Isohyetenabstände können nicht zu groß werdende Regenhöhenunterschiede zwischen dieser Arbeit und den Ausführungen TAYLORS verschwinden.

Die beiden Beispielmonate aus dem TAYLOR-Atlas zeigen (wie alle anderen Monate auch) eine Zone maximalen Niederschlags in Ost-West-Erstreckung zwischen 5° und 10° nördlicher Breite und eine andere von den Salomon-Inseln ausgehend, nach Südosten ausladend bis in die Nähe von 150° westlicher Länge. Ähnliches läßt sich auch für Januar und Juli in dieser Arbeit sagen. Das erste Maximum ist allerdings bei den beiden Monaten in dieser Arbeit nicht so ausgeprägt, und die zweite Maximalzone reicht hier im Juli nur bis 180° westlicher Länge. Ausgehend von der südamerikanischen Westküste schiebt sich zwischen diese beiden Regionen maximaler Regenfälle die äquatoriale Trockenzone wenig südlich des Äquators. Die räumliche Ausdehnung dieser Trockenzone wird festgelegt sowohl durch die Zone minimaler Bewölkung, festgelegt durch die Satelliten, als auch durch Regendaten, wo diese reichlich vorhanden sind. Die Ansicht TAYLORS, daß sich die Gebiete hohen Niederschlags im Jahresgang nur wenig verschieben - was seinen Untersuchungsraum anlangt - kann durch die Regenverteilungen in dieser Arbeit nicht unterstützt werden.

Abbildung 55 zeigt drei Meridianschnitte des Niederschlags (des jährlichen, des Januar- und des Juliniederschlags) entlang des 180° Längengrades. Stark ausgezogen sind die auf der Basis dieser Arbeit erstellten Profile, dünn gezeichnet die den TAYLORSchen Karten entnommenen Kurven. Abgesehen vom Januarwert dieser Arbeit weisen alle Kurven eine Zweigipfeligkeit auf; der Kurvenverlauf für Jahr und Juli ist bei beiden Arbeiten gleichsinnig, Maxima und äquatoriales Minimum sind bei TAYLOR ausgeprägter. Seine Ansicht, dem Isohyetenverlauf eine größere Sicherheit beizumessen als ihren Werten, wird auf diese Weise bestätigt. Die starke Abweichung im Januar kommt dadurch zustande, daß der Gürtel hoher Niederschläge im östlichen Pazifik nördlich des Äquators bei TAYLOR weiter nach Westen reicht als in dieser Arbeit. Das Ende dieses Gürtels hoher Niederschläge könnte auf der TAYLORSchen Karte der Januarniederschläge nach Osten versetzt werden, da TAYLOR gerade in diesem Bereich (175° östliche bis 165° westliche Länge und 15° nördliche Breite bis zum Äquator) keine Inselstationen zur Verfügung hat, um seine Isohyeten anzubinden.

Im außertropischen Bereich des Nordpazifik versuchten REED und ELLIOTT (36) den Isohyetenverlauf mit Hilfe der Messungen auf hier stationierten Wetterschiffen zu bestimmen. Als Ergebnis wurden, abgesehen vom Nordwestteil des Ozeans, gegenüber den zum Vergleich herangezogenen Arbeiten geringere Niederschläge ermittelt. Dies gilt auch in Bezug zu dieser Arbeit. Somit liegen die Niederschlagsangaben dieser Arbeit im Pazifik, was den außertropischen Bereich anlangt, über den aus Wetterschiffmessungen hergeleiteten Werten. Im tropischen Bereich liegen die Werte hier unter der Niederschlagsverteilung, die aus Inselmessungen herrührt.

Die längsten Meßreihen haben die Wetterschiffe N, P und V. Wetterschiff N liegt auf 30° nördlicher Breite, 140° westlicher Länge und weist eine Meßreihe von 1949 bis 1968 auf, Wetterschiff P, auf 50° Nord, 145° West liegend, hat eine Meßreihe von 1949 bis 1970 und die von REED und ELLIOTT verwendete Meßreihe des Wetterschiffes V (34° Nord, 164° Ost) reicht von 1951-1968.

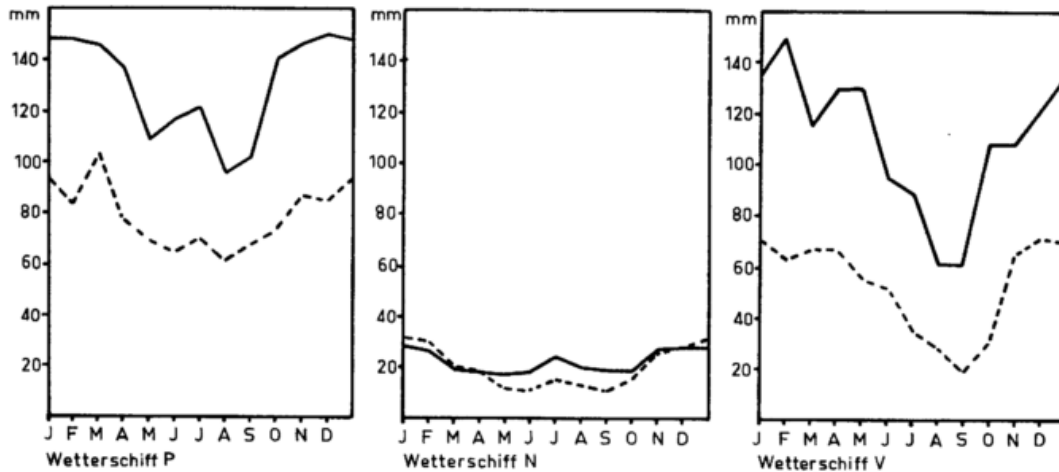
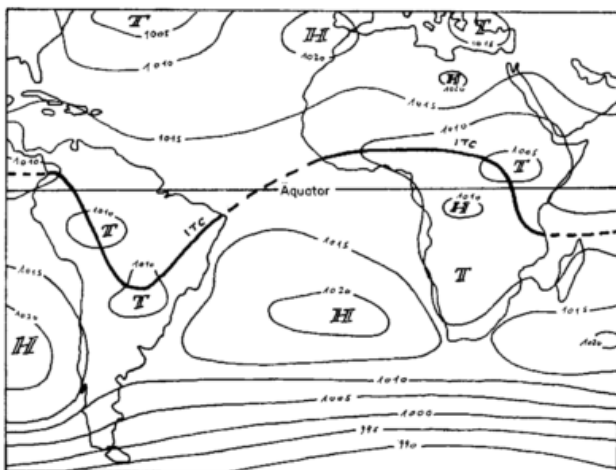


Abb. 56 Niederschlagsgang an den Wetterschiffen P, N und V nach dieser Arbeit (durchgezogen) und nach REED und ELLIOTT (gestrichelt) (Niederschlagswerte in mm pro Monat).

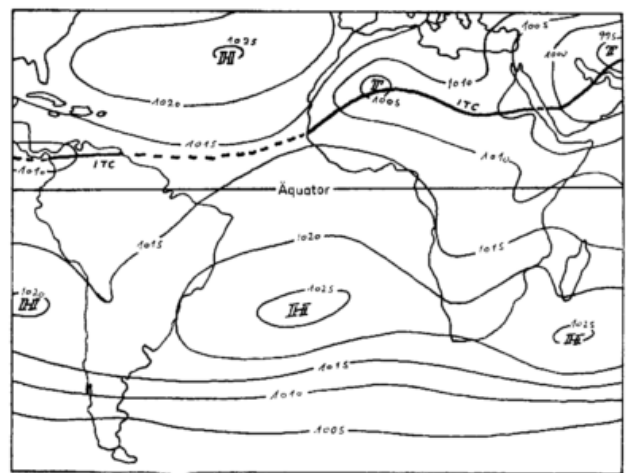
Den Jahresgang der Niederschläge an den drei Wetterschiffen nach REED und ELLIOTT und dieser Arbeit illustriert Abbildung 56. Die aus den Niederschlags-häufigkeiten auf See errechneten Monatswerte haben mit Einschränkungen dieselbe Jahresschwankung wie die an den entsprechenden Wetterschiffen gemessenen monatlichen Niederschläge. Am Wetterschiff N liegen die gemessenen Werte im Winter über den errechneten, an den Wetterschiffen P und V liegen die Messungen in jedem Monat unter den errechneten Werten; die Jahresgänge verlaufen synchron. Es ist zu vermuten, daß die Messungen auf den Wetterschiffen wegen des Wind-einflusses unter den tatsächlichen Werten des freien Ozeans liegen.

12 Luftdruck und Niederschläge über Afrika und Südamerika

Unter den Einzelveröffentlichungen des Seewetter-ammtes des Deutschen Wetterdienstes ist eine Arbeit von RUDLOFF (37) zu finden, in der er Monatskarten des Luftdrucks in Seehöhe und des 500-mb-Geopotentials für die Tropenzone und des Luftdrucks in Seehöhe für die ganze Erde aus dem internationalen geophysikali-schen Jahr erstellt. In diese Karten wurde die ITC hineingezeichnet. Zwei Beispiele hierfür geben die Ab-bildungen 57 (Januar 1958) und 58 (Juli 1958) wieder.



Aquatorialmaßstab 1:175.000.000
Van der Grintens Kreisprojektion
Abb. 57
Lage der ITC über Afrika und Südamerika im Januar 1958.
Druckverteilung nach RUDLOFF (1970).



Aquatorialmaßstab 1:175.000.000
Van der Grintens Kreisprojektion

Abb. 58
Lage der ITC über Afrika und Südamerika im Juli 1958.
Druckverteilung nach RUDLOFF (1970).

Die Länge der ITC über Afrika und Südamerika wurde monatlich ausgemessen und den Monatswerten des Gesamtniederschlags von Afrika und Südamerika gegenübergestellt. Graphisch ist dies in der Abbildung 59 für Afrika und in Abbildung 60 für Südamerika dargestellt. Während die Abbildung 60 einen guten Zu-sammenhang zwischen den Kurven der monatlichen Niederschläge über dem Kontinent und der Länge der ITC zeigt, ist dies in Abbildung 59 nicht der Fall. Die Länge der ITC über Afrika weist im Jahresgang keine große Veränderlichkeit auf. Sie wandert naturgemäß bedingt durch den Sonnenstand, aber sie knickt auch in den Anfangsmonaten des Jahres über Ostafrika scharf nach Süden ab und durch die dadurch entstehende S-Form variiert ihre Länge von Monat zu Monat kaum.

Variation des Niederschlags und Variation der Länge der ITC über Südamerika sind größer als die Änderung der Vergleichswerte über Afrika. Die Tatsache, daß sich Niederschläge und Länge der ITC im Jahresgang gleich-sinnig wandeln, zeigt, welche überragende Rolle die von der ITC verursachten Regenfälle im Niederschlags-regime Südamerikas spielen. Die Niederschlagsbeträge der außertropischen Westwindzone und der Winter-regengebiete treten dagegen zurück. Wie das Beispiel für Januar (Abbildung 57) zeigt, kommen die inner-tropischen Regenfälle vor allem dem Amazonasbecken zugute. Nicht umsonst ist der Amazonas der wasser-reichste Fluß der Erde.

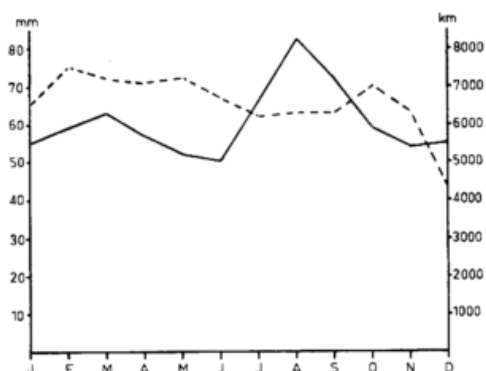


Abb. 59
Jahresgang des Niederschlags und Jahresgang der Länge der ITC über Afrika. Auf der linken Ordinate sind die Einheiten des Niederschlags in Millimetern aufgetragen, auf der rechten Ordinate die Einheiten der ITC-Länge in km. Die Niederschlagskurve ist ausgezogen, die Kurve der ITC-Länge gestrichelt gezeichnet.

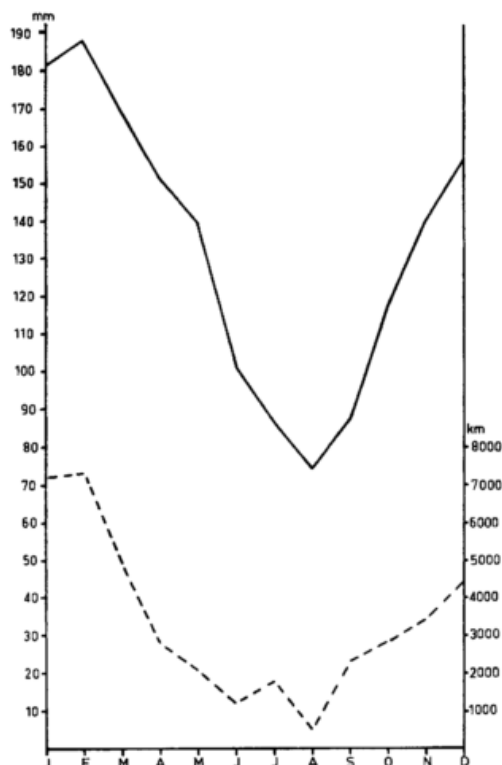


Abb. 60
Jahresgang des Niederschlags und Jahresgang der Länge der ITC über Südamerika. Auf der linken Ordinate sind die Einheiten des Niederschlags in Millimetern aufgetragen, auf der rechten Ordinate die Einheiten der ITC-Länge in km. Die Niederschlagskurve ist ausgezogen, die Kurve der ITC-Länge gestrichelt gezeichnet.

13 Literatur

- (1) ALBRECHT, F.: Monatskarten des Niederschlags im Indischen und Stillen Ozean. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 29 (1951).
- (2) ALBRECHT, F.: Jahreskarten des Wärme- und Wasserhaushaltes der Ozeane. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 66 (1960).
- (3) BAUMGARTNER, A.; REICHEL, E.: Preliminary results of new investigations of world's water balance. Int. Ass. Scient. Hydr., Proc. Read. Symp. July 1970.
- (4) BAUMGARTNER, A.; REICHEL, E.: Eine neue Bilanz des globalen Wasserkreislaufes. Umschau 73 (1973) H. 20, S. 631-632.
- (5) BAUMGARTNER, A.; REICHEL, E.: Die Weltwasserbilanz. München u. Wien: Oldenbourg 1975.

- (6) BEZDEK, J.: Die Verteilung des Niederschlags nach geographischen Breiten. Bull. Soc. Hongr. Geogr. 22 (1904) S. 95.
- (7) BLACK, W. G.: Ocean rainfall by rain-gauge observations at sea. General and special oceans. Edinburgh 1864-75-81.
- (8) BROOKS, C. E. P.; HUNT, T. M.: The zonal distribution of rainfall over the earth. Mem. Roy. Meteor. Soc. 3 (1930) S. 139.
- (9) BRÜCKNER, E.: Die Bilanz des Kreislaufes des Wassers auf der Erde. Geogr. Z. 11 (1905) S. 436.
- (10) BUDYKO, M. I.: Der Wärmehaushalt der Erdoberfläche. Deutsche Fassung von PELZL, E. in: Fachliche Mitteilungen, herausgegeben von der Inspektion Geophysikalischer Beratungsdienst der Bundeswehr im Luftwaffenamt, Reihe I Nr. 100 (1963).
- (11) DROZDOV, O. A.: Annual amounts of precipitation. Russian Norskoj Atlas, Vol. II (1953) Karte 48b.
- (12) EKHART, E.: Eine neue Regenkarte der Erde. PETERMANN'S geogr. Mitt. 76 (1930) S. 57-64.
- (13) FLOHN, H.: Ein russischer Atlas des Wärmehaushalts der Erdoberfläche. Erdkunde 12 (1958) S. 233-237.
- (14) GATES, W. L.: Analysis of the mean forcing fields simulated by the Two-Level, Mintz-Arakawa Atmospheric Model. Monthly Weather Rev. 101 (1973) S. 412-425.
- (15) GATES, W. L.: The January global climate simulated by a two-level general circulation model: A comparison with observation. J. atmosph. Sci. 32 (1975) S. 449.
- (16) GEIGER, R.: Wandkarten 1:30 Mill., Jährlicher Niederschlag. Darmstadt: JUSTUS PERTHES 1965.
- (17) HANN, J.; SÜRING, R.: Lehrbuch der Meteorologie. 5. Aufl. Leipzig 1936.
- (18) HERBERTSON, A. J.: The distribution of rainfall over the land. London 1908.
- (19) JACOBS, C. W.: The energy exchange between sea and atmosphere and some of its consequences. University of California Press (1951).
- (20) JACOBS, C. W.: The seasonal apportionment of precipitation over the ocean. Yearbook Ass. Pacific Coast Geographers 30, Corvallis, Oreg. (1968) S. 63-78.
- (21) JAEGER, L.: Globalbilanzen von Niederschlägen. Diss. Freiburg 1975.
- (22) JEFFERSON, M.: A new map of world rainfall. Geogr. Rev. 16 (1926) S. 285.
- (23) KAUFELD, L.: Das globale Luftdruckfeld in Seehöhe. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 129 (1972).
- (24) KESSLER, A.: Globalbilanzen von Klimatelementen. Ber. Inst. Meteorol. Klimatolog. Techn. Hochschule Hannover Nr. 3 (1968).
- (25) KÖPPEN, W.; GEIGER, R.: Handbuch der Klimatologie. Berlin 1936.
- (26) KUBOTA, I.: Seasonal variation in water vapour balance over the northern hemisphere and Asia. In: YOSHINO, M. M. (Ed.), Water balance of monsoon asia. Honolulu 1971. S. 53-73.
- (27) LOOMIS, E.: Amer. J. of Sci. 1882.
- (28) LVOVITCH, M. J.: Siehe Mira Atlas (1964) Blatt 60/61.
- (29) MACDONALD, W. F.: Atlas of climatic charts of the oceans. US Weather Bureau, Washington 1938.

- (30) MANABE, S.; HAHN, D. G.; HOLLOWAY, J.: The seasonal variation of the tropical circulation as simulated by a global model of the atmosphere. *J. atmosph. Sci.* 31 (1974) S. 43.
- (31) MEINARDUS, W.: Eine neue Niederschlagskarte der Erde. *PETERMANN'S geogr. Mitt.* 80 (1934) S. 1-4.
- (32) MEINARDUS, W.: Die Niederschlagsverteilung auf der Erde. *Meteor. Z.* 51 (1934) S. 345-350.
- (33) MIRA ATLAS: Physisch-geographischer Atlas der Erde (Orig. russ.) Moskau 1964. Dazu: Soviet Geography, Review and Translation. 6 Nos. 5-6, Publ. by Amer. Geogr. Soc. New York 1965.
- (34) MÖLLER, F.: Vierteljahreskarten des Niederschlags für die ganze Erde. *PETERMANN'S geogr. Mitt.* 95 S. 1-7.
- (35) NIEUWOLT, S.: Klimageographie der malaiischen Halbinsel. *Mainzer Geogr. Studien H. 2* (1969).
- (36) REED, R. K.; ELLIOTT, W. P.: Precipitation at ocean weather stations in the north Pacific. *J. geophys. Res.* 78 (1973) S. 7087-7091.
- (37) RUDLOFF, W.: Monatskarten des Luftdrucks in Seehöhe und des 500-mb-Geopotentials für die Tropenzone und des Luftdrucks in Seehöhe für die ganze Erde. Einzelveröff. Nr. 72, Dt. Wetterd. Seewetteramt (1970).
- (38) SCHENDEL, U.: Wasserhaushalt und Wasserbilanz der Erde. *Wasserwirtschaft* 63 H. 9 (1973) S. 269-271.
- (39) SCHMIDT, W.: Das Wandern des Wasserdampfs über die Breitenkreise. *Meteor. Z.* 40 (1923) S. 88-90.
- (40) SCHOTT, G.: Geographie des atlantischen Ozeans. Hamburg 1926.
- (41) SCHOTT, G.: Die jährlichen Niederschlagsmengen auf dem Indischen und Stillen Ozean. *Ann. Hydrogr.* 61 (1933) S. 1-12.
- (42) SCHOTT, G.: Geographie des Indischen und Stillen Ozeans. Hamburg 1935.
- (43) SCHUTZ, C.; GATES, W. L.: Global climatic data for surface, 800 mb, 400 mb: January. R-915-ARPA, The Rand Corporation, Santa Monica, Calif. (1971).
- (44) SUPAN, A.: Die jährlichen Niederschlagsmengen auf den Meeren. *PETERMANN'S geogr. Mitt.* 44 (1898) S. 179-182.
- (45) SUPAN, A.: Die Verteilung des Niederschlags auf der festen Erdoberfläche. *PETERMANN'S geogr. Mitt. Erg.-H. Nr. 124* (1898).
- (46) TAYLOR, R. C.: An atlas of Pacific islands rainfall. Honolulu: Hawaii Institute of Geophysics 1973.
- (47) THOMPSON, B. W.: The climate of Afrika. London: Oxford University Press 1965.
- (48) US Navy Marine climatic atlas of the world. Vol. 1-7, Washington: US Office of Naval Operations 1955-65.
- (49) WETHERALD, R. T.; MANABE, S.: Response of the joint Ocean-Atmosphere Model of the seasonal variation of the solar radiation. *Monthly Weather Rev.* 100 (1972) S. 42-59.
- (50) WÜST, G.: Oberflächensalzgehalt, Verdunstung und Niederschlag auf dem Weltmeere nebst Bemerkungen zum Wasserhaushalt der Erde. *Festschrift f. NORBERT KREBS*, Stuttgart (1936) S. 347.

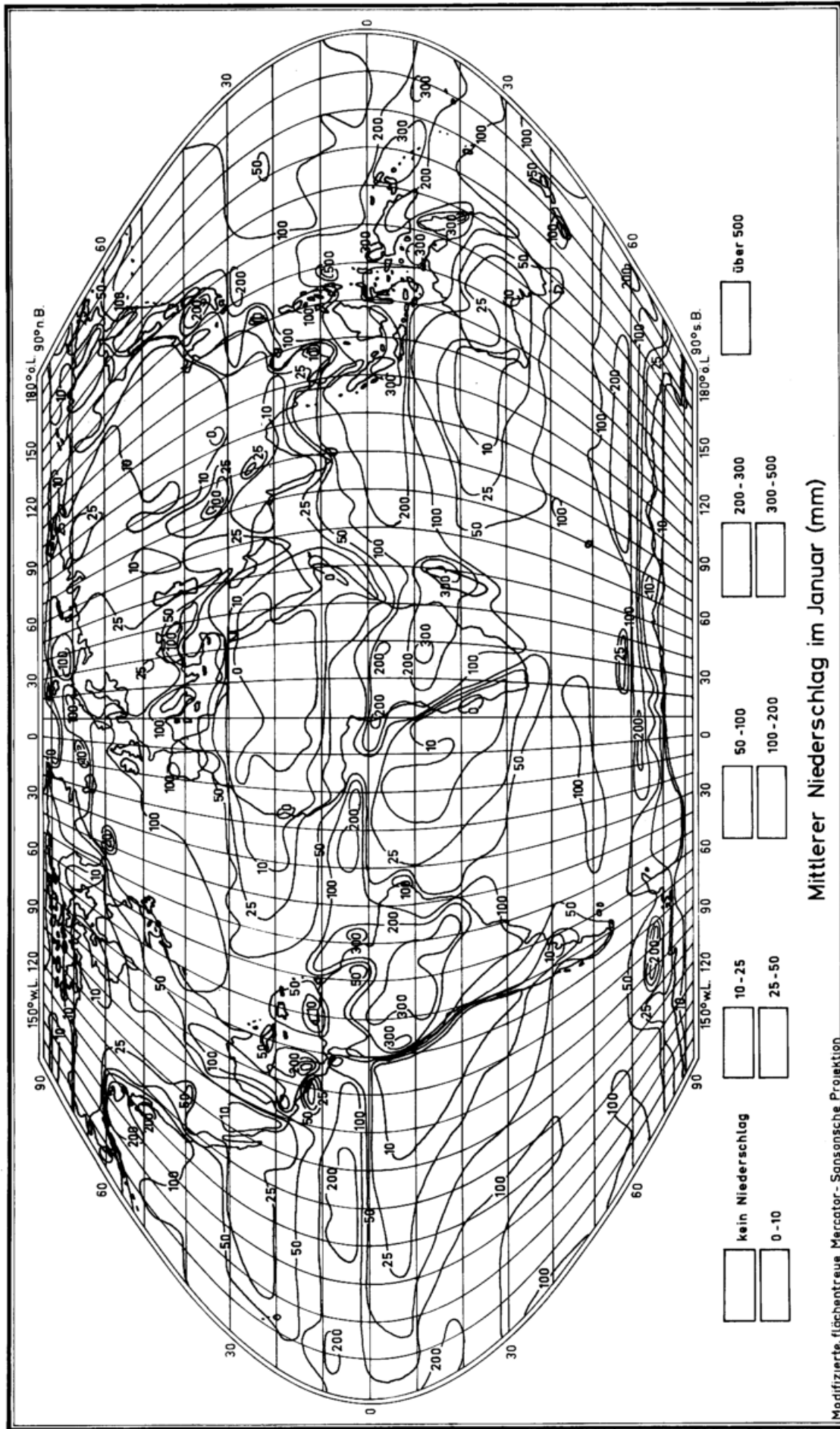


Abb. 9

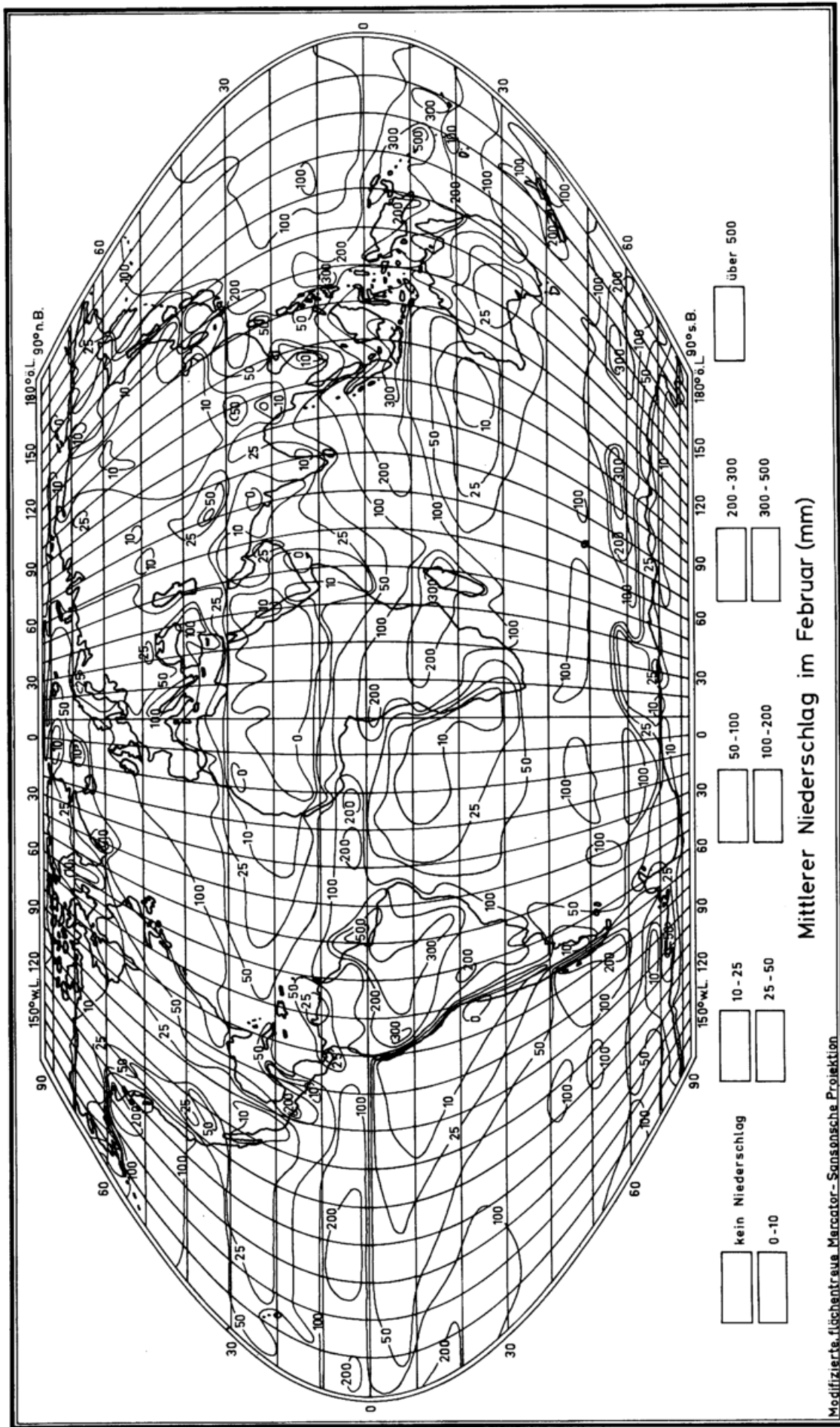
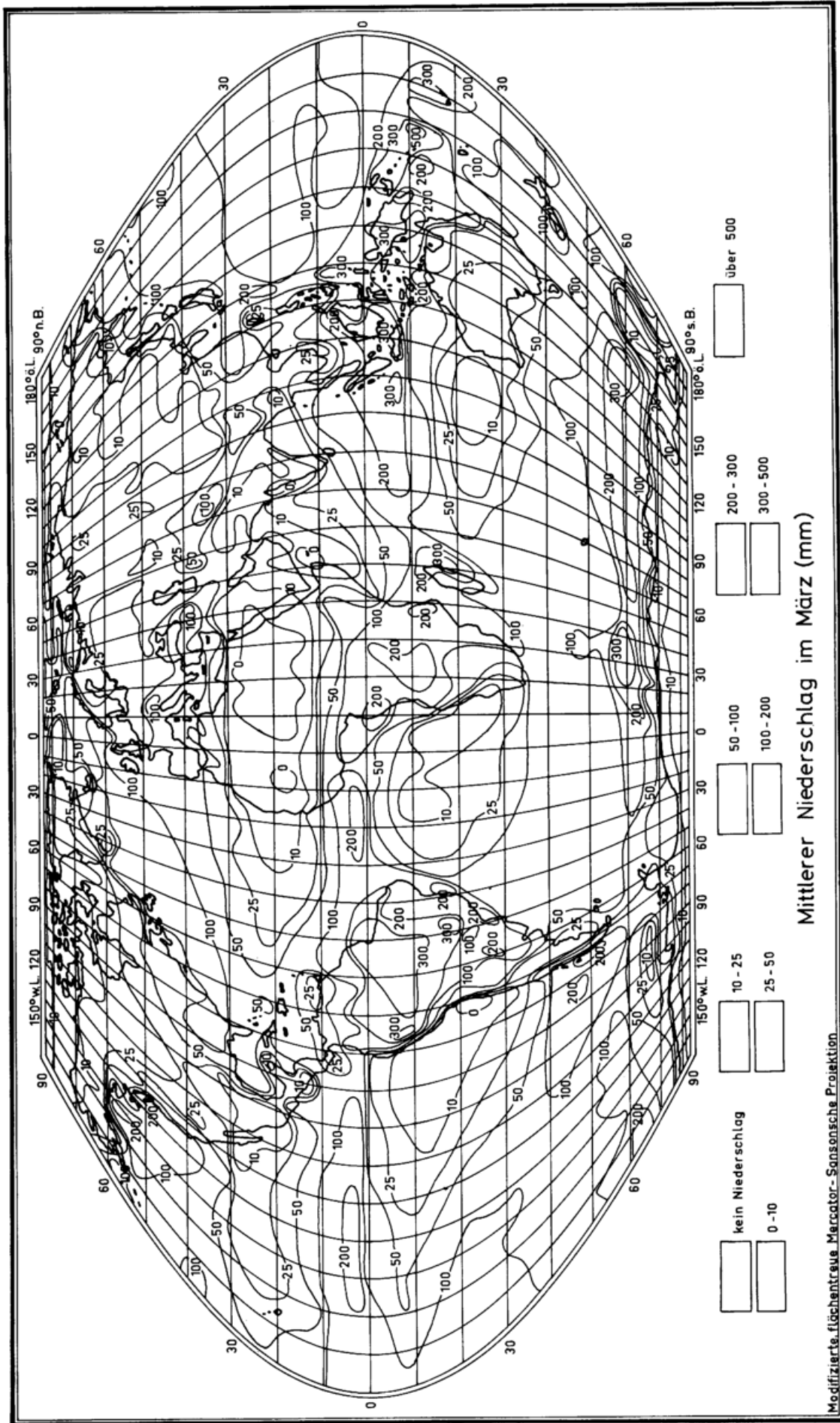


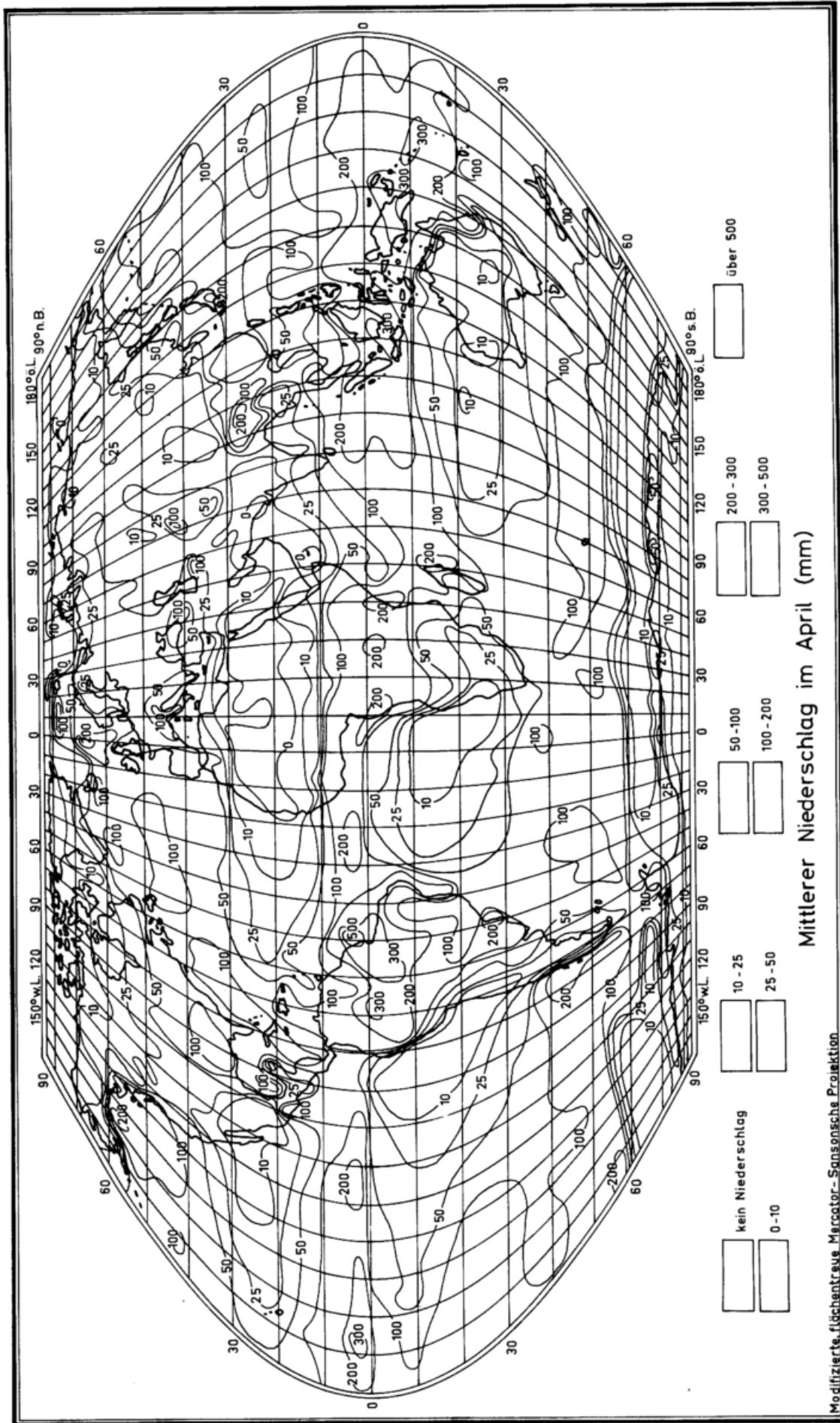
Abb. 10



Modifizierte flächentreue Mercator-Sanson'sche Projektion

Mittlerer Niederschlag im März (mm)

Abb. 11

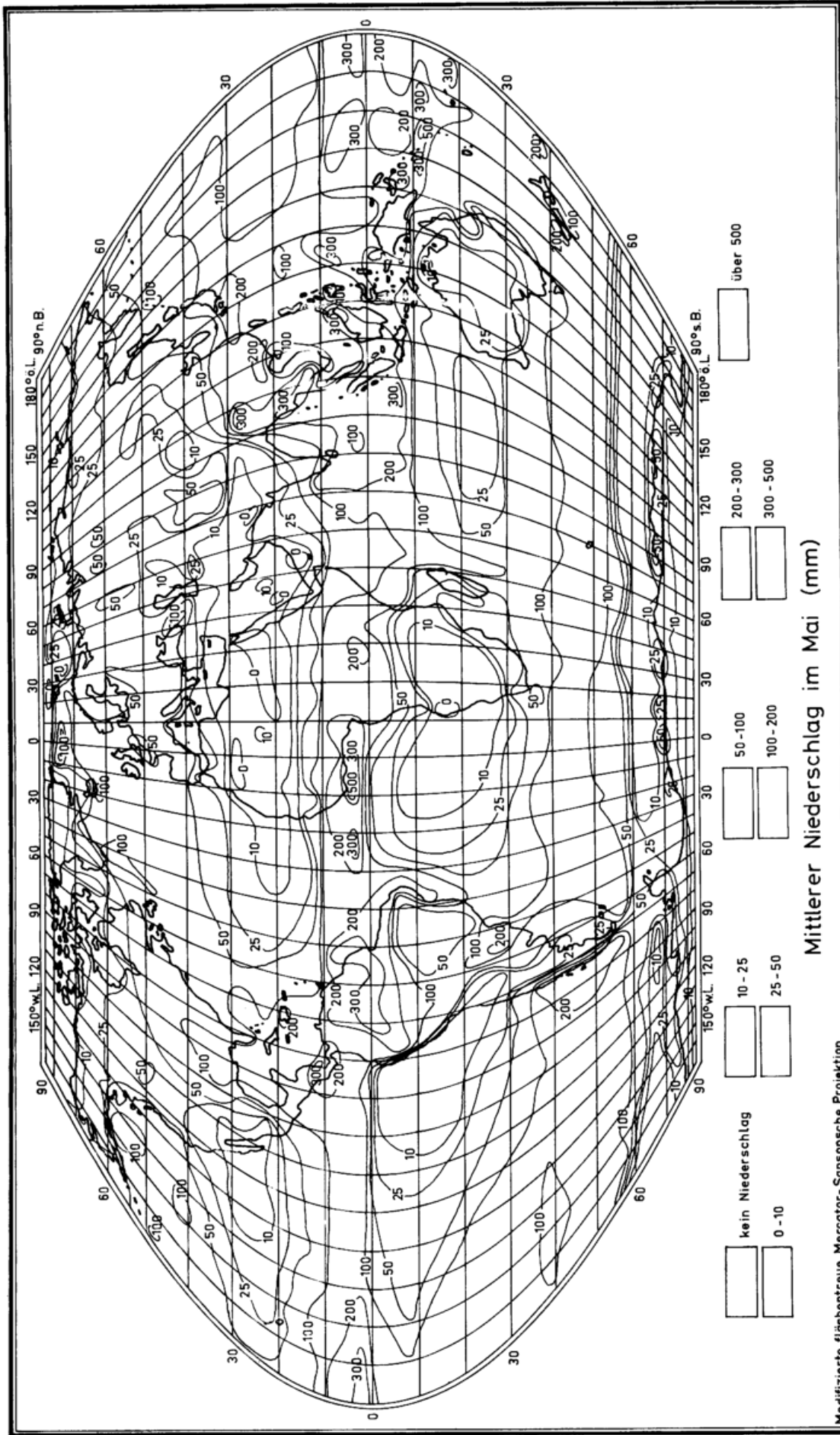


Modifizierte, flächentreue Mercator-Sansonische Projektion

Mittlerer Niederschlag im April (mm)

Abb. 12

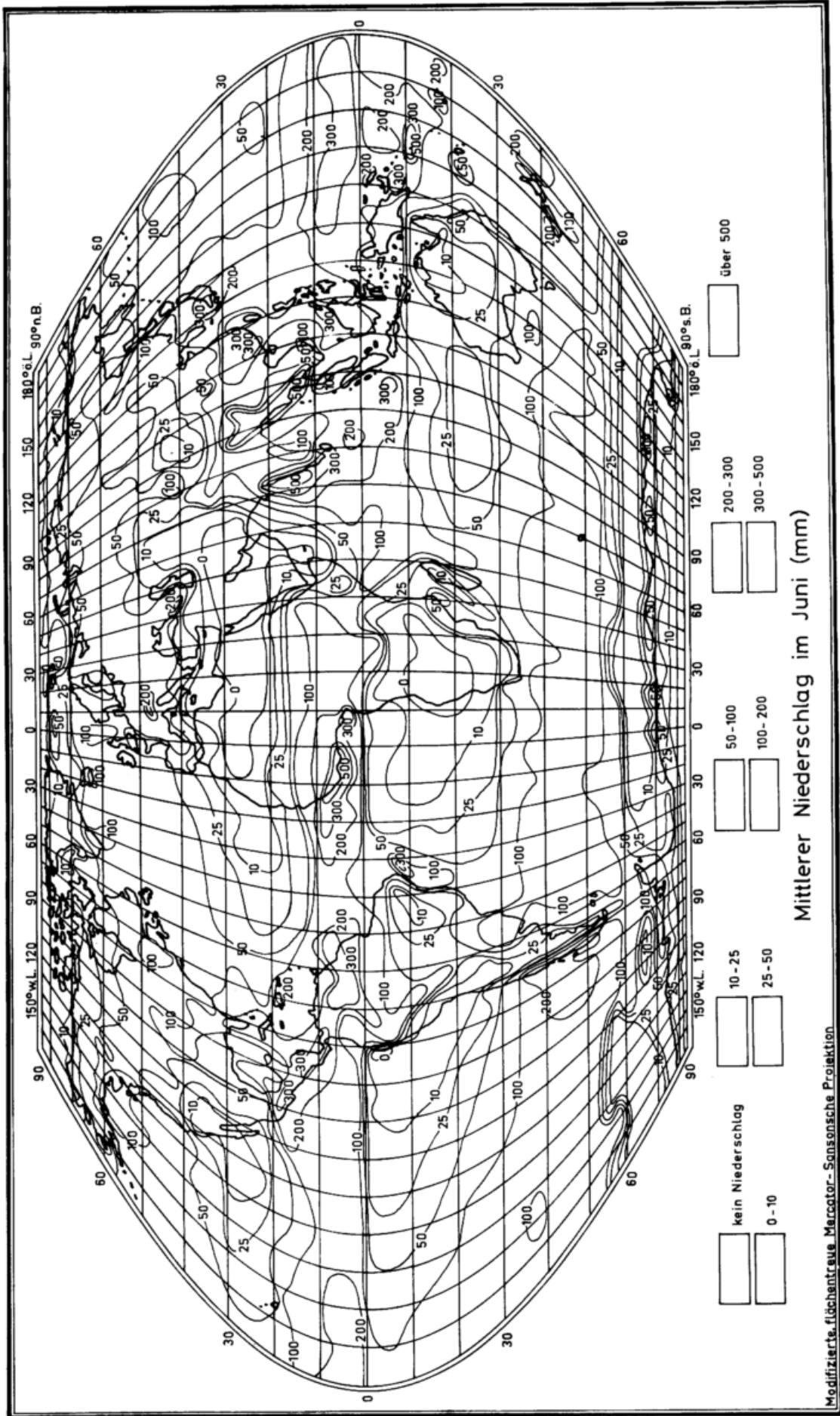




Mittlerer Niederschlag im Mai (mm)

Modifizierte flächentreue Mercator-Sanson'sche Projektion

Abb. 13



Mittlerer Niederschlag im Juni (mm)

Modifizierte, flächentreue Mercator- Sansonsche Projektion

Abb. 14



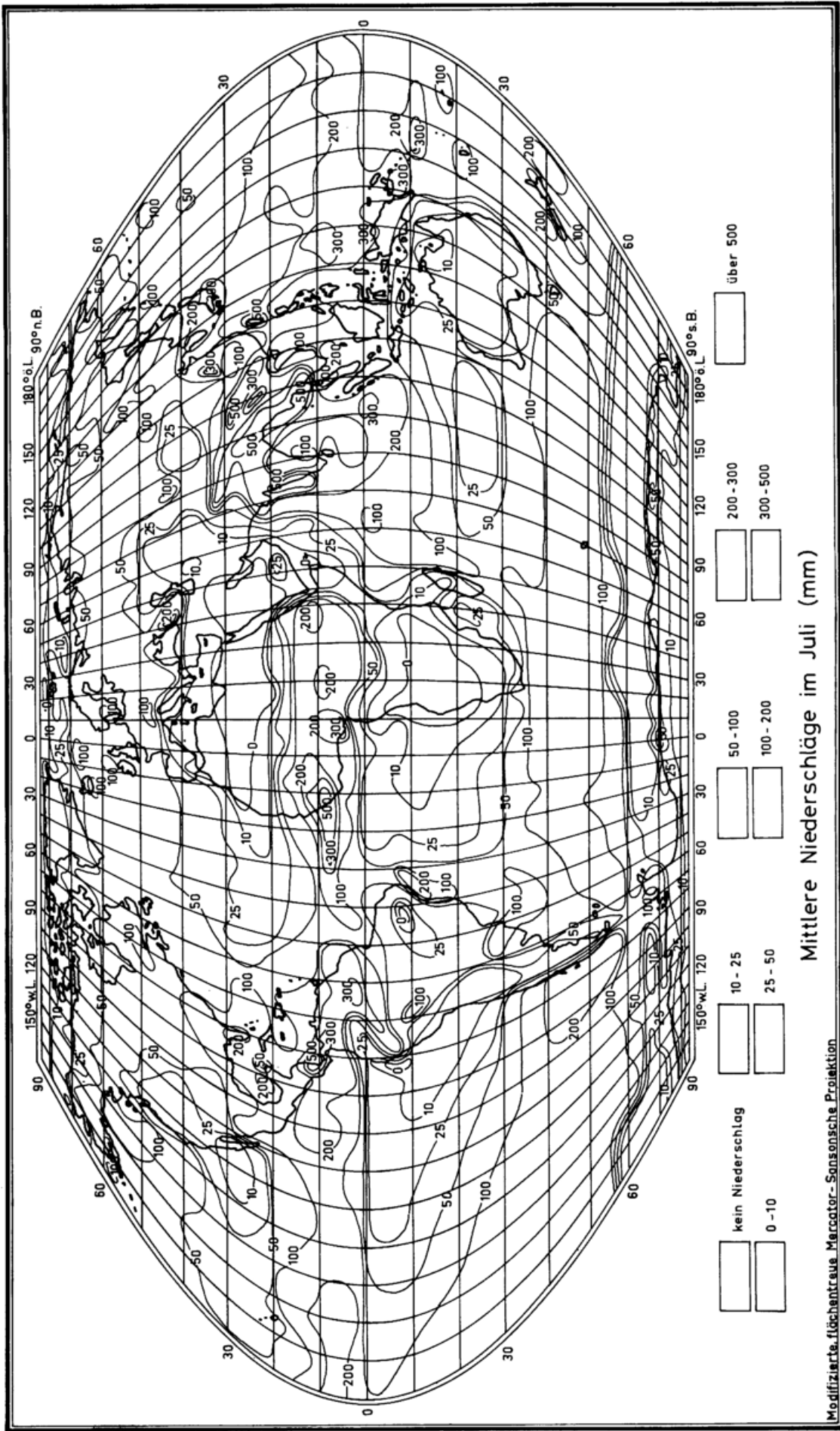


Abb. 15



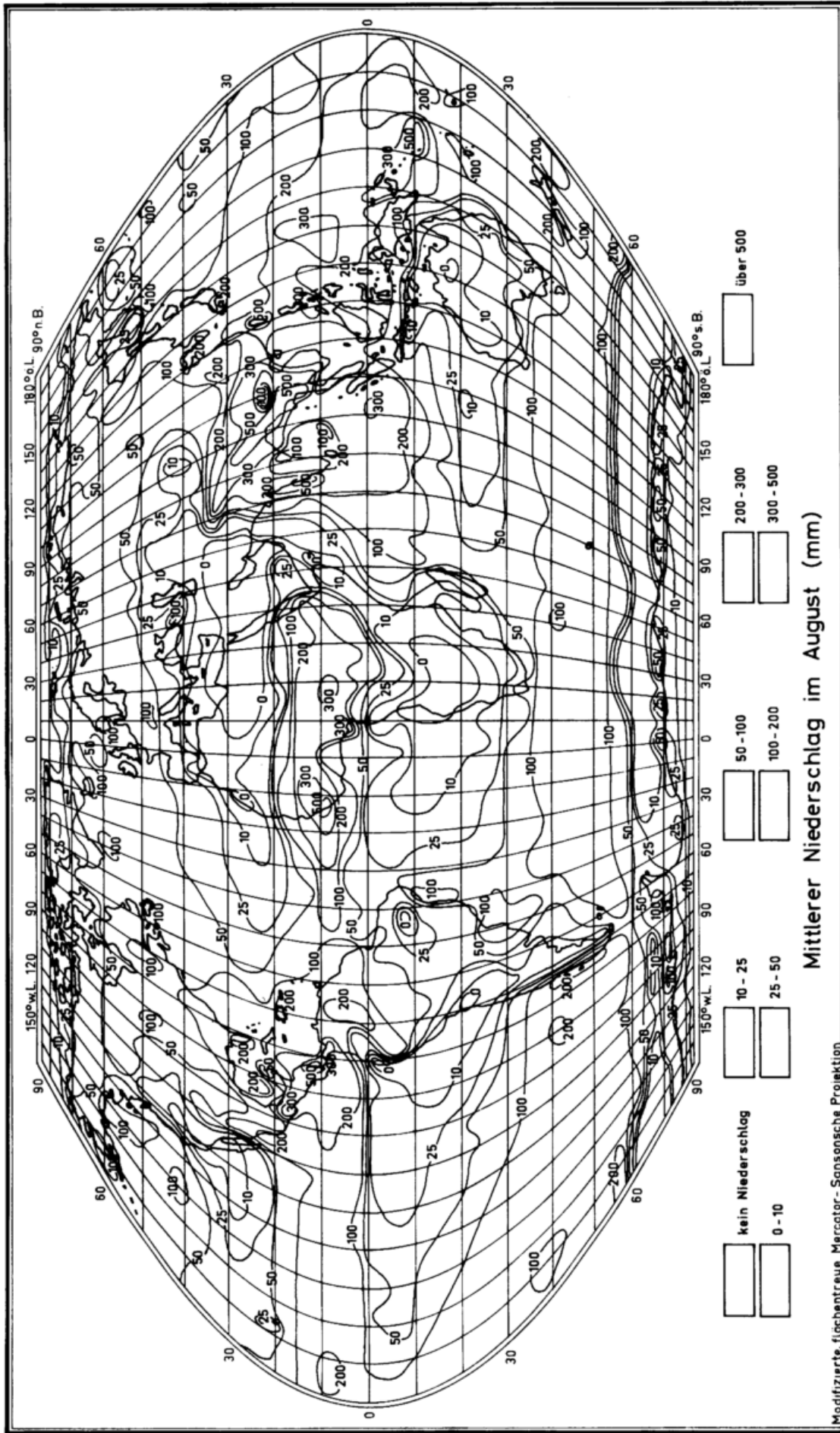
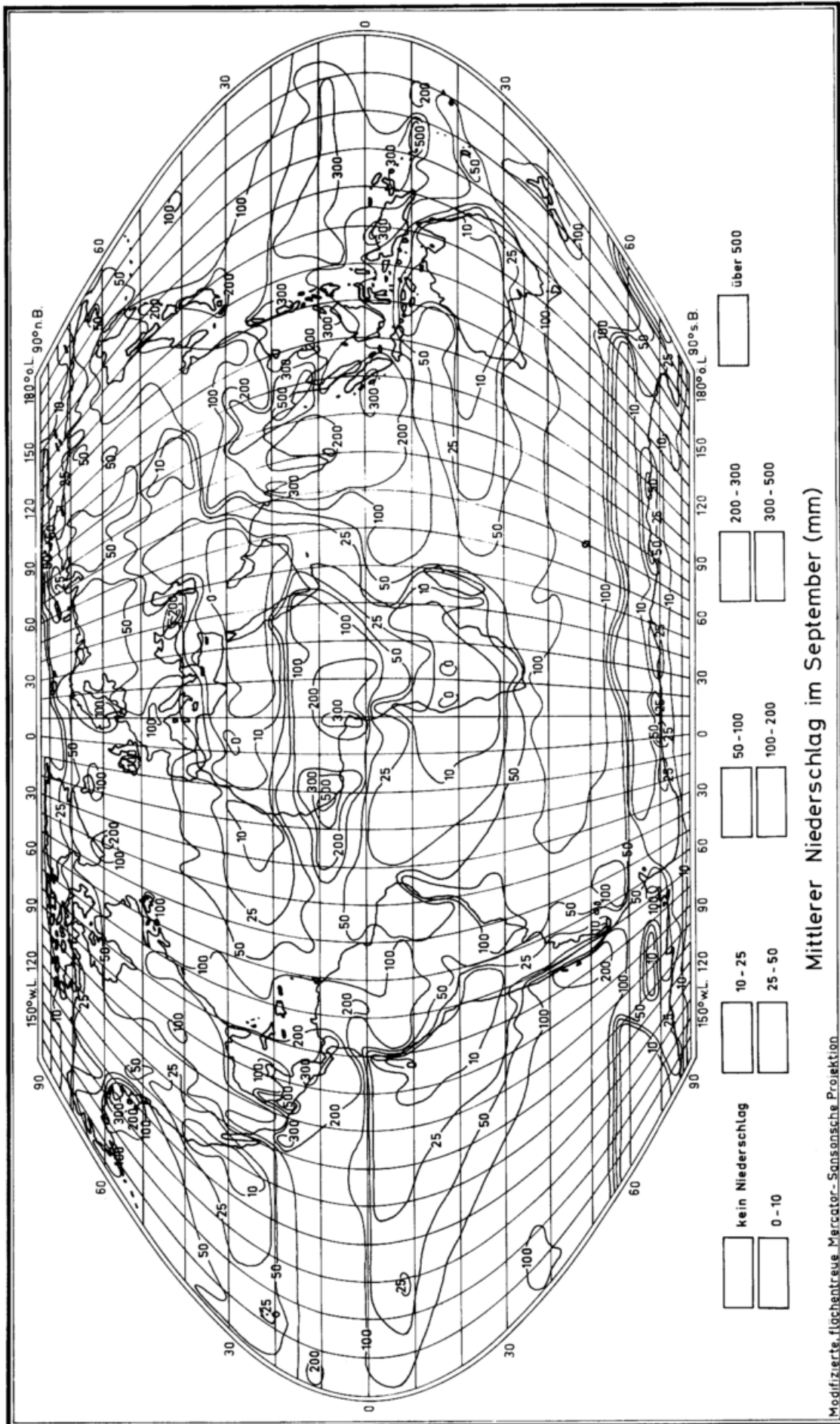
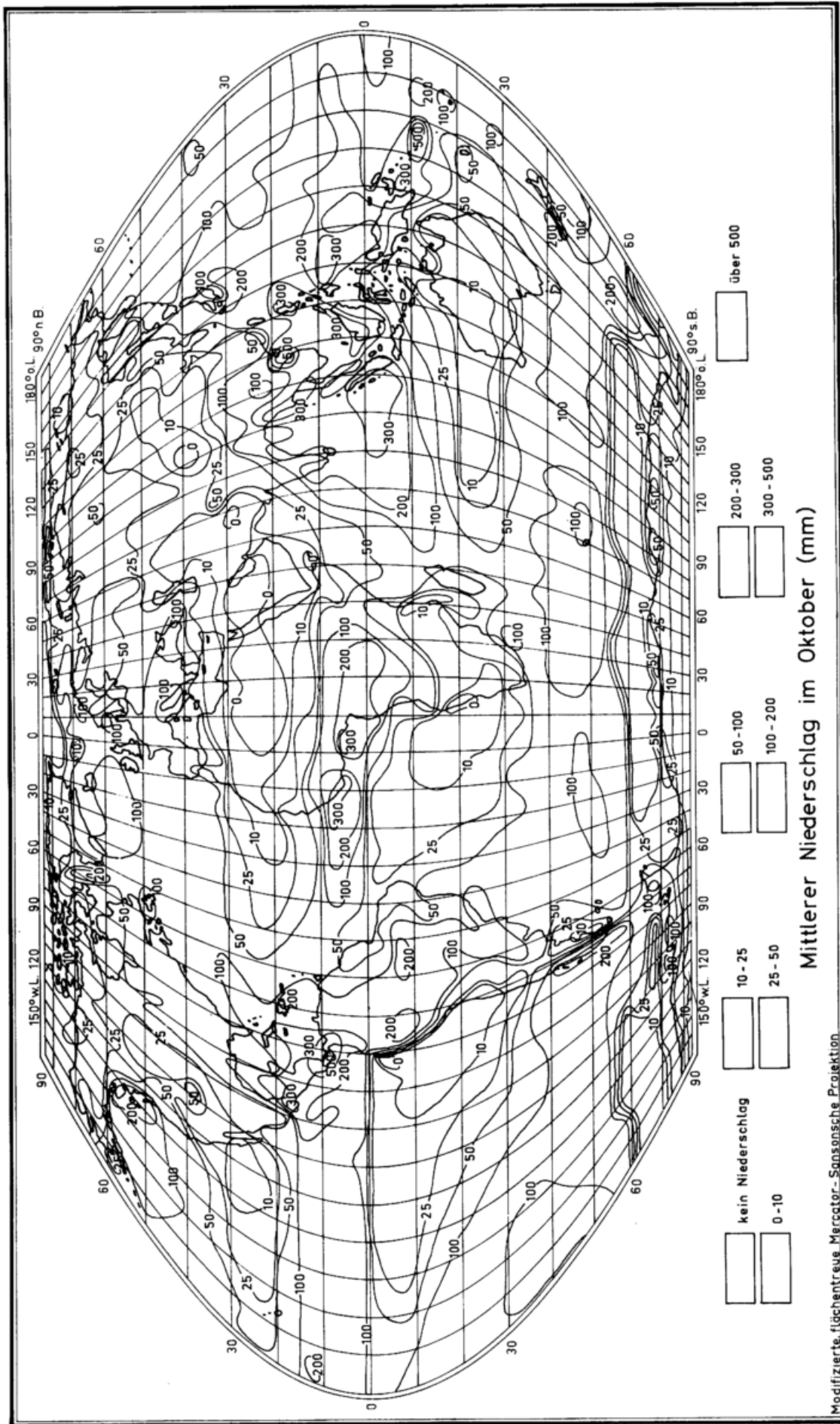


Abb. 16



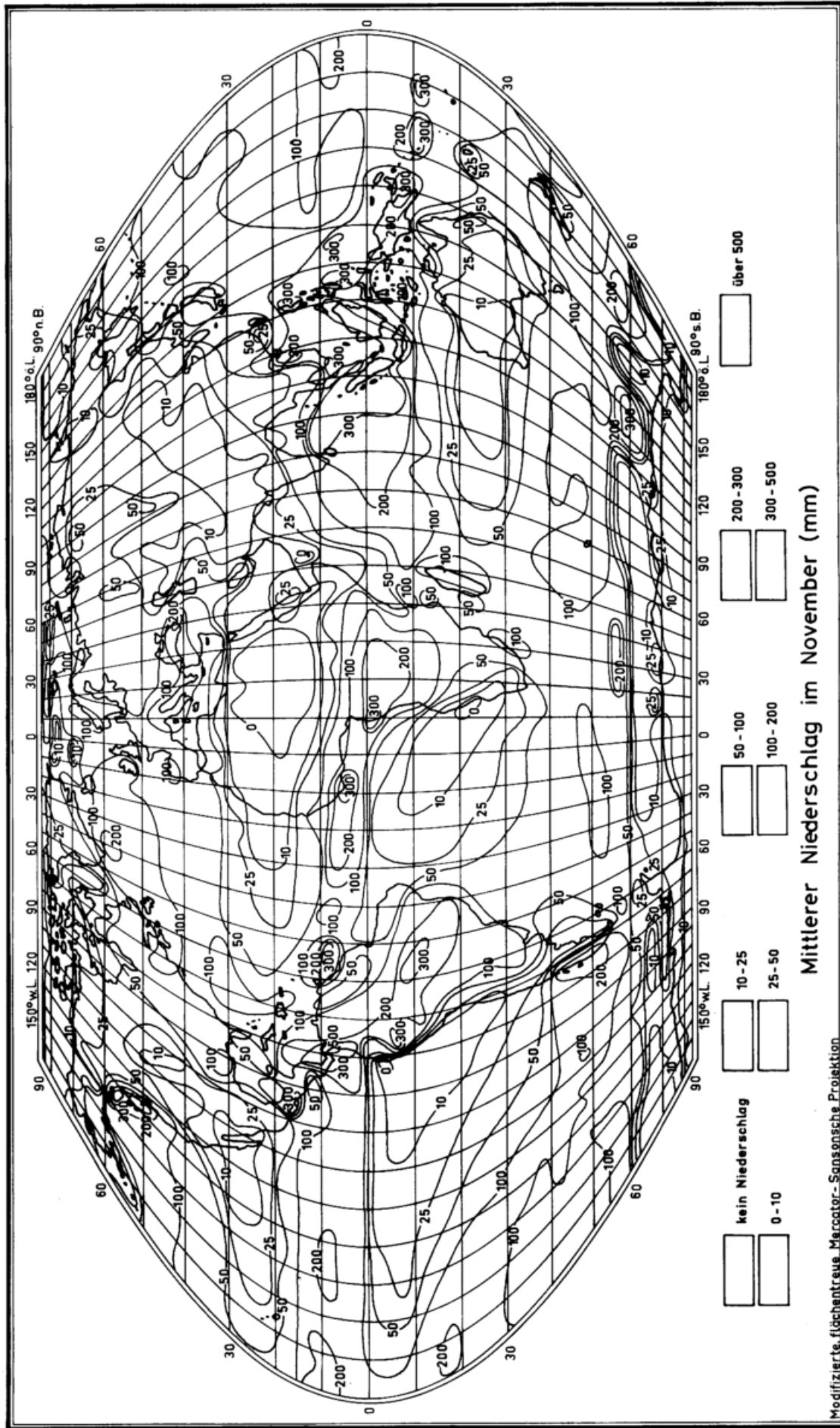
Mittlerer Niederschlag im September (mm)

Modifizierte, flächentreue Mercator-Sansonische Projektion



Modifizierte, flächentreue Mercator-Sansonische Projektion

Mittlerer Niederschlag im Oktober (mm)



Mittlerer Niederschlag im November (mm)

Modifizierte, flächentreue Mercator- Sansonsche Projektion.

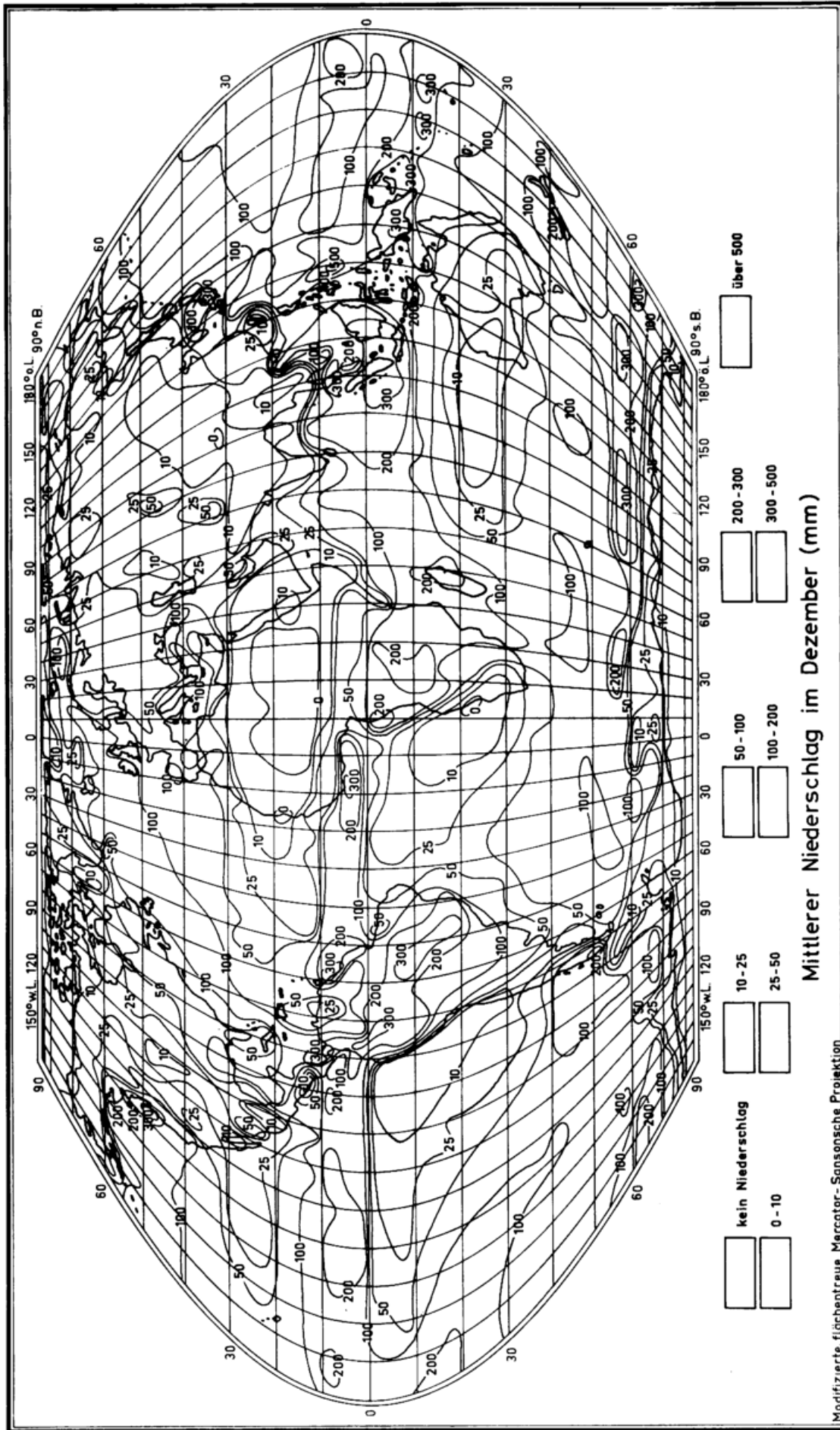
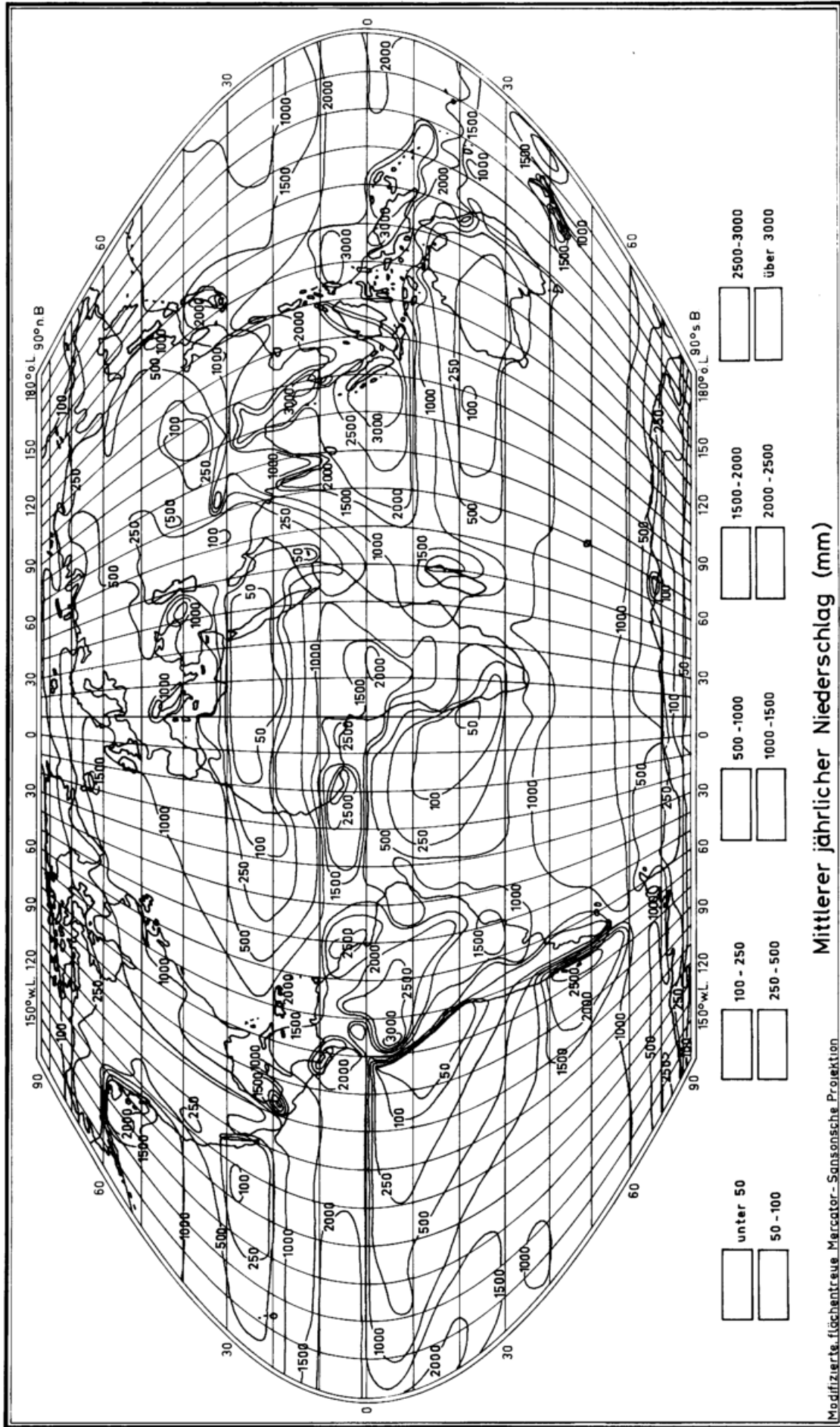


Abb. 20





Mittlerer jährlicher Niederschlag (mm)

Modifizierte, flächentreue Mercator-Sansonische Projektion

Abb. 21

