

**Berichte**  
des  
**Deutschen Wetterdienstes**

**Nr. 79**  
(Band 11)

DK 551.52 + 551.57

**Der jährliche Gang der Komponenten  
des Wärme- und Wasserhaushaltes der Ozeane**

von

**Fritz Albrecht**

(mit 46 Abbildungen und 10 Tabellen im Text)

Offenbach a. M. 1961  
Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

## Inhalt

	Seite
Zusammenfassung .....	3
Abstract .....	3
Einleitung .....	3
1. Das Verfahren der Integrierung .....	3
2. Die Bestimmung der einzelnen Elemente .....	4
2.1. Die Strahlungsbilanz S .....	4
2.2. Die Verdunstung V .....	7
2.3. Der Wärmeumsatz der fühlbaren Wärme L .....	9
2.4. Das Verhältnis $\frac{\text{fühlbare Wärme}}{\text{Verdunstung}}$ .....	10
2.5. Der Wärmeumsatz W an der Ozeanoberfläche .....	13
3. Der Wärmehaushalt der Ozeane .....	14
3.1. Wärmehaushaltsdiagramme charakteristischer 10 <sup>0</sup> -Zonen der Ozeane .....	14
3.2. Das Norpolargebiet .....	18
4. Der Wasserhaushalt der Ozeane .....	21
4.1. Der Niederschlag N .....	21
4.2. Wasserhaushaltsdiagramme der Ozeane .....	22
Literatur .....	24

Anschrift des Verfassers:

Dr. habil. F. Albrecht, Schramberg-Sulgen, Haldenhof 7

### Zusammenfassung

Es werden Tabellen der Elemente des Wärme- und Wasserhaushaltes (Strahlungsbilanz S, Verdunstung V, Umsatz der fühlbaren Wärme L, Wärmeumsatz W durch die Meeresoberfläche und Niederschlag N) für jede der 10°-Breitenzonen der einzelnen Ozeane für die sechs Monate Februar, April, Juni, August, Oktober und Dezember veröffentlicht. Für ausgewählte 10°-Zonen werden die Jahresgänge einzelner Elemente des Wärme- und Wasserhaushaltes bzw. die Diagramme des Wärmehaushaltes gezeichnet.

Einige wichtige Ergebnisse sind: Nachweis des allgemeinen Wintermaximums der Verdunstung V, paralleler Jahresgang zwischen V und L, sowie zwischen S und W. Am Schluß wird versucht, für jeden einzelnen betrachteten Monat eine Tabelle des Wasserhaushaltes der Ozeane zu geben mit der jeweiligen Verteilung der Destillationswege von Ozean zu Ozean und von den Ozeanen zu den Kontinenten.

### Abstract

The data published in this paper represent the integral values of the heat- and water balance for each of the 10°-zones of latitude of the different oceans in the months February, April, June, August, October and December. They comprise the quantities: radiation balance S, evaporation V, transfer of the sensible heat water to air L, heat balance W of the ocean surface, precipitation N, and evaporation minus precipitation (water balance) V—N.

Annual variations of all quantities mentioned above have been plotted and discussed for a number of selected 10°-zones of latitude. The general existence of the winter maximum of the evaporation is dealt with as well as the largely parallel annual variations between V and L and between S and W. Diagrams of the heat balance have been plotted for different 10°-zones of latitude.

Finally, a table of the water balance is given separately for each month with the hypothetical distribution of the distillation paths from ocean to ocean and from oceans to continents.

### Einleitung

In einer vor einem Jahr erschienenen Arbeit (1) legte der Verfasser die Jahreskarten des Wärme- und Wasserhaushaltes der Ozeane vor. Behandelt wurden damals ausschließlich die Jahreskarten der Strahlungsbilanz S, der Verdunstung V, des Wärmeumsatzes an der Ozeanoberfläche W und die Karte der Jahressumme der Niederschläge N. Die Karten waren ermittelt worden als Summe der sechs Monatskarten für Februar, April, Juni, August, Oktober und Dezember für jedes einzelne der Elemente und durch Verdoppelung der Zahlen aus den Summenkarten.

Auf Vorschlag von Herrn Professor H. Flohn vom Deutschen Wetterdienst unternahm der Verfasser die Integrierung der einzelnen Monatskarten für die einzelnen 10°-Breitenzonen der Ozeane. Die sich daraus ergebenden Tabellen sind in dieser Arbeit wiedergegeben und diskutiert.

#### 1. Das Verfahren der Integrierung

Um eine möglichst einfache zonenweise Integrierung vornehmen zu können, waren alle Karten von vorn-

herein in der sogenannten Merkator-Sanson-Projektion dargestellt. Diese Projektion hat geradlinige horizontale Parallelkreise und Sinuskurven, die durch die Pole gehen, als Meridiane. Die Abbildung der Erde ist bei dieser Projektion flächentreu.

Die Größe der Areale der Zonen zwischen je zwei 10°-Parallelkreisen, die für die Berechnungen benutzt werden, ist aus der hier wiedergegebenen Areal-Zusammenstellung (Tabelle 1) zu ersehen. Sie wurde aus der für die Eintragung der Isolinien benutzten Weltkarte entnommen. Ein Vergleich dieser Areal-Zusammenstellung mit den entsprechend umgerechneten Zahlen der Areal-Zusammenstellung, die E. Kossinna 1921 berechnete und 1953 ergänzte (veröffentlicht von G. Wüst, W. Brogmus und E. Noodt in Kieler Meeresforsch. 10, 137, 1954) zeigten mittlere Abweichungen von weniger als  $\pm 0.1 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ .

Bei dem Vergleich mußte berücksichtigt werden, daß die Grenze zwischen Indik und Pazifik im südlichen Eismeer bei Kossinna etwas anders lag als vom Verfasser angenommen wurde.

Außerdem wurden in der vorliegenden Areal-Zusammenstellung die Meeresteile zwischen 70° n. Br.

Tab. 1  
Areal-Zusammenstellung in 10<sup>6</sup>·km<sup>2</sup>

Zone	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weltmeer
80—90° n. Br.	3.52				3.52
70—80°	8.96				8.96
60—70°	4.10		0.22	0.81	5.13
50—60°	5.40		2.56	3.16	11.12
40—50°	6.59		3.93	4.51	15.03
30—40°	9.19		5.21	6.15	20.55
20—30°	8.76	1.14	7.25	7.88	25.03
10—20°	8.09	5.27	8.55	10.02	31.93
0—10° n. Br.	6.88	6.20	8.69	12.14	33.94
0—10° s. Br.	6.47	7.94	7.31	12.28	33.96
10—20°	6.25	10.02	4.78	12.43	33.48
20—30°	6.87	8.76	3.21	12.00	30.84
30—40°	7.48	10.92	3.14	10.56	32.10
40—50°	7.36	10.43	3.21	9.15	30.15
50—60°	6.35	8.50	2.85	7.60	25.30
60—70°	4.41	4.53	2.00	5.77	16.71
70—80° s. Br.	1.01		0.48	1.44	2.93
Grenzen im Südlichen Eismeer	70° w. L.	20° ö. L.	140° ö. L.	180° L.	70° w. L.

und der Nordküste von Eurasien zu der Zone von 70—80° n. Br., also zum Nördlichen Eismeer gerechnet, wozu sie wärmehaushaltsmäßig gehören. Aus dem gleichen Grunde wurde auch im Indik der Teil des Roten Meeres nördlich von 20° n. Br. zu der Zone von 10—20° n. Br. gerechnet.

Die Integration erfolgte nun in der Weise, daß die Länge einer einzelnen Zone zwischen zwei 10°-Parallelkreisen durch senkrechte Striche auf die den Parallelkreisen entsprechenden Geraden in eine Anzahl von Abschnitten eingeteilt wurde, die flächenmäßig dem Anteil der betreffenden Isolinien an der Gesamtfläche der Zone entsprechen. Die Aufteilung zweier Zonen nach diesem Verfahren ist in Abb. 1 dargestellt. Das

Division durch die Gesamtlänge der Zone wurde die mittlere Intensität der betreffenden Zone errechnet, aus der dann das Gesamtintegral für die Zone bestimmt wurde. Das Verfahren läßt sich, mit einer Aufteilung des zu behandelnden Gebietes in mehrere Einzelteile, auch auf kompliziertere Formen von Isolinien anwenden. Es hat vor anderen Planimetrierungsverfahren den Vorteil, daß es bei ihm lediglich auf die Erfassung der Gleichheit zweier Flächen zu beiden Seiten des die Isolinie in dem Zonenabbild darstellenden Grenzstriches ankommt, die bei einiger Übung recht genau erfolgen kann. Vielfache Mehrfachauswertungen einiger Gebiete mit komplizierter Führung der Isolinien führten stets auf das gleiche Ergebnis.

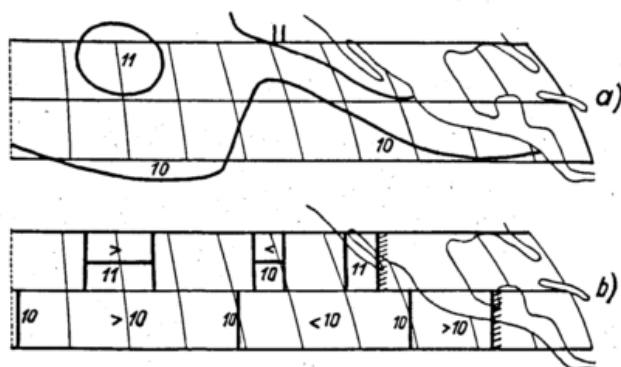


Abb. 1  
Beispiel für die Integration,  
a) die originalen Isolinien  
b) die entsprechende Aufteilung der 10°-Zonen

Beispiel ist der Juni-Karte des Pazifik-Ost zwischen 10° und 30° n. Br. entnommen.

Die einzelnen Längenabschnitte wurden aus der Karte abgenommen und tabellenmäßig eingetragen. Sie wurden alsdann mit Gewichten belegt, die der Intensität des durch die Isolinien an dieser Stelle dargestellten Elements entsprachen. Durch die Summierung dieser Produkte aus Einzellängen und Intensitäten und

## 2. Die Bestimmung der einzelnen Elemente

Über das Verfahren zur Bestimmung der einzelnen Elemente des Wärme- und Wasserhaushaltes ist in der eingangs erwähnten Arbeit (1) bereits alles Erforderliche gesagt, so daß hier auf die dortigen Ausführungen verwiesen werden kann.

### 2.1. Die Strahlungsbilanz S

In Tabelle 2 ist der jährliche Gang der Strahlungsbilanz der Ozeane für jeden Ozean und jede 10°-Breitenzone gesondert zusammengestellt. Zu einem Überblick über die Ergebnisse der Auswertung dienen die Abbildungen 2—4. Diese Diagramme geben den jährlichen Gang der Strahlungsbilanz, der auch durch die Bewölkungsänderungen und Änderungen der Ausstrahlungsverhältnisse erfahrungsgemäß nur wenig gestört wird. Die verschiedene jährliche Amplitude der Werte auf gleichen Nord- und Südbreiten ist durch die Verschiedenheit der meridionalen Erstreckung der Ozeane in den verschiedenen Breiten bedingt. Für eine Reihe von Betrachtungen wäre natürlich die Reduktion auf die Flächeneinheit, die ebenfalls tabellarisch festgehalten wurde, richtiger gewesen. Um die Arbeit

Tab. 2  
Strahlungsbilanz S der Ozeane in 10<sup>18</sup> kcal  
Mon.

Breite	Februar					April					Juni					August					Oktober					Dezember					Jahr				
	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer					
90° N	-9				-9	-3				7	4				4	-2				-2	-9					-9	-24				-24				
80°	-14				-14	4				18	17				17	-1				-1	-18					-18	12				12				
70°	-19	0	0		-19	13	0	1	14	44		1	4	49	28		0	2	30	-9					-21	74		2	10	86					
60°	-10	0	0		-10	26	13	19	58	52		25	34	111	36		15	23	74	-1		0	-1	-10	-20		0	-1	-21	174					
50°	8		5	7	20	48	28	36	112	75		39	52	166	57		31	41	129	13		7	3	1	-16		-8	-8	-32	174					
40°	23		17	21	61	82	50	50	182	111		62	65	238	94		54	57	205	40		20	27	87	5		-4	6	7	710					
30°	48	9	34	43	134	88	15	70	75	248	99	16	73	83	271	88	15	73	79	255	58	12	43	52	164	30	6	18	24	78	822				
20°	59	42	63	75	239	82	56	85	102	325	83	53	84	108	328	81	51	86	102	320	67	47	67	87	268	47	30	46	59	182	838				
10°	63	63	79	111	316	66	68	85	126	345	64	58	76	114	312	65	64	82	116	327	69	61	81	121	332	50	42	70	100	262	754				
0°	63	95	74	125	357	59	74	69	116	318	47	55	55	93	250	56	69	64	102	291	66	78	79	125	348	58	78	73	119	328	698				
10°	64	108	49	128	349	47	75	37	101	260	31	50	25	71	177	44	72	32	97	245	62	105	50	122	339	65	106	51	130	352	626				
20°	66	95	31	129	321	39	51	17	77	184	18	22	8	41	89	36	43	14	54	147	63	91	30	117	301	86	102	35	144	367	616				
30°	77	112	30	106	325	29	42	11	42	124	5	9	2	8	24	27	27	8	31	93	71	100	27	93	291	95	139	37	131	402	608				
40°	73	99	26	86	284	15	21	5	18	59	-6	-9	-5	-9	-29	12	10	1	8	31	63	83	23	71	239	95	122	34	112	363	504				
50°	51	66	21	63	201	-2	4	0	5	7	-16	-18	-7	-17	-58	-5	-8	-3	-5	-21	43	51	17	49	160	74	88	29	86	277	290				
60°	21	20	13	30	84	-6	-4	-3	-6	-19	-13	-9	-6	-16	-44	-12	-7	-4	-9	-32	6	5	6	14	31	25	17	13	29	84	42				
70°	3		1	3	7	-3		-1	-4	-8	-4	-1	-5	-10	-4		-1	-5	-10	1		0	1	2	3		1	3	7						
80° S																																			
Summe	567	709	444	927	2647	584	402	466	758	2210	615	227	431	626	1899	624	336	452	693	2105	609	633	448	892	2582	563	730	387	930	2611	7124				

Tab. 3  
Verdunstung V der Ozeane in 10<sup>18</sup> km<sup>3</sup>  
Mon.

Breite	Februar					April					Juni					August					Oktober					Dezember					Jahr				
	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer					
90° N	0				0	0				0	0				0	0				0	0					0	0				0				
80°	11				11	14				14	11				11	10				10	14					14	13				13	146			
70°	21		0	2	23	14				15	11		1	1	13	12				13	23					2	2	34	226		2	18	246		
60°	43		8	14	65	24				37	18		2	6	26	28				2	3	33	41		6	10	57	47		12	20	79	402		
50°	61		20	32	113	38				75	34		4	12	50	47				8	16	71	76		33	31	140	67		42	48	157	646		
40°	127		71	52	250	102				47	42	191	87		18	32	137	89		39	39	167	137		102	62	301	148		104	75	327	1380		
30°	122	12	106	83	323	110	13	74	97	294	107	13	46	73	239	96	12	105	78	291	120	12	119	89	340	136	15	140	94	385	1382	154	1180		
20°	129	61	129	118	437	111	51	104	143	409	110	76	99	122	407	94	62	93	118	367	92	59	106	104	361	120	77	132	125	454	1312	772	1326	1460	
10°	87	81	115	114	397	87	80	97	101	365	72	139	117	126	454	75	104	93	124	396	73	91	96	120	380	84	90	89	113	376	956	1170			
0°	63	103	86	116	368	82	123	73	103	381	90	167	101	141	499	83	125	98	149	455	84	125	81	133	423	77	96	90	129	392	958	1478			
10°	75	158	55	144	432	93	160	63	153	469	99	181	82	174	536	84	153	71	169	477	85	138	51	134	408	66	139	51	155	411	1004	1858			
20°	91	123	37	116	367	102	140	50	136	428	100	162	33	167	482	75	137	42	148	402	74	113	33	124	344	84	98	31	128	341	1052	1546			
30°	70	116	38	89	313	130	133	42	109	414	107	133	49	122	411	62	103	31	108	304	61	94	26	92	273	70	53	21	76	220	1000	1284			
40°	51	48	29	51	179	67	86	35	72	260	53	68	42	86	249	20	68	35	76	199	10	41	14	61	126	29	33	7	35	104	460	688			
50°	7	26	11	12	56	27	37	23	39	126	31	39	26	42	138	22	33	25	43	123	7	22	6	37	72	4	9	4	14	31	196	332			
60°	2	9	3	13	27	5	13	7	24	49	7	13	8	20	48	1	20	11	13	45	1	6	1	10	18	0	1	0	2	3	32	124			
70°	0		0	1	1	0				3	3		2	2	4	0				1	2	3	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0		
80° S																																			
Summe	960	737	708	957	3362	1006	836	633	1058	3533	937	991	650	1126	3704	798	817	654	1087	3356	898	701	674	1009	3282	977	611	723	1016	3327	11152	9386			

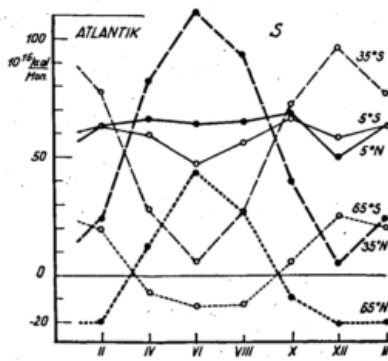


Abb. 2  
Der jährliche Gang der Strahlungsbilanz S verschiedener 10°-Zonen im Atlantik

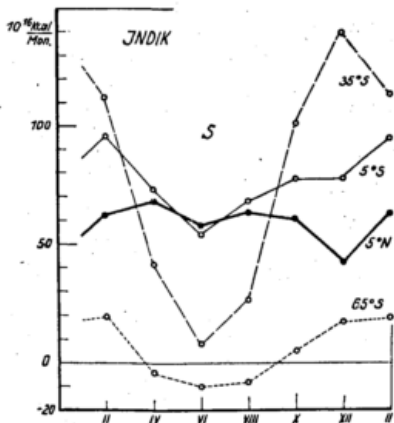


Abb. 3  
Der jährliche Gang der Strahlungsbilanz S verschiedener 10°-Zonen im Indik

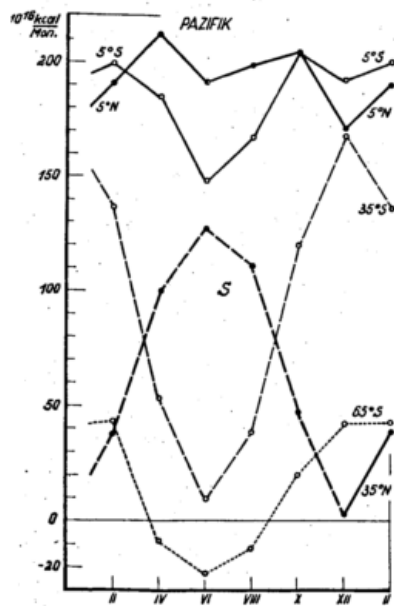


Abb. 4  
Der jährliche Gang der Strahlungsbilanz S verschiedener 10°-Zonen im Pazifik

aber nicht mit zu vielem Zahlenmaterial zu überlasten, wurden hier nur die einzelnen Zonen von je 10° Breite wiedergegeben.

In den letzten Spalten der Tabelle 2 sind die Jahresmittel der Strahlungsbilanz für die 10°-Zonen der Ozeane aufgeführt. Sie müssen natürlich mit den für S in der Tabelle 5 der vorigen Arbeit (1) angegebenen

Zahlenwerten übereinstimmen. Infolge von Aufrundungen der ursprünglich mit einer weiteren Stelle berechneten Zahlen der Strahlungsbilanzen weichen die neuen Zahlen, die als endgültig zu betrachten sind, bis zur Größe eines Prozentes gelegentlich von den früheren ab. In dem Polargebiet von 70—90° n. Br. wurde eine Neuberechnung ausgeführt, die zu etwas anderen Zahlen als die ursprünglich angenommenen führte.

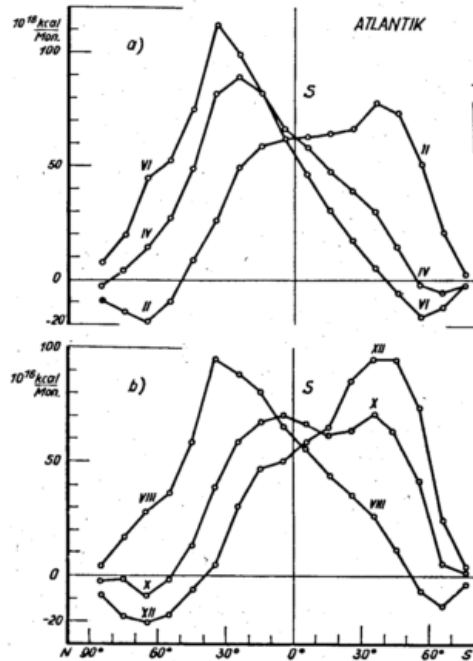


Abb. 5  
Die Verteilung der Strahlungsbilanz S auf die 10°-Zonen des Atlantik  
a) im Februar, April und Juni  
b) im August, Oktober und Dezember

In Abb. 5 ist für den Atlantik die Verteilung der Strahlungsbilanz für jeden einzelnen Monat in Abhängigkeit von der Breite dargestellt. Die Verteilung von Wärmeaufnahme und -abgabe ist dabei natürlich auch von der Küstenkonfiguration beeinflusst. So ist die große Wärmeaufnahme auch im Nordwinter für das Gebiet um 15° n. Br. z. B. durch die große Erstreckung des Atlantik in Richtung der Länge mitbedingt.

## 2.2. Die Verdunstung V

In Tabelle 3 sind die Zahlen der Verdunstung der 10°-Zonen in 10 km<sup>3</sup>/Mon. als Einheit zusammengestellt. Bei diesem Element des Wärme- und Wasserhaushaltes erscheint zunächst die Nachprüfung der Frage wichtig, in welchen Grenzen die vom Verfasser festgestellte Gesetzmäßigkeit (2), daß die Verdunstung der Ozeane im Herbst und im Winter ein Maximum hat, über die Erdoberfläche hin gültig ist. Für eine summarische Prüfung des Gesetzes wurden für den Atlantik und Pazifik die Verdunstungen von 10—70° n. Br. und 10—70° s. Br. für jeden einzelnen Monat zusammengezählt. Das Ergebnis gibt die erste Reihe von Tabelle 4 wieder.

Die Zahlen dieser Tabelle sind in Abb. 6 dargestellt. Man erkennt für die beiden Zahlenreihen unter V einen ausgeprägten jährlichen Gang mit einem Maximum im Winter und einem Minimum im Sommer, der auf der Abbildung durch die Gegenläufigkeit der beiden Kurven besonders sinnfällig zum Ausdruck kommt. Die Zahlen des Indischen Ozeans konnten hierbei nicht mit verwendet werden, weil dieser Ozean überwiegend auf der südlichen Erdhälfte liegt, bei Mitbenutzung seiner Werte also die Symmetrie gestört worden wäre.

Tab. 4  
Atlantik und Pazifik

		Februar	April	Juni	August	Oktober	Dezember	
V	10° — 70° n. Br.	1144	957	781	867	1151	1346	10 $\frac{\text{km}^3}{\text{Mon.}}$
	10° — 70° s. Br.	891	1177	1267	1036	826	780	$\frac{\text{km}^3}{\text{Mon.}}$
L	10° — 70° n. Br.	171	72	15	—6	108	244	10 <sup>16</sup> $\frac{\text{kcal}}{\text{Mon.}}$
	10° — 70° s. Br.	46	111	207	178	52	35	$\frac{\text{kcal}}{\text{Mon.}}$
$\frac{L}{V}$	10° — 70° n. Br.	25.0	16.8	3.2	—1.2	15.7	30.4	%
	10° — 70° s. Br.	8.6	15.9	27.4	28.7	10.5	7.5	%
N	10° — 70° n. Br.	735	682	826	856	968	831	10 $\frac{\text{km}^3}{\text{Mon.}}$
	10° — 70° s. Br.	1060	1064	1078	987	920	931	$\frac{\text{km}^3}{\text{Mon.}}$

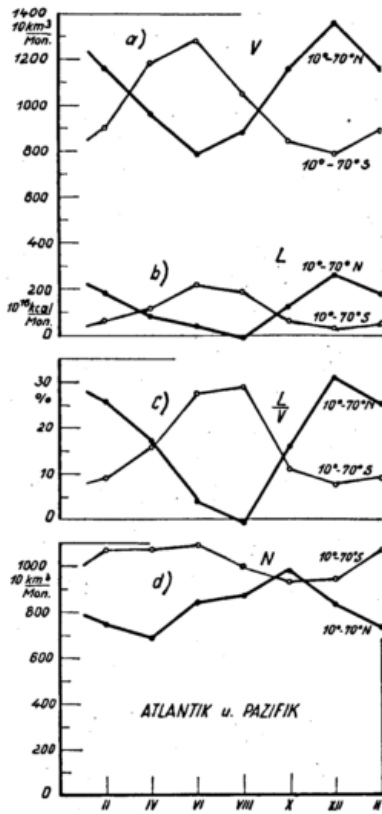


Abb. 6  
Der jährliche Gang von  
a) Verdunstung V  
b) Wärmeumsatz der fühlbaren Wärme L  
c) Verhältnis  $\frac{L}{V}$   
d) Niederschlag N  
in den Zonen 10° — 70° n. Br. und 10° — 70° s. Br.  
für Atlantik und Pazifik

Die Zahlenwerte des Indischen Ozeans sind für die Breitenzonen 0° — 10° (5°) n. Br. und s. Br., 20° — 30° (25°) s. Br. und 50° — 60° (55°) s. Br. in Abb. 7 wiedergegeben. Man erkennt für 25° und 55° s. Br. klar das starke Wintermaximum. Für das Äquatorgebiet zwischen 10° n. Br. und 10° s. Br. ist dagegen der Jahresgang der Verdunstung parallel und von südlichem Typus. Dies hängt anscheinend mit der Monsunzirkulation zusammen.

Auch der Jahresgang der Verdunstung in der Tropenzone des Pazifik, der in Abb. 8 dargestellt ist, zeigt einen weitgehend parallelen Gang des Streifens unmittelbar nördlich und südlich des Äquators mit einem Maximum im Nordsommer, dem allerdings im nördlichen Frühjahr das Jahresminimum unmittelbar vorangeht. Übrigens zeigt sich ein ziemlich ähnlicher Ver-

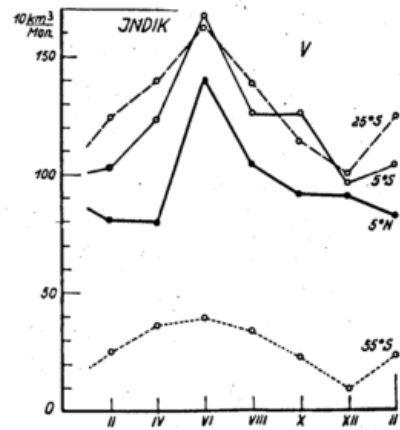


Abb. 7  
Der jährliche Gang der Verdunstung V für einige 10°-Zonen des Indik

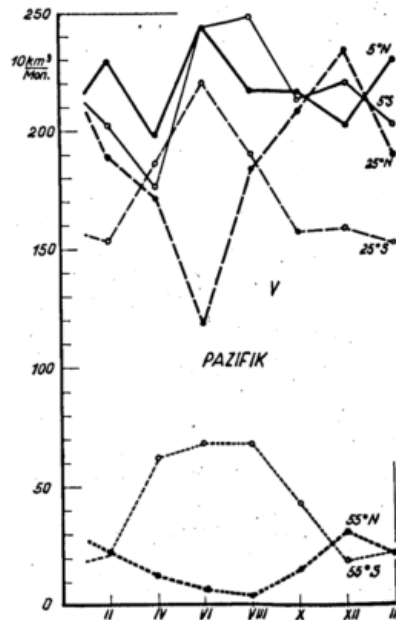


Abb. 8  
Der jährliche Gang der Verdunstung V für einige 10°-Zonen des Pazifik

lauf des Jahresganges der Verdunstung im Pazifik westlich und östlich des 180. Längengrades. Es ist daher schwierig, hier den Jahresgang mit monsunalen Vorgängen in Zusammenhang zu bringen.

Außerhalb der engeren Tropenzone ist im Pazifik der Jahresverlauf der Verdunstung auf Nord- und Südbreiten überall durchaus gegenläufig mit einem star-

ken Wintermaximum. Als Beispiel hierfür sind in Abb. 8 die Verdunstungsgänge der 10°-Zonen um 25° und 55° nördlicher und südlicher Breite aufgenommen.

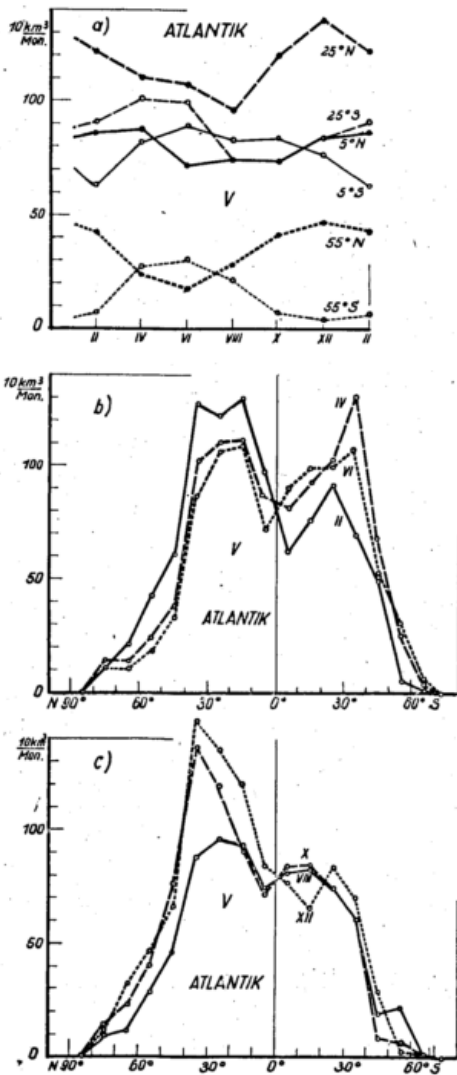


Abb. 9

- a) Der jährliche Gang der Verdunstung V für einige 10°-Zonen des Atlantik
- b) Die Verteilung der Verdunstung V auf die 10°-Zonen des Atlantik im Februar, April und Juni
- c) Die Verteilung der Verdunstung V auf die 10°-Zonen des Atlantik im August, Oktober und Dezember

Abb. 9 gibt die entsprechenden Kurven von Jahresgängen der Verdunstung über dem Atlantik wieder. Hier zeigt auch die Tropenzone in den 10°-Bändern um 5° n. Br. und 5° s. Br. einen klaren gegenläufigen Verlauf der Verdunstung mit einem Maximum im Winter. Auch in allen außertropischen Zonen tritt das Wintermaximum und der gegenläufige Jahresgang entsprechender Nord- und Südbreiten klar hervor. Hier sind als Beispiele wieder die Jahresgänge der Verdunstung der 10°-Zonen um 25° und 55° n. Br. und s. Br. in der Abbildung dargestellt.

Zusammenfassend kann gefolgert werden, daß das Herbst-Wintermaximum der Verdunstung für alle Ozeane außerhalb der unmittelbaren Äquatornähe auch für jede einzelne 10°-Zone stets erfüllt ist.

Von Bedeutung ist noch die Betrachtung des jährlichen Verlaufs der Verdunstung über den Ozeanen in meridionaler Richtung. Als Beispiel sei hier wieder, wie bei der Strahlungsbilanz, der Verlauf über den Atlantik besprochen.

Man erkennt in Abb. 9 b) und c) die starke Verdunstung in den Gebieten zwischen 20° und 40° n. Br. und

s. Br. und eine schwächere um den Äquator, während die Verdunstung nach Norden und Süden von den subtropischen Maximumgebieten naturgemäß stark abnimmt. Wie zu erwarten, ist die Verdunstung auf der Herbst- und Winterseite des Ozeans besonders groß, während das Verdunstungsmaximum auf der Sommerseite wesentlich geringer ist.

### 2.3. Der Wärmeumsatz der fühlbaren Wärme L

Die zwischen der Ozeanoberfläche und der Luft durch Konvektion umgesetzte Wärmemenge L ist bekanntlich nur ein Bruchteil (im Mittel ca. 1/6) der für die Verdunstung V verbrauchten Wärmemenge. In Tabelle 5 sind diese Wärmemengen L für die verschiedenen Monate zusammengestellt.

Die in den Abbildungen 10—13 in dem gleichen Maßstab wie die Kurven der Verdunstung V für den Wärmeumsatz der fühlbaren Wärme L gezeichneten Jahresgänge erscheinen wegen der wesentlich kleineren Zahlenwerte von L sowohl dem Absolutwert als auch den Amplituden nach als wesentlich kleiner als die Jahresgänge der Verdunstung. Dargestellt ist wieder L für 25° bzw. 35° n. Br. und s. Br. und 55° n. Br. und s. Br. in den drei Ozeanen in den Abbildungen

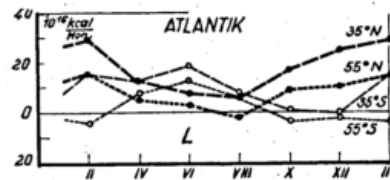


Abb. 10

Der jährliche Gang des Wärmeumsatzes der fühlbaren Wärme L für einige 10°-Zonen des Atlantik

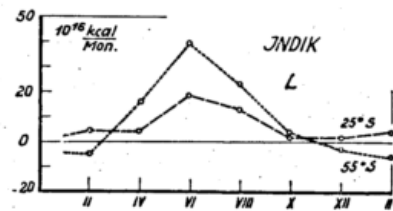


Abb. 11

Der jährliche Gang des Wärmeumsatzes der fühlbaren Wärme L für zwei 10°-Zonen des Indik

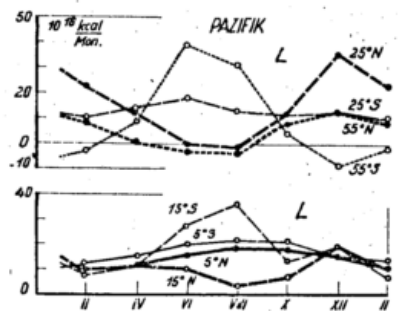


Abb. 12

Der jährliche Gang des Wärmeumsatzes der fühlbaren Wärme L für einige 10°-Zonen des Pazifik

10—12. Deutlich erkennbar sind die meist besonders kleinen Beträge mit geringer jährlicher Amplitude für die äquatornähe Gebiete mit einem schwachen Maximum im Winter. Mit zunehmender Entfernung vom Äquator nimmt bei L die Jahresamplitude bis etwa 60° Breite deutlich zu, und es tritt die gleiche Gegenläufigkeit mit einem Maximum im Winter und einem Minimum im Sommer auf, wie sie bei der Verdunstung beobachtet wurde. Besonders stark ist dies auch in den Summationskurven von 10°—70° nördlicher und südlicher Breite ausgeprägt, die für den Atlantik und

Pazifik in Abb. 6 b) — vergl. auch Tabelle 4 — wiedergegeben sind. Hierbei ist zu bemerken, daß das Maximum bei V deutlich auf den Frühwinter fällt, während es für L auf den Spätwinter zu liegen kommt. Die Jahresamplitude ist für L etwa 30% der von V, wenn man V in derselben Einheit wie L ( $10^{16} \frac{\text{kcal}}{\text{Mon.}}$ ) mißt.

Eine besondere Betrachtung verlangt noch die Verteilung von L über die Ozeane in meridionaler Richtung in den verschiedenen Monaten. Diese Verteilung

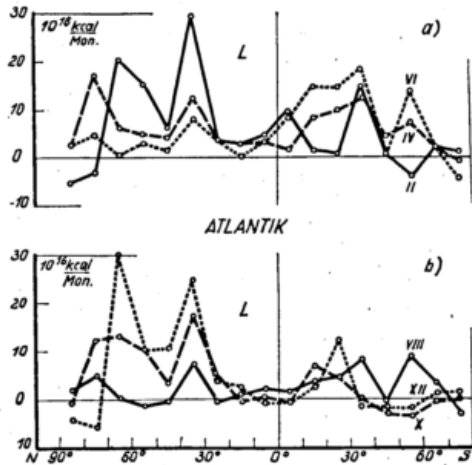


Abb. 13  
Die Verteilung des Wärmeumsatzes der fühlbaren Wärme L auf die 10°-Zonen des Atlantik  
a) im Februar, April und Juni  
b) im August, Oktober und Dezember

ist in Abb. 13 a) und b) für den Atlantik wiedergegeben, die damit der Abb. 9 für die Verdunstung entspricht. In den Nordwintermonaten Dezember und Februar zeichnet sich hier über dem Golfstrom in 35° n. Br. und 65° s. Br. eine große Wärmeabgabe an fühlbarer Wärme L ab. Im Juni verschwinden, entsprechend dem schon besprochenen jährlichen Gang, die größeren Maxima auf der Nordhalbkugel und erscheinen über dem Südatlantik von 20° — 60° s. Br., wo sie abgeschwächt noch im August auftreten. Im Oktober endlich sind die Verhältnisse des Nordwinters fast wieder hergestellt.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß L im Gegensatz zu V in den Minimumgebieten, also im Sommer, gelegentlich auch negativ werden kann. Dieser Fall tritt dann ein, wenn die Luft wärmer als das Wasser ist. Diese Zeiten sind verhältnismäßig selten, treten aber, wie Tabelle 5 zeigt, an gewissen Breiten der Ozeane sogar in der Sommierung über alle Ozeane gelegentlich auf. Man hat hier zu unterscheiden zwischen der Wirkung der winterlichen Temperaturinversionen über dem Eis in den Winterhalbjahren des Nord- und Südpols zwischen 70° und 90° n. Br. und s. Br. und der Luffterwärmung durch die Sommerwärme in den Breiten unter 70°. Für diese Sommererwärmung liegt es nahe, vom Festland her kommende Luftströmungen verantwortlich zu machen, die sich im Sommer wesentlich höher temperiert über dem kalten Ozeanwasser verschieben. Daß dies nicht der einzige Grund für eine die Wassertemperatur übersteigende Lufttemperatur ist, geht daraus hervor, daß die sommerlichen Werte mit negativem L besonders auch auf der Südhalbkugel zu beobachten sind, wo ein Übertritt warmer Festlandluft auf den Ozean wegen des Fehlens von Festlandgebieten nicht zu erwarten ist. Es muß vielmehr angenommen werden, daß der Wärmegehalt der Luft aus den zwischen 50° und 70° s. Br. besonders reichlichen Niederschlägen die Ursache für die über die Ozeantemperatur erhöhte Lufttempera-

tur bildet. Auch das bereits in der früheren Arbeit diskutierte Ablenken von Luftströmungen aus niederen Breiten in höhere Breiten (3), das vor allem auch Schott (4) betont, dürfte hier eine wichtige Rolle spielen.

Aus Tabelle 5 geht hervor, daß die Größe L häufig sehr kleine Werte hat und nur gelegentlich zu größeren Werten ansteigt. Das Maximum aller Tabellenwerte liegt im westlichen Pazifik im Dezember zwischen 30° und 40° n. Br., wo winterlich kalte Festlandluft aus Ostsibirien über den warmen subtropischen Ozean fließt. Es werden dabei  $L = 39 \cdot 10^{16} \frac{\text{kcal}}{\text{Mon.}}$  erreicht, bei einer mittleren Temperaturdifferenz zwischen Wasser und Luft von wenig mehr als 3° C.

#### 24. Das Verhältnis fühlbare Wärme Verdunstung

In Abb. 6c) und Tabelle 4 ist für die breiten Streifen von 10—70° n. Br. und s. Br. für den Atlantischen und Pazifischen Ozean auch der jährliche Gang des Verhältnisses des Wärmeumsatzes durch die fühlbare Wärme und der für die Verdunstung aufgewendeten Wärme ( $\frac{L}{V}$ ) wiedergegeben. Das Verhältnis  $\frac{L}{V}$  zeigt in dieser Abbildung den gleichen jährlichen Gang wie der Wärmeumsatz zwischen Luft und Wasser L oder die Verdunstung V. Nur sind die Maxima noch stärker nach dem Spätwinter verschoben. Im Sommer sinkt  $\frac{L}{V}$  bis auf kleine Werte herab. Der Anteil von L an der großen Winterverdunstung beträgt 30%. Dies deutet darauf hin, daß die große Winterverdunstung mindestens zu einem großen Teil auf den großen Temperaturunterschied zwischen Wasser und Luft im Winter zurückzuführen ist.

Daß auch in den Einzelfällen, nicht nur in der Summe über große Breitenzonen, ein jährlicher Gang mit einem starken Wintermaximum von  $\frac{L}{V}$  besteht, dafür seien in Abb. 14 nur zwei Beispiele gegeben, die die jährlichen Gänge der Größe  $\frac{L}{V}$  für 55° n. Br. und s. Br., genommen über das ganze Weltmeer, betreffen. Von Interesse ist auch die meridionale Verteilung der Größe  $\frac{L}{V}$  über das Weltmeer in den verschiedenen Monaten. Sie ist in Tabelle 6 zusammengestellt:

Tab. 6

$\frac{L}{V}$  für das Weltmeer in %

	II	IV	VI	VIII	X	XII	Jahr
60° n. Br.	62.9	24.6	0.7	-21.2	50.0	47.6	27.4
50°	33.6	13.1	-3.3	-11.3	15.9	46.5	15.7
40°	41.9	19.9	5.3	3.3	21.0	42.5	20.6
30°	14.4	10.2	5.3	0.6	10.2	18.6	9.9
20°	6.7	8.6	8.3	3.4	7.2	10.1	7.4
10°	7.9	7.0	11.2	10.7	13.6	8.1	9.8
0°	15.3	9.8	13.7	9.1	10.5	8.5	11.1
10°	9.2	12.7	18.8	20.4	9.7	10.9	13.6
20°	7.0	10.8	17.5	13.1	8.9	13.5	11.8
30°	13.8	17.1	26.2	24.9	9.9	-2.7	14.9
40°	5.9	14.2	26.1	31.6	20.2	-3.7	15.7
50°	-31.9	42.6	114.0	84.5	10.2	-16.0	25.6
60° s. Br.							

Tab. 5  
Der Wärmesatz der fühlbaren Wärme L in 10<sup>9</sup> kcal  
Mon.

Breite	Februar					April				Juni				August				Oktober				Dezember				Jahr										
	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer						
90° N	-5				-5	3				3	3				1	0				0	-4					-4					-4					
80°	-3				-3	7				17	5				5	12				12	-5					-5					62					
70°	21				17																					296					20					
60°	21		1	1	23	7		-1	-1	5	1				0					0	0	13	30		1	2	33	90	8	38						
50°	16		4	5	25	6		-1	1	6	3				-1					3	5	18	11		5	7	23	68	40	162						
40°	6		12	5	23	4		0	1	5	3				-4					7	5	15	11		21	12	44	54	80	432						
30°	29		25	10	64	12		4	6	22	8				-1					13	7	38	25		39	21	85	198	154	80						
20°	4		13	10	29	5		0	6	8	19	4			-5					2	7	5	20	4	4	20	15	43	46	32	72					
10°	3		5	7	3	18	3		7	2	10	22	0		10	0				2	2	2	2	8	1	8	1	5	15	3	5	8	11	27		
0°	5		4	7	2	18	3		2	6	4	15	3		11	6				1	5	7	13	26	3	7	11	11	32	0	2	12	4	18		
10°	9		10	12	2	33	2		5	10	5	22	9		10	14				3	12	9	24	2	6	10	10	28	0	3	9	8	20	44	74	
20°	1		15	3	5	24	8		17	4	7	36	14		18	10				4	6	6	8	24	3	5	3	16	27	74	150	74	160	458		
30°	1		4	2	9	16	10		4	3	11	28	15		19	6				5	13	6	8	32	5	2	2	10	19	13	1	5	9	28	98	
40°	15		2	5	8	26	12		13	5	12	42	18		23	10				7	7	23	46	1	6	2	8	17	-1	-8	2	4	-3	108		
50°	0		0	0	6	6	4		2	4	12	20	2		4	11				5	8	24	37	-2	8	-3	13	16	-1	2	4	1	-2	6	42	
60°	-3		-5	1	-3	-10	7		16	6	3	32	14		41	17				9	24	11	19	63	-2	3	3	1	5	-1	-2	-5	-3	-11	48	
70°	2		-4	2	-7	-7	3		4	-5	3	2	4		2	4				6	3	-4	0	1	0	1	-3	0	-3	-5	2	-6	-2	-4	-10	26
80° S	1		0	1	2	0			-2	-6	-8	-3			-3	-6				-12	-3															
Summe	102	29	94	57	282	106	67	50	68	289	101	142	56	109	408	45	73	50	112	280	76	45	62	85	268	92	6	115	104	317	1044	724	854	1070	3692	

Tab. 7  
Wärmesatz W an der Ozeanoberfläche in 10<sup>9</sup> kcal  
Mon.

Breite	Februar					April				Juni				August				Oktober				Dezember				Jahr											
	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer							
90° N	-5				-5	-7				-7	4				4	3				3	-1				-1	-5					-5	-22				-22	
80°	-25				-25	-20				-20	1				1	0				0	-26				-26	-30					-30	-200				-200	
70°	-53				-56	-3				0	36				2	5				3	25	-36			-39	-69				-1	-4	-74	-208			2	4
60°	-51		-9	-13	-73	6				12	12	30	38		28	30				16	23	58	-35		-9	-8	-52	-55		-20	-27	-102	-156			36	34
50°	-35		-19	-17	-71	20				21	20	61	52		41	45				28	35	92	-35		-20	-12	-67	-44		-54	-45	-143	-26			-6	52
40°	-81		-49	-19	-149	10				18	19	47	52		55	46				32	38	105	-57		-52	-16	-125	-107		-104	-59	-270	-296			-200	18
30°	-28	0	-42	-15	-85	18				7	20	10	55	31	4	50	36			16	32	83	-19	3	-35	-6	-57	-55		-7	-86	-47	-195	-44	22	-154	20
20°	-20	1	-20	3	-36	14				19	21	7	61	18	-2	24	24			12	27	30	93	11	3	1	20	35	-27	-21	-41	-26	-115	40	24	24	
10°	7	11	2	39	59	10				18	18	59	105	17	-36	-2	26			5	17	-3	17	27	58	22	0	11	36	69	0	-15	2	27	14	146	
0°	17	23	7	54	101	9				-6	14	50	67	-5	-55	-20				7	-9	-7	5	-4	15	-3	20	37	69	13	17	7	35	72	112		
10°	19	-1	12	37	67	-15				-25	-6	4	-42	-41	-75	-35				-32	-20	-30	-95	7	18	14	33	72	23	17	17	21	78	-40	-196		
20°	11	19	7	51	88	-31				-34	-16	-15	-96	-55	-92	-29				-13	-51	-17	-43	-124	15	23	7	33	78	24	42	22	59	147	-98	-186	
30°	20	46	3	46	115	-60				-49	-19	-34	-162	-77	-93	-36				-40	-18	-55	-130	34	39	10	31	114	55	116	22	82	275	-90	38		
40°	43	70	9	50	172	-29				-32	-20	-36	-117	-40	-54	-31				-35	-27	-61	-123	59	51	17	23	150	79	101	34	90	304	224	202		
50°	50	55	14	59	178	-25				-34	-19	-22	-100	-47	-82	-26				-51	-24	-50	-153	41	35	10	27	113	73	85	32	81	271	128	16		
60°	18	19	9	30	76	-12				-13	-11	-16	-52	-19	-19	-15				-15	-12	-17	-61	4	5	6	11	26	23	22	15	32	92	-6	-2		
70°	2		1	2	5	-3				-2	-2	-7	-1		-1	-3				0	-2	-3	0	0	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	-4	-4	
80° S																																					
Summe	-111	243	-76	305	361	-118	-149	32	58	-177	-36	-504	5	-157	-692	97	-220	12	-65	-176	-1	174	-21	208	360	-101	357	-154	221	323	-540	-198	-404	1142	0		

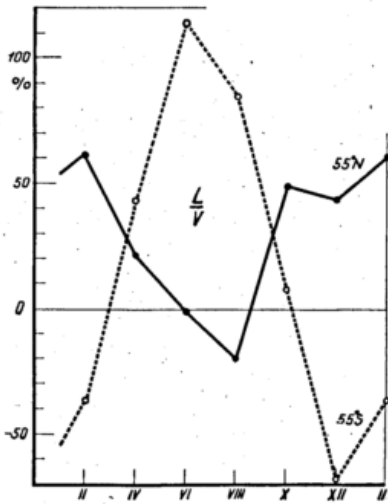


Abb. 14  
Der jährliche Gang des Wärmeverhältnisses  $\frac{L}{V}$  für 55° n. Br. und s. Br.

In Abb. 15 a) und b) ist diese Tabelle graphisch dargestellt. Man erkennt in den Wintermonaten ein starkes Anwachsen des Elementes mit der Breite, eine

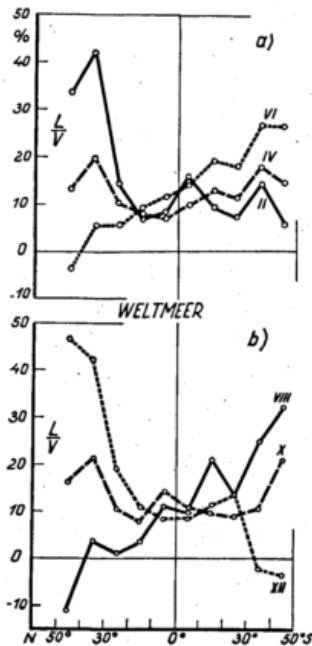


Abb. 15  
Die Verteilung des Verhältnisses  $\frac{L}{V}$  auf die 10°-Zonen des Weltmeeres  
a) im Februar, April und Juni  
b) im August, Oktober und Dezember

Verminderung von  $\frac{L}{V}$  bis auf Werte um 10% nach dem Äquator hin und auf der Sommerseite zunächst eine schwache Wiederzunahme, bis dann in der Gegend von 30° Breite in den Monaten mit extremer Sonnenhöhe ein starker Abfall von  $\frac{L}{V}$  bis zu negativen Werten erfolgt. Die Übergangsjahreszeiten April und Oktober zeigen größere Werte von  $\frac{L}{V}$  mit wachsendem Abstand von Äquator und am Äquator selbst einen Wert von  $\frac{L}{V} = \sim 10\%$ .

In Abb. 16 ist der jährliche Gang von  $\frac{L}{V}$  für die drei Ozeane und für das Weltmeer dargestellt. Ein jähr-

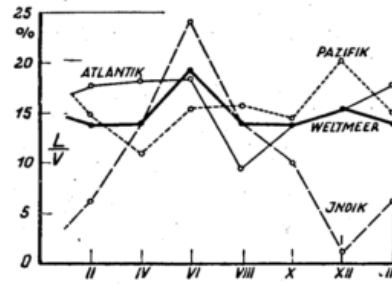


Abb. 16  
Der jährliche Gang des Verhältnisses  $\frac{L}{V}$  für das Weltmeer und jeden der Ozeane

licher Gang ist nur beim Indischen Ozean stark ausgebildet, weil er zum größten Teil auf der einen Seite des Äquators liegt. Dieser Ozean zeigt das Maximum von  $\frac{L}{V}$ , wie zu erwarten ist, im Südwinter. Für den Pazifik und Atlantik ist der jährliche Gang naturgemäß viel kleiner, weil sich hier die jährlichen Gänge der Nord- und Südhalbkugel kompensieren. Die geringste Amplitude hat der jährliche Gang von  $\frac{L}{V}$  für das gesamte Weltmeer. Das Gesamtmittel von  $\frac{L}{V}$  für das Weltmeer liegt bei etwa 15%, wie es auch in der vorigen Arbeit bestimmt wurde (5).

An dieser Stelle muß darauf hingewiesen werden, daß in der vorigen Arbeit (1) die Ermittlung von L nicht auf direktem Wege erfolgte. Es wurde vielmehr aus den unmittelbar bestimmten Elementen des Wärmehaushaltes S, V und W für die 10°-Zonen des Weltmeeres ein "L" nach der Gleichung:

$$"L" = S - V - W$$

als Restglied bestimmt. Dieses "L" enthielt auch noch die zur Erwärmung des kalten Niederschlagswassers der tropischen Gewitterregen einzusetzenden Wärmemengen  $Q_N$ . Diese Wärmemengen  $Q_N$  sind bestimmt sehr klein, wie schon in der vorigen Arbeit ausgeführt wurde, und erreichen nur in den Gebieten größten Niederschlages in Äquatornähe Werte bis zu  $4 \cdot 10^{16} \frac{\text{kcal}}{\text{Mon}}$ , selbst wenn man die extreme Untertemperatur des Niederschlagswassers in den Tropenregen von 15° C voraussetzt; sie bewirken aber ein kleines sekundäres Maximum der Werte von  $\frac{L}{V} = \frac{L + Q_N}{V}$ , das in Tabelle 6 der vorigen Arbeit für die Zone von 0°—10° n. Br. auftritt. Dieses kleine sekundäre Maximum im Betrag von 2% wird in der hier gegebenen Tabelle 6 für  $\frac{L}{V}$  nicht mehr gefunden, weil dort in den Zahlen für L die Wärmemengen  $Q_N$  nicht mehr enthalten sind.

### 2.5. Der Wärmeumsatz W an der Ozeanoberfläche

Das letzte Glied des Wärmehaushaltes des Meeres, der Wärmeumsatz W an der Meeresoberfläche, der die schließlich vom Meer aufgenommene bzw. abgegebene Wärmemenge bezeichnet, ist in Tabelle 7 wiedergegeben. In den Abbildungen 17—20 ist sein jährlicher Gang in den verschiedenen Ozeanen dargestellt. In gewissem Sinne läuft dieser jährliche Gang von W parallel mit dem von S, indem W um den Betrag der monatlichen Werte von V + L gegenüber S vermindert auftritt. Das Maximum der Wärmeaufnahme fällt natürlich in die Zeit des höchsten Sonnenstandes im Sommer, das Minimum in den Winter. Die Jahresamplitude wächst bis etwa 60° Breite mit zunehmender Breite und ist in den Tropen am geringsten. Den Ver-

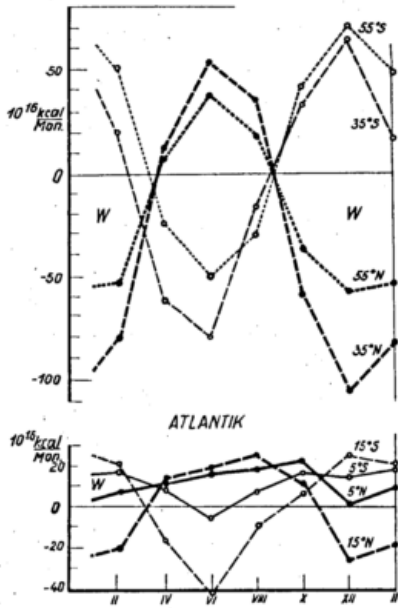


Abb. 17

Der jährliche Gang des Wärmeumsatzes W durch die Ozeanoberfläche für einige 10°-Zonen des Atlantik

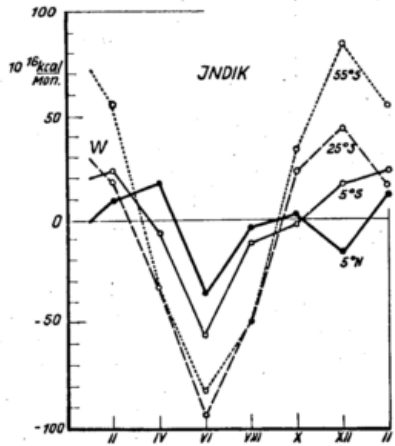


Abb. 18

Der jährliche Gang des Wärmeumsatzes W durch die Ozeanoberfläche für einige 10°-Zonen des Indik

lauf in meridionaler Richtung gibt für den Atlantik Abb. 20 wieder. Das Maximum liegt im Sommer, also im Juni bzw. Dezember, auf 45° Breite. Das Minimum im Winter, also im Dezember bzw. Juni, ist zweigeteilt mit einer größeren Spitze in 35° Breite und einem sekundären Minimum in 60° Breite.

Gegenüber den in der vorigen Arbeit angegebenen Werten für W mußten zur widerspruchsfreien Darstellung des Jahresganges von W und L im Ost-Pazifik Korrekturen vorgenommen werden, durch die die Zahlen von W in den Tropen erhöht und in den Subtropen entsprechend vermindert wurden. Die Werte der vorletzten und letzten Spalte für den Jahresgang von W in Tabelle 7 stimmen daher nicht in allen Breiten mehr genau mit denen der beiden letzten Spalten für W in Tabelle 5 der vorigen Arbeit überein. Auch die Zahlen für W und L in Tabelle 6 jener Arbeit wurden dadurch etwas verändert. Die in der vorliegenden Arbeit gegebenen Zahlenwerte sind als die endgültigen zu betrachten.

### 3. Der Wärmehaushalt der Ozeane

#### 3.1. Wärmehaushaltsdiagramme charakteristischer 10°-Zonen der Ozeane

Durch die Bestimmung von Strahlungsbilanz S, Verdunstung V, Wärmeumsatz der fühlbaren Wärme L

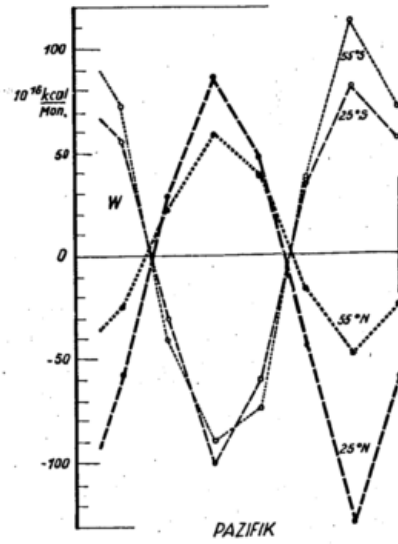


Abb. 19

Der jährliche Gang des Wärmeumsatzes W durch die Ozeanoberfläche für einige 10°-Zonen des Pazifik

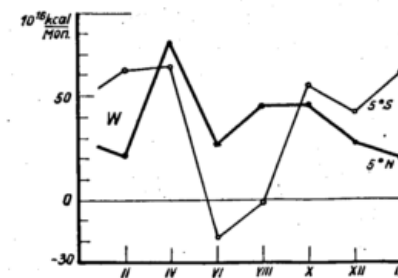


Abb. 19

Der jährliche Gang des Wärmeumsatzes W durch die Ozeanoberfläche für einige 10°-Zonen des Pazifik

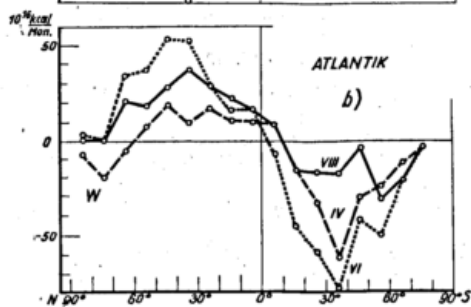
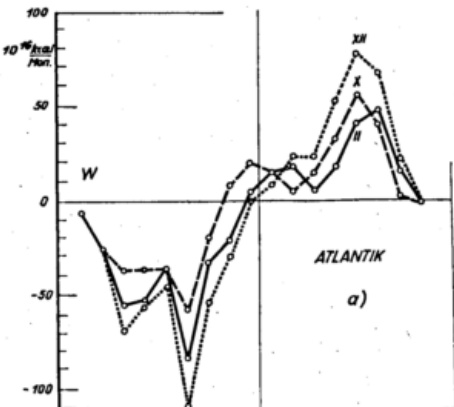


Abb. 20

Die Verteilung des Wärmehaushaltes W durch die Ozeanoberfläche auf die 10°-Zonen des Atlantik  
a) im Oktober, Dezember und Februar  
b) im April, Juni und August

und Wärmeumsatz W an der Ozeanoberfläche ist der jährliche Wärmehaushalt aller Ozeangebiete bis auf das kleine Restglied bestimmt, das aus der Wärmemenge  $Q_N$  besteht, die zur Erwärmung der gewitterhaften Tropenniederschläge auf die Wassertemperatur gebraucht wird. Der Zeichnung von Wärmehaushalts-

diagrammen, nach Art der bereits 1940 vom Verfasser verwendeten (6), steht also nichts mehr im Wege. Diese sind in den Abbildungen 21—30 wiedergegeben. Auch hier wurde, der Einfachheit halber, auf die Benutzung von auf den Quadratcentimeter reduzierten Wärmemengen verzichtet, um keine neuen Zahlen einzuführen, die über die in den Tabellen gegebenen hinausgehen. Es wurden also die Daten des Wärmehaushaltes einer jeden der ausgewählten 10°-Zonen in  $10^{16} \frac{\text{kcal}}{\text{Mon.}}$  in den Diagrammen wiedergegeben.

Der Vergleich dieser Wärmehaushaltsdiagramme sei im folgenden kurz durchgeführt:

Von den Tropen des Ostpazifik zwischen 180° Länge und der Westküste des amerikanischen Kontinents sind die Zonen 0°—10° n. Br. und 0°—10° s. Br. in den

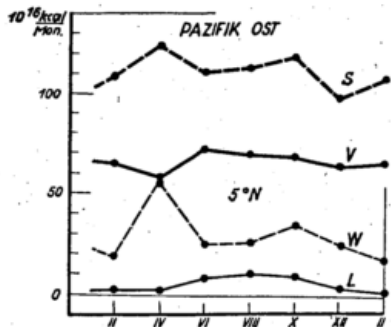


Abb. 21  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 0°—10° n. Br. des östl. Pazifik

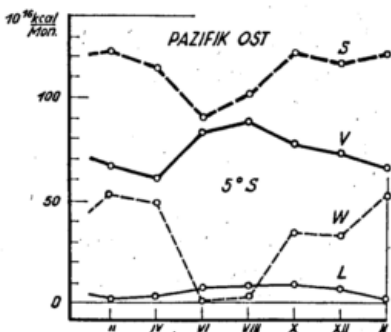


Abb. 22  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 0°—10° s. Br. des östl. Pazifik

Abbildungen 21 und 22 behandelt. Die Strahlungsbilanz unterliegt in diesen Gebieten nur geringen jährlichen Schwankungen (mit etwa 25% der mittleren Strahlungsbilanz). Auch die Verdunstung ändert sich während des Jahres nicht stark. Die für sie aufgewendete Wärmemenge umfaßt im Mittel etwa 60% der aus der Strahlungsbilanz gewonnenen. Die als fühlbare Wärme L unmittelbar durch Konvektion zwischen Wasser und Luft ausgetauschte Wärmemenge W beträgt etwa 15% der für die Verdunstung verbrauchten. Die schließlich durch die Wasseroberfläche ausgetauschte Wärmemenge unterliegt zwar einem mäßigen jährlichen Wechsel, der im Streifen südlich des Äquators ein ausgeprägtes Minimum im Südwinter entstehen läßt, bleibt aber während des ganzen Jahres positiv.

In den Abbildungen 23 und 24 liegen die Wärmehaushaltsdiagramme der Passatgebiete des Ostpazifik vor. Der annähernd parallele Gang von S und W, auf den schon vorher hingewiesen wurde, ist deutlich zu erkennen. Der Wärmeaustausch zwischen Wasseroberfläche und Luft durch Konvektion L ist auch hier klein gegen die für die Verdunstung aufgewendete Wärmemenge V, deren Jahresmittel nicht viel unter dem von S liegt. Beim Wärmeumsatz W durch die Meeresober-

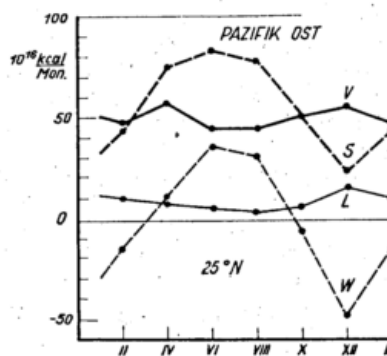


Abb. 23  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 20°—30° n. Br. des östl. Pazifik

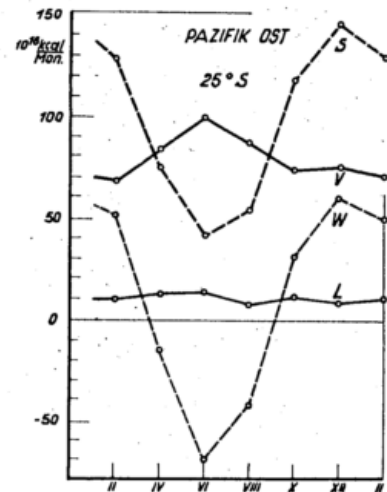


Abb. 24  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 20°—30° s. Br. des östl. Pazifik

fläche hindurch ist eine annähernde Kompensation zum Wert Null als Jahresintegral zu erkennen.

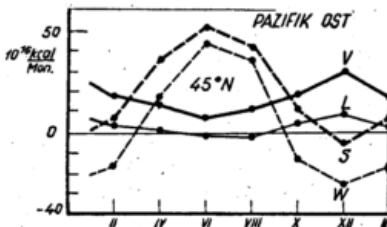


Abb. 25  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 40°—50° n. Br. des östl. Pazifik

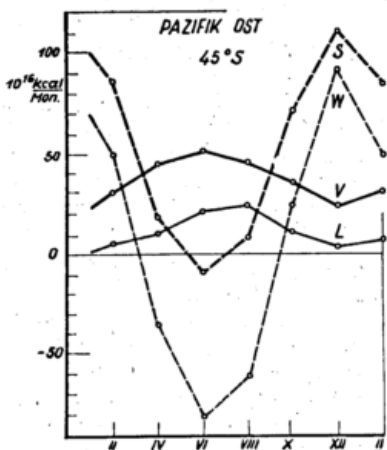


Abb. 26  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 40°—50° s. Br. des östl. Pazifik

In den Abbildungen 25 und 26 sind die Wärmehaushaltsdiagramme der Westwindregionen der mittleren Breiten dargestellt. Hier ist das Jahresmittel von V erheblich kleiner als das von S. L erreicht gegenüber V zeitweise beträchtlichere Werte und die jährliche Amplitude des Wärmeumsatzes W ist etwa gleich und gleichsinnig der der Strahlungsbilanz, wobei das Jahresintegral von W etwas negativ wird. Die Jahresamplitude der Strahlungsbilanz S ist etwas größer als der doppelte Mittelwert von S, d. h. in den Wintermonaten wird S negativ.

Die Verhältnisse des Pazifik westlich von 180° Länge geben für die Passatbreiten zwischen 20° und 30° die

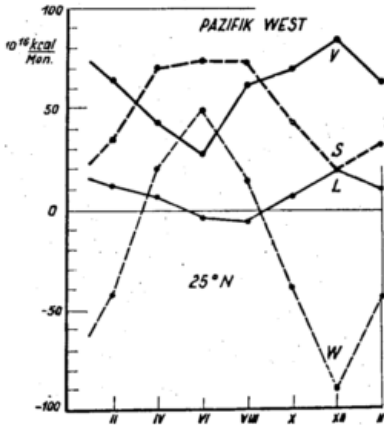


Abb. 27  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 20°–30° n. Br. des westl. Pazifik

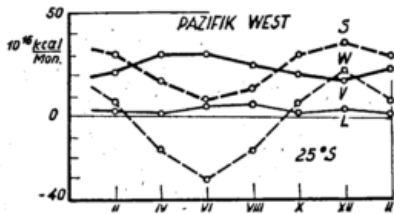


Abb. 28  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 20°–30° s. Br. des westl. Pazifik

Abbildungen 27 und 28 wieder. Der jährliche Gang der Verdunstung V zeigt in Abb. 27 deutlich den Monsuneinfluß durch die starke Winterverdunstung des Ozeans südlich von Japan in die trockene, kalte von Ostasien kommende Festlandluft während des Winters. Auch der winterliche Wärmeumsatz L zwischen Ozean und Luft ist wegen dieses Temperaturunterschiedes zwischen Wasser und Luft hier besonders groß. Der annähernd parallele Verlauf von V und L ist also auch an diesem Beispiel zu erkennen. Im Sommer herrscht in diesem Meeresgebiet wegen des dann herrschenden Sommermonsuns eine starke Bewölkung, die sogar das Junimaximum abschwächt. Der parallele Verlauf zwischen S und W ist aus diesem Grunde in dem Diagramm etwas gestört und die Amplitude von W ist wesentlich größer als die von S. Das Jahresmittel von W ist negativ. Es überwiegt also der Wärmeverlust.

Auch im südlichen Westpazifik (Abb. 28) herrschen auf 25° s. Br. ähnliche Verhältnisse. Auch hier ist die Jahresamplitude von S kleiner als die von W. Aber der jährliche Gang von V und auch von L ist, auch unter Berücksichtigung der wesentlich kleineren Fläche dieses Gebietes, erheblich kleiner als im vorigen Beispiel. Denn der relativ kleine Kontinent Australien, der hier den Monsun bedingt, kann nur eine wesentlich kleinere Steuerung der Luftbewegung veranlassen.

In dem Wärmehaushaltsdiagramm des Ozeanstreifens um 15° n. Br. im Indischen Ozean (Abb. 29) macht sich der Sommermonsun durch eine starke Verminderung der Werte der Strahlungsbilanz S im Juni und

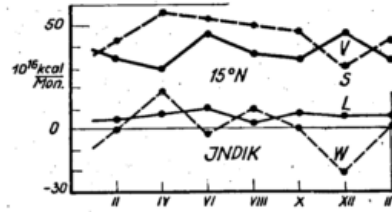


Abb. 29  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 10°–20° n. Br. des Indik

August bemerkbar, die hier nicht wie sonst, Höchstwerte annimmt. Auch hier ist im Wintermonat Dezember die Verdunstung etwas höher als in den umliegenden Monaten, aber, entsprechend den geringen Temperaturunterschieden zwischen Luft und Wasser, ist der Unterschied natürlich nicht stark ausgeprägt.

Die Zone um 15° s. Br. ist im Indik das Gebiet mit der stärksten Wärmeabgabe. Das in Abb. 30 wieder-

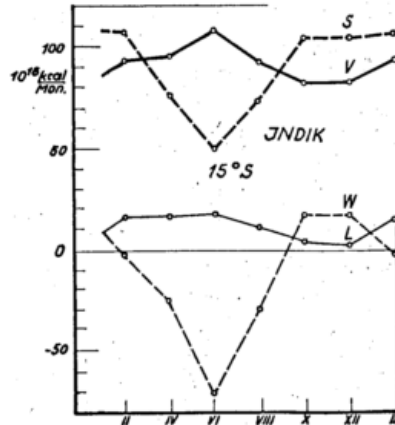


Abb. 30  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 10°–20° s. Br. des Indik

gegebene Wärmehaushaltsdiagramm zeigt dementsprechend einen den Gewinn aus der Strahlungsbilanz ein wenig übertreffenden mittleren Aufwand an Verdunstungswärme. Ihm entspricht auch eine erhebliche Wärmeabgabe in Form von fühlbarer Wärme. Der Wärmeumsatz W ist in diesem Diagramm während des größten Teiles des Jahres stark negativ und hat nur im Oktober und Dezember mäßige positive Werte.

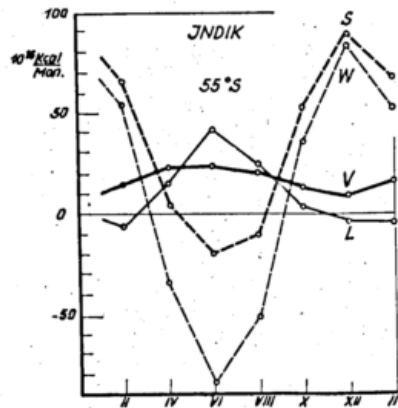


Abb. 31  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 50°–60° s. Br. des Indik

Der in Abb. 31 dargestellte Wärmehaushalt des Südpolarmeeres zwischen 50° und 60° Breite im Indischen Ozean zeigt im Winter eine größere Wärmeabgabe L unmittelbar an die Luft als Wärme für die Verdunstung V verbraucht wird. Im Sommer findet dagegen eine kleine Wärmeabgabe aus der Luft an das Wasser statt. Als Ergebnis erscheint der Wärmeumsatz W an der Meeresoberfläche mit einer wesentlich höheren Jahresamplitude als die Strahlungsbilanz und mit einem Jahresmittel, das einer kleinen mittleren Wärmeaufnahme entspricht.

Das Diagramm für den Wärmehaushalt des tropischen Atlantik von 0° bis 10° n. Br. in Abb. 32 zeigt

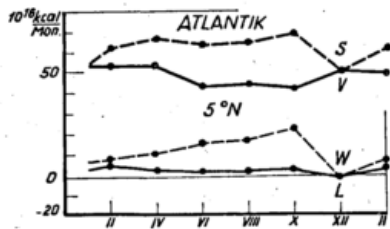


Abb. 32  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 0° — 10° n. Br. des Atlantik

den gleichen jährlichen Gang von S wie der Streifen gleicher Breite im Ostpazifik. Auch die Verdunstungswärme V und der konvektive Wärmeaustausch L haben relativ die gleichen Werte. Der Wärmeumsatz W ist ebenfalls wie im tropischen Ostpazifik während des ganzen Jahres positiv. Er hat hier aber nur ein Maximum im Oktober, während das Frühjahrsmaximum im tropischen Ostpazifik hier nicht auftritt.

Die Diagramme in den Abbildungen 33 und 34 behandeln die Streifen um 15° n. Br. und 15° s. Br. im

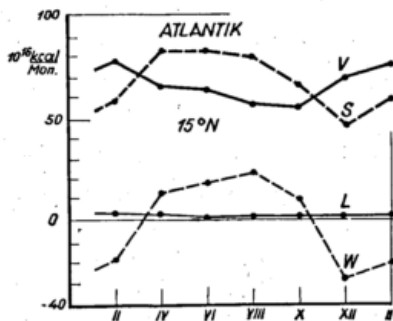


Abb. 33  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 10° — 20° n. Br. des Atlantik

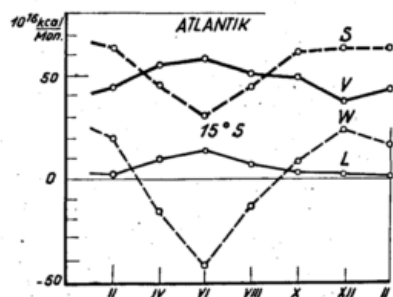


Abb. 34  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 10° — 20° s. Br. des Atlantik

Atlantik. Sie liegen beide im Nordost- bzw. Südost-Passat und sind dementsprechend durch eine hohe Verdunstung V ausgezeichnet, deren Wärmeverbrauch nur wenig unter dem Betrag der von der Strahlungsbilanz

S gelieferten Wärmemenge liegt. Nach den Temperaturkurven besteht eine besonders kleine Temperaturdifferenz zwischen Wasser und Luft im Streifen um 15° n. Br. im Atlantik. Demzufolge ist auch hier die Wärmeabgabe L an die Luft durch fühlbare Wärme während des ganzen Jahres klein. Gegenüber diesem besonders geringen Wärmeaustausch L zwischen Passatmeer und Luft im Atlantik nördlich des Äquator ist L im Passat des Südatlantik von normalem Verlauf und merklich höher.

In den Abbildungen 35 und 36 sind die Wärmehaushaltsdiagramme der Breitenzonen um 35° n. Br. und

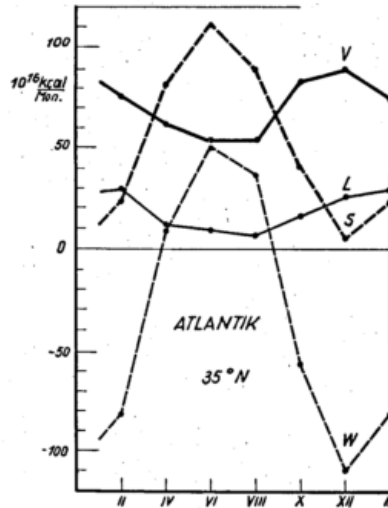


Abb. 35  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 30° — 40° n. Br. des Atlantik

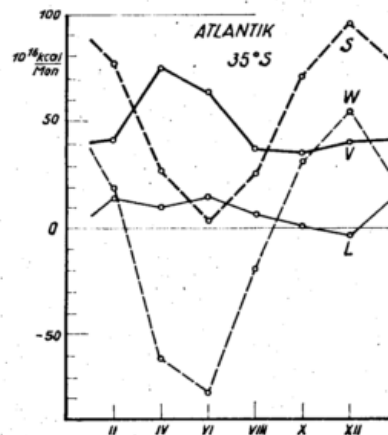


Abb. 36  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 30° — 40° s. Br. des Atlantik

s. Br. aufgezeichnet. Von ihnen liegt der Streifen um 35° n. Br. mit seinem westlichen Teil im Bereich des Golfstromes. Sein Wärmehaushaltsdiagramm ist unverkennbar ähnlich dem bereits vor 20 Jahren veröffentlichten Wärmehaushaltsdiagramm für den Golfstrom bei Key West (7), das allerdings für einen Punkt auf 25° n. Br. gezeichnet wurde. Gemeinsam ist beiden Diagrammen vor allem die große Amplitude des Wärmeumsatzes W durch die Ozeanoberfläche mit einem hohen negativen Wert, ferner die große Amplitude der Verdunstung V mit ihrem Wintermaximum und die großen Werte des konvektiven Wärmeumsatzes L an fühlbare Wärme im Winter.

Gegenüber dem großen Wärmeverlust des Meeres, der durch den Golfstrom bedingt ist, ist der gesamte Wärmeverlust W auf der gleichen Südbreite des At-

lantik wesentlich kleiner. Auch die Verdunstungswärme V und die konvektiv transportierte Wärme L erreichen bei gleich großem relativem jährlichen Gang nicht ganz die hohen Werte, die im Nordatlantik durch den Golfstrom zustande kommen.

Auch der Wärmehaushalt der Zone von 50° — 60° n. Br. wird im Atlantik noch wesentlich durch den Golfstrom bestimmt. Wie das Diagramm der Abb. 37 zeigt,

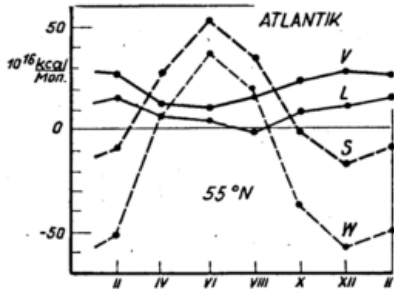


Abb. 37  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 50° — 60° n. Br. des Atlantik

ist das Mittel der zur Verdunstung V aufgewendeten Wärme hier etwas höher als die mittlere Strahlungsbilanz S. Das Wintermaximum der Verdunstungswärme V ist mehr als doppelt so groß wie ihr Minimum im Sommer. Die durch Konvektion transportierte an die Luft abgegebene Wärme L läuft im jährlichen Gang parallel mit der Verdunstung V und erreicht im Winter die Hälfte der für die Verdunstung aufgewendeten Wärme. Der Wärmeumsatz W an der Ozeanoberfläche hat von den Wärmehaushaltselementen wieder die größte Jahresamplitude. Im Jahresmittel besteht ein Wärmeverlust, wie er bei dem Wärmeumsatz W eines vom Golfstrom durchflossenen Gebietes zu erwarten ist.

Demgegenüber weist die Atlantikzone von 50° — 60° s. Br., die als Gegenstück zu dem nördlichen Golfstromgebiet in Abb. 38 dargestellt ist, im Element W

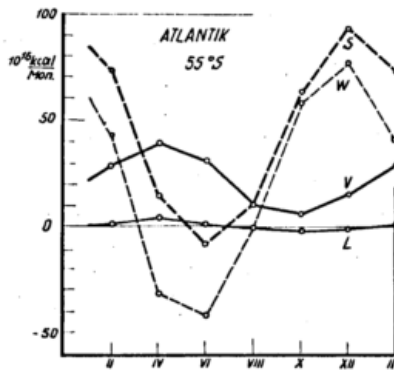


Abb. 38  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 50° — 60° s. Br. des Atlantik

statt einer Wärmeabgabe eine nicht unerhebliche Wärmeaufnahme auf. Sie ist bedingt durch die geringe Temperaturdifferenz zwischen Luft- und Wasser, die in den Sommermonaten sogar negativ wird. Aus ihr folgt eine verhältnismäßig kleine Verdunstung und eine nur kleine konvektiv mit der Luft ausgetauschte Wärme L. Die geringe Differenz zwischen Wasser- und Lufttemperatur in diesen Gebieten wurde schon in der vorigen Arbeit ausführlich behandelt (3). Sie wird von G. Schott auf die aus niederen Breiten stammenden Luftströmungen über diesem Teil des Atlantik zurückgeführt.

### 3.2. Das Nordpolargebiet

Von dem Wärmehaushalt des Nordpolargebietes sind im Diagramm der Abb. 39 die Verhältnisse für das Ge-

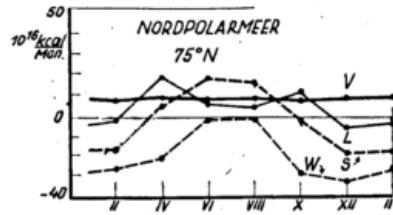


Abb. 39  
Wärmehaushaltsdiagramm der Zone von 70° — 80° n. Br. des Polarmeeres

biet zwischen 70° und 80° n. Br. dargestellt. Wegen des verhältnismäßig nicht großen Umfangs des Gebietes und der starken Reflexion der Globalstrahlung an seinen Eisflächen sind die Beträge der Wärmeumsätze naturgemäß nur klein. Unter Beachtung einiger früherer Expeditionsberichte, u. a. auch der Maud-Expedition 1922 — 1924 (8) für die eisbedeckten Meeresteile sowie der mutmaßlich über den eisfreien Teilen bestehenden Temperatur- und Bewölkungsverhältnissen ergibt sich, wie im Diagramm dargestellt, eine über das Jahr wenig variierende kleine Verdunstung V, eine im Jahresgang wechselnde Wärmeabgabe an die Luft durch Konvektion L im Sommer und eine kleine Wärmeaufnahme aus der Luft im Winter; während die Strahlungsbilanz S im Sommer wegen der hohen Albedo klein bleibt und im Winter infolge der Ausstrahlung bemerkbare negative Werte annimmt. Im ganzen folgt für den Wärmeumsatz W des Ozeans ein ständiger Wärmeverlust, der zwar im Sommer fast verschwindet, im Winter aber beträchtlich wird. Auf die durch das Auftauen des Eises im Sommer und sein Wiedergefrieren im Herbst und Winter veranlaßten Modifizierungen des Jahresganges von W kann hier nicht eingegangen werden. Sie sind, soweit als möglich, schon vor 20 Jahren vom Verfasser bei der Bearbeitung der Maud-Expedition geschildert worden. (9).

Ein tieferes Eindringen in die gewiß sehr interessante Materie erscheint gegenwärtig noch verfrüht, da sicher schon jetzt ein großes Material von Beobachtungen vorliegt, das aus erklärlichen Gründen heute noch nicht veröffentlicht wurde. Es seien aber noch einige Überlegungen über die Strömungsverhältnisse hier angeführt.

Die Untersuchungen der Vermessungsschiffe (10) haben gezeigt, daß durch den Golfstrom eine erhebliche Wassermenge in das Nordpolarbecken hineingeführt wird. Hierbei taucht der Golfstrom etwa auf dem 70. Breitengrad zwischen dem Greenwich-Meridian und der norwegischen Küste unter das kältere Polarwasser (11) und setzt, wie die Beobachtungen zeigen, seinen Weg bis mindestens in die Gegend von Spitzbergen fort. Aus dem Polarbecken heraus fließen an der Oberfläche westlich davon über den 70. Breitengrad kalte, salzarme Wassermengen südwärts vor allem an der ostgrönländischen Küste entlang (12). Diese Strömung läßt sich aus den Bahnen verschiedener Driftkörper rückwärts bis an den Nordpol und über ihn hinaus bis in eine Gegend nördlich der Neusibirischen Inseln verfolgen (13).

Es läßt sich nun als sicher folgern, daß die Wassermengen, die auf diesem Wege das Polargebiet verlassen, mengenmäßig gleich den Wassermengen sind, die durch den Golfstrom in das Polarbecken hineingebracht werden. Abb. 40 gibt eine Darstellung der bisher bekannt gewordenen Strömungsverhältnisse. Es ist aber aus den älteren Beobachtungen noch nicht abzuleiten, in welcher Form und ob überhaupt eine Umkehrung der Stromrichtung des in der vorigen Arbeit näher be-

Tab. 8  
Niederschlag N über den Ozeanen in 10 km<sup>3</sup> Mon.

Breite	Februar					April					Juni					August					Oktober					Dezember					Jahr				
	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer					
90° N	5				5	4				4	3				3	3					4	5				5	48				48				
80°	11				11	10				14	15				14	15					14	13				13	154				154				
70°	28		0	1	29	20				0	2	22	22		1	2	25	23			1	3	27	31		0	1	25	296		6	20	322		
60°	51		9	41	101	37				10	39	86	36		14	33	83	38			21	41	100	54		9	42	102	534		156	480	1170		
50°	74		35	53	162	58				38	38	134	51		48	49	148	52			47	41	140	69		44	52	165	79	36	76	191	766		
40°	77		61	43	181	56				67	36	159	52		67	29	148	52			76	26	154	70		58	34	162	79	42	45	166	772		
30°	24	1	50	28	119	37	1	65	19	122	47	8	90	24	169	47	8	93	17	165	66	3	83	22	174	46	1	53	27	127	566		868	274	1752
20°	40	5	60	59	148	22	17	81	56	176	47	54	111	104	316	49	68	137	91	345	55	57	151	120	383	60	18	96	65	239	514	438	1272	990	3214
10°	61	39	144	208	452	135	91	183	225	634	129	76	181	188	574	108	81	199	189	577	90	81	183	200	554	67	74	205	167	513	1180	884	2190	2354	6008
0°	22	168	196	57	443	40	157	91	68	356	17	120	117	61	315	8	111	109	48	276	12	136	107	43	298	18	130	207	63	418	234	1644	1654	680	4212
10°	11	112	131	124	378	15	75	90	108	288	15	58	71	89	233	9	41	56	95	201	24	39	50	105	218	9	103	94	145	351	166	856	984	1332	3338
20°	23	39	56	111	229	26	34	44	104	208	30	36	42	114	222	22	33	35	103	193	33	21	28	107	189	18	23	29	90	160	304	372	468	1258	2402
30°	47	52	34	87	220	51	75	37	110	273	35	95	40	126	296	49	81	35	118	283	53	69	28	90	240	42	47	28	76	193	554	838	404	1214	3010
40°	74	89	27	117	307	69	106	43	136	354	84	97	43	135	359	77	141	38	122	378	54	104	31	102	291	68	78	28	103	277	852	1230	420	1430	3932
50°	48	65	24	91	228	61	74	26	91	252	73	73	26	93	265	52	80	34	83	249	52	74	22	85	233	46	71	26	74	217	664	874	316	1034	2888
60°	13	8	11	33	65	14	15	10	29	68	13	21	12	37	83	10	19	13	36	78	14	18	9	34	75	12	15	9	33	69	152	192	128	404	876
70°	0		2	1	3	0				2	1	3	0		1	1	2	0			1	1	2	0		1	1	1	2	0	0		16	12	28
Summe	609	578	840	1054	3081	655	645	787	1062	3149	668	638	864	1085	3255	614	663	895	1014	3186	695	602	811	1040	3148	637	560	863	1008	3068	7756	7372	10120	12526	37774

Tab. 9  
Verdunstung minus Niederschlag V - N über den Ozeanen in 10 km<sup>3</sup> Mon.

Breite	Februar					April					Juni					August					Oktober					Dezember					Jahr						
	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Weitmeer							
90° N	-5				-5	-4				-4	-3				-3	-3					-4	-5				-5	-48				-48						
80°	0				0	4				4	3				3	5					1	0				0	-6				-6						
70°	-7		0	0	-7	-8				0	-1	-9	-11		0	-1	-12	-11			-1	-3	-15	-8		-1	0	-9	7	0	0	7	-76		-4	-10	-90
60°	-8		-1	-27	-36	-13				-6	-30	-49	-17		-12	-28	-57	-10			-19	-38	-67	-13		-9	-35	-57	-3	3	-22	-22	-128	-88	-360	-576	
50°	-13		-15	-21	-49	-20				-26	-13	-59	-16		-44	-37	-97	-5			-39	-25	-69	7		-11	-21	-25	-12	6	-28	-34	-118	-258	-290	-666	
40°	51		10	9	70	47				-20	5	32	35		-49	3	-11	37			-37	13	13	67		44	27	138	69	62	30	161	612	20	174	806	
30°	82	11	56	55	204	73	12	9	78	172	60	5	-45	49	69	49	3	12	61	125	54	9	36	67	166	89	14	88	67	258	814	108	312	754	1988		
20°	105	56	69	60	290	89	34	23	87	233	63	22	-12	17	90	45	-6	-44	27	22	37	2	-45	-16	-22	60	60	35	60	215	798	336	52	470	1656		
10°	26	42	-29	-94	-55	-48	-11	-86	-124	-269	-57	64	-63	-62	-118	-33	23	-105	-65	-180	-17	11	-87	-80	-173	17	17	-116	-54	-136	-224	292	-972	-958	-1862		
0°	41	-65	-110	59	-75	41	-34	-18	35	24	73	47	-16	80	184	75	13	-11	102	179	72	-11	-26	90	125	59	-35	-117	66	-27	722	-170	-596	864	820		
10°	64	46	-77	20	53	78	85	-27	45	181	84	123	11	85	303	75	112	15	73	275	61	99	1	29	190	57	36	-43	10	60	838	1002	-240	524	2124		
20°	68	85	-19	5	139	76	105	6	33	220	70	126	11	53	260	54	103	7	45	209	41	91	5	17	154	66	76	3	38	183	750	1172	26	382	2330		
30°	23	64	4	3	94	79	58	5	-1	141	72	38	9	-4	115	13	21	-5	-10	19	9	25	-2	2	34	28	7	-7	0	28	448	426	8	-20	862		
40°	-23	-41	2	-66	-128	-2	-20	-8	-64	-94	-31	-29	-1	-49	-110	-56	-73	-3	-46	-178	-44	-63	-17	-41	-165	-39	-46	-21	-68	-174	-390	-544	-96	-668	-1698		
50°	-41	-39	-13	-79	-172	-34	-37	-3	-52	-126	-42	-34	0	-51	-127	-29	-47	-9	-40	-125	-45	-53	-15	-49	-162	-42	-62	-23	-61	-188	-466	-544	-126	-664	-1800		
60°	-11	1	-9	-20	-39	-10	-3	-3	-5	-21	-7	-8	-4	-17	-36	-9	1	-1	-23	-32	-13	-11	-8	-23	-55	-12	-14	-9	-31	-66	-124	-68	-68	-238	-498		
70°	0		-1	0	-1	0				1	1	2	0		1	1	2	0			0	1	1	0		-1	0	-1	0	-1	-1	-2	0		-2	4	2
Summe	352	160	-133	-96	283	348	189	-153	-6	378	270	354	-214	39	449	167	150	-240	72	169	205	99	-136	-33	135	339	53	-140	6	258	3402	2010	-2032	-36	3344		



Abb. 40

Golfstrom ( $\Rightarrow$ ) und Ostgrönlandstrom im nördlichen Eismeer und Nordatlantik ( $\rightarrow$ )

trachteten Hauptstromes (14), dessen letzter Ausläufer der im Nordmeer untertauchende Golfstrom darstellt, in dem Gebiet zwischen Nordpol und Neusibirischen Inseln erfolgt.

Eine weitere interessante Region bildet natürlich die Stelle des Wiederuntertauchens des kalten Grönland- und späteren Labradorstromes unter den Golfstrom in der Gegend südöstlich von Neufundland. Hierüber sind seit langem ausführliche Beobachtungen gesammelt worden (15), die der Kartendarstellung in Abb. 40 zugrunde gelegt sind.

#### 4. Der Wasserhaushalt der Ozeane

##### 4.1. Der Niederschlag N

In Tabelle 8 ist der jährliche Gang des Niederschlages in  $10 \frac{\text{km}^3}{\text{Mon.}}$  zusammengestellt. Zur Berechnung dieses Niederschlages wurden, wie schon in der vorigen Arbeit bemerkt, die vom Verfasser vor 14 Jahren be-

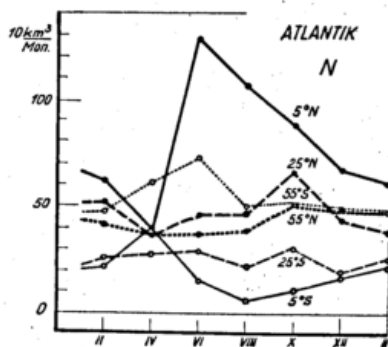


Abb. 41

Der jährliche Gang des Niederschlages N über einigen 10°-Zonen des Atlantik

rechneten monatlichen Niederschlagskarten für den Pazifik und Indik (16) benutzt. Ihre Zahlenwerte wurden, entsprechend den Erkenntnissen in der vorigen Arbeit, um 12% gesenkt. Lediglich für den Atlantik wurde auf eine eigene Berechnung verzichtet, da hier die inzwischen von Möller (17) berechneten Niederschlagskarten vorliegen. Ihre Werte wurden, entsprechend den neuen Ergebnissen, um 14% erhöht.

In den Abbildungen 41 — 43 sind die Diagramme des jährlichen Ganges des Niederschlages für die gleichen

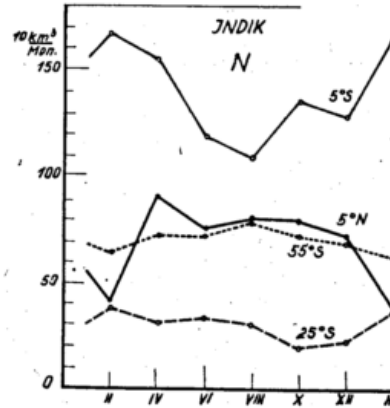


Abb. 42

Der jährliche Gang des Niederschlages N über einigen 10°-Zonen des Indik

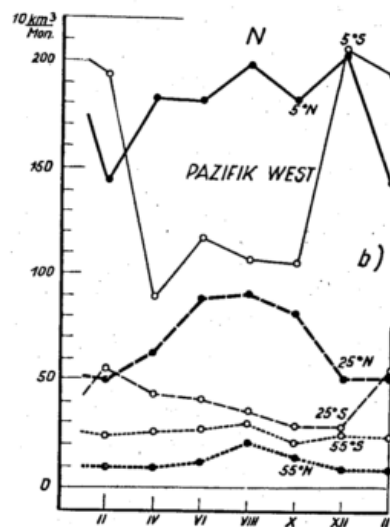
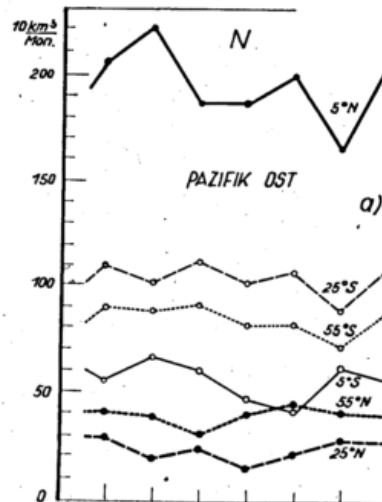


Abb. 43

Der jährliche Gang des Niederschlages N über einigen 10°-Zonen  
a) des östlichen Pazifik  
b) des westlichen Pazifik

Breitenzonen wiedergegeben, für die sie auch bei den übrigen Elementen berechnet wurden. Auf den Diagrammen ist die Gegenläufigkeit des jährlichen Ganges des Niederschlages in gleichen Nord- und Südbreiten weit weniger stark ausgeprägt als etwa bei der Verdunstung. In weiten Gebieten, z. B. im östlichen Pazifik, in den höheren Breiten des Westpazifik und in den außertropischen Breiten des Indik und Atlantik erscheint der jährliche Gang des Niederschlages weitgehend ausgeglichen. Ein starker jährlicher Gang tritt dagegen vor allem in den tropischen Niederschlägen des westlichen Pazifik, des Indik und Atlantik auf. Dieser verläuft dann auch auf der Nord- und Südhalbkugel spiegelbildlich. Ein Beispiel für einen spiegelbildlichen Verlauf der Gesamtheit der Niederschläge auf der Nord- und Südhalbkugel zeigt auch die Abb. 6 d). In ihr sind in gleicher Weise wie es in Abb. 6 a) bis 6 c) für V, L und  $\frac{L}{V}$  geschah, die Summen der Niederschläge für den Atlantik und Pazifik von 10° — 70° n. Br. und s. Br. in ihrem jährlichen Verlauf aufgetragen. Man erkennt deutlich den gegenläufigen Gang der beiden Kurven und bemerkt, daß das Jahresmaximum beim Niederschlag auf die Herbstmonate Oktober bzw. April fällt, während es für die Verdunstung mehr als einen Monat später erreicht wird. Die Jahresamplitude erscheint aber bei dem Niederschlag wesentlich kleiner.

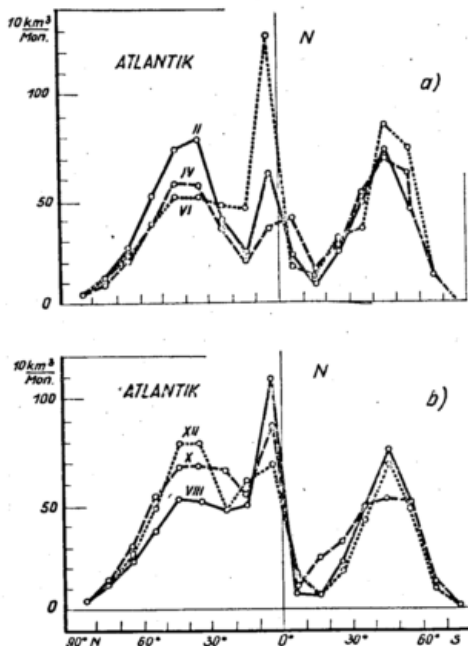


Abb. 44  
Die Verteilung des Niederschlages N auf die 10°-Zonen des Atlantik  
a) im Februar, April und Juni  
b) im August, Oktober und Dezember

In Abb. 44 a) und b) ist für den Atlantik die Verteilung der Niederschlagsmengen über die verschiedenen Breiten für die einzelnen Monate wiedergegeben. Ein Vergleich mit der entsprechenden Darstellung für den Verlauf der Verdunstung V über dem Atlantik, der in Abb. 9 dargestellt ist, gibt interessante Aufschlüsse. In der Abbildung ist in der nördlichen Westwindzone ein wesentlich höherer Niederschlag von Oktober bis Februar, also in den Wintermonaten, gegenüber den Sommermonaten zu beobachten. Das gleiche ist auch auf der Südhalbkugel angedeutet. Der vergleichsweise hohe Niederschlag im Nordsummer und -herbst in der Zone um 50° n. Br. tritt in der Darstellung der Abb. 44 ebenso hervor, wie in Abb. 41.

#### 4.2. Wasserhaushaltsdiagramme der Ozeane

In Tabelle 9 ist für jede der 10°-Zonen der Ozeane die Differenz Verdunstung minus Niederschlag in  $10 \frac{\text{km}^3}{\text{Mon.}}$  zusammengestellt. Diese Zahlen sind bestimmend für den Wasserhaushalt der Ozeane. Die Tabelle ermöglicht eine Reihe interessanter Folgerungen:

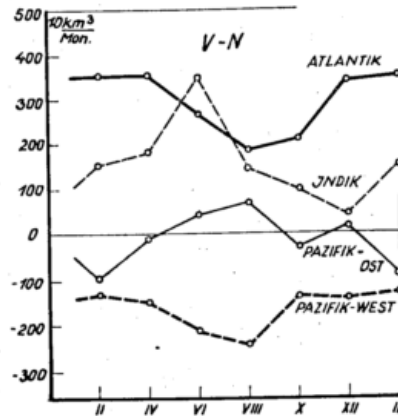


Abb. 45  
Der jährliche Gang des Wasserhaushaltes V-N der Ozeane

Zunächst ist in Abb. 45 der jährliche Gang des Wasserhaushaltes der einzelnen Ozeane dargestellt. Hier wird die Rolle, die der Verdunstungsüberschuß von Atlantik und Indik im Wasserhaushalt der Erde spielt, besonders deutlich. Sie wurde, soweit die Jahreswerte in Betracht kommen, bereits in der vorigen Arbeit behandelt (18). Der jährliche Gang des atlantischen Verdunstungsüberschusses zeigt ein Minimum im August und Oktober, also im nördlichen Spätsommer und Frühherbst. Aus den Tabellen 3 und 8 folgt, daß das Augustminimum von V-N sowohl durch eine besonders kleine Verdunstung V über dem ganzen Atlantik hervorgebracht wird als auch durch einen ziemlich großen Niederschlag über diesem Weltmeer. Als Ursache des starken Abfalles von V-N im Indik vom Juni zum August erkennt man aus Tabelle 3 eine starke Verminderung der Verdunstung anscheinend durch monsunale Vorgänge. Der westliche Pazifik läßt einen großen Niederschlagsüberschuß während des ganzen Jahres erkennen, während im östlichen Pazifik Verdunstung und Niederschlag sich angenähert die Waage halten.

Die Kurve des Jahresganges der Größe Verdunstung minus Niederschlag des ganzen Weltmeeres ist in Abb. 46 gegeben. In diese Abbildung sind noch die Jah-

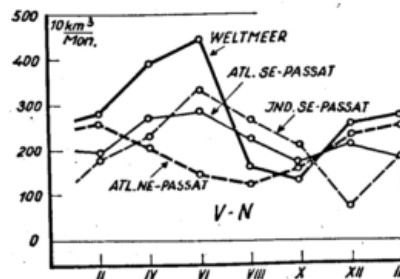


Abb. 46  
Der jährliche Gang des Wasserhaushaltes V-N des Weltmeeres und der Passate des Atlantik und Indik

resgänge des Verdunstungsüberschusses im atlantischen Nordost- und Südostpassat, sowie im Indischen Südostpassat eingezeichnet, die sich ohne weiteres aus der Tabelle 9 ermitteln lassen.

Eine weitergehende Benutzung der Tabelle 9 ist in Tabelle 10 versucht worden. In ihr sind für die sechs

Tab. 10  
Wasserhaushalt der Ozeane V-N in  $10 \frac{\text{km}^3}{\text{Mon.}}$

	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost	Atlantik	Indik	Pazifik West	Pazifik Ost
	Februar				April			
Nordpolarmeer	- 5				- 0			
Nördl. Westwinde	A- -28	Eurasien	-16	-48	A- -41	Eurasien	-52	-44
NE-Passat	me- 264	Afri- 109	135	124	me- 209	Afri- 46	31	170
Tropen	ri- 0	ka -65	-235	-94	ri- -48	ka -45	-131	-124
SE-Passat	ka 196	195	Austr. 6	87	ka 274	248	Austr. 11	113
Südl. Westwinde	-75	-80	-23	-165	-46	-60	-13	-121
	Juni				August			
Nordpolarmeer	- 6				- 8			
Nördl. Westwinde	A- -44	Eurasien	-162	-65	A- -26	Eurasien	-96	-66
NE-Passat	me- 158	Afri- 91	-	69	me- 131	Afri- 3	12	101
Tropen	ri- -57	ka -	-79	-62	ri- -33	ka -6	-160	-65
SE-Passat	ka 299	334	Austr. 31	218	ka 217	272	Austr. 22	220
Südl. Westwinde	-80	-71	-4	-120	-94	-119	-18	-118
	Oktober				Dezember			
Nordpolarmeer	- 3				- 5			
Nördl. Westwinde	A- -21	Eurasien	-21	-56	A- -8	Eurasien	0	-50
NE-Passat	me- 165	Afri- 22	80	94	me- 235	Afri- 91	194	157
Tropen	ri- -17	ka -11	-158	-96	ri- -	ka -35	-276	-54
SE-Passat	ka 183	215	Austr. 6	138	ka 210	119	Austr. 3	115
Südl. Westwinde	-102	-127	-43	-113	-93	-122	-61	-161

behandelten Monate die Zahlen von V—N aufgegliedert nach den verschiedenen Klimazonen dargestellt. Die Aufteilung erfolgte nach der Zone der nördlichen Westwinde, dem Nordpassat, den Tropen, dem Südpassat und der Zone der südlichen Westwinde. Hierbei wurden die Zahlen der Tabelle 9 mit positiven (V—N)-Werten, je nach der Lage, zu der Zone der nördlichen oder südlichen Westwinde oder zu den Tropen gerechnet. Es wurde dann versucht, durch mit Pfeilspitzen versehene Striche, die mutmaßlichen Verbindungswege zwischen den Verdunstungs-Überschußgebieten und den Niederschlags-Überschußgebieten zu zeichnen. Diese Verbindungslinien entsprechen in grober Annäherung den in Abb. 7 der vorigen Arbeit (1) dargestellten Destillationsbahnen. Die hier vorliegende Darstellung der Tabelle 10 geht insofern über die erwähnte Abbildung hinaus, als sie quantitative Abschätzungen der durch die Luft beförderten Wassermengen für die einzelnen Monate ermöglicht.

Eine vollständige Auswertung dieser Tabelle kann natürlich erst erfolgen, wenn auch für die Kontinente entsprechende Karten der monatlichen Verteilung der Größe Verdunstung minus Niederschlag gezeichnet vorliegen. Dies ist eine Arbeit, die noch einige Zeit

in Anspruch nehmen dürfte, für die aber alle Vorarbeiten bereits ausgeführt wurden.

Es sei noch kurz auf die schon vor 10 Jahren vom Verfasser für den Indik und Pazifik eingeführten Wasserversorgungsgebiete (19) eingegangen. Ihre Strombahnen entsprechen den in Tabelle 10 dargestellten zwischen Verdunstungs-Überschußgebieten und Niederschlags-Überschußgebieten. In der damals veröffentlichten Arbeit wurde die Zeitdauer zwischen Verdunstung und Niederschlag zu 12 Tagen angegeben.

Inzwischen ist von Libby auf einem völlig anderen, atomphysikalischen Wege mit Hilfe der radioaktiven Strahlung des Tritiums die Zeitspanne ermittelt worden, die sich ein Wassermolekül nach der Aktivierung durch die kosmische Strahlung durchschnittlich in der Luft hält, bevor es als Niederschlag die Erde erreicht. Es erhielt eine Dauer von 20 Tagen. Beide Zahlen liegen in der gleichen Größenordnung. Es ist auch wahrscheinlich, daß die von Libby bestimmte Zeit wesentlich größer ausfällt, da sie sich auf Wassermoleküle bezieht, die auf einem Umweg einmal eine so große Höhe erreichten, daß sie von der kosmischen Strahlung beeinflusst wurden.

#### Literatur

- (1) Albrecht, F.: Jahreskarten des Wärme- und Wasserhaushaltes der Ozeane. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 66 (1960)
- (2) Albrecht, F.: Untersuchungen über den Wärmehaushalt der Erdoberfläche in verschiedenen Klimagebieten. Wiss. Abh. Reichsamt f. Wetterd. 8, Nr. 2, 15 (1940)
- (3) 1. c. (1) S. 10
- (4) Schott, G.: Geographie des Atlantischen Ozeans, Hamburg 1942, S. 429
- (5) 1. c. (1) S. 12
- (6) 1. c. (2) S. 12 f.
- (7) 1. c. (2) S. 22
- (8) Sverdrup, H. U.: Meteorology, Part I und II. The Norwegian North Polar Expedition with the "Maud" 1918-25, Scientific Results, Vol. II u. III
- (9) 1. c. (2) S. 26
- (10) 1. c. (4) S. 302 u. 303
- (11) 1. c. (4) S. 300, Fig. 97
- (12) 1. c. (4) S. 292 u. 299
- (13) 1. c. (4) S. 127, Fig. 41
- (14) 1. c. (1) S. 10
- (15) 1. c. (4) S. 288 f. Fig. 85 f.
- (16) Albrecht, F.: Monatskarten des Niederschlages im Indischen und Stillen Ozean. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 29 (1951)
- (17) Möller, F.: Vierteljahreskarten des Niederschlages für die ganze Erde. Petermanns geogr. Mitt. 95, 1-7 (1951)
- (18) 1. c. (1) S. 16
- (19) Albrecht, F.: Monatskarten der Verdunstung und des Wasserhaushaltes des Indischen und Stillen Ozeans. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 29, 37 (1951)