

Harmonische Temperaturanalyse des südatlantischen Stromringes

Von

Fritz Kerner-Marilaun

K. M. d. Akad. d. Wiss.

(Mit 2 Tafeln)

(Vorgelegt in der Sitzung am 7. Mai 1926)

Die Thermik eines ozeanischen Stromringes läßt sich in zweifacher Weise betrachten, als Phänomen der Wärmeverteilung und als Phänomen der Wärmeänderung sich bewogender Wasserteilchen. Im ersteren Falle ist die Verteilung der Temperaturen über den Stromring zu den verschiedenen Zeiten des Jahres und der jährliche Wärmegang auf den verschiedenen Punkten des Stromringes zu untersuchen. Im letzteren Falle handelt es sich um die Bestimmung der durch die Ortsveränderung und Zeitänderung gemeinsam bedingten Wärmewechsel. Bei dieser Aufgabe spielt die Strömungsgeschwindigkeit eine große Rolle, während sie bei der Frage nach der Wärmeverteilung außer Betracht bleibt.

Ein antizyklonaler ozeanischer Stromring ist kein genetisch einheitlicher Bewegungsvorgang, wie er entsteht, wenn man Wasser in einer Schüssel in drehende Bewegung versetzt. Er kommt durch Verkettung von vier Teilströmen zustande, die verschiedenen Bewegungsimpulsen folgen. Dabei tritt aber nicht die Gesamtheit der Wasserteilchen jedes Teilstromes in den nächstfolgenden über; dagegen ist anzunehmen, daß dieser Übergang bei einer großen Zahl von Wasserteilchen erfolgt und diese also einen in sich geschlossenen Weg nehmen. Dann läßt sich die Wärmeverteilung auf einem ozeanischen Stromring der harmonischen Analyse unterziehen. Daß die Gestalt eines solchen Ringes von der Kreisform abweicht, tut nichts zur Sache, dagegen erscheint es ungünstig, daß die Teilung des geschlossenen Weges in gleich lange Abschnitte durch Punkte erfolgen muß, denen keine schnell faßliche örtliche Bedeutung zukommt, wie dies bei der harmonischen Analyse auch eines örtlichen Wärmeganges der Fall ist, wenn sie z. B. den Gang der Bodentemperatur im Umkreise eines Hügels betrifft. Den besagten Nachteil wiegt aber der Wert des durch die Analyse erzielbaren Einblickes in die Stromthermik mehr als auf.

Bei den im Laufe des Jahres eine größere Lageänderung erfahrenden Stromringen kann man die Temperaturanalyse nur getrennt für die verschiedenen jahreszeitlichen Ringbilder vornehmen. Aus den für gleiche Winkel erhaltenen Werten lassen sich dann keine Kurven des jährlichen Wärmeganges konstruieren. Anders verhält es sich im atlantischen Weltmeere. In den Begleitworten zum Atlas der deutschen

Seewerte heißt es: »Da im allgemeinen der jahreszeitliche Wechsel in Lage und Beschaffenheit der Meeresströmungen im Bereiche des atlantischen Ozeans nicht sehr beträchtlich ist, konnte das Bild für den Nordwinter als Gesamtbild auch für das Jahresmittel angenommen werden.« Demnach läßt sich hier auch bei der Temperaturanalyse für alle vier Jahreszeiten dasselbe Ringbild zugrunde legen und für verschiedene Punkte des Stromrings der jährliche Temperaturgang ableiten.

Es wurde von mir zunächst eine Temperaturanalyse des süd-atlantischen Stromrings versucht. Zu diesem Zwecke fand die Einzeichnung eines tuplichst den Hauptstromstrichen folgenden Ringes in das Strömungsbild im Seewarte-Atlas statt und es geschah dann eine Übertragung dieses Ringes auf eine streckentreue Projektion. Der so erhaltene Ring wurde in 24 gleiche Teile geteilt und als Nullpunkt dieser Teilung (entsprechend dem 16. Jänner bei der harmonischen Analyse des jährlichen Wärmeganges) der Ort gewählt, wo der Ring den 20. Meridian westl. v. G. kreuzt. Dieser kann in der Westwindzone als Halbierungsmeridian des südatlantischen Ozeans gelten. Als geographische Breite des Nullpunktes ergab sich $42^{\circ} 30'$.

Alsdann wurden die auf dem streckentreuen Ringe gleich weit abstehenden 24 Punkte auf den in der Strömungskarte in Merkators Projektion eingezeichneten Ring übertragen und wurden die diesen Punkten auf den Isothermenkarten des Seewarte-Atlas entsprechenden Temperaturen bestimmt. Auch die Position der besagten Punkte ließ sich dann leichter aus ihrer Eintragung in Orthogonalkoordinaten entnehmen, wobei sich folgende (auf Zehner von Minuten abgerundete) Werte ergaben:

	λ_{IV}			λ_{IV}			λ_{IV}	
0	20°	$42^{\circ} 30'$	VIII	1°	$14^{\circ} 10'$	XVI	$39^{\circ} 30'$	$22^{\circ} 40'$
I	$11^{\circ} 40'$	41°	IX	$5^{\circ} 50'$	$10^{\circ} 40'$	XVII	$43^{\circ} 50'$	27°
II	$3^{\circ} 10'$	$39^{\circ} 40'$	X	$11^{\circ} 10'$	$7^{\circ} 50'$	XVIII	$47^{\circ} 40'$	$31^{\circ} 50'$
III	$— 4^{\circ} 10'$	38°	XI	$17^{\circ} 20'$	$6^{\circ} 40'$	XIX	51°	$37^{\circ} 20'$
IV	$— 10^{\circ} 40'$	$34^{\circ} 10'$	XII	$23^{\circ} 40'$	7°	XX	$53^{\circ} 10'$	$43^{\circ} 40'$
V	$— 9^{\circ} 30'$	28°	XIII	30°	8°	XXI	$45^{\circ} 50'$	$45^{\circ} 40'$
VI	$— 7^{\circ}$	$23^{\circ} 10'$	XIV	$34^{\circ} 20'$	12°	XXII	$36^{\circ} 30'$	$44^{\circ} 40'$
VII	$— 3^{\circ} 10'$	18°	XV	$37^{\circ} 20'$	$17^{\circ} 10'$	XXIII	$28^{\circ} 10'$	$43^{\circ} 30'$

Die aus den Isothermenkarten der Seeoberfläche für die mittleren Monate der Jahreszeiten (des ozeanischen Klimas) erhaltenen Temperaturen sind in Tabelle I angeführt, links stehen die gemessenen, rechts die nach $t'_n = (t_{n-1} + 2t_n + t_{n+1}) : 4$ ausgeglichenen Werte. Diese letzteren dienten zur Berechnung der Konstanten der Wärmeformeln.

Für die Phasenwinkel wurden folgende Werte gefunden:

	Febru	Mai	August	November
	266° 19' 20"	270° 43' 6"	270° 48' 26"	266° 1' 38"
	320° 3' 33"	337° 1' 30"	355° 20' 8"	328° 31' 18"
	37° 49' 7"	50° 11' 24"	45° 16' 26"	353° 49' 30"

Für die mittlere Ordinate und für die Parameter wurden nachstehende Werte erzielt:

	Febru	Mai	August	November
p_0	20·62	19·37	16·96	18·15
p_1	7·3698	8·3102	8·1133	7·8990
p_2	1·8434	1·4733	1·7072	1·7644
p_3	0·7689	0·5754	0·5117	0·3647

Die mit diesen Konstanten berechneten Temperaturen nebst ihren Abweichungen von den gemessenen sind in Tabelle II mitgeteilt. Die mittleren Differenzen Rechnung—Beobachtung in der Reihenfolge der Monate sind: 0·39, 0·40, 0·35, 0·29. Die Anschmiegung der berechneten an die gemessenen Temperaturen ist in der Tropenzone viel besser als in den Subtropen, so daß da die Werte 0·18, 0·22, 0·23, 0·19 (VI—XVII) den Werten 0·60, 0·57, 0·46, 0·39 (XVIII—V) gegenüberstehen. Auf die vier Viertel des Stromringes verteilen sich die Fehler im Mittel aller vier Monate wie folgt: XXI—II 0·48, III—VIII 0·37, IX—XIV 0·13, XV—XX 0·45.

Die durch rechnerische Extrapolation erhaltenen Eintrittsorte und Werte der Extreme sowie die beiderseitigen Abstände und die Wertunterschiede derselben sind:

Monat	Febru	Mai	August	November
Eintrittsort des Maximums	223° 49'	203° 58'	201° 40'	205° 36'
Eintrittsort des Minimums.....	341° 1'	339° 19'	335° 36'	345° 47'
Länge des Temperaturanstieges	242° 48'	224° 38'	226° 4'	219° 49'
Länge des Temperaturabfalles .	117° 12'	135° 22'	133° 56'	140° 11'
Maximum	27·48	27·05	25·05	25·75
Minimum ..	11·76	10·12	7·90	8·85
Amplitude ..	15·72	16·93	17·15	16·90

Den zu gleicher Zeit auf einem Stromring Platz greifenden Temperaturgegensatz könnte man zum Unterschiede von der örtlichen und individuellen Schwankung die zyklische Amplitude nennen. Sie nimmt im Südatlantik vom Sommer zum Winter um zirka 1·5 zu. Das Längenverhältnis zwischen dem auf- und absteigenden Aste der Wärmekurve ist in der Reihenfolge der Monate: 2·07, 1·66, 1·69, 1·57. Im Hochsommer schiebt sich der Eintrittsort des Maximums

Tabelle I.

Temperaturverteilung auf dem südatlantischen Stromring.

	Gemessene Werte				Ausgeglichene Werte			
	Februar	Mai	August	Nov.	Februar	Mai	August	Nov.
0	13·6	12·0	10·1	9·3	13·3	11·8	9·7	9·7
I	14·0	12·6	10·7	10·6	13·9	12·4	10·6	10·6
II	14·0	12·3	10·7	12·0	14·4	12·7	11·0	11·9
III	15·5	13·6	11·7	13·1	16·0	14·1	12·3	13·6
IV	19·1	16·8	15·1	16·0	18·3	16·5	14·5	15·7
V	19·6	18·6	16·2	17·6	19·8	18·5	16·2	17·3
VI	21·0	20·0	17·2	18·1	20·9	20·0	17·1	18·2
VII	21·8	21·5	17·9	19·0	22·0	21·5	18·1	19·2
VIII	23·5	22·8	19·3	20·5	23·4	22·8	19·6	20·6
IX	24·9	24·1	21·7	22·3	24·8	24·2	21·5	22·2
X	25·7	25·7	23·2	23·5	25·6	25·5	23·1	23·4
XI	26·1	26·4	24·1	24·1	26·1	26·4	24·0	24·2
XII	26·3	27·1	24·7	24·9	26·4	27·0	24·7	25·0
XIII	26·8	27·2	25·2	26·0	26·8	27·1	25·1	25·8
XIV	27·4	27·0	25·1	26·1	27·4	26·9	24·9	26·0
XV	27·8	26·5	24·0	25·9	27·3	26·2	23·9	25·4
XVI	26·3	24·9	22·5	23·5	26·5	24·9	22·5	23·8
XVII	25·4	23·4	21·1	22·1	25·2	23·3	20·8	22·1
XVIII	23·7	21·4	18·5	20·8	23·7	21·1	18·0	20·4
XIX	22·0	18·1	13·9	18·0	20·4	17·3	14·1	17·7
XX	14·0	11·7	10·0	13·9	15·6	13·1	10·5	13·8
XXI	12·2	10·9	8·0	9·4	12·6	10·8	8·5	10·4
XXII	11·8	9·6	7·9	8·9	12·0	10·1	7·9	9·2
XXIII	12·1	10·4	·9	9·6	12·4	10·6	8·5	9·4

am weitesten in der Strömungsrichtung vor, im Frühling weicht er am meisten zurück, während zugleich der Eintrittsort des Minimums die größte Vorschiebung erfährt.

Zum Unterschied von der bei der harmonischen Analyse der Luftwärme gegebenen Sachlage hat in der Wärmeformel des Stromringes das doppelte Sinusglied nicht eine bloß formale, sondern eine reale Bedeutung. Es schien darum am Platze, in einer dritten

Tabelle die Werte von $p_0 + p_1 \sin(v' + x)$ und von $p_2 \sin(v'' + 2x) + p_3 \sin(v''' + 3x)$ getrennt anzuführen.

Die Hauptwelle der Temperaturformel stellt den thermischen Einfluß des periodischen Wechsels der geographischen Breite dar. Die Wellenhöhe zeigt im Laufe des Jahres nur eine geringe Änderung. Der Phasenwinkel liegt im Winter und Herbst nahe bei 270 und entfernt sich im anderen Halbjahr nur wenig von diesem Wert.

Tabelle II.

Temperaturverteilung auf dem südantlantischen Stromring.

	Berechnete Werte				Differenzen gegen die ausgeglichenen Werte			
	Februar	Mai	August	Nov.	Februar	Mai	August	Nov.
0	12.6	10.9	9.1	9.3	-0.7	-0.9	-0.6	-0.4
I	13.8	12.1	10.4	10.6	-0.1	-0.3	-0.2	0.0
II	15.2	13.5	11.7	12.3	+0.8	+0.8	+0.7	+0.4
III	16.6	14.9	13.0	14.0	+0.6	+0.8	+0.7	+0.4
IV	17.9	16.3	14.2	15.5	-0.4	-0.2	-0.3	-0.2
V	19.2	17.9	15.4	16.9	-0.6	-0.6	-0.8	-0.4
VI	20.7	19.7	16.9	18.2	-0.2	-0.3	-0.2	0.0
VII	22.3	21.5	18.4	19.4	+0.3	0.0	+0.3	+0.2
VIII	23.7	23.2	20.1	20.7	+0.3	+0.4	+0.5	+0.1
IX	24.8	24.5	21.6	22.1	0.0	+0.3	+0.1	-0.1
X	25.5	25.5	22.9	23.3	-0.1	0.0	-0.2	-0.1
XI	26.0	26.2	23.9	24.4	-0.1	-0.2	-0.1	+0.2
XII	26.3	26.7	24.6	25.1	-0.1	-0.3	-0.1	+0.1
XIII	26.8	27.0	25.0	25.6	0.0	-0.1	-0.1	-0.2
XIV	27.3	27.0	25.0	25.7	-0.1	+0.1	+0.1	-0.3
XV	27.5	26.6	24.3	25.3	+0.2	+0.4	+0.4	-0.1
XVI	27.0	25.3	22.8	24.3	+0.5	+0.4	+0.3	+0.5
XVII	25.5	23.2	20.4	22.5	+0.3	-0.1	-0.4	+0.4
XVIII	22.9	20.2	17.3	20.0	-0.8	-0.9	-0.7	-0.4
XIX	19.6	16.9	14.0	17.0	-0.8	-0.4	-0.1	-0.7
XX	16.3	13.8	11.0	13.9	+0.7	+0.	+0.5	+0.1
XXI	13.6	11.5	8.9	11.2	+1.0	+0.7	+0.4	+0.8
XXII	12.1	10.3	8.0	9.5	+0.1	+0.2	+0.1	+0.3
XXIII	11.8	10.2	8.1	8.8	-0.6	-0.4	-0.4	-0.6

In den Tälern der doppelten und dreifachen Sinuswelle kommen die Abkühlungen, welche der Stromring erleidet, zum Ausdruck, wobei die Lage dieser Wellentäler eine solche ist, daß sich auch die Besonderheiten jener Abkühlungsphänomene ausprägen. Die Abkühlung durch den Falklandstrom, welche stark ist, weil sie durch oberflächlich zutretendes kaltes Wasser bedingt wird, sich aber auf ein relativ kurzes Ringstück beschränkt, weil die ostwärts von etwa 35 oder

30° westl. v. G. rechterseits herankommenden Wasser schon der Westwindtrift nahezu parallel laufen (und so kaum mehr zur Abkühlung dieser Trift beitragen), findet in dem Zusammenfallen eines negativen Scheitels der dreifachen Welle mit einem solchen der Doppelwelle ihren analytischen Ausdruck.

Die Abkühlung im Benguelastrome, welche weniger stark ist als die vorige, weil beim Aufstiege des Grundwassers eine allmäh-

Tabelle III.

	$p_0 + p_1 \sin (v' + x)$				$p_2 \sin (v'' + 2x) + p_3 \sin (v''' + 3x)$			
	Februar	Mai	August	Nov.	Februar	Mai	August	Nov.
0	13·27	11·06	8·85	10·27	— 0·71	— 0·13	+ 0·23	— 0·96
I	13·39	11·37	9·15	10·40	+ 0·45	+ 0·75	+ 1·24	+ 0·18
II	14·02	12·23	9·99	11·05	+ 1·24	+ 1·26	+ 1·76	+ 1·21
III	15·09	13·57	11·30	12·19	+ 1·51	+ 1·30	+ 1·70	+ 1·79
IV	16·53	15·31	13·00	13·74	+ 1·35	+ 1·02	+ 1·18	+ 1·80
V	18·26	17·32	14·97	15·58	+ 0·97	+ 0·60	+ 0·46	+ 1·32
VI	20·15	19·47	17·07	17·60	+ 0·58	+ 0·21	— 0·22	+ 0·56
VII	22·07	21·62	19·17	19·66	+ 0·22	— 0·13	— 0·73	— 0·24
VIII	23·89	23·62	21·12	21·62	— 0·16	— 0·45	— 1·04	— 0·88
IX	25·49	25·32	22·77	23·34	— 0·65	— 0·78	— 1·19	1·28
X	26·75	26·62	24·04	24·70	— 1·21	— 1·09	— 1·18	— 1·40
XI	27·60	27·42	24·82	25·62	— 1·64	— 1·23	— 0·97	1·27
XII	27·98	27·68	25·07	26·03	— 1·65	— 1·02	— 0·50	— 0·88
XIII	27·85	27·37	24·77	25·90	— 1·08	— 0·39	+ 0·22	— 0·28
XIV	27·23	26·51	23·93	25·25	+ 0·03	+ 0·52	+ 1·04	+ 0·48
XV	26·16	25·17	22·62	24·11	+ 1·32	+ 1·41	+ 1·70	+ 1·22
XVI	24·71	23·43	20·92	22·56	+ 2·29	+ 1·90	+ 1·91	+ 1·73
XVII	22·98	21·42	18·95	20·72	+ 2·49	+ 1·75	+ 1·48	+ 1·78
XVIII	21·09	19·23	16·85	18·70	+ 1·79	+ 0·94	+ 0·50	+ 1·28
XIX	19·17	17·12	14·75	16·64	+ 0·41	— 0·23	— 0·73	+ 0·33
XX	17·35	15·13	12·81	14·68	— 1·10	— 1·33	— 1·77	— 0·80
XXI	15·75	13·42	11·14	12·97	— 2·18	— 1·93	— 2·21	— 1·73
XXII	14·49	12·12	9·88	11·60	— 2·42	— 1·83	— 1·90	— 2·13
XXIII	13·64	11·32	9·09	10·68	— 1·83	— 1·12	— 0·97	— 1·83

liche schwache Erwärmung erfolgt, sich aber über ein größeres Stück des Stromringes verteilt, spricht sich in der Weise aus, daß je ein negativer Scheitel der sekundären und tertiären Welle in einigem Abstand nebeneinander zu liegen kommen. Die Superposition beider Wellen führt hier so zur Bildung einer breiten und flachen Mulde, während im vorigen Falle eine schmale und tiefe Mulde entsteht. Der restliche negative Scheitel der dreifachen Welle fällt in die Nähe der Stromteilung von S. Roque, die wohl zu

Auftriebserscheinungen Anlaß geben kann, welche sich aber in dem betrachteten Stromringe thermisch kaum anzudeuten vermöchten.

Den genannten Abkühlungen stehen keine Warmwasserzuflüsse gegenüber. Das Westende des Agulhasstromes und der Guineastrom liegen von dem besagten Stromringe zu weit abseits, als daß sie für ihn als Wärmequellen in Betracht kämen. Dies läßt erkennen, daß die Hauptwelle dem thermischen Stromzustande bei völliger Ausschaltung aller Vertikalbewegungen entspricht, so daß sich in den Bergen der sekundären und tertiären Sinuswelle die Stauungsphänomene (beziehungsweise die Tendenzen zu absteigender Wasserbewegung), welche auf dem Stromringe Platz greifen, widerspiegeln. Der Wasserstau im Brasilischen Strome spricht sich rechnerisch in dem Zusammenfallen (beziehungsweise in der nahen Nachbarschaft) eines positiven Scheitels der dreifachen Welle und eines solchen der Doppelwelle aus. Die Temperaturerhöhung westlich von der Südspitze Afrikas findet (soweit sie nicht durch die Breitenabnahme bedingt ist) in der Annäherung zweier positiver Scheitel der genannten Wellen ihren analytischen Ausdruck. Man kann da insofern von Stauung sprechen als die sich gegen das Kapland zu bewegende Westwindtrift bei ihrer Annäherung an dasselbe durch den nach W vordrängenden Agulhasstrom an einem Ausweichen gegen SO gehindert und zu einem scharfen Umbiegen nach NW gezwungen wird, das dann allerdings unmittelbar an der Küste einen Wasserauftrieb im Gefolge hat. Auf den Isothermenkarten der Meeresoberfläche zeigt sich in allen Jahreszeiten, am deutlichsten im Sommer, ein das Gebiet des Agulhasstromes mit dem südatlantischen Stillengebiet verbindender Rücken und auch im Bilde der Wärmeverteilung in 400 m Tiefe ist derselbe noch im Verlauf der 9° Isotherme erkennbar. Die thermische Wirkung des Wasserauftriebes ist im Sommer, zur Zeit des Abflauens des südöstlichen Passates, im kühlen Benguelastrome gegenüber dem Winter verringert, in der wärmeren Südäquatorialtrift dagegen relativ verstärkt. Der thermische Einfluß des subantarktischen Wassers auf die brasilische Strömung erscheint im Hochsommer, zur Zeit der größten Wärme derselben, im Vergleiche zum Winter herabgemindert; auf die kühle Westwindtrift wirkt dagegen das Wasser subantarktischer Herkunft im Sommer relativ mehr erkaltend ein.

Wie schon erwähnt, ist es wegen des relativ geringen jährlichen Lagewechsels der südatlantischen Ströme statthaft, für Punkte auf denselben aus den Temperaturen um die Mitte der Jahreszeiten jährliche Temperaturgänge abzuleiten. So wird man dies auch für die Punkte des hier betrachteten Stromringes tun dürfen, ohne sich der Gefahr auszusetzen, Temperaturwerte zu verbinden, die in den extremen Jahreszeiten weit außerhalb der gleichzeitigen Stromstriche liegen würden. Dann ist es möglich, die Oberflächentemperaturen des Meeres im südatlantischen Antizyklon in ihrer Abhängigkeit von Ort und Zeit zu erkennen und diese zweifache Bedingtheit in einem Isoplethendiagramm zu vereinter Darstellung zu bringen. Es wurden

zunächst mittels der aus den Isothermenkarten abgelesenen Werte jährliche Wärmegänge auf graphischem Wege ermittelt und aus den gewonnenen Kurven vier äquidistante Zwischenwerte entnommen, welchen dieselbe Ausgleichung wie den früher erhaltenen Werten zuteil wurde. Eine Zeichnung von jährlichen Wärmegängen mit zwei Maxima und Minima schloß sich hierbei allerdings aus, doch dürften sekundäre Extreme selbst auf den dem Gleicher am nächsten gelegenen Strompunkten nur angedeutet sein. Auf Grund der nun verfügbaren acht Werte fand dann eine Ableitung von Gleichungen des jährlichen Temperaturganges statt, wobei eine Beschränkung auf zwei Sinusglieder Platz griff. Tabelle IV enthält die für die Grenzpunkte zwischen den Jahreszeiten graphisch interpolierten Temperaturen und die durch Zuziehung ihrer Nachbarwerte mit halbem Gewichte ausgeglichenen Temperaturwerte. Tabelle V bringt die Parameter und Phasenwinkel der berechneten Temperaturgleichungen. In Tabelle VI sind die mittels dieser Gleichungen berechneten jährlichen Temperaturgänge mitgeteilt. Eine vollständige Angabe der Abweichungen der berechneten Temperaturen von den gemessenen kann hier entfallen, da dieselben bei den auf Zehntelgrade abgerundeten Rechnungsergebnissen großenteils = 0 sind. Es mag genügen, die größten (f) und mittleren (F) Fehler (in Hunderteln von Graden) anzuführen.

	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
f	11	8	8	10	11	9	3	4	4	5	1	8
F		5	4	5	5		2	2	2	3	1	4
	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI	XXII	XXIII
f	2	1	2	8	7	12	18	14	6		8	10
F	1	0	1		4	6	11	9	4			5

Die aus den Gleichungen des jährlichen Wärmeganges für die mittleren Monate der Jahreszeiten berechneten Temperaturen in Tabelle VI stimmen mit den aus den Gleichungen der örtlichen Wärmeverteilung in diesen Monaten berechneten Werten in Tabelle II naturgemäß nicht überein. Als mittlere Differenzen ergeben sich: August 0·35, November 0·30, Februar 0·39, Mai 0·38; nach Stromringvierteln: XXI—II 0·47, III—VIII 0·37, IX—XIV 0·14, XV—XX 0·44. Als größte Differenz ergibt sich 1·0.

Die Werte von p_0 in Tabelle V bringen die mittlere jährliche Temperaturverteilung auf dem südatlantischen Stromringe zur Anschauung. Andererseits erhält man durch Verbindung der Durchschnittswerte der in Tabelle IV rechts stehenden Temperaturen mit

den Werten von p_0 der früher abgeleiteten Gleichungen ein Bild des mittleren jährlichen Wärmeganges auf dem südatlantischen Stromringe:

Mitte August	Ende September	Mitte November	Ende Dezember	Mitte Februar	Ende März	Mitte Mai	Ende Juni
16·96	17·07	18·15	19·70	20·62	20·57	19·37	17·80

Tabelle IV

Temperaturen auf den Grenzpunkten der Jahreszeiten.

	Gemessene Werte				Ausgeglichene Werte			
	Ende Sept.	Ende Dez.	Ende März	Ende Juni	Ende Sept.	Ende Dez.	Ende März	Ende Juni
0	9·2	11·8	12·9	11·0	9·2	11·8	12·9	10·5
I	10·1	12·5	13·7	11·6	10·1	12·6	13·5	11·3
II	11·0	13·5	13·6	11·0	11·0	13·6	14·0	11
III	12·0	14·7	15·0	12·3	12·6	15·3	15·6	12·8
IV	15·2	18·2	18·6	15·6	14·	17·5	18·0	15·1
V	16·4	18·8	19·7	17·0	16·3	18·9	19·8	16·9
VI	17·2	19·7	21·1	18·2	17·2	19·7	21·1	18·2
VII	17·8	20·5	22·3	19·5	18·0	20·	22·4	19·5
VIII	19·3	22·1	23·7	20·7	19·5	22·1	23·7	20·9
IX	21·5	23·6	25·1	22·5	21·3	23·6	25·0	22·6
X	22·9	24·9	26·1	24·7	22·7	24·6	26·0	24·3
XI	23·6	25·0	26·7	25·3	23·7	25·1	26·7	25·4
XII	24·5	25·6	27·1	26·1	24·5	25·7	27·1	25·9
XIII	25·5	26·4	27·3	26·0	25·2	26·3	27·3	26·0
XIV	25·2	26·9	27·6	26·0	25·1	26·8	27·6	25·7
XV	24·3	27·1	27·8	24·8	24·1	26·6	27·4	24·7
XVI	22·5	25·3	26·2	23·3	22·6		26·4	23·3
XVII	21·0	24·3	25·2	21·9	20·9	24·2	25·0	21·6
XVIII	19·0	23·0	23·2	19·1	18·5	22·9	23·2	18·
XIX	14·8	21·2	21·2	14·8	15·2	19·9	19·7	14·
XX	12·1	14·3	13·3	9·9	11·8	15·2	15·0	10·9
XXI	8·0	11·0	12·3	9·0	9·0	11·8	12·3	9·1
XXII	8·0	11·0	11·3	8·3	8·1	11·0	11·8	8·5
XXIII	8·4	11·1	12·2	8·5	8·5	11·3	12·2	9·1

Die Änderung der Jahresamplitude auf dem Stromring kommt in erster Annäherung in den Werten von p_1 in Tabelle V zum Ausdruck. Genauer läßt sie sich aus den Wellenscheiteln der

auf graphischem Wege erhaltenen Jahreskurven ermitteln. Wenn aber nicht Einzelwerte in Betracht kommen, sondern die Amplitude als eine periodisch veränderliche Größe aufzuzeigen ist, sind auch die Differenzen der graphisch extrapolierten Extreme einer Ausgleichung, wie sie den Monatswerten zuteil wurde, zu unterziehen. Den so gewonnenen Amplituden sehr ähnliche, im Mittel nur um 0.16 ab-

Tabelle V

Konstanten der jährlichen Temperaturgänge auf dem südatlantischen Stromring.

	Parameter			Phasenwinkel	
	P_0	P_1	P_2		
0	11.1	0.021	0.378	241° 58' 52"	97° 35' 40"
I	11.9	1.848	0.382	243° 37' 15"	101° 18' 35"
II	12.5	1.788	0.202	258° 24' 50"	97° 7' 30"
III	14.0	1.909	0.152	263° 34' 57"	80° 32' 16"
IV	16.3	1.990	0.152	259° 36' 20"	80° 32' 16"
V	18.0	1.956	0.090	253° 12' 10"	33° 41' 24"
VI	19.1	2.096	0.112	245° 20' 37"	333° 26' 6"
VII	20.2	2.272	0.158	239° 51' 52"	288° 26' 6"
VIII	21.6	1.190	0.112	240° 26' 15"	296° 33' 54"
IX	23.2	1.923	0.035	239° 27' 0"	315°
X	24.4	1.645	0.071	230° 4' 59"	225°
XI	25.2	1.513	0.127	221° 29' 20"	258° 41' 25"
XII	25.8	1.308	0.225	220° 28' 57"	270°
XIII	26.1	1.065	0.255	232° 51' 40"	281° 18' 35"
XIV	26.3	1.347	0.158	240° 27' 57"	288° 26' 6"
XV		1.825	0.112	255° 48' 23"	296° 33' 54"
XVI	24.4	2.135	0.090	254° 51' 9"	56° 18' 36"
XVII	22.9	2.353	0.152	256° 6' 14"	80° 32' 16"
XVIII	20.8	3.010	0.056	264° 58' 46"	63° 26' 6"
XIX	17.4	3.297	0.146	273° 53' 27"	300° 57' 50"
XX	13.2	2.627	0.266	278°	311° 11' 10"
XXI	10.6	2.096	0.103	264° 21' 26"	345° 57' 50"
XXII	9.8	2.166	0.180	258° 21' 17"	56° 18' 36"
XXIII	10.3	2.095	0.237	254° 21' 15"	71° 33' 54"

weichende Werte der jährlichen Wärmeschwankung erhält man aus Tabelle VI. Die Differenzen Februar—August bleiben aber, gleichviel ob man sie aus Tabelle II oder aus Tabelle VI entnimmt, auf der Stromstrecke VI—XIV (sowie auf 0 und I), durchschnittlich um etwas mehr als 0.5, im Gesamtdurchschnitte um 0.25 hinter den auf die vorige Art gewonnenen Amplituden zurück. Ein Blick auf Tabelle VI klärt über die Ursache dieses Zurückbleibens auf.

Die ausgeglichenen Differenzen zwischen den graphisch extrapolierten Extremen wurden als Grundlage für die Ableitung einer Gleichung des Amplitudenganges auf dem Stromringe benutzt. Als Konstanten dieser Gleichung ergaben sich:

P_0	P_1	P_2	P_3			
4·117	0·769	0·016	0·261	128° 19' 55"	241° 29' 37"	27° 16' 33"

Tabelle VI.

Berechnete jährliche Temperaturgänge auf dem südatlantischen Stromring.

	Mitte Aug.	Ende Sept.	Mitte Nov.	Ende Dez.	Mitte Febr.	Ende März	Mitte Mai	Ende Juni
0	9·7	9·1	9·8	11·8	13·3	13·0	11·7	10·6
I	10·6	10·1	10·7	12·5	13·9	13·6	12·3	11·3
II	11·0	11·0	12·0	13·5	14·5	14·0	12·7	11·6
III	12·3	12·6	13·7	15·2	16·1	15·6	14·1	12·8
IV	14·5	14·7	15·8	17·4	18·4	18·0	16·5	15·1
V	16·1	16·3	17·4	18·8	19·9	19·8	18·5	17·0
VI	17·1	17·2	18·2	19·7	20·9	21·1	20·0	18·2
VII	18·1	18·0	19·2	20·7	22·0	22·4	21·5	19·5
VIII	19·6	19·5	20·6	22·1	23·4	23·7	22·8	20·9
IX	21·5	21·3	22·2	23·6	24·8	25·0	24·2	22·7
X	23·1	22·7	23·4	24·6	25·6	26·0	25·5	24·3
XI	24·1	23·7	24·2	25·1	26·1	26·7	26·5	25·3
XII	24·7	24·5	25·0	25·7	26·4	27·1	27·0	25·9
XIII	25·1	25·2	25·8	26·3	26·8	27·3	27·1	26·0
XIV	24·9	25·1	26·0	26·8	27·4	27·6	26·9	25·7
XV	23·8	24·2	25·4	26·6	27·4	27·3	26·3	24·7
XVI	22·5	22·6	23·8	25·5	26·6	26·3	24·9	23·3
XVII	20·8	20·9	22·2	24·1	25·3	24·9	23·3	21·7
XVIII	17·9	18·5	20·5	22·7	23·9	23·1	21·0	18·9
XIX	14·0	15·3	17·7	19·8	20·5	19·6	17·3	14·8
XX	10·4	11·8	13·8	15·2	15·6	15·0	13·1	11·0
XXI	8·5	9·0	10·4	11·8	12·6	12·3	10·8	9·1
XXII	7·9	8·1	9·2	10·9	12·1	11·7	10·1	8·5
XXIII	8·5	8·5	9·5	11·2	12·5	12·2	10·6	9·2

In Tabelle VII sind in Kolumne 1 die aus Tabelle VI abgeleiteten Amplituden (S) in Kolumne 2 und 3 die graphisch extrapolierten (nicht ausgeglichenen) Extreme, in Kolumne 4 die ausgeglichenen Differenzen derselben (A) mitgeteilt. Kolumne 5 enthält

die nach der vorigen Gleichung berechneten Amplituden (A'), Kolumne 6 die Abweichungen derselben von den der Rechnung zugrunde gelegten Werten. Da auch in der Amplitudengleichung dem doppelten Sinusgliede eine reale Bedeutung zukommt (es ist hier sogar $p_2 > p_1$), schien es wiederum am Platze, die Werte von $p_0 + p_1 \sin (v' + x)$ und von $p_2 \sin (v'' + 2x) + p_3 \sin (v''' + 3x)$ getrennt

Tabelle VII.

Verlauf der jährlichen Wärmeschwankung auf dem südatlantischen Stromring.

	S	Max.	Min.	A	A'	A' - A	A ₁	A ₂
0	4.2	13.6	9.0	4.4	4.0	-0.4	4.72	-0.69
I	3.8	14.1	10.1	4.0	3.9	0.1	4.58	-0.67
II	3.5	14.0	10.7	3.6	3.8	+0.2	4.40	-0.55
III	3.8	15.6	11	3.8	3.8	0.0	4.21	0.36
IV	3.9	19.1	15.1	3.9	3.9	0.0	4.01	0.10
V	3.8	19.8	16.1	3.9	4.0	+0.1	3.81	+0.23
VI	4.0	21	17.0	4.3	4.2	0.1	3.64	+0.57
VII	4.4	22.3	17.6	4.6	4.3	0.3	3.50	+0.84
VIII	4.2	23.7	19.1	4.4	4.3	-0.1	3.40	+0.90
IX	3.7	25.1	21.4	3.8	4.0	+0.2	3.35	+0.69
X	3.3	26.0	22.9	3.3	3.5	+0.2	3.36	+0.21
XI	3.0	26.7	23.6	3.1	3.0	0.1	3.41	0.40
XII	2.6	27.3	24.4	.8	2.6	-0.2	3.51	0.93
XIII	2.2	27.4	25.2		.5	0.0	3.66	1.17
XIV	.7	27.5	24.9	2.8	2.8	0.0	3.83	-1.01
XV	3.6	28.0	24.0	3.7	3.5	0.2	4.03	0.52
XVI	4.1	26.4	22.4	4.2	4.4	+0.2	4.23	+0.14
XVII	4.5		20.9	4.6	5.1	+0.5	4.42	+0.73
XVIII	6.0	23.7	18.5	5.8	5.6	-0.2	4.59	+1.04
XIX	6.5	22.0	13.9	6.5		-0.8	4.73	+1.00
XX	5.2	14.3	9.7	5.5		0.0	4.83	+0.66
XXI	4.1	12.5	.8	4.5	5.1	+0.6	4.88	+0.19
XXII	4.2	11.8	7.8	4.3	4.6	+0.3	4.88	0.26
XXIII	4.0	12.4	7.8	4.5	4.3	-0.2	4.82	0.56

anzuführen. Diesen Zweck erfüllen Kolumne 7 und 8. Der mittlere Fehler der berechneten Amplituden ist ± 0.21 (von XVII bis 0 ± 0.37 , von I bis XVII nur ± 0.12).

In der einfachen Sinuswelle drückt sich der Einfluß der geographischen Breite auf die Temperaturschwankung aus. Der erste Phasenwinkel ist so geartet, daß der positive Wellenscheitel dorthin fällt, wo der Stromring die höchste geographische Breite erreicht (XXI in $45^\circ 40'$). Der negative Wellenscheitel kommt dann allerdings

nicht dahin zu liegen, wo sich der Stromring dem Gleicher am meisten nähert; es greift dann die dreifache Welle ausgleichend ein. Die doppelte Sinuswelle bringt die Umgestaltung des zonalen Amplitudenganges durch die dem Stromringe erwachsenden Abkühlungen und Erwärmungen zum Ausdruck. Im Gegensatz zur Sachlage bei der Temperaturgleichung entspricht in der Amplitudengleichung dem Übergange von Abkühlung in Erwärmung (beziehungsweise umgekehrt) kein Vorzeichenwechsel in der Beeinflussung der zonalen Temperatur. Beide thermische Vorgänge wirken sich — sofern sie in den extremen Jahreszeiten verschieden stark auftreten — in einer Erhöhung der Schwankung aus. Die negativen Scheitel der doppelten Welle fallen darum auf jene Stellen des Stromringes, auf welchen das zweite Sinusglied der Temperaturgleichungen des Februar und August beim Aufstiege das Vorzeichen wechselt ($4^{\circ} 40'$ und $184^{\circ} 40'$ im August, $24^{\circ} 56'$ und $204^{\circ} 26'$ im Februar, im Durchschnitt nahe 15 und 195). In formaler Hinsicht scheinen so die sekundären Einflüsse durch die Werte von $p_2 (1 + \sin v'' + 2 x)$ gegeben. Wo sich thermische Einflüsse auf ein Minimum reduzieren, kann auch von einer jahreszeitlichen Verschiedenheit derselben keine Rede sein.

Das Hauptminimum der Amplitude, südöstlich von S. Roque, tritt ein, wo die letzten thermischen Nachwirkungen des Wasserauftriebes verflaut sind, die ersten thermischen Vorboten des Wasserstaus längs der brasilischen Küste sich aber noch nicht einstellen. Das sekundäre Minimum, östlich von der Cough-Insel, stellt sich ein, wo der Zustrom von subantarktischem Wasser zum südatlantischen Verbindungsstrom abflaut, der Wasserstau neben dem Ende des Agulhasstromes aber noch nicht in Erscheinung tritt. Die Wertdifferenz der Minima geht im wesentlichen auf Rechnung des Unterschiedes der geographischen Breite. Die positiven Scheitel der doppelten Sinuskurve kommen dorthin zu liegen, wo der jahreszeitliche Gegensatz der abkühlenden oder erwärmenden Einflüsse Höchstwerte erreicht. Das Hauptmaximum der Amplitude, im SO des La Plata, stellt sich ein, wo der Falklandstrom auf die Brasilströmung trifft und sich unter dem Einflusse der letzteren die Sommerwärme noch hoch erhält, unter dem Einflusse des ersteren aber die Wintertemperatur schon tief herabgeht. Das sekundäre Maximum der Jahresschwankung, im SO von St. Helena, entspricht der Gegend, wo der Wasserauftrieb zur Zeit des stärksten Wehens des Passats gegenüber jenem um die Zeit der schwächeren Winde am meisten gesteigert ist und sich so eine vergleichsweise niedrige Wintertemperatur mit einer relativ höheren Sommerwärme verbindet. Als ein nur durch die jahreszeitliche Verschiedenheit der Abkühlung bedingtes Phänomen bleibt so dieses zweite Maximum weit hinter dem durch stärkere winterliche Abkühlung und größere sommerliche Wärmezufuhr erzeugten Hauptmaximum zurück. Letzterem entspricht ein hoher, ersterem ein niedriger Wert des dritten Sinusgliedes. In seinem rechnerisch unausgeglichene Werte schwillt das

Hauptmaximum sogar bis 8 1 an, während das Nebenmaximum auch unausgeglichen nur 4·7 erreicht.

Die periodische Umgestaltung, welche der jährliche Gang der Temperatur auf dem südatlantischen Stromringe erfährt, kommt in erster Annäherung in der Änderung des Phasenwinkels der einfachen Sinuswelle zum Ausdruck. Sie vollzieht sich etwas unregelmäßig, so daß eine Ausgleichung der Werte nach $a'_n = (a_{n-1} + a_n + a_{n+1})$ erfolgte. Eine andere kurze Ausdrucksform für den jährlichen Gang der Wärme ist der thermodromische Quotient, die durch die Amplitude dividierte Differenz der Temperaturen um die Herbst- und die Frühlingsmitte. Auch sie verläuft auf dem Stromringe unregelmäßig und wurde in derselben Weise wie der Phasenwinkel ausgeglichen. Erster Phasenwinkel und thermodromischer Quotient zeigen in ihrem Verlaufe über den Stromring eine bemerkenswerte Ähnlichkeit. Die ausgeglichenen Werte des thermodromischen Quotienten wurden als Grundlage für die Ableitung einer Sinusgleichung benutzt. Als Konstanten derselben ergaben sich:

P_0	P_1	P_2	P_3			
32·	22·61	13·66	5·58	312° 28' 48"	103° 25' 33"	81° 48' 26"

Tabelle VIII enthält in Kolonne 1 die auf Zehntelgrade abgerundeten (V') in Kolonne 2 die in der vorigen Weise ausgeglichenen Werte (V'_a) des ersten Phasenwinkels der Gleichungen des jährlichen Temperaturganges. In Kolonne 3 sind die thermodromischen Quotienten (Q), in Kolonne 4 die ausgeglichenen Werte derselben mitgeteilt. (Q_a) Kolonne 5 bringt die aus diesen Werten mit den vorangehenden Konstanten berechneten Werte der thermodromischen Quotienten (Q'), Kolonne 6 die Abweichungen derselben von den der Rechnung zugrunde gelegten Werten. In Kolonne 7 und 8 sind — wie in den früheren Fällen — die Summen aus dem Mittelwert und dem ersten Sinusgliede und die Summen aus dem zweiten und dritten Sinusgliede getrennt angeführt. Kleinen Werten des ersten Phasenwinkels entsprechen große Wärmeüberschüsse des Herbstes über den Frühling. Bei über 270° steigenden Phasenwinkeln wird die Temperaturdifferenz Mai—November negativ.

Innerhalb der Tropen (VI—XVI) kommt dem ersten Sinusgliede eine reale Bedeutung zu, insofern sich die wachsende Verspätung des zweiten Höchststandes der Sonne, welchem — sofern nicht besondere meteorische Verhältnisse eine andere Sachlage schaffen — das Temperaturmaximum folgt, eine zunehmende Hinausschiebung dieses Maximums bedingen muß. Andererseits muß im Äquatorialstrome der auf langer Strecke vorausgegangene Wasserauftrieb im Sinne einer Verzögerung des Eintrittes der tiefsten Temperatur

wirken. Daß außerhalb der Tropen, wo theoretisch das Temperaturmaximum in einem Ozean in verschiedenen Breiten zu gleicher Zeit eintreten könnte, ein solches zeitliches Zusammenfallen ausbleibt, ist bei der Manigfaltigkeit der auf den Wärmegang Einfluß nehmenden Umstände leicht zu begreifen.

Das zweite Maximum des thermodynamischen Quotienten auf halbem Wege im südatlantischen Verbindungsstrom, das sich an

Tabelle VIII.

Verlauf des thermodynamischen Quotienten auf dem südatlantischen Stromring.

	V'	V'_a	Q	Q_a	Q'	$Q'-Q$	Q'_1	Q'_2
0	242·0	246·6	48	40	35	— 5	16·	+ 18·8
I	243·6	248·0	45	38	35	3	20·8	+ 14·4
II	258·4	255·2	22	27	31	+ 4	26·1	+ 4·7
III	263·6	260·5	13	18	25	+ 7	31·9	— 6·5
IV	259·6	258·8	20	21	23	+ 2	37·8	14·9
V	253·	252·7	31	31	26		43·4	17·6
VI	245·3	246·1	42	41	34	— 7	48·2	— 14·1
VII	239·9	241·9	50	47	45	2	52·0	— 6·6
VIII	240·4	239·9	50	51	56	+ 5	54·5	+ 1·6
IX	239·5	236·6	53	56	63	+ 7	55·5	+ 7·6
X	230·1	230·3	64	63	65	+ 2	55·0	+ 10·2
XI	221	224·0	71	69	63	6	53·0	+ 9·8
XII	220·5	224·9	71	65	57	8	49·6	+ 7·8
XIII	232·9	234·3	52		51	1	45·1	+ 5·5
XIV	249·5	246·0	32		43	+ 8	39·7	+ 3·1
XV	255·8	253·4	22	27	34	+ 7	33·9	+ 0·2
XVI	254·9	255·6	26	25	24	1	28·0	— 3·9
XVII	256·1	258·6	26	21	14		22·5	— 8·6
XVIII	265·0	265·0	12	11		— 6	17·7	— 12·5
XIX	273·9	272·3	— 6	2	1	+ 3	13·9	— 13·3
XX	278·1	272·1	13	3	2	+ 5	11·4	— 9·4
XXI	264·4	266·9	9	6	9	+ 3	10·3	— 1·3
XXII	258·4	259·0	21	19	19	0	10·8	+ 8·6
XXIII	254·4	251·5	27	32	29	— 3	12·9	+ 16·4

den größten Wert von $p_2 \sin(v'' + 2x) + p_3 \sin(v''' + 3x)$ knüpft, entspricht wohl jenen mittleren Verhältnissen, welche in einem außertropischen ozeanischen Klima betreffs der Verspätung des Wärmemaximums gegenüber dem Sommersolstitium Platz greifen. Zugleich spiegelt es jene Verzögerung des Minimums wieder, welche der schon auf langer Strecke vorausgegangene Zustrom kalten Wassers bedingen muß.

Der Eintritt einer Kurvensymmetrie mit Wärmegleichheit um die Herbst- und Frühlingsmitte in der Gegend im SO der La Plata-Mündung scheint dadurch hervorgebracht zu sein, daß dort der Eingriff des kalten Falklandstromes in die warme Brasilströmung einer Hinausschiebung des Wärmemaximums in den Herbst hindernd entgegentritt. Das zweite Minimum des thermodynamischen Quotienten westlich von der Südspitze Afrikas dürfte dagegen dadurch veranlaßt sein, daß die dort stattfindende Wärmezunahme durch Wasserstau der im südatlantischen Verbindungsstrome eingetretenen starken Verzögerung des Minimums entgegenwirkt. Eine genauere Beurteilung der hier berührten Verhältnisse würde die Kenntnis aller Monatstemperaturen voraussetzen, wie sie aus dem dieser Studie zugrunde gelegten Seewarte-Atlas nicht zu gewinnen ist. Die Gestaltung der jährlichen Wärmekurve zählt aber zu jenen Erscheinungen, welche sich im Rahmen der Betrachtung der Ozeanthermik als Phänomen der Wärmeverteilung nicht mehr ganz klarstellen lassen und schon eine Bezugnahme auf die mit der Zeitänderung sich vollziehende Ortsveränderung der Wasserteilchen erfordern.

Um an eine Betrachtung der individuellen Temperaturbewegung heranzutreten, muß man zunächst über Durchschnittswerte der Stromgeschwindigkeit verfügen. Dem Handbuche der Ozeanographie von Krümmel entnimmt man folgende diesbezügliche Angaben:

Benguela Strom: meist mehr als 12, aber selten mehr als 30 Seemeilen täglich (p. 611).

Südäquatorial Strom (6 bis 8° südlich) nach Kapitän Hoffmann

Dez.—Jänner	Febr.—März	April—Mai	Juni —Juli	Aug. Sept.	Okt.—Nov.
15	18	19	20	17	13

(p. 550) Durchschnitt dieser Zweimonatmittel 17 Seemeilen.

Brasil-Strom: meist nicht mehr als 20 Seemeilen täglich (p. 560).

Südatlantischer Verbindungsstrom: Stärke schwankt beträchtlich, Versetzungen zwischen 6 und 33 Seemeilen im Etmal (p. 610).

Bildet man für den Benguela-Strom und für den südatlantischen Verbindungsstrom aus den Grenzwerten der Stromversetzungen je einen Mittelwert mit doppeltem Gewichte des unteren Grenzwertes, so erhält man 18 und 15 Seemeilen und somit — wenn man jedem der vier Ströme je ein Viertel des Stromringes zuteilt — als mittlere Geschwindigkeit der Wasserbewegung in dem Ringe 17·5 Seemeilen. Weil an den scharfen Umbiegungen des Ringes die Geschwindigkeit herabgemindert sein muß, wird man ihren mittleren täglichen Wert nicht mit mehr als 16 Seemeilen bemessen. Da für die hier als Einheit in Betracht kommende Wegstrecke die Ausmessung eine Länge von 365 Seemeilen ergibt, würde sich bei der vorigen Annahme als mittlere Umlaufzeit eines Wasserteilchens in dem die

Hauptstromstriche verbindenden Ringe $\frac{365 \times 24}{16} = 1\frac{1}{2}$ Jahre ergeben. Die Umlaufszeit eines Wasserteilchens im nordatlantischen Stromring schätzte Krümmel auf $1\frac{1}{4}$ Jahre (Ozeanographie, p. 415). Man hätte so ganz schematisch für Wasserteilchen, welche den Nullpunkt des hier betrachteten Stromringes um die Mitten der Jahreszeiten passieren, die folgende Wärmebewegung:

0	IV	VIII	XII	XVI	XX	0
9·7	15·7	23·4	27·0	22·5	13·8	13·3
9·7	18·3	22·8	24·7	23·8	15·6	11·8
13·3	16·5	19·6	25·0	26·5	13·1	9·7
11·8	14·5	20·6	26·4	24·9	10·5	9·7

Die Werte der ersten Kolumne entsprechen in der Reihenfolge der Zeilen dem August, November, Februar und Mai. Der Zeitraum zwischen je zwei benachbarten Werten derselben Zeile entspricht einem Jahresviertel.

Da auf dem kältesten Stücke des Stromringes der Temperaturunterschied zwischen Winter und Frühling gering ist oder sich auf Null reduziert, erscheint die individuelle Schwankung bei eineinhalb-jähriger Umlaufszeit von der Stellung der Wasserteilchen im Stromring ziemlich unabhängig. Bei bloß einjähriger Umlaufszeit würde die Schwankung bei jenen Wasserteilchen, welche sich im Winter im südatlantischen Verbindungsstrom und im Sommer im Südäquatorialstrom befänden, um etwa 5° größer sein als bei jenen, welche man im Sommer im Verbindungsstrom und im Winter im Äquatorialstrom anträfe.

In den vorigen Temperaturreihen, welche in einfachster Weise dadurch zustande kamen, daß für jeden folgenden vierten Strompunkt die der nächstfolgenden Jahreszeit entsprechende (aus Tabelle I, rechte Hälfte entnommene) Temperatur eingesetzt wurde, blieben zwei Umstände außer Betracht: die Ungleichheit der Stromgeschwindigkeit in den verschiedenen Teilen des Ringes und die Ungleichheit der Stromversetzungen in den verschiedenen Jahreszeiten. Um die individuelle Wärmebewegung genauer zu erfassen, müßte man für jede Jahreszeit auf jedem Ringviertel einen Mittelwert der Stromgeschwindigkeit besitzen. Man hätte dann von der Mitte eines Stromringviertels um die Mitte einer Jahreszeit ausgehend zu bestimmen: den Zeitpunkt, zu welchem ein Wasserteilchen bei der zu dieser Jahreszeit in diesem Ringviertel herrschenden Stromgeschwindigkeit an die Grenze des nächsten Ringviertels gelangen würde, und den Ringpunkt, bis zu welchem es bei der genannten Geschwindigkeit am Ende dieser Jahreszeit käme. Ergäbe sich, daß das Wasserteilchen die Grenze des nächsten Ringviertels vor dem

Ende der Jahreszeit erreicht, so wäre für den restlichen Teil der Jahreszeit die in ihr auf dem nächsten Ringviertel herrschende Stromgeschwindigkeit einzusetzen. Fände man aber, daß das Wasserteilchen zu Ende der Jahreszeit noch nicht bis zur Grenze des Ringviertels kommt, so wäre für den restlichen Teil dieses Viertels die in ihm in der folgenden Jahreszeit herrschende Stromgeschwindigkeit anzunehmen. Vom Beginne der nächsten Jahreszeit, beziehungsweise vom Anfang des nächsten Ringviertels ab wäre dann in derselben Weise zu verfahren, um die Fortbewegung des Wasserteilchens festzustellen. Die zugehörigen Temperaturen für Zeitpunkte zwischen den Mitten und Grenzen der Jahreszeiten und für Stellen des Stromringes zwischen den Halbierungs- und Endpunkten der Ringviertel könnte man aus den Tabellen I und IV durch Interpolation erhalten.

Das unter Rücksichtnahme auf die zeitlichen und räumlichen Änderungen der mittleren Stromgeschwindigkeit zu gewinnende Bild der individuellen Wärmebewegung weiche von dem oben aufgezeigten Schema wohl nicht sehr beträchtlich ab. Wahrscheinlichst würde es andere Umlaufzeiten zeigen. Es bliebe aber wegen des so sehr wechselnden Charakters der Stromversetzungen auch noch ein schematisches Bild. Solange über die mittlere jahreszeitliche Variation der Stromgeschwindigkeit nicht von allen Ringvierteln so genaue Angaben vorliegen wie vom südäquatorialen Strome, scheinen aber keine ausreichenden Grundlagen für eine genauere Verfolgung der individuellen Temperaturbewegung im südatlantischen Stromringe gegeben.

Die von Kapitän Hoffmann für den atlantischen Äquatorialstrom zwischen 6 und 8° Südbreite berechneten Zweimonatmittel der Stromstärke werden durch die Gleichung $S = 17.0 + +3.21 \sin (308^\circ 57' + x) + 1.00 \sin (30^\circ + 2x)$ genau wiedergegeben, indem das erste Sinusglied die Werte ± 2.5 , ± 0.5 , ± 3.0 , das zweite die Werte $+0.5$, $+0.5$, -1.0 annimmt. Für die Monatsmitten bekommt man folgende Werte, wobei die Zehntel nur rechnerische Bedeutung haben:

J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
16.0	17.5	18.3	18.7	19.3	19.9	19.8	18.2	15.7	13.5	12.9	14.1

Das Isoplethendiagramm auf der beigegebenen Tafel I wurde mit Zugrundelegung der ausgeglichenen Temperaturen in den rechten Hälften der Tabellen I und IV konstruiert. Auf ihm sind die im vorigen erörterten Verhältnisse vereint in anschaulicher Form zur Darstellung gebracht. Dieses Diagramm könnte auch die nähere Verfolgung der individuellen Wärmebewegung sehr erleichtern. Jeder mittleren Stromgeschwindigkeit entspricht auf ihm ein Winkel, dessen Tangente sich daraus bestimmt, daß sie für die Geschwindigkeit von 24 Seemeilen dem Längenverhältnis der längeren zur kürzeren

Diagrammseite (Ringumfang zu Jahreslänge) entspricht, weil — wie erwähnt — die Länge des 24. Teiles des gezeichneten Stromringes zu 365 Seemeilen gefunden wurde. Für einige der hier in Betracht kommenden Geschwindigkeiten ergeben sich folgende Winkelwerte:

11	13	15	17	19	21
42·5	47·3	51·3	54·8		60·3

Man könnte dann von einem Punkte am linken Rande des Diagramms ausgehend, den entsprechenden Winkel auftragen und erhielte so den Zeitpunkt oder die Stelle des Stromringes, von wo ab ein anderer Winkel aufzutragen wäre, durch den der Ausgangspunkt für eine folgende Winkeländerung gefunden würde. Wo der so entstehende Linienzug den rechten Rand des Diagramms trafe (Vollendung eines Umlaufs) wäre die Linienzeichnung in gleicher Höhe vom linken Rande ab weiterzuführen.

Die mittlere Stromgeschwindigkeit sollte sich (bei genügender Beobachtungsfülle) selbst in ihrer Abhängigkeit von der Jahreszeit und von der Lage im Stromringe in Isoplethenform darstellen lassen. Dies würde eine Handhabe bieten, um den die in der Zeit erfolgende Ortsänderung der Wasserteilchen bezeichnenden gebrochenen Zug durch eine krumme Linie zu ersetzen und so der Stetigkeit des darzustellenden Vorganges Rechnung zu tragen. An dem in das Isoplethendiagramm eingetragenen Linienzuge oder Kurvenstücke könnte man die von den Wasserteilchen auf ihrer Wanderung angenommenen Temperaturen sogleich ablesen.

Von besonderem Interesse schien eine Isoplethendarstellung der das zonale Wärmebild umformenden Einflüsse zu sein. Für eine solche kamen als Grundlage die Werte von $p_2 \sin(v'' + 2x) + p_3 \sin(v''' + 3x)$ in den Gleichungen der Stromringtemperatur in Betracht. Da diese im Gange der Untersuchung nur für die Mitten der Jahreszeiten bestimmt worden waren, wurden nun noch mittels der in der rechten Hälfte der Tabelle IV enthaltenen ausgeglichenen Werte vier Gleichungen der Stromringtemperatur für die Grenzpunkte der Jahreszeiten abgeleitet und aus diesen die gewünschten Größen bestimmt. Die Phasenwinkel und Parameter dieser Gleichungen sind:

	p_0	p_1	p_2	p_3			
Ende Sept.	17·08	8·000	1·704	0·319	268° 35' 6"	344° 48' 7"	14° 10' 6"
Dez.	19·67	7·449	1·933	0·628	264° 55' 0"	321° 14' 37"	16° 59' 32"
März	20·57	7·799	1·701	0·672	268° 4' 43"	322° 38' 51"	46° 0' 19"
Juni	17·80	8·409	1·577	0·585	271° 59' 18"	355° 49' 3"	52° 19' 20"

Ende der Jahreszeit erreicht, so wäre für den restlichen Teil der Jahreszeit die in ihr auf dem nächsten Ringviertel herrschende Stromgeschwindigkeit einzusetzen. Fände man aber, daß das Wasserteilchen zu Ende der Jahreszeit noch nicht bis zur Grenze des Ringviertels kommt, so wäre für den restlichen Teil dieses Viertels die in ihm in der folgenden Jahreszeit herrschende Stromgeschwindigkeit anzunehmen. Vom Beginne der nächsten Jahreszeit, beziehungsweise vom Anfang des nächsten Ringviertels ab wäre dann in derselben Weise zu verfahren, um die Fortbewegung des Wasserteilchens festzustellen. Die zugehörigen Temperaturen für Zeitpunkte zwischen den Mitten und Grenzen der Jahreszeiten und für Stellen des Stromringes zwischen den Halbierungs- und Endpunkten der Ringviertel könnte man aus den Tabellen I und IV durch Interpolation erhalten.

Das unter Rücksichtnahme auf die zeitlichen und räumlichen Änderungen der mittleren Stromgeschwindigkeit zu gewinnende Bild der individuellen Wärmebewegung weiche von dem oben aufgezeigten Schema wohl nicht sehr beträchtlich ab. Wahrscheinlichst würde es andere Umlaufszeiten zeigen. Es bliebe aber wegen des so sehr wechselnden Charakters der Stromversetzungen auch noch ein schematisches Bild. Solange über die mittlere jahreszeitliche Variation der Stromgeschwindigkeit nicht von allen Ringvierteln so genaue Angaben vorliegen wie vom südäquatorialen Strome, scheinen aber keine ausreichenden Grundlagen für eine genauere Verfolgung der individuellen Temperaturbewegung im südatlantischen Stromringe gegeben.

Die von Kapitän Hoffmann für den atlantischen Äquatorialstrom zwischen 6 und 8° Südbreite berechneten Zweimonatmitteln der Stromstärke werden durch die Gleichung $S = 17.0 + +3.21 \sin (308^\circ 57' + x) + 1.00 \sin (30^\circ + 2x)$ genau wiedergegeben, indem das erste Sinusglied die Werte ± 2.5 , ± 0.5 , ± 3.0 , das zweite die Werte $+0.5$, $+0.5$, -1.0 annimmt. Für die Monatsmitten bekommt man folgende Werte, wobei die Zehntel nur rechnerische Bedeutung haben:

J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
16.0	17.5	18.3	18.7	19.3	19.9	19.8	18.2	15.7	13.5	12.9	14.1

Das Isoplethendiagramm auf der beigegebenen Tafel I wurde mit Zugrundelegung der ausgeglichenen Temperaturen in den rechten Hälften der Tabellen I und IV konstruiert. Auf ihm sind die im vorigen erörterten Verhältnisse vereint in anschaulicher Form zur Darstellung gebracht. Dieses Diagramm könnte auch die nähere Verfolgung der individuellen Wärmebewegung sehr erleichtern. Jeder mittleren Stromgeschwindigkeit entspricht auf ihm ein Winkel, dessen Tangente sich daraus bestimmt, daß sie für die Geschwindigkeit von 24 Seemeilen dem Längenverhältnis der längeren zur kürzeren

Diagrammseite (Ringumfang zu Jahreslänge) entspricht, weil — wie erwähnt — die Länge des 24. Teiles des gezeichneten Stromringes zu 365 Seemeilen gefunden wurde. Für einige der hier in Betracht kommenden Geschwindigkeiten ergeben sich folgende Winkelwerte:

11	13	15	17	19	21
42·5	47·3	51·3	54·8		60·3

Man könnte dann von einem Punkte am linken Rande des Diagramms ausgehend, den entsprechenden Winkel auftragen und erhielte so den Zeitpunkt oder die Stelle des Stromringes, von wo ab ein anderer Winkel aufzutragen wäre, durch den der Ausgangspunkt für eine folgende Winkeländerung gefunden würde. Wo der so entstehende Linienzug den rechten Rand des Diagramms träfe (Vollendung eines Umlaufs) wäre die Linienzeichnung in gleicher Höhe vom linken Rande ab weiterzuführen.

Die mittlere Stromgeschwindigkeit sollte sich (bei genügender Beobachtungsfülle) selbst in ihrer Abhängigkeit von der Jahreszeit und von der Lage im Stromringe in Isoplethenform darstellen lassen. Dies würde eine Handhabe bieten, um den die in der Zeit erfolgende Ortsänderung der Wasserteilchen bezeichnenden gebrochenen Zug durch eine krumme Linie zu ersetzen und so der Stetigkeit des darzustellenden Vorganges Rechnung zu tragen. An dem in das Isoplethendiagramm eingetragenen Linienzuge oder Kurvenstücke könnte man die von den Wasserteilchen auf ihrer Wanderung angenommenen Temperaturen sogleich ablesen.

Von besonderem Interesse schien eine Isoplethendarstellung der das zonale Wärmebild unformenden Einflüsse zu sein. Für eine solche kamen als Grundlage die Werte von $p_2 \sin(v'' + 2x) + p_3 \sin(v''' + 3x)$ in den Gleichungen der Stromringtemperatur in Betracht. Da diese im Gange der Untersuchung nur für die Mitten der Jahreszeiten bestimmt worden waren, wurden nun noch mittels der in der rechten Hälfte der Tabelle IV enthaltenen ausgeglichenen Werte vier Gleichungen der Stromringtemperatur für die Grenzpunkte der Jahreszeiten abgeleitet und aus diesen die gewünschten Größen bestimmt. Die Phasenwinkel und Parameter dieser Gleichungen sind:

	p_0	p_1	p_2	p_3			
Ende Sept.	17·08	8·000	1·704	0·319	268° 35' 6"	344° 48' 7"	14° 10' 6"
Dez.	19·67	7·449	1·933	0·628	264° 55' 0"	321° 14' 37"	16° 59' 32"
März	20·57	7·799	1·701	0·672	268° 4' 43"	322° 38' 51"	46° 0' 19"
Juni	17·80	8·409	1·577	0·585	271° 59' 18"	355° 49' 3"	52° 19' 20"

Die mittels dieser Konstanten erzielten Werte der Hauptwelle und der doppelten und dreifachen Welle sind in Tabelle IX angeführt.

Tabelle IX.

	$p_0 + p_1 \sin (v' + x)$				$p_2 \sin (v'' + 2x) + p_3 \sin (v''' + 3x)$			
	Ende Sept.	Ende Dez.	Ende März	Ende Juni	Ende Sept.	Ende Dez.	Ende März	Ende Juni
0	9·08	12·25	12·78	9·40	— 0·37	— 1·03	— 0·55	+ 0·35
I	9·30	12·33	12·97	9·76	+ 0·71	+ 0·26	+ 0·45	+ 1·27
II	10·06	12·91	13·69	10·67	+ 1·51	+ 1·30	+ 1·12	+ 1·66
III	11·28	13·96	14·87	12·06	+ 1·81	+ 1·80	+ 1·34	+ 1·50
IV	12·91	15·39	16·45	13·85	+ 1	+ 1·73	+ 1·20	+ 0·96
V	14·32	17·11	18·30	15·91	+ 0·94	+ 1	+ 0·90	+ 0·31
VI	16·88	19·01	20·31	18·09	+ 0·14	+ 0·61	+ 0·57	0·24
VII	18·96	20·95	22·34	20·26	— 0·60	0·00	+ 0·23	— 0·61
VIII	20·91	22·81	24·24	22·25	— 1·12	— 0·52	— 0·17	— 0·84
IX	22·60	24·45	25·90	23·95	— 1·37	— 0·95	— 0·68	— 0·99
X	23·91	25·77	27·19	25·22	— 1·34	— 1·31	— 1·22	— 1·06
XI	24·75	26·67	28·03	25·99	— 1·05	1·51	— 1·58	— 0·96
XII	25·08	27·09	28·36	26·20	— 0·53	— 1·39	— 1	— 0·58
XIII	24·86	27·01	28·17	25·84	+ 0·16	— 0·85	— 0·89	+ 0·11
XIV	24·11	26·43	27·45	24·93	+ 0·89	+ 0·10	+ 0·19	+ 0·95
XV	22·88	25·38	26·27	23·54	+ 1·48	+ 1·21	+ 1·36	+ 1·65
XVI	21·25	23·95	24·69	21·75	+ 1·73	+ 2·10	+ 2·17	+ 1·88
XVII	19·34	22·23	22·84	19·69	+ 1·48	+ 2·36	+ 2·24	+ 1·47
XVIII	17·28	20·33	20·83	17·51	+ 0·76	+ 1·81	+ 1·50	+ 0·47
XIX	15·20	18·39	18·81	15·34	— 0·27	+ 0·59	+ 0·21	— 0·76
XX	13·25	16·53	16·90	13·25	— 1·28	— 0·89	1 14	— 1
XXI	11·57	14·89	15·24	11·65	— 1·92	2·06	— 2·02	— 2·15
XXII	10·25	13·57	13·95	10·38	— 1·96	— 2·51	— 2·15	— 1·78
XXIII	9·41	12·67	13·11	9·61	— 1·37	— 2·10	— 1·56	— 0·81

Tafel II bringt das auf Grund der in den rechten Hälften der Tabellen III und IX enthaltenen Werte konstruierte Isoplethendiagramm. Um die Flächen positiver und negativer Temperaturabweichung auch in Schwarzdruck besser unterscheidbar zu gestalten, sind die negativen Isanomalien als gestrichelte Linienzüge eingetragen. Die Entwicklung der stärksten positiven und negativen Anomalie im Westaste des Stromrings im Sommer tritt deutlich hervor.

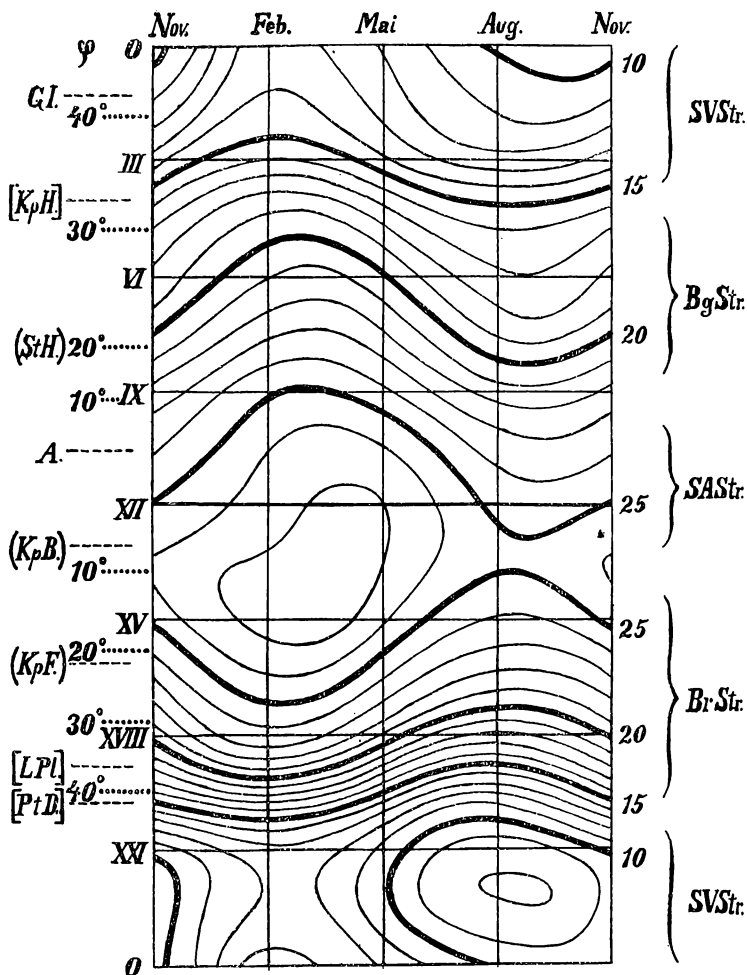
Tafelerklärung.

Tafel I. Die links vom Diagramm der ersten Kolumne stehenden Buchstaben, deren Bedeutung aus der Tafel ersichtlich ist, bezeichnen geographische Orte, an welchen der südatlantische Stromring vorbeikommt. Das Fehlen einer Klammer bedeutet, daß der Ort in nächster Nähe des Stromringes liegt, die runde Klammer, daß er in geringem Abstände, die eckige Klammer, daß er größerem Abstände vom Stromringe gelegen ist.

Die in der zweiten Kolumne stehenden Gradzahlen weisen auf die Stellen hin, welchen der Stromring bei seinem Abstiege in niedrige und bei seinem Aufstiege in mittlere Breiten die betreffenden Breitengrade kreuzt. Die römischen Ziffern in der dritten Kolumne entsprechen jenen in den vorausgegangenen Tabellen.

Tafel II. Die Linien gleicher positiver Werte sind als ausgezogene, die Linien der Nullwerte als punktierte und die Linien gleicher negativer Werte als gestrichelte Linienzüge dargestellt.

Temperaturverteilung auf dem südatlantischen Stromring.

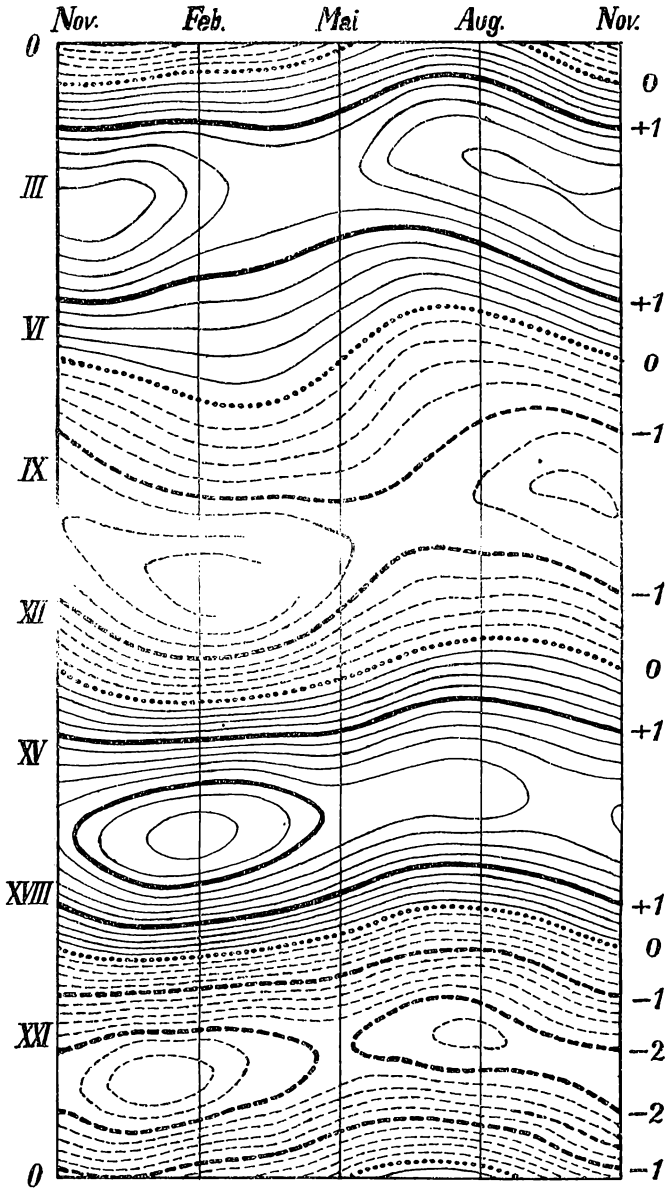


Erklärung der Buchstaben:

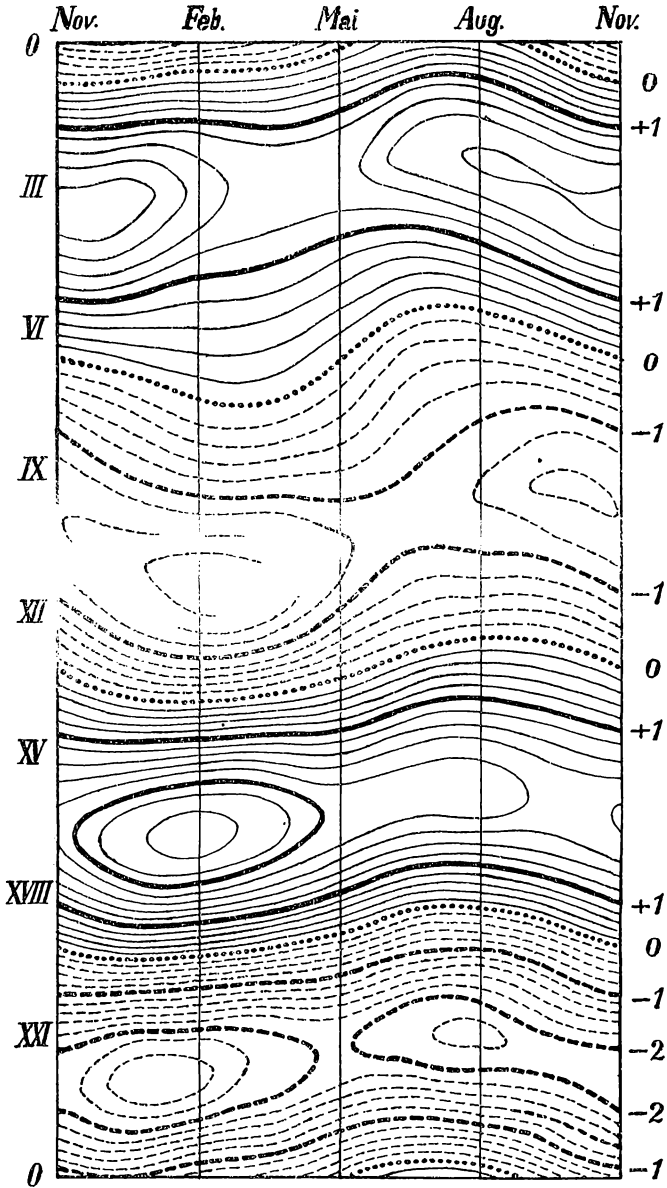
GI. = Gough-Insel, KpH. = Kap der guten Hoffnung, StH. = Sankt Helena, A. =
= Asension, KpB. = Cabo Branco, KpF. = Cabo Frio, LPl. = La Plata-Mündung,
Pld. = Punta Delgada.

SVSstr. = Südatlantischer Verbindungsstrom, BgStr. = Benguela-Strom, SASstr. = Süd-
äquatorialstrom, BrStr. = Brasilien-Strom.

Verteilung der Werte von $p_2 \sin (v''+2 x)+p_3 \sin (v''' +3 x)$.



Verteilung der Werte von $p_2 \sin (v''+2 x)+p_3 \sin (v''' +3 x)$.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1926

Band/Volume: [135 2a](#)

Autor(en)/Author(s): Kerner von Marilaun Fritz (Friedrich)

Artikel/Article: [Harmonische Temperaturanalyse des südatlantischen Stromringes. 465-485](#)