## KONINKLIJK NEDERLANDSCH METEOROLOGISCH INSTITUUT.

Nº. 102.

## MEDEDEELINGEN

— EN —

## VERHANDELINGEN.

9.

P. H. Gallé. Zur Kenntnis der Meeresströmungen.

XEX-

UTRECHT,
KEMINK & ZOON.
1910.

Wer die Litteratur auf ozeanographischem Gebiet der letzten Jahren nachschlägt, wird sehen daß Studien über Meeresströmungen eine hervorragende Stelle einnehmen.

Neue Fragen sind hieraus hervorgegangen; wir nennen:

der Nord hemisphäre nach rechts links, durch die tägliche Bewegung der Erde um ihre Achse verursacht?

b. Wie verhalten sich die Geschwindigkeiten von Wind und Strom? Wir fangen mit einer kurzen Litteraturübersicht an, wollen dann einige darin ausgesprochene Thesen an langjährigen Beobachtungen prüfen, und schließlich den Versuch machen obenstehende Fragen zu beantworten. Das Beobachtungsmaterial umfaßt die im Monat November 1858—1904, im Indischen Ozean, zwischen den Parallelen 20° N. und 50° S. B., und den Meridianen 10° und 130° O. L. Grw., angestellten Strom- und Windbeobachtungen. Die Beobachtungsreihen zählen 94925 Wind- und 13901 Strombeobachtungen, von welchen 18052 und 3741 auf der nördlichen Halbkugel gemacht wurden.

Wirklich neu sind obenstehende Fragen nicht, aber sie sind stark in den Vordergrund gedrängt worden, nachdem der dritte Abschnitt von NANSEN's 1) großer ozeanographischer Arbeit in 1902 erschienen war. Auf Seite 369 heißt es da:

"The above given table and plates XVIII—XXVIII demonstrate clearly that for shorter periods the resultants of the drift deviate with some few exceptions towards the right of the corresponding windresultant, and generally the deviation is considerable."

<sup>1)</sup> The Norwegian North-Polar Expedition 1893-1896.

Für diese kurzen Perioden war der Ablenkungswinkel im Durchschnitt 28°, für die ganze Triftreise der Fram war sie 37°.5.

Von NANSEN's Arbeitsweise wollen wir hier eine kurze Übersicht geben.

Er behauptet, der Oberflächenstrom im Polarbecken bestehe aus einer vom Winde erzeugten Triftströmung und einem Strom, der das süße Oberflächenwasser in westlicher Richtung abführt. Dieses Wasser stammt von den großen siberischen Flüssen und den allmählig abschmelzenden Eisbergen.

Die letztere Stromkomponente bestimmte er folgenderweise. Er suchte sechs Perioden für welche die Windresultanten null waren, die dazu gehörenden Triftresultanten der Fram hatten aber unterstehende Werte. 26 Feb.—17 Apr. 1894 N 50° W 26 Seemeile = 0.52 S.m. p. 24 St.

- 4 Mai-1 Sept. 1894 N 64° W 54 " = 0.45 " " " "
- 27 Mai 30 Okt. 1894 N 65° W 93 " = 0.60 " " " "
- 3 Mai-21 Aug. 1895 N 92° W 90 , = 0.82 , , , ,
- 2 Feb.—21 März 1896 N 155° W 49 " = 1.00 " " " "
- 20 Apr.—2 Juni 1896 N 168° W 42 , = 1.00 , , , , ,

Wenn wir die Triftreise der Fram folgen, so geht aus obenstehender Tabelle hervor, daß im Polarbecken ein Strom fließt, der von Ost nach West seine Richtung ändert von N 50° W bis N 168° W, und an Geschwindigkeit wächst. Diese Geschwindigkeitszunahme erklärt sich durch die größere Mengen Schmelz- und Flußwasser welche abgeführt werden müssen.

Nun bestimmte NANSEN für verschiedene Abschnitte seiner Reise den zurückgelegten Weg und die zugehörigen Windresultanten. Die zurückgelegten Strecken korrigierte er für die eigene Trift des Eises mit Hülfe obiger Daten und behielt so denjenigen Teil des Stromes, der gerechnet werden darf nur vom Winde erzeugt zu sein.

Den Ablenkungswinkel zwischen Wind und Strom kann man dann gleich bestimmen; das Verhältnis zwischen den Geschwindigkeiten von Luft und Wasser kommt ebenfalls leicht heraus.

Den Ablenkungswinkel a weiter besprechend, sagt NANSEN: 1)

"We cannot expect the values of  $\alpha$  for shorter periods to be very regular, as they are naturally to some extent determined by forces which

<sup>1)</sup> S. 38c.

we do not know, e. g. the resistance to which the ice is exposed at the time; the winds blowing in neighbouring regions of the sea, etc."

. Sowohl in der genannten Arbeit wie auch an anderer Stelle <sup>1</sup>) hebt NANSEN das Bestehen dieses Ablenkungwinkels infolge der Erdrotation ausdrücklich hervor.

Nach seiner Rechnung erzeugt 1 Meter Windgeschwindigkeit im Polarbecken einen Triftstrom von der Geschwindigkeit 1.9 c.M. pro Sekunde.

- V. WALFRID EKMAN<sup>2</sup>) hat auf NANSEN's Anregung diese Frage mathematisch untersucht. Für den Fall eines unendlich ausgedehnten und tiefen Ozeans, über welchen ein konstanter Wind weht, kommt er zu folgenden Schlußfolgerungen:
- a. An der Meeresoberfläche besteht zwischen der Windresultante und der von ihr erzeugten Meeresströmung ein Ablenkungswinkel von 45°.
- b. Die Geschwindigkeiten der von einer bestimmten Windgeschwindigkeit in verschiedenen geographischen Breiten erzeugten Meeresströmungen sind den Quadratwurzeln des Sinus dieser Breiten umgekehrt proportional.
- c. Eine Triftströmung kann sich nicht unbegrenzt in die Tiefe fortpflanzen. 3)

Sobald die Triftströmung an der Oberfläche entsteht, werden die angrenzenden Wasserschichten von ihr in Bewegung versetzt. Infolge der inneren Reibung nimmt die Geschwindigkeit mit der Tiefe ab; infolge der Erdrotation wird aber die Richtung der unteren Schichten immer von derjenigen der oberen Schichten abweichen, auf der Nord hemisphäre nach rechts links. Am besten läßt sich ein derartiger Strom in der Tiefe mit einer sich verjüngenden Wendeltreppe vergleichen; in einer gewissen Tiefe ist die Stromrichtung der Oberflächenrichtung entgegengesetzt, die Geschwindigkeit schon sehr gering geworden. EKMAN fand für diese kritische Tiefe in 15° B. in einem Passattriftstrom 100 Meter, in 45° B. 60 bis 70 Meter.

<sup>1)</sup> Die Ursachen der Meeresströmungen. Petermanns Mitteilungen. 1905.

<sup>2)</sup> On the Influence of the Earth Rotation on Ocean Currents. Arkiv for Matematik, Astronomi och Fysik. 2 N° 11. 1905.

<sup>3)</sup> Vergleich Zöppritz, Wiedemanns Annalen der Physik 8 1878.

Prof. O. E. SCHIÖTZ 1) ist insofern mit EKMAN einverstanden, daß er den Ablenkungswinkel ebenfalls dem Einfluß der Erdrotation zuschreibt; den numerischen Wert findet er aber erheblich kleiner, und zwar etwa 10°; auch seiner Ansicht nach muß der Ablenkungswinkel in der Tiefe zunehmen. Die Geschwindigkeit des Wassers ist kleiner als diejenige des Windes.

ROLF WITTING 2) prüst die NANSEN-EKMAN'schen Theorien an die Beobachtungen, angestellt an 11 in der Ostsee, dem Kattegat und dem Ladoga See stationnirten Feuerschiffen. Seiner Zusammensassung entnehmen wir solgendes: "Die Ablenkung des Stromes von der Windrichtung beträgt bei den hier betrachteten, im freien Meere gelegenen 3) Stationen im Mittel etwa 19° (Minimalwert 2°, Maximalwert 33°) nach rechts."

Wie Verfasser schon selbst hervorhebt "wird der vom Winde erzeugte Oberflächenstrom durch die naheliegende Küste oder die Form des Meeres derart umgeformt, daß die Strömungen längs der Küste begünstigt, diejenigen gegen die Küste oder die diesen entgegengesetzten abgeschwächt werden"; unserer Meinung nach folgt unmittelbar hieraus daß auch die Ablenkungswinkel stark durch Küstennähe beeinflußt worden und nicht zu voller Entwicklung gekommen sind.

Korvetten-Kapitän P. HOFFMAN  $^4$ ) zeigt für verschiedene Stromgebiete daß zwischen Wind und Strom ein Ablenkungswinkel besteht, auf der  $\frac{\text{Nord}}{\text{Süd}}$  hemisphäre nach  $\frac{\text{rechts}}{\text{links}}$  und kommt zu folgender Schlußfolgerung:

"Nächst den Winden und der Konfiguration der Küsten muß die Ablenkung durch die tägliche Bewegung der Erde um ihre Achse als wesentlichster Faktor für das Zustandekommen des bestehenden Systems der Meeresströmungen angesehen werden."

Im zweiten Bande der ersten Auflage von BOGULAWSKI's und

<sup>1)</sup> Bemerkungen über die durch den Wind erzeugten Meeresströmungen. Ann. Hydr. 1908 S. 429, 1909 S. 254.

<sup>2)</sup> Zur Kenntnis des vom Winde erzeugten Oberstächenstromes, Ann. Hydr. 1909 S. 193.

<sup>3)</sup> Wir spatiirten.

<sup>4)</sup> Zur Mechanik der Meeresströmungen an der Oberstäche der Ozcane. Berlin 1884.

KRümmel's Handbuch der Ozeanographie wird bei der Besprechung der Meeresströmungen die Ablenkung zwar konstatirt; im Gegensatz zu HOFFMAN jedoch hauptsächlich der Küstenkonfiguration zugeschrieben.

Nur da wo reine "Kompensationsströme" (Zuflußströme) 1) oder "freie Ströme" (Abflußströme) auftreten, wird das Entstehen des Ablenkungswinkels durch die Erdrotation zugegeben. Weiter unter wird gezeigt werden, weshalb wir uns dieser Meinung nicht anschließen können, im Gegenteil überzeugt sind daß nur ein Triftstromgebiet die geeignete Stelle ist, diesen Ablenkungswinkel deutlich hervortreten zu sehen, und daß gerade in größter Entfernung von der Küste dieses Phänomen am deutlichsten auftritt. Eine zweite Auflage des obengenannten Handbuches ist aber in Bearbeitung, möglicherweise wird auch diese andere Meinungen verkünden.

In MOHN's großer Arbeit 2) wird der Zusammenhang zwischen Wind und Strom eingehend behandelt, und dabei ein Bild der Strömungen im Nordatlantischen Ozean konstruirt.

Er behauptet, Wind und Dichtigkeitsdifferenzen seien die zwei Hauptursachen für das Entstehen der Meeresströmungen, ein weiterer Faktor sei der Wasserstau an den Luvküsten<sup>3</sup>).

Für verschiedene Stationen berechnete er aus Isobarenkarten den mittleren Wind und bestimmte die Dichtigkeit der verschiedenen Wasserschichten an Ort und Stelle. Hieraus konstruirte er seine "Windund Dichtigkeitsflächen", die zusammen mit einer Komponente für Wasserstau an den Küsten den Strom bestimmen.

Bei der Konstruktion dieser Windflächen ist zwar die Erdrotation in Rechnung gebracht, jedoch nicht in der Weise wie die NANSEN-EKMAN'sche Theorie es fordert. Um das Verhältnis zwischen Strom und Wind zu finden entnahm MOHN meteorologischen Tabellen für die Äquatorialregion des Atlantischen Ozeans diejenige Fälle, in denen der Strom gerade oder nahezu die Richtung des Windes hatte.

Der Ablenkungswinkel welcher gerade in dieser Gegend sehr deutlich nach zu weisen ist wurde also nicht beachtet, und die Ströme

<sup>1)</sup> Später kommen wir auf die Einteilung der Ströme zurück.

<sup>2)</sup> The North Ocean, The Norwegian North Atlantic Expedition. 1876-1878.

<sup>3)</sup> Mit dieser Benennung schließen wir uns Dr. G. Schott an. Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte 1891 N° 3.

welche MOHN benutzte waren unserer Meinung nach nicht geeignet das richtige Verhältnis zwischen Wind und Strom zu liesern. Sobald in einem Gebiete wie das hier betrachtete, also in einem Triststromgebiete, ein Strom in der Windesrichtung sließt, sind, wenn man NANSEN-EKMAN's Theorie als richtig betrachtet, außer dem Winde mehrere Kräfte ins Spiel, welche diesen Strom nach Richtung und Geschwindigkeit beeinflüssen.

Wenn wir das Resultat MOHN's für die stromerzeugende Kraft des Windes unter Benutzung der letzten Reduktionstafeln für die Beaufortskala umrechnen, kommt für I Meter Wind ein Strom von 4.92 c.M. pro Sek. heraus. Ob dieser Wert zu groß oder zu klein sei, ist theoretisch schwer zu entscheiden, die später folgende Statistik macht uns glauben daß er etwas zu groß sei.

Allerdings muß man Mohn die Ehre geben, als erster die Stromfrage grundsätzlich in Angriff genommen zu haben. Später kommt Mohn 1) veranlaßt durch Nansen's Rechnungen und Ekman's Theorie auf diese Frage zurück. Seiner Ansicht nach hat Schlötz recht, sind auch die Küsten in hohem Maße bestimmend für die Richtung der Meeresströme und ist das Polarbecken der eigenartigen Umstände wegen nicht die geeignete Region um den Ablenkungswinkel der Erdrotation zufolge nachzuweisen.

GEORG WEGEMANN<sup>2</sup>) hat mittelst obiger Methode ein Strombild konstruirt für den Nordatlantischen Ozean nördlich von 50° N.B. Auch WEGEMANN läßt den Ablenkungswinkel außer Acht.<sup>3</sup>)

Dr. GERHARD SCHOTT hat mittelst Beobachtungen, angestellt am Feuerschiff Adlergrund zwischen Bornholm und Rügen nachgewiesen daß zwischen Wind und Strom ein Ablenkungswinkel von 25° nach rechts besteht und daß in weitaus den meisten Fällen der Winkel nach rechts war.

<sup>1)</sup> Einige Bemerkungen über den Einfluß der Erdrotation auf die Meeresströmungen. Ann. Hydr. 1908 S. 447.

<sup>2)</sup> Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte 1899 N° 4.

<sup>3)</sup> Mohn und Wegemann berechneten den Wind aus Isobarenkarten. Für einige Stationen des Indischen Ozeans verglichen wir die Windresultante aus direkten Schiffsbeobachtungen mit der mittelst den barischen Windformeln berechneten; wir fanden jedoch Unterschiede von nur 5°/-.

Küsteneinfluß muß auch hier wie bei den WITTING'schen Stationen stark im Spiel gewesen sein.

H. THORADE 1) zeigt daß für die Kalisornische Meeresströmung die Statistik mit der NANSEN-EKMAN'schen Theorie im Einklang ist.

Dr. GERHARD CASTENS 2) entwirft in seiner Inauguraldissertation ein Strombild des Atlantischen Ozeans und vergleicht dieses Bild für 13 Stationen mit dem statistischen Bilde.

STATION.			Berechneter Strom in Seemeilen p	auf N.B. rechts.	
			or occurency p	to 24 Stunden,	S.B. links.
ı.	Kanarien- strom	20°—25° N.B. 20°—25° W.L.	N 212° O 12 S.m.	N 197° O 11 S.m.	— 15°
2.	Nördlicher {	10° N.B. 35°—40° W.L.	N 222° O 9 S.m.	N 270° O 15 S.m.	+ 480
3.	strom {	8°—10° N.B. 50°—52° W.L.	N 243° O 12 S.m.	N 301° O 20 S.m.	+ 58°
4.	Florida- {	37° N.B. 70° W.L.	N 52° O 3.5 S.m.	N 57° O 36 S.m.	+ 5°
5.	)	40°—42° N.B. 62°—64° W.L.	N 76° O 4.7 S.m.		
	Dichtestro		N 87° O 12 S.m.	Sall College	
	Totaler St	The second second	N 83° O 17 S.m.	N 90° O 21 S.m.	+ 7°
6.	Golfstrom- trift	40° N.B. 40° W.L.	N 55° O 13 S.m.	N 75° O 12 S.m.	+ 200
7-	Guineastrom {	8º N.B. 18º W.L.	N 97°O 5 S.m.	N 90° O 21 S.m.	- 7°
8.	) {	3° N.B. 4° O.L.	N 43°O 9 S.m.	N 1060 O 11 S.m.	+ 63°
9.	Südlicher Äquatorial- strom	8°—10° S.B. 15°—20° W.L.	N 303° O 8 S.m.	N 270° 12 S.m.	+ 33°
10.	Benguela- strom	25°—28° S.B. 8°—10° O.L.	N 335° O 10 S.m.	N 360° O 12 S.m.	— 25°
11.	Westwind- {	40° S.B. 5° O.L.	N 112° O 13 S.m.	N 560 O 12 S.m.	+ 56°
12.	\ \ \trift \{	40° S.B. 30° W.L.	N 105° O 9 S.m.	N 80° O 6 S.m.	+ 25°
13.	Brasilien- {	35° S.B. 40° W.L.	N 135° O 7 S.m.	N 204° O 6 S.m.	— 69°

<sup>1)</sup> Über die Kalifornische Meeresströmung. Ann. Hydr. 1909 S. 17 u. 63.

<sup>2)</sup> Untersuchungen über die Strömungen des Atlantischen Ozeans. Kiel 1905.

CASTENS berücksichtigt den Ablenkungswinkel bei der Stromberechnung nicht, er nimmt mit MOHN für die stromerzeugende Kraft von 1 Meter Wind 5 c.M. pro Sekunde.

Über diesen Ablenkungswinkel außert er sich S. 35 folgendermaßen: "auch erfolgt die Ablenkung des Stromes durchaus nicht immer auf der nördlichen Hemisphäre nach rechts, auf der südlichen nach links."

Freilich, die Richtung der Ablenkung stimmt nicht immer mit NANSEN's Regel, aber doch in 9 von den 13 Fällen, also in 69 %. Wir kommen hierauf später zurück, wollen jetzt aber schon erklären daß obenstehende Zahlen, zumal wenn sie in Zusammenhang mit der Lage der Stationen betrachtet werden, uns zu einer ganz anderen Schlußfolgerung führen.

Dr. CARL FORCH 1) hat diese Frage für dem Europäischen Mittelmeer eingehend untersucht und kommt zum Schluß daß im westlichen Mittelmeer eine Linksdrehung des Stromes gegen den Wind besteht. Verfasser will hieraus "keine weiteren Schlußfolgerungen ziehen, denn für diesen Teil des Mittelmeeres erscheint die Richtung des Stromes als in hohem Maße unabhängig vom Winde." Als stromerzeugende Kräfte müssen wir hier hauptsächlich die Verschiedenheit in der Verteilung des Salzgehalts und der Dichte betrachten.

In dem östlichen Teile des Mittelmeeres beträgt die Ablenkung 45° nach rechts. Verfasser betont "daß geographische Einflüsse nicht im Spiel sind, daß aber die Frage, ob die Rechtsdrehung der Strömung im östlichen Mittelmeer lediglich auf Rechnung der Erddrehung oder der statischen Strömungskomponenten zu setzen sei, zur Zeit nicht zu beantworten ist bzw. die Trennung beider Einflüsse ist zur Zeit nicht ausführbar."

Aus obenstehenden Citaten geht hervor daß die Meinungen über das Entstehen dieses Ablenkungswinkels auseinander laufen, ja das Bestehen desselben bisweilen nur gelegentlich erwähnt wird.

Wir werden jetzt die Beziehungen betrachten zwischen der algemeinen Luft- und Wasserbewegung im Indischen Ozean und untersuchen

<sup>1)</sup> Über die Beziehungen zwischen Wind und Strom im Europäischen Mittelmeer Anu. Hydr. 1909. S. 435.

in welchem Maße diese mit der NANSEN-EKMAN'schen Theorie übereinstimmen.

Karte 2 und 3 geben die Resultanten der algemeinen Luft- und Wasserbewegung für Zweigradsfelder mit mindestens 10 Windbeobachtungen.

Auf der nördlichen Hemisphäre besteht in 77 % aller Fälle ein Ablenkungswinkel nach rechts; schließen wir die Fälle mit Ablenkungswinkeln größer als 90° aus, so finden wir 75 %.

Auf der Südhemisphäre sind diese Zahlen 69 % und 68 % für den Abweichungswinkel nach links.

Zweiselsohne sind alle hier betrachteten Ströme keine reine Windtriste, vielmehr sind sie das Gesamtresultat aller stromerzeugenden Kräste, wie Wind, Dichteunterschiede, Lustdruckunterschiede, Küsteneinfluß, Windstau u. s. w. Auch in diesem großen Ozeangebiete wird man nirgendwo einen Strom finden, den man ausschließlich dem Winde oder einem der anderen Ursachen zuschreiben darf; überall werden sich die anderen Einflüsse gelten lassen; Einflüsse deren Wirkung wohl qualitativ, aber sehr schwer quantitativ sestzustellen ist, sei es nur wegen ungenügender Kenntnis der Dichteunterschiede in der Tiese oder des Reibungskoeffizienten.

Trotzdem darf das Resultat der oben besprochenen Statistik als eine Bestätigung der Nansen-Ekman'schen Theorie betrachtet werden.

Es unterliegt wohl keinem Zweisel, daß wenn in dem ganzen Indischen Ozean keine andere Winde herrschten als der Südostpassat, über demselben Gebiete wehend wie jetzt, dennoch sern außerhalb dieses Gebietes Strömungen austreten würden.

Ohne VARENIUS' "si pars oceani movetur, totus oceanus movetur" wörtlich auf zu fassen, können wir wohl sagen daß theoretisch gesprochen, der Strom an jeder Stelle auch in den unteren Schichten der Ozeane mehr oder weniger abhängig ist von der Windverteilung im ganzen Gebiete und von der Küstenkonfiguration.

Für unseren Zweck sind also die Regionen von Interesse, wo der Strom, praktisch gesprochen, ganz frei scheint in seiner Richtungswahl, also die reinen Triftstromgebiete im freien Meere. Ehe wir ein Strombild des Indischen Ozeans zu geben versuchen, schlagen wir eine neue Strombenennung vor, da die bis jetzt benutzte uns wenig befriedigt.

Triftströme. Mit diesem Name bezeichnen wir die vom Winde erzeugten Ströme wie die Äquatorialströme und die Westwindtrift; in der holländischen Nomenklatur begegnet man bisweilen das Wort "Winddriften."

2ens Abfluszströme 1). Wenn ein Strom der Küste oder einem anderen Strom auf seinem Wege begegnet, teilt oder biegt er sich; diese Zweige, welche öfters gegen dem Winde weiterfließen und als Abfluß des Anstauwassers zu betrachten sind, nennen wir Abflußströme. (Agulhasstrom).

3<sup>ens</sup> Zufluszströme. Im Rücken eines Triftstromes wird ein Niveauunterschied entstehen; der Strom der diesen Unterschied auszugleichen versucht, nennen wir Zuflußstrom. (Guineastrom).

Gerade wie im Südatlantischen- und im Stillen Ozean findet man im Südindischen Ozean in der Äquatorialgegend, den Äquatorialstrom. Dieser Strom ist hauptsächlich ein Triftstrom dessen Grenzen annäherend met den Passatgrenzen zusammenfallen. Siehe Karte 2 und 3.

Für seine östliche Grenze nehmen wir 100—105° O.L., seine Breitengrenze sind anfangs 8°—20° S. B. Zwar läuft der Strom in 361 und 360 (Karte 1 und 3.) zwischen den Parallelen van 10° und 14° respektive 10° und 12° S. B. in westlicher Richtung, aber dieser Strom wird unsrer Meinung nach teilweise von anderen Kräften erzeugt, und zwar 1ens durch Niveauunterschied im Rücken des Äquatorialstromes, 2ens durch Anstau von Wasser herbeigeführt vom West-Australischen Strom und einem S. O. und O.-wärts gerichteten Strom den Inseln Sumatra und Java entlang. Dieses Wasser findet am leichtesten einen Ausweg nach Westen, die herrschenden Winde begünstigen diese Richtung ebenfalls. Dieser Strom ist also als gemischter Typus von Zufluß-, Abfluß- und Triftstrom zu betrachten.

Weiter nach Westen den Äquatorialstrom folgend, begegnen wir auf seiner Südseite eine Neigung nach S. W., also nach links, ab zu biegen.

<sup>1)</sup> KRÜMMEL. Die Äquatorialen Meereströmungen des Atlantischen Ozeans und das allgemeine System der Meerescirculation. S. 33-

Diese Ablenkung schreiben wir zwei Ursachen zu, 1ens der Erdrotation, 2ens Küsteneinfluß der Insel Madagaskar.

Bei dieser Insel fließt ein Zweig nach Süden, der andere geht westwärts,

Der Einfluß des nach Süden strömenden Zweiges ist noch weit südlich von 40° S. B. nachzuweisen.

Die stark auf einander gedrängten Isothermen des Meereswassers, der meist östliche, nicht nordöstliche Strom, die geringere Nebelhäufigkeit in 

474 darf man, unserer Meinung nach, diesem Strome zuschreiben, der hier der Westwindtrift begegnet, welche den Südindischen, Stillen und Atlantischen Ozean durchfließt. Diesem Strome wird es eben zugeschrieben, daß NARES im Februar 1874 mit den Challenger auf 70° S. B. 80° O. L. ein eisfreies Meer fand. 1)

Sobald dieser Strom der Insel Madagaskar vorüber gegangen ist, geht ein Teil des Wassers nach Westen. Ein kleiner Zweig fließt der Westküste Madagaskars entlang nach Norden, die Hauptmasse vereinigt sich bei Port Natal mit dem Mozambique-Strom. Im Rücken des westlichen Zweiges treten östliche Ströme auf, wodurch namentlich in der Nähe von Cap St. Marie der Strom eine sehr veränderliche Richtung und Stärke hat.

Der südliche Zweig des Äquatorialstromes ist hauptsächlich Abflußstrom.

Der andere Zweig des Äquatorialstromes fließt nördlich von Madagaskar in die Sansibarbucht hinein, bis das Afrikanische Festland seine Bewegung hemmt; hier biegt ein Zweig nach Süden, der andere nach Norden ab. Die Trennungsachse findet man in ungefähr 10° S.B.

Als Mozambiquestrom verfolgt der südliche Zweig unweit der Küste seinen Weg. Bei Port Natal findet obengenannte Vereinigung statt; der Strom, jetzt Agulhasstrom genannt sließt gegen den Wind. Zwischen Mozambiquestrom, Agulhasstrom und Küste sind öfters Neerströmungen verzeichnet worden. Den Mozambiquestrom und den Agul-

<sup>1)</sup> KRümmer. Die Äquatorialen Meeresströmungen des Atlantischen Ozeans und das allgemeine System der Meerescirculation. S. 50.

hasstrom nennen wir Abflußströme. Mehrmals findet man eine südwestliche Versetzung in den meteorologischen Tagebüchern verzeichnet, während das Schiff für S. W. Sturm beigelegt war. An Ost- und Südseite des Agulhalstromes, wo die Geschwindigkeit kleiner ist als zur rechten Seite des Stromes, finden wir eine starke Neigung nach links abzubiegen. Auf  $\pm$  20° O. L. zweigt ein Teil des Stromes nach Nordwest ab, eine weit größere Wassermenge fließt in S. W.—S.—Südostlicher Richtung zur Westwindtrift. Diese Westwindtrift, dessen nördliche Grenze wir beim Kaplande auf 35° S. B. setzen können, sendet in 26° O. L. einen kleinen Zweig nach Norden, wodurch hier ein Kreislauf gebildet wird.

In Wirklichkeit sind die Zustände nicht so einfach wie man aus dieser Darstellung von Mittelwerten ableiten würde. Der Zusammenstoß des kalten Westwindtriftwassers mit dem warmen Agulhasstrome ist hier wie überail wo warme und kalte Strömungen sich begegnen von plötzlichen Strömungsänderungen und starken Farben- und Temperaturwechslungen begleitet.

Das beste Schema dieses Mischungsprozesses, der sehr langsam vor sich geht, bekommt man wenn man die Finger beider Hände, flach auf dem Tisch gelegt, in einander schiebt 1). Zunge warmen und kalten Wassers wechseln einander auf sehr kurzen Distanzen ab und ihre verschiedene Bewegungsrichtung gibt eine Erklärung des vielfach schweren, nicht im richtigen Verhältnisse zum Winde stehenden Seeganges, welchem Schiffe hier öfters begegnen. Zwar besteht eine große Differenz an Salzgehalt, aber auch die Temperaturunterschiede sind groß, darum halten beide Ströme sich lange Zeit aufrecht.

Das Deutsche Vermessungsschiff Planet fand in  $\begin{cases} 40^{\circ} \text{ S. B.} \\ 20^{\circ} \text{ O. L.} \end{cases}$  in 1000 bis 1400 Meter Tiefe noch deutlich Zustände vor, die am Agulhasstrome erinnerten 2).

Der Name Westwindtrist besagt schon welcher Ursache vielen diesen Strom zuschreiben. Mit dieser Meinung sind wir im großen

<sup>1)</sup> P. HOFFMAN. Zur Mechanik des Meeresströmungen an der Oberfläche der Ozeane. Berlin 1884.

<sup>2)</sup> Forschungsreise S. M. S. Planet 1906/7 III Band. Ozeanographie.

ganzen einverstanden, weisen aber darauf hin, daß zwischen 38° und 43° S. B. die Richtung rein östlich ist, während die Windresultante WNW ist. Von 43° S. B. ab kommen öfters nordöstliche Strömungen vor, ausgenommen in 

474 wo die Richtung fast überall östlich ist; die Ursache dieses Richtungsunterschiedes haben wir schon oben angegeben. Den mehr regelmäßigen Verlauf des Stromes zwischen obengenannten Parallelen schreiben wir den Tatsachen zu, erstens, daß man dort gerade in der Stromachse ist; zweitens, daß von dort die meisten Beobachtungen vorliegen.

Die Ablenkung nach links, bezüglich der WNWien Windresultante dürsen wir jedoch nicht ausschließlich der Erdbewegung zuschreiben. Zwei andere Ursache sind noch anzugeben: 1ens. Aspiration des West-Australischen Stromes 2ens. Einfluß des absließenden Schmelzwassers des Südpolareises.

Überhaupt finden wir in südlichen Breiten oft nördlich gerichtete Strömungen, und diese, unserer Ansicht nach reine Oberflächenströme, dürfen wir dem Schmelzwasser der ewigen Eismauer des Südpolarlandes zuschreiben, das sich, ebenso wie im Nordpolarbecken, über das schwerere Unterwasser ausbreitet.

Die Richtung der Westwindtrift wird hierdurch gewiß etwas nördlicher, als sie unter dem Einfluß des Windes und der Erdrotation allein sein würde; wir glauben jedoch das diese letzteren Ursachen von untergeordneter Bedeutung sind.

Auf ± 90° O. L. biegt ein Zweig der Westwindtrift nach N. O. ab; dieser Zweig, der West-Australische Strom, verläuft fächerförmig und schlägt von 30° S. B. ab, zwischen 100° O. L. und dem Australischen Festlande, eine mehr nördliche Richtung ein.

Das ganze Stromgebiet bildet einen gemischten Absluß- und Zuslußstrom.

Die Hauptmasse des Wassers geht in den Äquatorialstrom über, ein schmaler Zweig biegt nach NO ab und nährt den Vorläuser des Äquatorialstromes.

Wir erwähnen noch an dieser Stelle, daß die Isothermen des Meereswassers darauf hinweisen daß im Gebiete des West-A. Stromes ein freilich schwacher Strom nach Süden geht; zeichnet man ein Strombild nach Eingradsfelder so ist dieser Strom tatsächlich nachweisbar. Weiter nach Osten ändert sich der regelmäßige Verlauf der Westwindtrift. Teilweise mag das davon herrühren, daß die Westwinde hier durch den Einfluß des Australischen Festlandes nicht so ausgeprägt sind wie weiter nach Westen und Osten. An sich genommen wäre dieses jedoch kein Hindernis für mehr südlich erzeugte östliche Strömungen um ihren Weg nach Osten zu verfolgen; daß dieses tatsächlich stattfindet beweisen uns die "Flaschenposte". Das Fehlen eines ausgesprochenen Stromsystemes in der Australischen Bucht kommt uns deshalb vor wie ein kräftiges Argument für die Ablenkung nach links, welche die Hauptmasse des Westwindtriftes in den Indischen Ozean sendet.

Betrachten wir jetzt das Stromsystem im Nordindischen Ozean.

Im Arabischen und Bengalischen Meerbusen herrscht der Nordostmonsun, welcher zwischen 60° und 90° O. L., und 4°—10° N. B. in Nordwestmonsun übergeht; westlich von 60° O. L. reicht der Monsun weiter südlich.

Der Nordostmonsun treibt in den genannten Meerbusen das Wasser in westlicher Richtung vor sich aus, der Ostküsten Vor-Indiens und Arabiens nachher in südwestlicher Richtung entlang. Nur an der Südspitze Ceylons kommen große Geschwindigkeiten vor, das Wasser wird dort aus dem Bengalischen Meerbusen hinaus getrieben und sofort wieder nach der Westküste Vor-Indiens gezogen um dort als Zuflußwasser zu dienen, obendrein wird das Strombett vom Äquatorialgegenstrom eingeengt.

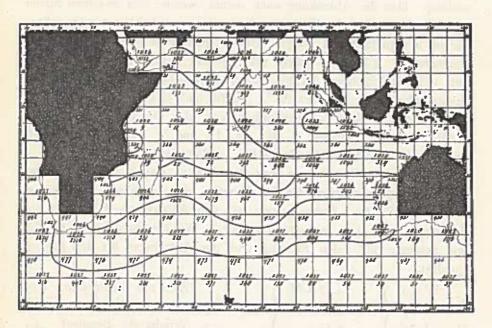
Größenteils ist der Strom in diesen Meerbusen ein Triftstrom, der Südwestzweig ein Abfluß-, der Nordwestzweig ein Zuflußstrom.

Der westliche Strom im Arabischen Meerbusen teilt sich bei der Begegnung Afrika's in einen Nord- und einen Südzweig. Der nördliche Zweig fließt zum größten Teile mit dem Strome von der Ostküste Arabiens in den Golf von Aden hinein; ein kleiner Teil fließt nördlich von Socotra nach N. O. und bildet mit dem dort befindlichen westlichen Strom einen Kreislauf. Der Südzweig begegnet zwischen 3° N. und 5° S. B. dem nördlichen Zweig des Äquatorialstromes, zusammen bilden sie den Äquatorialgegenstrom.

Zwischen 70° und 80° O. L. wird der Äquatorialgegenstrom, der bis jetzt Abfluß- und Zuflußstrom war, noch unterstützt durch den Nordwestmonsun, wird also zum Teil noch Triftstrom dazu und zeigt einen sehr gemischten Typus.

Auf ungefähr 70° und 80° O. L. sendet der Äquatorialgegenstrom Zweige nach Norden, die als Zuflußströme dienen für den westlichen Strom im Arabischen Meerbusen.

Nachdem der Strom 90° O. L. überschritten hat, teilt er sich. Ein Zweig biegt nach Südost ab, der andre nach Norden; beide sind Zuflußströme für den Äquatorialstrom, resp. für die westliche Trift im Bengalischen Meerbusen, zugleich sind sie als Abflußströme zu betrachten für den Äquatorialgegenstrom.



Karte 1. Spesifisches Gewicht und Numerirung der Quadratfelder.

Die Karte des spezifischen Gewichtes an der Oberfläche läßt uns sehen daß in dem Dichteunterschiede keine stromerzeugende Krast von großer Bedeutung steckt. Zwar sind die Beobachtungen jede für sich nicht sehr genau, die große Quantität macht jedoch daß den Mittelwerten nicht jeder Wert abgesprochen werden kann.

Die Annahme is also berechtigt, daß wir für die Ströme im Indischen Ozean fast ausschließlich die herrschenden Winden als stromerzeugende Kraft an zu sehen haben. Die Betrachtung des Strombildes

hat uns gezeigt daß fast niemals ein reiner Stromtypus auftritt, sehr oft eine Kombination zweier oder dreier Typen. Dem Typus des reinen Triftstromes am nächsten kommen die Ströme in den Quadratfeldern:

- a. 67, 66, teilweise 31 und 30.
- b. 364 und 363.
  - c. 478, 477, 476, 475, 474, 473, 472 und 471.

In der erstgenannten Region herrscht im November der Nordostmonsun, der Wind weht also der Küste Arabiens und N.O. Afrika's entlang. Daß die Ablenkung nach rechts, welche hier zwischen Strom und Wind besteht, der Küstenkonfiguration zugeschrieben werden sollte, wie im allgemeinen von einigen Autoren behauptet wird, ist hier nicht anzunehmen. Übrigens haben wir hier ein 2400 Faden tiefes Meer, mit steil ansteigenden Küsten, in den Quadraten 67 und 31 ist die Beständigkeit 1) des Windes 84 %, in 66 und 30 noch 69 %. Um eine deutlichere Übersicht zu bekommen sind die Quadratfelder noch in Streifen geteilt, numerirt I, II, III, IV und V, derart daß nördlich des Äquators I die größte Breite hat, südlich dagegen die kleinste.

In Quadrat 67 und 31 war in allen 14 Fällen, wo Wind- und Stromrichtung verglichen werden konnten, die Ablenkung zur rechten Seite des Windes. Unten geben wir den Ablenkungswinkel und die Stromgeschwindigkeit, erzeugt von 1 Meter Windgeschwindigkeit in c.M. pro Sekunde für jeden Streisen und den Mittelwert für den ganzen Quadrat.

Das folgende Feld gibt für 11 von den 12 Fällen eine Ablenkung nach rechts und weiter:

<sup>1)</sup> Die Zahlen unter dem Haupte "Beständigkeit" geben das Gewicht an, daß man den Mittelwerten zusprechen darf. Sie sind die Quotienten der absoluten Werten der resultirenden Windstärken und der Mittelwerten der einzelnen beobachteten Windstärken.

Im Streifen I des Quadratfeldes 30 macht der Einfluß des Äquatorialgegenstromes sich schon fühlbar, wenn wir diesen Streifen auslassen finden wir die eingeklammerten Werte.

Betrachten wir jetzt die Quadratselder 364 und 363.

Küsten- und andere störende Einflüsse sind hier als äußerst gering zu betrachten, die Tiese ist 2400 Faden, kräftig weht der Südostpassat hier das ganze Jahr hindurch mit einer Beständigkeit von 88 und 86 °/o; Umstände welche EKMAN's idealen Bedingungen möglichst nahe kommen und nicht wahrscheinlich an irgend einer andren Stelle übertroffen werden dürsten.

Im Quadrate 364 fällt in allen 20 Fällen der Ablenkungswinkel nach links, weiter finden wir;

Im Quadrate 363 fällt in 24 von den 25 Fälle der Ablenkungswinkel nach links, wir finden weiter;

Zum Schluß noch das Westwindtriftgebiet. Was Küstennähe und Tiese betrifft ist dieses Gebiet in günstigen Verhältnissen; weniger günstig zeichnet sich der Wind aus: wie unterstehende Beständigkeitswerte angeben.

$$\frac{478}{48^{\circ}/_{\circ}}$$
,  $\frac{477}{50^{\circ}/_{\circ}}$ ,  $\frac{476}{43^{\circ}/_{\circ}}$ ,  $\frac{475}{46^{\circ}/_{\circ}}$ ,  $\frac{474}{56^{\circ}/_{\circ}}$ ,  $\frac{473}{59^{\circ}/_{\circ}}$ ,  $\frac{47^{2}}{61^{\circ}/_{\circ}}$  und  $\frac{471}{69^{\circ}/_{\circ}}$ .

Im Quadrate 478 fällt in allen 15 Fällen der Ablenkungswinkel nach links, wir finden weiter:

Im Quadrate 477, 14 der 15 Ablenkungswinkeln nach links, weiter;

Im Quadrate 476, 14 der 15 Ablenkungswinkeln nach links, weiter;

Im Quadrate 475, 14 der 15 Ablenkungswinkeln nach links, weiter;

Im Quadrate 474, 10 der 15 Ablenkungswinkeln nach links, weiter;

Im Quadrate 473, 15 der 18 Ablenkungswinkeln nach links, und ein Strom in der Windesrichtung, weiter;

Im Quadrate 472, 13 der 14 Ablenkungswinkeln nach links, weiter:

Im Quadrate 471, 9 der 11 Ablenkungswinkeln nach links, weiter;

Was den Richtungsunterschied zwischen Wind und Strom betrifft, zeigen sich hauptsächlich Abweichungen im Quadrate 474 und in beiden anliegenden Quadraten.

Oben haben wir schon erwähnt, daß hier der Zweig des Äquatorialstromes östlich von Madagaskar störend wirkt.

Rekapitulirend finden wir daß in 173 von den 189 Fällen wo in Windtriftgebieten Wind- und Stromrichtung verglichen werden konnten, also für 91°/o die Richtung der Ablenkung im Einklang war mit der von EKMAN aus den Gesetzen der Erdrotation abgeleiteten Regel. Auch die mittlere Größe des Winkels ist in guter Übereinstimmung mit dem theoretischen Wert 45°, falls keine direkte Störungen nach zu weisen sind:

$$\frac{67-31}{62^{\circ}}$$
,  $\frac{66-30}{48^{\circ}}$ ,  $\frac{364}{47^{\circ}}$ ,  $\frac{363}{51^{\circ}}$ ,  $\frac{478}{55^{\circ}}$ ,  $\frac{477}{41^{\circ}}$ ,  $\frac{476}{42^{\circ}}$ ,  $\frac{472}{41^{\circ}}$ ,  $\frac{471}{43^{\circ}}$ .

Einer ähnlichen Bearbeitung unterwerfen wir noch die Quadratfelder

also ein Gebiet liegend zwischen CASTENS' Stationen 1 und 2.

In den zwei erstgenannten Quadraten muß der Viereck zwischen den Meridianen von 25° und 26° W. L. ausgeschaltet werden, da dieser Streisen in einer Stromteilung liegt. An dieser Stelle fließt ja Wasser zur Fortsetzung des Kanarienstromes, der Strom ist also mehr als Zufluß- dann als Triftstrom zu betrachten.

In dem Beobachtungsmateriale besteht jedoch ein Unterschied, den wir hier näher erwähnen müssen. Für den Indischen Ozean benutzten wir alle Wind- und Strombeobachtungen die in einem Gradfelde angestellt waren, für diesem Gebiete jedoch sind nur die Strom- und Windbeobachtungen benutzt, die an einem und demselben Tage gemacht wurden. Die Beobachtungsreihen befinden sich in den tabellarischen

Teilen zweier ozeanographischen Arbeiten 1) 2) unseres Institutes. Für obenstehende Quadratfelder finden wir im Monat November der Reihe nach:

# — 40 <sup>0</sup>	rochto	+ 7.7	33/ind		- 2 2 4	- 1√E	Ctean	Bach	tarra		Wind	Beständ: 87°/ <sub>0</sub>   Stärke 3.2
$\alpha = 40$	recints.	1 141.	WINU	erzeug	2.04	C.IVI.	Stroin.	DCOD	age	234.	willu	Stärke 3.2
											10 16	Beständ: 83°/0
$\alpha = 50^{\circ}$	11	n n	22	23	3.07	33	19	"	"	122.	"	Beständ: 83°/ <sub>o</sub> Stärke 3.0
										<b>CO</b>		Beständ: 89%
$\alpha = 40^{\circ}$	1)	22 . 32	"	22	2.98	**	91	19	13	108.	93	Stärke 3.3

Es zeigt sich also eine gute Übereinstimmung mit den Zahlen welche wir für die Quadratfelder 364 und 363 gefunden haben, aber auch ein großer Unterschied gegen den Geschwindigkeitskoeffizienten 4.92 den MOHN ableitete.

Wenn wir die von CASTENS gewählten Stationen näher betrachten, finden wir daß:

Station 1 liegt im Trennungsgebiete zweier Ströme. (Siehe oben.)

- " 2\* " in einer Windtrift.
- , 3<sup>\*</sup> , , , , ,
- 4 und 5 liegen an der Grenze des Golfstromgebietes, die letzte Station wird unser Ansicht nach obendrein stark vom kalten Polarstrom beeinfluβt.
- , 6\* liegt ungefähr in einer Windtrift.
- " 7 " in einem Ab- und Zuflußstrome. (Guineastrom.)
- ,, 8 ,, ,, ,, ,, ,, ,,
- " 9\* " " einer Windtrift.
- " 10 " " cinem Zuflußstrom.
- " 11\* " " ciner Windtrift.
- " 12\* " " ciner Windtrift.
- " 13 " im Grenzgebiet mehrerer Ströme.

Bei allen mit \* verzeichneten Stationen entspricht die Richtung des Ablenkungswinkels der Ekman'sche Theorie, der Reihe nach beträgt die Größe des Winkels

$$\frac{2}{48^{\circ}}$$
,  $\frac{3}{58^{\circ}}$ ,  $\frac{6}{20^{\circ}}$ ,  $\frac{9}{33^{\circ}}$ ,  $\frac{11}{56^{\circ}}$ ,  $\frac{12}{25^{\circ}}$ .

<sup>1)</sup> Observations océanographiques et météorologiques dans la région du Courant de Guinée.

<sup>2)</sup> Oceanographische en Meteorologische Waarnemingen in den Indischen Oceaan. September, October, November 1858-1904.

Diese Resultate zusammen mit denen gefunden für den Atlantischen und den Indischen Ozean führen uns zu einer anderen Schlußfolgerung als CASTENS und zwar:

Überall wo ein reiner Triftstrom auftritt, besteht zwischen Windund Stromresultante eine Ablenkung, welche mit der NANSEN-EKMAN'sche Theorie übereinstimmt. Bei Ab- und Zuflußströmen im Gegenteil besteht kein sichtbarer Zusammenhang zwischen Wind und Strom.

Jetzt kommen wir zur zweiten Frage:
Wie verhalten sich die Geschwindigkeiten von Wind und Strom?

Nach dem oben gesagten befremdet es uns nicht, daß wir für die von I Meter Wind erzeugte Stromgeschwindigkeit so verschiedene Werte gefunden haben. Die Stromgeschwindigkeit an einer bestimmten Stelle, selbst in einem reinen Triftstrome, ist ja nicht allein abhängig von der Windstärke an Ort und Stelle, sondern auch, und daß in hohem Maße, von dem weiteren Weg den der Strom außerhalb dieses Gebietes zurück zu legen hat. Einengung oder Verbreiterung des Strombettes durch dem Winde ganz fremde Einflüsse werden nicht fehlen ihre Auswirkung auf die Geschwindigkeit zu zeigen. Wir nennen zum Beispiel in 364 II den Einfluß eines Zuflußstromes, in 364 III—V und 363 III—V den hemmenden Einfluß des ruhenden Wassers in der Mitte der Stromellipse und der leichteren Winde in den inneren Teilen.

Die größere Geschwindigkeiten in 478 und 475 sind von der Einengung des Strombettes durch die Südspitze Afrika's und den Agulhasstrom hervorgerufen.

Wenn wir trotzdem das Verhältnis zwischen Wind und Strom zu kennen wünschen behuß Konstruktion eines Strombildes aus Windbeobachtungen, so ist es notwendig ein Gebiet zu suchen wo im Ganzen die störenden Einflüsse sich auf heben. Es scheint uns jeder Kreislauf einem solchen Gebiete am nächsten zu kommen. Wenn wir den Südindischen Ozean betrachten, sehen wir dort einen derartigen Kreislauf, an erster Stelle hervorgerufen durch den Südostpassat und die Westwinde, während Küsteneinfluß und Aspiration im Rücken der primären Ströme die zwei Verbindungszweige bilden.

Diese Ellipse te	ilen wir in 9	Teilen 1); berechnan	wir für jeden Teil die
Strom- und Win	ndresultante,	so bekommen wir:	

Strom.			Wind.		Wirksame Komponente.	1 M. Wind erzeugt Strom.
1	N 104" O 19.78	c.M. p. Sek.	N 279° O 3.9 M	p. Sek.	3.88 M. p. Sek.	5.09 c.M.
11	N 88° O 15.05	D D D	N 285* O 4.9 »	D D	4.68 » » »	3.21 »
III	N 70° O 10.75	ע ע ע	N 291° O 4.9 »	30 D	3.70 » » »	2.90 »
lV	N 76° O 15.48	a a a	N 303° O 3.3 »	D D	2,25 h D D	6,88 »
V	N 36° O 7.31	) v v	N 116° O 3.6 »	D D	0,63 » » »	— 11.60 »
VI	N 262° O 16.77	ע ע ע	N 126° O 7.1 »	» »	5.10 » » »	3.29 »
VII	N 259° O 11.18	» » »	N 123° O 5.5 »	<b>у</b> у	3.95 » » »	2.83 »
/III	N 207° O 5.59	) D D	N 106° O 3.2 »	)> <b>b</b>	0,61 " " "	9.16 »
IX	N 198° O 4.73	)) )) ))	N 104° O 2.5 »	D D	1.33 » » »	3.56 »

Nur die Windkomponente in der Stromrichtung erzeugt Strom; aus der obenstehenden Tabelle geht hervor daß in diesem Kreislause die mittlere Stromgeschwindigkeit  $\frac{106.64}{9} = 11.85$  c.M. p. Sek. beträgt, die mittlere Windgeschwindigkeit in der Stromrichtung  $\frac{24.87}{9} = 2.76$  M. p. Sek.

Folgt also: 1 Meter Wind in der Stromrichtung erzeugt einen Strom von 4.28 c.M.

Einen zweiten Kreislauf bildet die circumpolare Westwindtrift; auch hier sind störende Einflüsse nachzuweisen: die weit nach Süden rückenden Landspitzen Afrika's, Australiens und Süd-Amerika's, Ströme die nach und von den Äquatorialgegenden der Ozeäne ab- und zufließen etc.

Weil uns genügende Beobachtungen für die weiteren Teile dieses Kreislaufes fehlen, unterwerfen wir nur die Quadratfelder 478—470 obenstehenden Rechnungen; die genannten Störungen sind auch in diesem Teile anwesend.

<sup>1)</sup> Siehe Karte 3.

Wir finden eine mittlere Stromgeschwindigkeit  $\frac{155.88}{9}$  = 17.32 c.M.

p. Sek. und eine mittlere Windgeschwindigkeit  $\frac{34.34}{9} = 3.81$  Meter.

1 Meter Wind in der Stromrichtung erzeugt also ein Strom von 4.54 c.M. p. Sek.

Die Übereinstimmung zwischen obenstehenden Zahlen ist eine befriedigende, insbesondere wenn wir bedenken daß die circumpolare Westwindtrift so zu sagen eine freiere Bahn hat, verglichen beim verhältnismäßig engen Indischen Ozean, der den erstgenannten Kreislaut enthält.

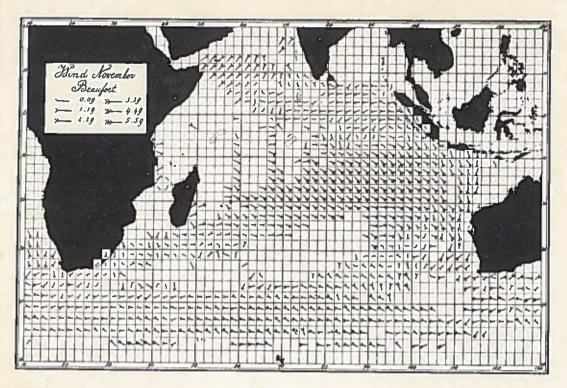
Der früher von MOHN gegebene Wert, 4.92 c.M. ist fast eben so groß wie der von uns berechneten. Diese verhältnismäßig gute Übereinstimmung ist aber nur eine zufällige. MOHN benutzte für seine Rechnungen nur zwei kleine Stücke zweier Kreislaufe, auch unterzog er die Beobachtungen noch einer eigentümlichen Sichtung; das von ihm gegebene Resultat ist also mit dem unsrigen nicht vergleichbar.

Zur Prüfung der dritten These EKMAN's an den Beobachtungen haben wir kaum Gelegenheit. Beim Kreislauf im Indischen Ozean, mittlere Breite von 28°, fanden wir für die von 1 Meter Wind erzeugte Stromgeschwindigkeit 4.29 c.M.; im südlichen Kreislaufe, mittlere Breite 44°, finden wir 4.54 c.M. Die Quadratwürzeln sin. b beträgen also 0.7 und 0.84. Die Geschwindigkeiten sind diesen Werten nicht umgekehrt proportional; die Unterschiede sind jedoch so klein, daß, auch mit Rücksicht auf die Unsicherheit der ganzen Rechnung, irgend welche Schlußfolgerungen verfrüht sein würden.

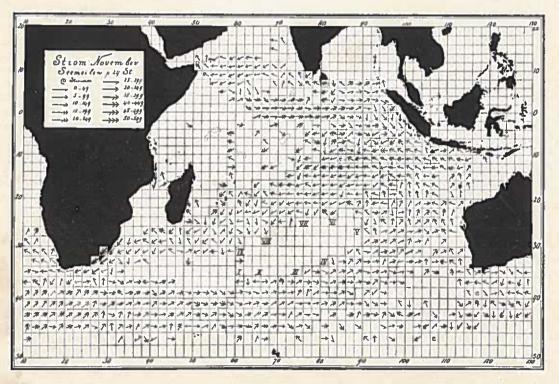
Zusammenfassend kann man sagen, daß die Konstruktion eines Strombildes für einen ganzen Ozean nur aus Windbeobachtungen unmöglich ist <sup>1</sup>). Die Beispiele im Teil V des Kreislaufes im Indischen Ozean, im Agulhasstrome und in einem Teil des West-Australischen Stromes, wo der Strom dem Winde entgegen fließt, sprechen in dieser Hinsicht deutlich genug. Beschränkt man sich jedoch auf Kreisläufe

<sup>1)</sup> CASTENS. Seite 35.

wo Triftströme überherrschend sind, so ist es möglich ein ziemlich genaues Bild des Stromes zu bekommen. Für die stromerzeugende Kraft eines Meters Wind in der Stromrichtung nehme man 4.4 c.M., für den Ablenkungswinkel im freien Ozean 45°. Für die Bestimmung der Richtung bei Zu- und Abflußströme wird es ratsam sein, so viel wie möglich Strombeobachtungen an Ort und Stelle zur Rat zu ziehen.



Karte 2.



Karte 3.