

## Die theoretischen Ansichten über die Entstehung der Meeresströmungen.

Wo immer das Wort „Meeresströmung“ genannt wird, da denkt gleich jeder an den Golfstrom, „das grosse Bindeglied zweier Welten,“<sup>1)</sup> wengleich auch dieser Begriff nur zu oft von höchst oberflächlichen Kenntnissen getragen wird. Diese für Europa wichtigste aller ozeanischen Strömungen ist es auch gewesen, deren Untersuchung den hauptsächlichlichen Anstoss zu der Vervollkommnung der Hydrographie in der Neuzeit gegeben hat; nicht aber ist sie zuerst den Seefahrern bekannt geworden.

Bei der Besprechung der unter den Ptolemäern betriebenen Handelsschiffahrt vom Roten Meer nach Indien erwähnt Karl Ritter<sup>2)</sup>: „Hippalus, ein ägyptischer Schiffskapitän, entdeckte die Gesetze der Meeresströmungen und die regelmässigen Abwechslungen der Monsune.“<sup>3)</sup> — Nach dem Entdecker dieser Gesetze, dessen Person selbst aber unbekannt geblieben, wurde nun das Meer selbst Meer des Hippalus genannt.“<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> „Le grand intermédiaire entre les deux mondes“ sagt É. Reclus in *La Terre, description des phénomènes de la vie du globe*, Paris 1869, tome II, S. 92.

<sup>2)</sup> *Geschichte der Erdkunde und der Entdeckungen, Vorlesungen von K. Ritter*, herausgegeben von H. A. Daniel, Berlin 1861, S. 90.

<sup>3)</sup> Nach Alex. von Humboldt (*Kosmos*, II. Bd., S. 203, Stuttgart u. Tübingen 1847) und Leop. v. Ranke (*Weltgeschichte*, I. Bd., 2. Abt., S. 212—213, Leipzig 1881) wäre die Kenntnis der letzteren schon Nearch zuzuschreiben.

<sup>4)</sup> Vgl. Humboldt, *Kosmos* II, S. 433

Das wurde aber trotz Strabo u. a. später wieder vergessen; wie soviel geographische Erkenntnis musste auch das Vorhandensein von Strömungen des Meeres gegen Ende des Mittelalters ganz aufs neue festgestellt werden; es geschah zuerst durch die Portugiesen an der Westküste des äquatorialen Afrika,<sup>5)</sup> dann durch Columbus,<sup>6)</sup> Ponce de Leon und Antonio de Alaminos, die Entdecker des Golfstroms, (1513)<sup>7)</sup> u. a. Die Erforschung der Strömungen nahm einen wissenschaftlicheren Charakter an, seit Benjamin Franklin und der englische Arzt Blagden vom Jahre 1770 resp. 1775 an bei der Untersuchung des Golfstroms verbesserte und neuerfundene Instrumente, besonders das Seethermometer, gebrauchten.<sup>8)</sup> Einen kräftigen Aufschwung brachte aber — wie so manchem Gebiete der „Erdoberflächen-

<sup>5)</sup> O. Peschel, *Geschichte der Erdkunde*, (herausgeg. von S. Ruge) München 1877, S. 437.

<sup>6)</sup> Vgl. Humboldt, a. a. O., I. Bd., S. 327, 477, II. Bd., S. 325; O. Krümmel im *Handbuch der Ozeanographie*, II. Bd., (Stuttgart 1887), S. 328.

<sup>7)</sup> J. G. Kohl, *Geschichte des Golfstromes*, Bremen 1868; Humboldt, a. a. O., I. Bd. S. 327, II. Bd. S. 325—326; O. Krümmel, *Der Ozean*, Leipzig-Prag 1886, („Wissen der Gegenwart“, 52. Bd.), S. 218; *Handbuch der Ozeanographie* II. Bd., S. 417.

<sup>8)</sup> Cf. M. F. Maury, *Physische Geographie des Meeres*, (deutsch von Böttger), Leipzig 1856, S. 52—54; É. Reclus, a. a. O., II. Bd. S. 82, 97; J. G. Kohl, a. a. O., S. 108; *Physische Erdkunde*, nach den hinterlassenen Manuskripten O. Peschels selbständig bearb. u. herausgeg. von G. Leipoldt, Leipzig 1879/80, II. Bd., S. 60—61; O. Krümmel, *der Ozean*, S. 219.

kunde“<sup>9)</sup> — auch der Meereskunde die Mitte unseres Jahrhunderts durch die Thätigkeit des Amerikaners Mathew Fontaine Maury, des Begründers und ersten Leiters des Naval Observatory in Washington. Seit dem Jahre 1868 traten dazu besondere hydrographische Expeditionen, welche ein zuverlässiges Material von Beobachtungen sammelten; am bekanntesten darunter sind die der englischen „Challenger“, der deutschen „Gazelle“, der amerikanischen „Tuscarora“, die norwegische Nordmeer-Expedition u. a. m.

So ist in den letzten zwanzig Jahren die Ozeanographie zur wahren Wissenschaft geworden. Obgleich sie sich demgemäss sehr rasch entwickelt hat, so bleibt es doch billig zu verwundern, dass die Karten der Meeresströmungen (die erste entwarf 1665 Athanasius Kircher)<sup>10)</sup> in der grossen Mehrzahl<sup>11)</sup> eben den neueren Ergebnissen der Forschung gegenüber eine Reihe von Mängeln aufweisen, die in später erscheinenden Werken und auf Globen leider so vielfach kritiklos reproduziert werden. Eine rühmliche Ausnahme hiervon machen die von O. Krümmel entworfenen Blätter in dem von Debes, Kirchhoff und Kropatschek herausgegebenen Schul-

<sup>9)</sup> F. von Richthofen, Aufgaben u. Meth. d. heut. Geographie, Leipzig, 1883, S. 25, 4. Durch den Tod von Sir John Franklin 1847, von Ludwig Leichhardt 1848 und von Eduard Vogel 1856 wurden um jene Zeit z. B. die vielen Expeditionen veranlasst, denen wir die Erschliessung des Polargebietes, Australiens und Afrikas verdanken.

<sup>10)</sup> Siehe Peschel, Geschichte der Erdkunde, S. 744.

<sup>11)</sup> Das Blatt Nr. 7 in Stieler's Hand-Atlas (1883 verbessert) ist jetzt um ungefähr 6 Jahre zurück; die Karte in dem Allg. Handatlas von R. Andree (Bielefeld u. Leipzig 1887) zeigt unrichtige Darstellungen bei den Strömungen im „Amerikanischen Mittelmeer“, den äquatorialen Strömungen mit der jedesmaligen Gegenströmung, besonders bei den angeblichen Strömungen von und nach der Beringsstrasse etc. Leider ist diese Karte, wie es scheint, das Vorbild gewesen für S. 6 in dem sonst so vortrefflichen Schul-Atlas von Diercke-Gaebler (Braunschweig). An dem oben ausgesprochenen Lobe dagegen haben Anteil die Kärtchen in Supans Physischer Erdkunde, in Krümmels „Ozean“ u. a. m. — Debes, K.'s Atlas enthält übrigens eine grosse Zahl musterhafter Kartenbilder für „allgemeine Erdkunde.“

Atlas für die Oberklassen (Leipzig, Wagner u. Debes). Nr. 12 und im II. Bande des Handbuchs der Ozeanographie. Auf diese Karten und auf Krümmels Schilderung des Verlaufs der Meeresströmungen in seinem leicht zugänglichen, fesselnden Buche „Der Ozean“ (Seite 206—231)<sup>12)</sup> sei in betreff des That-sächlichen verwiesen; der späteren Beweisführung halber aber mag hier einigen Ergebnissen der neueren Tiefseeforschung noch eine besondere Besprechung gewidmet werden.

Das Meerwasser ist kein chemisch reines Wasser mit dem Dichtemaximum bei  $+4^{\circ}$  C und dem Gefrierpunkt bei  $0^{\circ}$ , sondern es ist eine Salzlösung (Salzgehalt etwa  $3\frac{1}{2}\%$ <sup>13)</sup>, deren Dichtigkeitsmaximum ungefähr bei  $-5^{\circ}$  C und deren Gefrierpunkt etwa bei  $-2\frac{1}{2}^{\circ}$  C liegt.<sup>14)</sup> An der Oberfläche des Meeres verdunstet aber nur das chemisch reine Wasser; das übrige wird dann relativ salzhaltiger, demnach spezifisch schwerer, sinkt und teilt so von der an der Oberfläche herrschenden Temperatur auch tieferen Schichten mit.<sup>15)</sup> Darum kann am Boden von abgeschlossenen Meeren die Temperatur des Wassers nicht niedriger sein, als die an der Oberfläche konstatierte niedrigste Wintertemperatur, was zahlreiche Beobachtungen bestätigt haben.<sup>16)</sup>

<sup>12)</sup> Oder auf J. Hanns Beschreibung in seinem Werke: „Die Erde als Weltkörper, ihre Atmosphäre und Hydrosphäre“ (Separatabdruck aus: Hann, v. Hochstetter u. Pokoray, Allgemeine Erdkunde), Prag-Leipzig 1884, S. 164—173.

<sup>13)</sup> Vgl. Hann, a. a. O., S. 145.

<sup>14)</sup> Vgl. Hann, a. a. O., S. 149, 153. An diesen That-sachen wurde auf Grund von Dumont d'Urville's und James Ross' Beobachtungen, die indes mit ungenügenden Instrumenten angestellt waren, bis zum Jahre 1886 gezweifelt. Vgl. Peschel, Gesch. d. Erdk., S. 739—741.

<sup>15)</sup> Cf. E. Witte, Ueber Meeresströmungen, (Pless 1878), S. 13; Reclus, a. a. O., S. 115; Geographisches Jahrbuch 1878, S. 507; G. von Boguslawski, Die Tiefsee (Virchow-Holtzendorff's Vorträge) Berlin 1878, S. 39; Hann, a. a. O., S. 161.

<sup>16)</sup> Vgl. z. B. J. Hann, a. a. O., S. 159—163; Zöppritz im Handbuch der Ozeanographie, II. Bd., S. 283.

Das Vorhandensein von noch kälterem Wasser am Meeresboden verlangt daher zu seiner Erklärung eine wenn auch ganz langsame, so doch stetige dynamische Verbindung mit einem solchen Meeresteile, in dem jene niedrige Temperatur Oberflächentemperatur ist; — die in den Tiefen der Ozeane gemessenen niedrigen Temperaturen involvieren somit eine derartige Verbindung jener Tiefen mit einem Polarmeere.<sup>17)</sup>

Alle Weltmeere haben nun „ihren Ursprung in dem grossen gemeinsamen Reservoir des antarktischen Ozeans“<sup>18)</sup> d. h. in dem sog. „Südozean“<sup>19)</sup> (etwa zwischen dem 50. südlichen Parallel und dem südlichen Polarkreise)<sup>20)</sup> und dem von diesem umschlossenen südlichen Eismeer. Das gilt nicht nur, wie man am Globus leicht erkennt, für die Wasseroberfläche, sondern erst recht in Bezug auf die Ergebnisse der Tiefseelotungen.

Der Atlantische, noch mehr aber der Grosse und der Indische Ozean kommunizieren frei mit dem Südpolarmeere, dessen Boden ein unterseeisches Plateau zu bilden scheint. „Die Eismassen des antark-

tischen Ozeans“<sup>21)</sup> erstrecken sich als Packeis und Eisberge bis zu 100 m Höhe noch weit in die südlichen Teile der anderen Ozeane durch Vermittelung des Südozeans hinein und sind die Hauptlagerstätten für das kalte Wasser, welches nahezu zwei Drittel der ganzen Masse der drei grossen Ozeane der Erde erfüllt.“<sup>22)</sup>

Obgleich sowohl der Atlantic als auch der Pacific ihre grössten Tiefen im Westen auf der Nordhalbkugel haben, so ist doch in beiden in grösseren Tiefen das Bodenwasser der Nordhemisphäre nicht kälter,<sup>23)</sup> ja in dem weniger frei mit dem Südpolarmeere kommunizierenden Atlantischen Ozean sogar entschieden wärmer<sup>24)</sup> als das auf der Südhemisphäre. Das rührt her von der Abgeschlossenheit des nördlichen Eismees.

Die grossen Festlandmassen von Asien und Amerika treten sich so nahe, dass — wie schon Adalbert von Chamisso hervorhebt<sup>25)</sup> — „beide Pfeiler des Wasserthores“ der Beringsstrasse „in Sicht von einander liegen,“ auch ist diese Meerenge nach den neuesten amerikanischen Messungen nur etwa 50 m tief<sup>26)</sup>; in diesem engen Loche ist dem-

<sup>17)</sup> Vgl. G. v. Boguslawski, Die Tiefsee, Berlin 1878, S. 40, 44; J. Hann, a. a. O., S. 162. Die „polare Herkunft des kalten Tiefenwassers“ (Zöppritz) folgt übrigens nicht bloss aus den Temperaturverhältnissen, sondern auch aus chemischen Untersuchungen Jacobsons u. a., aus dem Gehalte an Luft, während zum Beispiel am Boden des Mittelmeeres ein Mangel an Luftblasen nachgewiesen ist, — u. s. w., vgl. Geograph. Jahrbuch 1878, S. 549; Karsten in den Verhandlungen der Gesellschaft für Erdkunde, Berlin 1878, S. 163; Hann, 1878, a. a. O., S. 173 Anmerkung; Zöppritz, im Handb. d. Ozeanogr., S. 284, 288 ff.

<sup>18)</sup> É. Reclus, La Terre, tome II, S. 5.

<sup>19)</sup> Der Name rührt wohl von Herschels „Southern Ocean“ her; vgl. O. Krümmel, Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume, Leipzig 1879, S. 16.

<sup>20)</sup> G. von Boguslawski, a. a. O., S. 26; vgl. Guthe-Wagner, Lehrbuch der Geographie, (Hannover 1879) S. 44; O. Krümmel, Morph. d. Meeresr., S. 16—18.

<sup>21)</sup> Vgl. Evans in „Der Naturforscher,“ Wochenblatt herausgeg. von Sklarek, Berlin, 1876, S. 450; Alex. von Woeikof, Gletscher und Eiszeiten in ihrem Verhältnisse zum Klima, (Zeitschrift der Ges. f. Erdk., Berlin 1881, XVI, S. 229), und Hann, a. a. O., S. 150—151.

<sup>22)</sup> von Boguslawski, Tiefsee, S. 26—27, oder im Geogr. Jahrb. 1878, S. 542; (beide Arbeiten v. B.'s stimmen zum Teil wörtlich überein).

<sup>23)</sup> Cf. von Boguslawski, Tiefsee, S. 56, 4. These, oder Geogr. Jahrb. 1878, S. 533.

<sup>24)</sup> Cf. von Boguslawski, Tiefsee, S. 52, 53, oder Geogr. Jahrb. 1878, S. 520, 506—507; Hann, a. a. O., S. 157, Fig. 46 u. Tafeln XI u. XII; Petermanns Mitteilungen 1885, S. 160.

<sup>25)</sup> Reise um die Welt in Chamisso's Werken, Elberfeld (Loll), II. Bd., S. 98.

<sup>26)</sup> Cf. W. H. Dall in Petermanns Mitteilungen 1881, S. 361 ff., 378 u. Tafel 17. Die grösste Tiefe ist 28 Faden (1 Faden = 1,829 m) Vgl. Wyville Thomson im „Naturforscher“ 1876, S. 343.

nach für grosse Strömungen <sup>27)</sup> gar kein Platz, die Strasse beherbergt kleinere, veränderliche Oberflächenströmungen, die ihren Ursprung wohl in den Tiden<sup>28)</sup> und Flussmündungen haben<sup>29)</sup>; sie kommt aber nach alledem für eine Umsetzung der Wassermassen zwischen dem Grossen Ozean und dem Nordpolarmeere gar nicht in Frage<sup>30)</sup>.

Nur mit dem Atlantischen Ozean — auf der grossen Lücke zwischen Europa und Amerika — hängt das nördliche Eismeer zusammen; die grösste Insel der Erde greift keilförmig ein; die Davis- und die Hudson-Strasse zwischen ihr und dem amerikanischen Festlande enthalten Tiefen von 550 m im Mittel<sup>31)</sup> und sind, wie wir — den früheren Annahmen zum Teil entgegen — durch die 1883 von Nordenskiöld gethätigten Untersuchungen erfahren haben, „bis zum Boden hinab mit kaltem oder nur sehr gelinde erwärmtem Wasser erfüllt,“<sup>32)</sup> welches letzteres allerdings wegen seines Salzgehalts atlantischen Ursprungs sein muss.<sup>33)</sup> Auf der anderen Seite von

Grönland aber zieht über Island und die Fär-öer nach den Orkney-Inseln zu eine — vorwiegend vulkanische<sup>34)</sup> — Bodenschwelle,<sup>35)</sup> der sog. Wyville Thomson-Rücken, sodass die „Eismeertiefe,“<sup>36)</sup> das norwegische „Nordmeer in 400 Faden Tiefe vom atlantischen Ozean ganz abgeschlossen ist.“<sup>37)</sup> Am engsten ist diese Abschnürung etwa 7° westlich von Greenwich auf dem 60. Parallel südwestlich von der sog. Farö-Shetland-Rinne, die übrigens nach H. Mohns Forschungen den Namen „Rinne“ kaum noch verdient, vielmehr nur der südlichste Ausläufer der Eismeertiefe, eine fast vollständige Sackgasse für das polare Tiefenwasser ist.

An Grönlands Ostküste entlang fliesst nach SW. ziemlich rasch ein kalter Polarstrom, ohne indes die ihm früher allgemein zugeschriebene Tiefe und Breite zu haben;<sup>38)</sup> unter ihm aber findet sich eine wärmere Gegenströmung, die als ein Teil des warmen Golfstromwassers aufzufassen ist, welches die ganze Südseite des Wyville Thomson-Rückens bis auf den Boden hin bespült. Weiter nach NO. nach der Überschreitung dieses Erhebungswalles wird dieses warme Wasser dann freilich auf die oberen

<sup>27)</sup> Wie solche z. B. in R. Andree's Hand-Atlas angegeben sind.

<sup>28)</sup> So heissen beim Seemann die Gezeiten (Ebbe u. Flut); vgl. Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, II. Bd., S. 14; Hann, Die Erde als Weltkörper, etc., S. 188; Krümmel, Ozean, S. 187.

<sup>29)</sup> Cf. Dall in Petermanns Mitteil. 1881, S. 379, 380.

<sup>30)</sup> Cf. Dall, a. a. O., S. 448.

<sup>31)</sup> Nach John Ross (1818), Parry (1819—20) und dem Dampfer Valorous (1875) vgl. Krümmel, Morphol. der Meeresr., S. 25, 62, 85—87; Naturforscher 1876, S. 183; vgl. Tafel X in Hann, Die Erde u. s. w.; das dänische Kanonenboot „Fylla“ fand 1884 in der Davis-Strasse 730 m Tiefe, vgl. O. Krümmel, Ozean, S. 15.

<sup>32)</sup> Petermanns Mitteil. 1884, S. 34, u. Nordenskiöld, Grönland, Leipzig 1886. S. 397.

<sup>33)</sup> Der angeblich Grönlands Westküste bespülende Arm des Golfstroms, von dem noch Sherman 1881 gesprochen hatte (s. Petermanns Mitteil. 1881, S. 192—193), schien illusorisch zu sein, (vgl. Petermanns Mitteil. 1884, S. 34); Krümmel, der ihn in Debes-Kirchhoff-Kropatscheks Atlas daher ausgemerzt hatte, führt ihn aber mit triftigen Gründen im Handbuch der Ozeanographie (1887) wieder ein; vgl. dort II. Bd., S. 434—435.

<sup>34)</sup> Mohn in Petermanns Mitteil. 1878, S. 6.

<sup>35)</sup> Cf. Petermanns Mitteil. 1878 (die beiden Karten auf Taf. I), S. 5, 6; 1879 S. 315 (Lotungen der „Fylla“), 1885 S. 159; Krümmel, Der Ozean, S. 15. — Ähnliche unterseeische Bänke sind auch vor den norwegischen Fjorden, sodass letztere nur mit warmem Wasser gefüllt und daher für Norwegens Klima besonders wichtig sind, vgl. Mohn in Petermanns Mitteil. 1876, S. 437, 438; v. Boguslawski, Tiefsee, S. 51; Theob. Fischer, Norwegen (Frommel-Pfaff's Vorträge, XII. Bd.) Heidelberg 1884, S. 61—62.

<sup>36)</sup> Hier sind wohl die grössten Tiefen des ganzen Polarmeeres, vgl. Krümmel, Morph. d. M., S. 86, 87, die Angaben in Petermanns Mitteil. 1878, S. 5<sub>2</sub>, u. Tafel X in Hann, Die Erde u. s. w.

<sup>37)</sup> H. Mohn, Die Norweg. Nordmeer-Expedition (Ergänzungsheft 63 zu Petermanns Mitteil.) S. 12, Tafel II.

<sup>38)</sup> Vgl. A. E. von Nordenskiöld, Grönland, S. 397, und die hydrographischen Resultate seiner Expedition, z. B. in Petermanns Mitteil. 1884, S. 30, 34, 471 (Tabelle); im Herbst und Winter mag dieser Strom stärker sein.

Meeresschichten beschränkt,<sup>39)</sup> verhindert aber dabei doch — bis auf eine unwesentliche Ausnahme<sup>40)</sup> — alles kalte Wasser der Eismeertiefe, über die Barriere hinweg unten in den Atlantic einzudringen.<sup>41)</sup>

Kaltes Wasser arktischen Ursprungs vermag also eigentlich nur in den oberflächlichen, durch die Dänemark-, die Davis- und die Hudson-Strasse ziehenden Polarströmungen in den Atlantischen Ozean zu gelangen.<sup>42)</sup> Wenn nun auch durch das Untersinken desselben<sup>43)</sup> (bei Neu-Fundland u. s. w.) auf diesem Wege etwas nordpolares Wasser den Tiefen des Nord-Atlantic zugeführt wird, so rührt doch jedenfalls<sup>44)</sup> eine grosse Menge des dortigen kalten Bodengewässers vom Südpol her, oder besser gesagt: dasselbe hat „eine ununterbrochene Verbindung mit den

gleichtemperierten Schichten im antarktischen Becken.“<sup>45)</sup>

So kommt es, dass die vom „Südozean“ ausgehende „unmessbar langsame“<sup>46)</sup> Fortschiebung von mächtigen kalten Wassermassen am Boden der Ozeane noch über den Äquator hinüberreicht.<sup>47)</sup> —

Von dem „Südozean“ aus geht auch an der Oberfläche polares Wasser in die grossen südhemisphärischen Zirkel von Meeresströmungen ein, während die entsprechenden Kreisläufe auf der Nordhalbkugel — eben wegen der Abgeschlossenheit des nördlichen Eismeer — kein arktisches Wasser enthalten.<sup>48)</sup>

Wir erkennen daraus, wie auch die horizontalen Oberflächenströmungen des Meeres von dem Relief seines Bodens in Abhängigkeit stehen. Eine ähnliche Bedeutung haben die Grenze zwischen Flachsee und Tiefsee<sup>49)</sup> und die Konfiguration der Küsten,<sup>50)</sup> wie sich des weiteren noch mehrfach zeigen wird. Jeder Erklärungsversuch

<sup>39)</sup> Dies wiederholt sich im NO (30° ö. L.) noch einmal (s. Petermanns Mitteil. 1884, S. 251).

<sup>40)</sup> Zwischen den Far-öer und Schottland krieucht ein wenig Eismeerwasser von  $-1^{\circ}\text{C}$  „in zwei Zungen“ über eine Einsattelung des Wyville Thomson-Rückens hinweg, wird aber auf der Südseite schnell wärmer (vgl. Krümmel, Ozean, S. 133 u. Fig. 40 u. Zöppritz im Handbuch d. Ozeanogr. II. Bd., S. 292—294).

<sup>41)</sup> Das ist sehr anschaulich gemacht in den Diagrammen 1—5 (besonders 4) auf Tafel I in Petermanns Mitteil. 1878; vgl. den Text von Mohn dazu ebendort S. 7—10, u. von Boguslawski, Tiefsee, S. 51.

<sup>42)</sup> Die Bilanz zwischen diesem ausfliessenden und dem zwischen Grönland und Europa einströmenden Golfstromwasser (mit Berücksichtigung des ins nördliche Eismeer sich ergiessenden Flusswassers und der Verdunstung) muss natürlich Null sein.

<sup>43)</sup> Dieses braucht obendrein vermöge seines geringeren Salzgehaltes noch gar nicht einmal ganz unterzusinken, vgl. Krümmel, Ozean, S. 132—133.

<sup>44)</sup> Vgl. Wyville Thomson in Sklarek's „Naturforscher“ 1876, S. 353 („Das Wasser des Atlantic wird nicht merklich in seiner Temperatur affiziert durch eine Einströmung vom arktischen Meere“); Nares in Petermanns Mitteil. 1874, S. 296; Weyprecht (s. Geogr. Jahrbuch 1880, S. 59—60); Zöppritz im Handbuch der Ozeanographie, II. Bd., S. 289—290. Ausserdem sei hier besonders darauf hingewiesen, wie überzeugungsvoll sich J. Hann (a. a. O., S. 162—164) diesen Sätzen anschliesst.

<sup>45)</sup> K. Zöppritz in den Göttinger gelehrten Anzeigen 1878, I, S. 519; (ohne Quellenangabe wörtlich abgedruckt in Peschel-Leipoldt's Phys. Erdk. II. Bd., S. 47; ähnlich S. 83, 94 übereinstimmend mit Sätzen in d. Gött. gel. Anz. S. 523, 522, u. s. w.)

<sup>46)</sup> von Schleinitz (Gazelle-Expedition) im Geogr. Jahrbuch 1876, S. 463; vgl. Hann, a. a. O., S. 164.

<sup>47)</sup> Vgl. Behm's Bericht über die Challenger-Exped. im Geogr. Jahrb. 1874, S. 231 ff., 1876, S. 457 ff; u. v. Boguslawski im Geogr. Jahrb. 1878, S. 507 Anmerkung.

<sup>48)</sup> S. Nr. 12 in Debes, Kirchhoff, Kropatschek, Schul-Atlas f. d. Oberklassen, oder die Schlusskarte im Handbuch der Ozeanographie. Auf diesen Unterschied hat mit Recht schon Adolf Mühy (Ueber die Lehre von den Meeresströmungen, Göttingen 1869, S. 21 unten) hingewiesen.

<sup>49)</sup> Früher nahm man als solche die Linie, welche die 100 Faden, d. h. 183m unter dem Meeresspiegel liegenden Punkte des Bodens verband, jetzt meist nach deutschem Vorgange die 200 m-Linie; s. É. Reclus, La Terre, II, S. 85; O. Krümmel, Die äquatorialen Meeresströmungen des Atlant. Ozeans, Leipzig 1877, S. 11, 39; Debes, Kirchhoff u. Kropatschek, a. a. O., Nr. 2, 17, 19, 22, 24, 26, 30, 35, 37, 39, 41, 45, 47.

<sup>50)</sup> Vgl. von Boguslawski-Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, II. Bd., (Stuttgart 1887), S. 326; P. Hoffmann, Zur Mechanik der Meeresströmungen, Berlin 1854, S. 6—9.

für die Meeresströmungen hat eben die genannten Faktoren in zweiter Linie mit zu berücksichtigen; denn diese sind in der ozeanischen Natur das, was der Mathematiker bei der Behandlung eines Problems der Mechanik „Bedingungen“ nennt. — —

Das Bestreben, für die grossen, in den verschiedenen Richtungen sich bewegenden Meeresströme eine gemeinsame oder mehrere zusammenwirkende Ursachen aufzufinden, gab sich bei einer grösseren Zahl von Forschern in demselben Masse kund, als die empirische Meereskunde Fortschritte machte. Dabei gingen die Ansichten freilich sehr auseinander, zumal eine mathematische Erörterung der wichtigsten, hierbei zu berücksichtigenden hydrodynamischen Fragen wegen der grossen Schwierigkeit der Aufgabe bis zum Jahre 1878 fehlte. Manche — in Uebersetzung dieser Schwierigkeit von Geographen ersonnene — Hypothesen haben daher eine scharfe Kritik über sich ergehen lassen müssen.<sup>51)</sup>

Schon weil die eine oder andere theoretische Ansicht im Laufe der Zeit in etwas veränderter Form mehrmals hervorgetreten ist, wird es für uns zweckmässig sein, die verschiedenen Erklärungsversuche — statt nach der historischen Aufeinanderfolge ihres Auftretens — in einer sich auf die herangezogenen Ursachen selbst beziehenden Ordnung zu besprechen, wobei wir ausser auf die Strömungen an einigen Stellen auch auf das ganz anders geartete „langsame aber stetige Vordringen“<sup>52)</sup> des kalten Tiefenwassers vom „Südozean“ her einzugehen haben. — —

Wenn auf den Karten der Meeresströmungen diese letzteren als scharfbegrenzte Ströme im Ozean erscheinen, so ist das insofern berechtigt, als derartige graphische Darstellungen stets nur ein Schema der durchschnittlichen Verhältnisse geben. Deutlich abgegrenzte Meeresströme mit bedeutender Geschwindigkeit giebt es in Wirklichkeit aber nur we-

<sup>51)</sup> Z. B. von Seiten des 1885 verstorbenen Professors K. Zöppritz in den Göttinger gelehrten Anzeigen u. im Geograph. Jahrbuch.

<sup>52)</sup> J. Hann, a. a. O., S. 164.

nige. — Die Benennung „Meeresstrom“ („Stream current“) jedoch mag es veranlasst haben, dass man Mündungen grosser Flüsse für die Entstehung von ozeanischen Strömungen hat verantwortlich machen wollen; so sagt A. E. von Nordenskiöld noch neuerdings<sup>53)</sup>: „Die Flussströme des mexikanischen Meerbusens sollen wesentlich zum Golfstrom beitragen;“ wie früher der Mississippi insbesondere als Erzeuger des „Floridastromes“<sup>54)</sup> angenommen wurde. Das aber widerlegt sich schon durch den Vergleich des verschiedenen Wasservolumens,<sup>55)</sup> und obendrein würde dadurch nur über den Ursprung der Strömung, nicht aber über ihren weiteren Verlauf und die hierfür massgebenden Gesetze etwas gesagt. Wohl aber ist es bekannt, dass im nördlichen Eismeere „grosse Flüsse, welche weit südlich von ihrer Mündung entspringen,<sup>56)</sup> während des Sommers, solange keine Gegenwirkung stattfindet, unbestreitbare, wenn auch nur lokale Strömungen hervorrufen.“<sup>57)</sup> Eine solche in der Beringsstrasse ist schon oben (S. 8) erwähnt; dieselbe ist hauptsächlich auf die Yukonmündung zurückzuführen; von den Mündungen der sibirischen Flüsse aus kommt durch solche Strömungen Treibholz nach Nowaja-Semlja und weiter,<sup>58)</sup> und die „Vega“ hatte 1878 das Gelingen der „Nordöstlichen

<sup>53)</sup> Die Umseglung Asiens und Europas auf der Vega, Leipzig 1882, I. Bd., S. 18.

<sup>54)</sup> Wir gebrauchen die Krümmelsche Bezeichnungswiese (die äquatorialen Meeresströmungen und Handbuch der Ozeanographie II. Bd., S. 418), welche Antillen-, Florida- und Golfstrom unterscheidet (vgl. Supan im Literaturbericht Nr. 432 in Petermanns Mitteil. 1886).

<sup>55)</sup> Vgl. Maury, Phys. Geogr. d. M., S. 14; Reclus, La Terre, II. Bd. S. 83; von Klöden, Handbuch der Erdkunde, Berlin, 1873, I. Bd., S. 622; Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., II. Bd., S. 98.

<sup>56)</sup> Man beachte die grossen Flusssysteme z. B. auf Tafel 8 in Nordenskiölds Umseglung Asiens, II. Bd., und vgl. ebendort I. Bd., S. 17 oben.

<sup>57)</sup> W. H. Dall in Petermanns Mitteil. 1881, S. 363; vgl. ebendort S. 374 (Beringsmeer).

<sup>58)</sup> Vgl. Petermanns Mitteil. 1870, S. 196, 230—232, (auch Peschel-Leipoldt, a. a. O., S. 68—69), Nordenskiöld, Umseglung Asiens, I. Bd., S. 172.

Durchfahrt<sup>59)</sup> wesentlich den Zweigen des warmen sibirischen Flusswassers zu danken, die im Küstenmeere wohl durch die Erdrotation östlich abgelenkt werden.<sup>59)</sup>

Zu einer Zeit, als noch keine der bisher aufgestellten Theorien von sich mit Fug und Recht behaupten konnte, das entscheidende Agens für die Entstehung der Meeresströmungen angegeben zu haben, als vielmehr noch jede dieser Ansichten mehreren der von gegnerischer Seite vorgebrachten Einwänden verteidigungslos gegenüberstand, — im Jahre 1874 — glaubte der russische Kapitän Baron N. Schilling,<sup>60)</sup> nach einer neuen, bisher nicht genannten Ursache suchen zu müssen, die für die einander so ähnlichen Strömungen der Ozeane und des Luftmeeres massgebend wäre, indem er — mit den damals üblichen Gründen — auf eine Ableitung der ersteren aus den letzteren verzichtete. Diese Begründung aber ist seit 1878 nicht mehr haltbar.<sup>61)</sup> Seine Hypothese selbst lässt die Schwerkraft der Erde durch die Gravitation des Mondes und der Sonne in rotierendem Sinne vermindert werden und so eine westliche und eine östliche Kraft entstehen, von denen in den Tropen die erstere, in den mittleren Breiten die letztere überwiegen soll, ohne dass aber deren Wirkungen einen rhythmischen Charakter trügen. Ganz abgesehen davon, dass wir dem übermässigen Herbeiziehen kosmischer Ursachen zur Deutung irdischer Erscheinungen mit Misstrauen gegenüberstehen,<sup>62)</sup> enthält auch die Ausführung selbst manche dunkle Punkte und ist mit den

<sup>59)</sup> Vgl. Nordenskiöld, a. a. O., I. Bd., S. 17, u. Mohn in Petermanns Mitt. 1884, S. 251—253.

<sup>60)</sup> Schilling, Die beständigen Strömungen in der Luft und im Meere, Berlin 1874, mit einem Nachwort „Zur Lehre von den Meeresströmungen“ in Petermanns Mitt. 1874, S. 143—147.

<sup>61)</sup> Gerade zu den Ausführungen Schillings in Petermanns Mitt. 1874, S. 143, lassen sich jetzt mehrere grosse Fragezeichen machen.

<sup>62)</sup> Man denke an den angeblichen Einfluss des Mondes auf die Pflanzenwelt, an die Falsche Erdbebenhypothese und die Overzierschen Wetterprognosen, an manche

thatsächlichen Verhältnissen der Äquatorialströmungen nicht in Einklang zu bringen.<sup>63)</sup> So darf man diesen Versuch umsomehr bei Seite legen, als er ja gewissermassen nur zur Aushilfe eronnen ist, zur Ausfüllung einer vermeintlichen Lücke, zur Befriedigung eines Kausalitätsbedürfnisses, das aus falschen Prämissen entsprang. — Wenn aber von anderer Seite<sup>64)</sup> die Strömungen in eine ursächliche Abhängigkeit von den Tiden, den thatsächlichen Wirkungen der Mond- und Sonnenanziehung, gebracht wurden, so steht dem die Bemerkung Adolf Mühry's<sup>65)</sup> entgegen, dass „doch jedenfalls in den grossen Meeresströmungen etwas Rhythmisches gar nicht, sondern im Gegenteil eine gleichmässige Permanenz als charakteristisch zu erkennen ist,“ ausserdem aber der logische Einwand<sup>66)</sup>, dass das Fundament dieser (wie der Schilling'schen) Hypothese selbst noch zum Teil unbekannt ist; denn noch jetzt gilt der Satz: „Leider ruht bis heute über der Fortpflanzung der Flutwellen durch die Ozeane ein geheimnisvolles Dunkel,“<sup>67)</sup> und erst die neuesten Arbeiten scheinen der Lehre von Ebbe und Flut eine bessere Grund-

der angeblichen Wirkungen der Sonnenflecken (vgl. J. Hann, die Erde als Weltkörper, Prag-Leipzig 1884, S. 141), an die Whistonsche Erklärung der Sintflut mit Zuhilfenahme eines Kometen (vgl. J. Kant, Physische Geographie, herausg. von Rink, § 77, Ausgabe von G. Hartenstein, VIII. Band, Leipzig 1868, S. 304) und die Potenzierung dieses Versuchs in dem Buche „Kometische Strömungen auf der Erdoberfläche“ von L. Grafen von Pfeil, Berlin 1881, ja auch an Nordenskiöld's Ideen über die Bedeutung des kosmischen Staubes (vgl. Nordenskiöld, Grönland, S. 12—13, besonders N.s Studien und Forschungen, Leipzig 1885, und Supan hierüber in Petermanns Mitt. 1885, S. 188—189).

<sup>63)</sup> Vgl. O. Krümmel im Handbuch der Ozeanographie, Stuttgart 1887, II. Bd. S. 331—332.

<sup>64)</sup> Zum Teil wollte dies Kapitän Livingston, vgl. Maury, Phys. Geogr. d. M., S. 14.

<sup>65)</sup> Petermanns Mitt. 1874, S. 376.

<sup>66)</sup> Im Prinzip derselbe, der gegen manche Punkte von Darwins und Hückels Lehre, gegen R. Falbs Erdbebenklärung, gegen die ideale Definition des Meters u. s. w. geltend gemacht wird.

<sup>67)</sup> Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., II. Bd., S. 24. vgl. Hann, a. a. O., S. 196.

lage zu verschaffen.<sup>68)</sup> — Damit soll natürlich nichts gesagt sein gegen die echten „Flut- und Ebbe-strömungen“ an Küsten,<sup>69)</sup> auch nicht gegen eine geringe befördernde Mitwirkung der Tiden zu einigen ozeanischen Strömungen,<sup>70)</sup> wie denn z. B. Élisée Reclus von dem Floridastrom erwähnt:<sup>71)</sup> „Lorsque les vents... et le mouvement des marées favorisent la marche de ce courant, il roule vers l'Atlantique une quantité d'eau bien supérieure à la moyenne.“ —

Nunmehr haben wir einer ganzen Gruppe von theoretischen Erörterungen näher zu treten, deren jede eigentlich nur die meridionalen Strömungen (von Mühry<sup>72)</sup> „latitudinal“ genannt) ins Auge fasst, zur Motivierung der äquatorialen (bei Mühry „longitudinalen“) Strömungen hingegen eine der später zu erörternden Hypothesen nötig hat, oder aber die äquatorialen Strömungen in einer den tatsächlichen Verhältnissen nicht entsprechenden Weise als sekundär betrachtet.

Das letztere geschieht zum Beispiel in einem Erklärungsversuche, welcher, insofern er von der Schwerkraft ausgeht, hier an die Besprechung der Schilling'schen Ansicht angereicht werden mag. Derselbe rührt her von dem Oberlehrer Emil Witte, welcher — nebenbei bemerkt — gleichzeitig die Vermutung, dass Elektrizität und Erdmagnetismus die Ursache für ozeanische Strömungen sein könnten, in genügender Weise als haltlos gekennzeichnet hat.<sup>73)</sup>

<sup>68)</sup> Besonders von Prof. Börgen, vgl. Krümmel, Ozean, S. 193, u. Handbuch d. Ozeanogr. II. Bd., S. 205 ff.

<sup>69)</sup> Vgl. v. Klöden, Handb. d. Erdk., Berlin 1873, I. Bd., S. 657; Peterm. Mitt. 1880, S. 123; Krümmel, Ozean, S. 199 ff., Handbuch d. Ozeanogr. II., S. 224 ff.

<sup>70)</sup> Vgl. Humboldt, Kosmos. I. Bd., S. 326; Hann, a. a. O., S. 174 Anmerk. 2.

<sup>71)</sup> La Terre, II, S. 83; ähnlich auch S. 104; vgl. Dall in Petermanns Mittel. 1881, S. 372, 379, u. oben S. 8 (bei Anmerk. 28).

<sup>72)</sup> Ueber die Lehre von den Meeresströmungen, Göttingen 1869, S. 3.

<sup>73)</sup> In Poggendorffs Annalen der Physik, 142. Bd. (1871), S. 292 unten.

Witte schloss<sup>74)</sup> aus der nach der geographischen Breite verschiedenen Intensität der Schwere, dass die (in allen ihren Punkten denselben Druck erleidenden) Niveauflächen im Inneren der flüssigen Umbüllung der Erde sich nach innen zu, um in Ruhe zu sein, immer mehr der Kugelgestalt nähern müssten; letzteres müsste bei abnehmendem Durchmesser auch für die Erde gelten. Gerade das Gegenteil aber glaubte Witte durch einen Analogieschluss aus der starken Abplattung des Mars folgern zu sollen, sodass dann „die als flüssig gedachte Erde überhaupt keine Gleichgewichtsform annehmen“<sup>75)</sup> könnte. Hiernach wäre am Pol ein grösserer Druck, und durch diesen würde dann eine submarine Wasserbewegung vom Pol nach dem Äquator und eine sekundäre umgekehrt gehende oberflächliche entstehen — also eine meridionale Zirkulation, die ausserdem noch von der Erdrotation beeinflusst werden sollte. Die Äquatorialströmung<sup>76)</sup> fasste Witte einfach als die Resultierende der von Nordosten und Südosten zusammentreffenden polaren Ströme auf.

Dies ist die erste von den Hypothesen, gegen welche wir die in der Einleitung (S. 6—9) knapp zusammengefassten Tiefseeforschungen ins Feld führen: erstens machen dieselben einen wesentlichen Unterschied zwischen den oberfläch-

<sup>74)</sup> „Zur Theorie der Meeresströmungen“ in Poggendorffs Ann., 142. Bd., S. 286 ff.; ferner E. Witte, „Über Meeresströmungen“, Pless in Oberschlesien, 1878 (als Programm der Fürstenschule zu Pless 1878/79); vgl. auch Wiedemanns Annalen, IV., 1878, S. 311 ff., Petermanns Mittel. 1878, S. 278—279. (Ähnlich Mühry in Petermanns Mittel. 1874, S. 375). Wie übrigens das, was Krümmel darüber in seinen „Äquatorialen Meeresströmungen“ (S. 30) gesagt und Leiboldt von ihm dann (gar noch mit Hinzudichtung eines primären „Abflusses aus niederen Breiten nach höheren“, s. Phys. Erdk. II., S. 91) kopiert hat, ein Resumé der erstgenannten Abhandlung sein soll, ist mir nicht verständlich; Witte hat auch selbst dagegen Einspruch erhoben (Ueber Meeresstr., Pless 1878, S. 11).

<sup>75)</sup> Poggendorffs Annalen 142. Bd., (1871), S. 288.

<sup>76)</sup> Dass es in Wirklichkeit stets zwei Äquatorialströmungen giebt, ist schon von Schilling (Petermanns Mittel. 1875, S. 144) deutlich hervorgehoben.

lichen Meeresströmungen und dem langsamen Vordringen des Tiefenwassers und widersprechen damit ein für allemal der früher so beliebten Vorstellung von einer vertikalen Zirkulation, in welcher eine Strömung in der Tiefe als korrespondierender Arm zu einer meridionalen Strömung an der Oberfläche angenommen wurde, — zweitens aber lassen die oben geschilderten Bodenverhältnisse auf der Nordhalbkugel eine irgendwie massenhafte Bewegung des Tiefenwassers vom Pol nach dem Äquator hin (einerlei ob stromartig oder ganz langsam) nicht zu — also auch nicht die von Witte geforderte primäre Strömung.

In betreff der obigen Ansicht, die schon durch den Analogieschluss zur Äusserung eines Zweifels berechtigt, hat ausserdem der gewiegte Kenner der Hydrodynamik und Geophysik, Zöppritz, bemerkt, dass „aus der Theorie des Gleichgewichts rotierender homogener Flüssigkeiten keinerlei solche Bewegung folgt.“<sup>77)</sup> — Auch die weitere Erörterung Witte's, der zufolge nord-südlich verlaufende Ströme durch die Erdrotation (auf der Nordhalbkugel) rechts eine Aufstauung erfahren und links kaltes Wasser heranziehen sollen, ist mathematisch und mechanisch anfechtbar,<sup>78)</sup> und wir müssen dieselbe<sup>79)</sup> mit Zöppritz<sup>80)</sup> anzweifeln, wenn sie auf den — rechts doch uferlosen — Floridastrom<sup>81)</sup> und ähnliche Strömungen angewandt wird. Das kalte Wasser, welches den Floridastrom von der amerikanischen Küste meist trennt, im Sommer allerdings bisweilen von dem

warmen Wasser des letzteren überdeckt wird,<sup>82)</sup> — den schmalen kalten Streifen zwischen dem Kuro Schio und Japan, der an der Oberfläche auch bisweilen zu verschwinden scheint,<sup>83)</sup> — und ähnliche Erscheinungen erklären wir uns vielmehr — wie des Näheren später gezeigt werden wird — mit Hilfe der Ekmanschen „Reaktionsströmungen.“<sup>84)</sup> Da ferner jene Betrachtung Witte's nichts über die allgemeine Entstehung der Meeresströmungen bringt,<sup>85)</sup> sondern nur lokale Bedeutung haben könnte, so gehen wir hier auf sie ebenso wenig ein, wie auf den ganz brauchbaren ersten Teil von Witte's Arbeit,<sup>86)</sup> welcher die „Strömungen in engen Strassen“ behandelt.

Bei solchen engen Strassen liegt, wie z. B. für den Bosphorus aus einer schon von Strabo<sup>87)</sup> gemachten Beobachtung zu folgern ist, ein Motiv zu Strömungen in den nun zu erörternden Salinitätsunterschieden.<sup>88)</sup> Es war besonders Mathew Fontaine Maury, der in seinem für die damalige Zeit bedeutenden Werke „Physical Geography of the Sea“ (New York 1855) glaubte, das Hauptagens auch der grossen Meeresströmungen, für die er ein allgemei-

<sup>82)</sup> von Boguslawski, Handbuch der Ozeanographie, I. Bd. S. 268 ff.; Petermanns Mitteil. 1883. S. 21; Hann, die Erde, S. 167—168; u. s. w.

<sup>83)</sup> Krümmel im Handbuch der Ozeanogr., II. Bd., S. 494; vgl. Dall in Petermanns Mitteil. 1881, S. 371.

<sup>84)</sup> Vgl. Geograph. Jahrbuch 1880, S. 63; Hoffmann, Mechanik der Meeresströmungen, S. 21 ff.

<sup>85)</sup> Vgl. Hoffmann, a. a. O., S. 25 oben.

<sup>86)</sup> Ueber Meeresströmungen, Pless 1878, S. 1 ff.; (vgl. Handbuch der Ozeanographie II. S. 299); die dort Fig. 2 bezeichnete, von Carpenter entlehnte Windstaudeutung ist übrigens unrichtig, mag man nun Zöppritz (Wiedemanns Ann. VI. 1879, S. 609) oder Krümmel (Handbuch der Ozeanographie, II. S. 321) Recht geben.

<sup>87)</sup> Vgl. Peschel, Geschichte der Erdkunde, S. 70; Krümmel, Ozean, S. 97.

<sup>88)</sup> Vgl. Maury, a. a. O., S. 116—119; Reclus, La Terre, II, S. 110—116; Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., II. S. 11 ff., 104, 105; Hann, a. a. O., S. 177; Petermanns Mitteil. 1884, S. 471; Hoffmann, a. a. O., S. 20.

<sup>77)</sup> Göttinger gelehrte Anzeigen 1878, Stück 25, S. 797.

<sup>78)</sup> Vgl. Zöppritz' Kritik in den Göttinger gelehrten Anzeigen, a. a. O., S. 798—800.

<sup>79)</sup> Auch nach der nachträglichen Bemerkung Wittes im 1879er Programm der Fürstenschule zu Pless, (S. 46).

<sup>80)</sup> Geogr. Jahrbuch VIII, 1880, S. 64.

<sup>81)</sup> Einer solchen einseitigen Geneigtheit der Oberfläche desselben widerstreitet auch seine von Maury (Phys. Geogr. des Meeres, S. 28) erwähnte „dachförmige“ Gestalt, vgl. Krümmel, Ozean, S. 220.

nes System ahnte,<sup>89)</sup> aus dem Salzgehalt<sup>90)</sup> ableiten zu müssen, ohne dass er die Mitwirkung anderer Faktoren (verschiedene Wärme, Winde, Verdunstung und Niederschlag u. s. w.) verneint hätte.<sup>91)</sup> Seine Meinung ist in kurzem folgende: Infolge der grösseren Verdunstung am Äquator sinkt dort der Seespiegel und fordert oberflächlichen Ersatz aus höheren Breiten; zugleich wird das bei der Verdampfung übrigbleibende Wasser salzhaltiger und damit spezifisch schwerer. Andererseits wird in höheren Breiten das verdunstete Wasser niedergeschlagen,<sup>92)</sup> — und die so herbeigeführte Niveauerhöhung liefert also auch einen Beitrag zu einer oberflächlichen Strömung nach den Tropen hin — „und so haben wir einen Oberflächenstrom salzichten (saltish) Wassers von den Polen nach dem Äquator hin und einen darunter fliessenden Strom salzigeren und schwereren (salter and heavier) Wassers von dem Äquator nach den Polen,<sup>93)</sup> d. i. eine „vertikale Zirkulation.“<sup>94)</sup> Die genannten theoretischen Oberflächenströmungen wollte Maury in den Polarströmen (z. B. durch die Davis-Strasse)<sup>95)</sup> wiedererkennen; auf die submarine Strömung nach den Polen hin schloss er aus Berichten über ungeheure Eisberge.

<sup>89)</sup> Maury (a. a. O. S. 143, 145): „die ozeanische Zirkulation ebenso geregelt als die des Luftkreises oder des Blutes.“ Trotzdem bestritten ihm Mühry (Lehre von den Meeresstr., Göttingen 1869, S. 2 Anmerk.) und Krümmel (Äquat. Meeresstr. S. 36) auch nur den Versuch einer Systematisierung.

<sup>90)</sup> Vgl. Tafel VIII in Hann, die Erde, Prag-Leipzig 1884, S. 145—149.

<sup>91)</sup> Maury, a. a. O. S. 148 ff.

<sup>92)</sup> Auch die grossen Ströme bewirken (nach Maury) eine Versüssung des oberflächlichen Wassers im Nordpolarbecken.

<sup>93)</sup> Maury, a. a. O., S. 151.

<sup>94)</sup> Maury, a. a. O., S. 150 („a vertical circulation“).

<sup>95)</sup> Es ist zu bemerken, dass Maury von dem nach dem Smith-Sund gerichteten Zweige des Golfstroms nichts weiss (vgl. seine Tafel VI); Nordenskiöld hat das Vorhandensein desselben 1883 ja auch bestritten, Krümmel es aber, wie oben (S. 8 Anmerk. 33) erwähnt, wieder glaubhaft gemacht.

In etwas anderer Weise als bei der vorigen Hypothese rauben die modernen Tiefseeforschungen auch dieser Mauryschen Ansicht die Grundlage; die thatsächlichen Verhältnisse widersprechen ihr vollständig, denn nach dem Südpol hin geht sicher keine allgemeine unterseeische Strömung,<sup>96)</sup> und die ganz langsame Fortschiebung von Wasser am Boden der Ozeane über den Äquator hinaus nach Norden zu, (aber nicht bis ins arktische Becken hinein! s. oben S. 9) könnte nur mit gänzlicher Verkennung ihres Wesens als eine Strömung in Maury's Sinne gedeutet werden. Die Schwäche seiner Argumentation liegt ferner darin, dass er von kleinen Verhältnissen unvorsichtig auf grosse geschlossen hat — ein Verstoß, vor dem sich der beobachtende und messende Naturforscher besonders zu hüten hat. Bei den in Wirklichkeit verhältnismässig geringen Salinitätsunterschieden des Meerwassers und bei der gewaltigen Entfernung der polaren Gegenden von den äquatorialen kann eine permanente Zirkulation so nicht hervorgerufen werden.<sup>97)</sup> Vielmehr handelt es sich bei dieser Mauryschen Bewegungsursache wie bei den sogleich zu behandelnden (Verdunstung und Temperatur) immer nur „um einen Austausch zwischen benachbarten Schichten, nicht um einen längeren Weg der einzelnen Wasserteilchen.“<sup>98)</sup> Wohl aber ist so der Salzgehalt wichtig für eine Durchwärmung des Wassers unter der Oberflächenschicht;<sup>99)</sup> wohl treten manchmal, wie die Gazelle-Expedition besonders

<sup>96)</sup> Zwar erklärte von Schleinitz es als „wenigstens denkbar,“ dass es doch — auf Salzgehalt zurückzuführende — Unterströme in der Richtung nach dem Südpol gäbe, jedoch ohne klimatische Bedeutung; vgl. Geogr. Jahrb. 1876 S. 463—464, und Naturforscher 1876, S. 32.

<sup>97)</sup> Vgl. A. Mühry, Über die Lehre von den Meeresströmungen. S. 13.

<sup>98)</sup> Hoffmann, Mechanik d. Meeresstr. S. 21.

<sup>99)</sup> Vgl. Witte, Über Meeresstr., S. 13, Reclus, a. a. O., S. 115; Geogr. Jahrb. 1878, S. 507; von Boguslawski, Tiefsee, S. 39; Hann, a. a. O., S. 161; u. a.; s. oben S. 6!

stark im westlichen Indischen Ozean zwischen 40° und 45° s. Br. fand, „einfach kalte antarktische Wasser infolge ihres geringen Salzgehaltes an die Oberfläche;“<sup>100)</sup> durch diesen lokalen Einfluss des Salzgehalts auf das spezifische Gewicht erklärt sich auch das schon von Maury behauptete Vorkommen wärmerer Meeresschichten zwischen kälteren, welches von den Norwegern, von der Tuscarora und neuerdings von Nordenskiöld als thatsächlich nachgewiesen ist,<sup>101)</sup> — vor allen Dingen aber ist der Salzgehalt des atlantischen Wassers schuld an den merkwürdigen Stromgruppierungen östlich und westlich von Grönland.<sup>102)</sup>

Im allgemeinen jedoch nimmt, wie Julius Hann nachgewiesen hat, jedenfalls in der oberen Wasserschicht „die Dichtigkeit des Meerwassers mit der geographischen Breite zu und ist im Polarmeer erheblich grösser als in den Tropen;“<sup>103)</sup> d. h. von den vorher erwähnten Erscheinungen abgesehen, steht der Einfluss, den die Salinität auf die spezifische Schwere des Meerwassers hat, hinter dem ihm entgegenwirkenden der Temperatur zurück.

An diese Achillesferse seines Erklärungsversuchs hat Maury wohl selbst schon gedacht; denn wie hätte er sonst den Florida- und Golfstrom erklären sollen? Nach dem Salzgehalt allein könnte diese Strömung doch nur unterseeisch sein!<sup>104)</sup> In der

<sup>100)</sup> von Schleinitz, citiert im Naturforscher 1876, S. 31; vgl. Geogr. Jahrb. 1878, S. 547.

<sup>101)</sup> Vgl. Geogr. Jahrb. 1872 S. 135; 1878, S. 508; Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., II. S. 44; Peterm. Mitteil. 1885, S. 160 Fig. 2; Nordenskiöld, Grönland, S. 290.

<sup>102)</sup> Vgl. Peterm. Mitteil. 1881, S. 193; 1884, S. 471; 1885, S. 159; Krümmel im Handbuch der Ozeanographie, II. Bd., S. 435; s. oben S. 8!

<sup>103)</sup> Vgl. Behm im Geogr. Jahrb. 1876, S. 459; verbessert von Hann in „Die Erde als Weltkörper,“ S. 149. Vgl. über die Vega-Fahrt in Petermanns Mitteil. 1884, S. 251—252.

<sup>104)</sup> Hierauf haben schon A. v. Humboldt (Kosmos, I. Bd., S. 477) und A. Mühry (a. a. O., S. 14) mit Recht hingewiesen.

That hat Maury zu deren Begründung auf den — allerdings besonders hohen — Wärmeunterschied zwischen dem Golf von Mexiko und dem Pol zurückgegriffen,<sup>105)</sup> — doch davon später! Nichtsdestoweniger will er aber dabei gerade den Salzgehalt des Golfs mitberücksichtigt<sup>106)</sup> wissen, vermöge dessen das Wasser des Floridastroms eine grössere Kohäsion<sup>107)</sup> habe und wegen des gerade durch die Salinität bedingten spezifischen Gewichts „durch irgend eine passend gelegene Öffnung in den Ozean leichteren Wassers durch eine Art spritzender Kraft hinausgeschleudert<sup>108)</sup> werde, um nach den Stellen geringeren Salzgehalts (Nord- und Ostsee) hinzuströmen;<sup>109)</sup> — jedenfalls eine ungereimte und widerspruchsvolle<sup>110)</sup> Vorstellung! —

Wenn man genau verfolgt, wie Élisée Reclus in seinem prächtigen Werke „La Terre,“ besonders im zweiten Kapitel des zweiten Bandes, mit Vorliebe sich an Maury's Buch anlehnt, so wird man die Vermutung nicht unterdrücken können, dass er auch bei der Erörterung der wahrscheinlichen Ursachen der Strömungen sich dem Einfluss seines amerikanischen Vorgängers nicht entzogen hat. Nach meinem Dafürhalten ist dem in der That so; Reclus hat — gewiss in Erkennung des genannten Widerspruchs in Maury's Gedankengänge — in der von ihm gegebenen Motivierung der Strömungen<sup>111)</sup> die das spezifische Gewicht beherrschenden Momente, Salzgehalt und Wärme, nicht weiter berücksichtigt, sonst dagegen

<sup>105)</sup> Maury, a. a. O., S. 22.

<sup>106)</sup> Maury, a. a. O., S. 23.

<sup>107)</sup> Maury, a. a. O., S. 23, 26.

<sup>108)</sup> Maury, a. a. O., S. 24.

<sup>109)</sup> Maury, a. a. O., S. 26—27, 33.

<sup>110)</sup> „The only explanation of the matter appears to be that Maury has failed to perceive the contradictory nature of his two theories,“ sagt J. Croll in The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, Vol. XL (4<sup>th</sup> series), 1870, S. 244; ähnlich ebendort S. 235, 240, 243.

<sup>111)</sup> La Terre, II., Paris 1869, S. 79—81.

ähnlich wie Maury auf Verdunstung<sup>112)</sup> und Niederschlag und auf die Erdrotation (unter Mitwirkung der Winde) das Hauptgewicht gelegt.

Nach seiner Ansicht würden — da am Äquator die Verdunstung den Niederschlag überwäge, an den Polen die Sache aber gerade umgekehrt läge — mächtige Wassermassen, durch die Passate beschleunigt,<sup>113)</sup> von den Polen nach dem Äquator eilen und als die im Osten der Weltmeere nach den Tropen strebenden Strömungen hier am Gleicher in den durch die Erdrotation bedingten Äquatorialstrom aufgehen. Dieser letztere gelangte dann an die Ostküste des betreffenden Kontinents. Da aber jener Zufluss „par suite de l'impulsion continue des vents alizés“<sup>114)</sup> den Bedarf des Äquatorialbassins stets überstiege, so bildeten sich hier nunmehr nach den Polen zurückfließende Strömungen, welche aber „ne sont que des simples dérivations“<sup>115)</sup> causées par la

<sup>112)</sup> Dieselbe wurde schon 1810 von Malte-Brun beachtet (vgl. Krümmel, Äquat. Meerestr., S. 38, Anm. 1), ja schon im 17. Jahrhundert von Fournier und Varenus (s. Peschel, Gesch. d. Erdk., S. 438).

<sup>113)</sup> Reclus, a. a. O., S. 79, wo er aber so vorsichtig ist, über die Tiefe, bis in welche diese konstanten Winde wirken, sich gar nicht auszusprechen.

<sup>114)</sup> Reclus, a. a. O., S. 79.

<sup>115)</sup> Solche Verzweigungen, Gabelungen der Meeresströmungen erinnern an die Bifurkationen von Flüssen, die, wie hier in Parenthese bemerkt sein mag, ein dankenswertes Thema für eine geographische Studie bieten würden. Noch in Peschel-Ruge's Gesch. der Erdk., 1877, ist die Orinoko-Gabelung als einzige derartige Flusstheilung bezeichnet (S. 69, 151, 568), während doch der Min-Kiang in China, der Tschu vor dem Issyk-Kul, die Donau (Aach-Rhein), eine Bifurkation in Norwegen, eine östlich vom Ngami-See und eine im Sudan, in gewissem Sinne der Wollaston-See in Nord-Amerika u. a. ebendahin gehören. Als Quellenmaterial würde z. B. zu benutzen sein: A. von Humboldt, Äquinoktial-Gegenden, Kosmos; F. von Richthofen, China, I. Bd., S. 141—142, 253, 265, 325—327; Semenow in Peterm. Mitteil. 1858, S. 351 ff.; Peterm. Mitteil. 1879; 1883, S. 245, 248; Guthe-Wagner, Lehrbuch der Geographie; Serpa Pinto; Baines; Blätter für literar. Unterhaltung 1881, S. 712; Neumann, Geogr. Lexikon des deutschen Reiches (Leipzig 1882), Ar-

forme des continents.“<sup>116)</sup> Durch die Einwirkung der Erdrotation würden diese Strömungen — gerade so wie die primären Ströme nach Westen — nach Osten hin abgelenkt<sup>117)</sup> so dass die bekannten fünf Strömungszirkel entstünden.<sup>118)</sup>

Nach Zöppritz<sup>119)</sup> verdunstet in der heißen Zone jährlich eine Schicht von 2—3 m Dicke; Reclus berechnet dafür eine solche von 4—5 m.<sup>120)</sup> Seine Verdunstungszone umfasst aber ausser den regenlosen Passatzonen auch die äquatoriale Regenzone. Sehen wir das, was hier wieder als Regen niederfällt<sup>121)</sup> als der vom Niederschlag in höheren Breiten bewirkten Niveauerhöhung gleichwertig an und adoptieren daher in etwa Reclus' Zahlenangabe, so giebt das doch täglich nur ungefähr  $1\frac{1}{4}$  cm

tikel Aach; Berghaus, Physikal. Hand-Atlas. Andere auffällige Flussbildungen könnten in die Besprechung hineingezogen werden, z. B. Zwillingsströme, Deltas (vgl. Credners Monographie), der Lukuga (s. Stanley, Durch den dunklen Weltteil, Leipzig 1878, II., S. 49; Chavanne, Afrika's Ströme und Flüsse, S. 95 ff.), Charco's und Playa's in Venezuela (s. Sachs, Aus den Llanos S. 212 ff.), die Ausflüsse des Tung-ting- und des Po-yang-Sees in China (v. Richthofen) und des Kambodscha-Sees; Flussverbindungen durch Überschwemmungen (s. Aus allen Weltteilen [Tüppen] XIII., S. 31) u. a. m. — Bildete vielleicht der Rhein früher auch eine Bifurkation bei Sargans nach dem Walen- und Bodensee hin?

<sup>116)</sup> Reclus, a. a. O., S. 80. Ähnlich schon Humboldt (Kosmos, I., S. 326): Die Äquatorialströmung „verändert ihre Richtung durch den Widerstand, den sie an den vorliegenden östlichen Küsten der Kontinente findet.“

<sup>117)</sup> Für den Golfstrom citiert Reclus dabei (S. 85—86) wieder Maury, der die Richtung dieser Strömung mit derjenigen einer von Florida nach Nord-Europa abgeschossenen Kanonenkugel vergleicht (Phys. Geogr. d. M., S. 31 ff.)

<sup>118)</sup> Fast genau dieselbe Darstellung findet sich in dem Texte zu R. Andree's Handatlas, Bielefeld u. Leipzig, 1881, S. 6, und in dem Geographischen Handbuch dazu, 1882, S. 17.

<sup>119)</sup> Handbuch der Ozeanogr. II. Bd., S. 295.

<sup>120)</sup> a. a. O., II. Bd., S. 78, 101. Vgl. Mühry (Lehre v. d. Meeresstr., S. 13), welcher 15 Fuss angiebt.

<sup>121)</sup> Mühry giebt dafür 8 Fuss (a. a. O. S. 13).

Niveaudifferenz zwischen Pol und Äquator, und obendrein findet das in der Theorie geforderte seitliche Zuströmen nach der tropischen Verdunstungszone hin nicht ruckweise pro Tag statt, sondern bildet eine fortwährende Kontinuität. Das tatsächliche Gefäll ist also ganz winzig und reicht durchaus nicht zur Erklärung der Geschwindigkeiten jener ozeanischen Strömungen aus.<sup>122)</sup> Insofern unterliegt Reclus' Ansicht, wenn sie auch den Vorzug hat, die Meeresströmungen nicht mit dem Tiefenwasser zu verquicken, denselben Gegengründen, welche oben (S. 14) contra Maury geäußert sind. Dazu kommt, dass nach den einleitenden Ausführungen (S. 9) die nach dem Äquator eilenden Strömungen auf der Nordhalbkugel in Wirklichkeit nichts mit dem arktischen Eismeere zu schaffen haben.

Die genannte Hypothese leistet demnach nichts für die Erklärung der grossen ozeanischen Strömungen; die Faktoren der Verdunstung und des Niederschlages haben aber natürlich — so gut wie der Salzgehalt — ihre volle Bedeutung für den Wasser- austausch in engen Strassen zwischen grösseren Meeren, wie bei Gibraltar u. s. w.<sup>123)</sup>

In anderer und gewiss glaubhafterer Art haben Niederschlag und Verdunstung Beachtung gefunden bei Dumont d'Urville<sup>124)</sup> und neuerdings insbesondere bei Wyville Thomson, dem 1882 verstorbenen, hochverdienten Führer der Challenger-Expedition. Nicht die Strömungen, sondern die „ungemein langsame,“<sup>125)</sup> aber stetige Wasserzufuhr am Boden der Ozeane sollen dadurch motiviert werden.

<sup>122)</sup> Vgl. Hoffmann, Mechanik d. Meeresstr., S. 19; Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., II., S. 92.

<sup>123)</sup> Vgl. Reclus, a. a. O., S. 110—116, Peschel-Leipoldt, a. a. O., S. 104, 105; Zöppritz im Handbuch der Ozeanogr., II., S. 296—300; Peterm. Mitteil. 1887, Literaturbericht Nro. 83, 84.

<sup>124)</sup> Vgl. Zöppritz im Handbuch d. Oz., II., S. 285.

<sup>125)</sup> Thomson in Sklareks „Naturforscher,“ Berlin 1875, S. 343, (aus den Proc. R. Soc.).

Thomson sagt z. B. in einem kurzen Bericht über einen Teil jener grossen Fahrt:<sup>126)</sup> „Ich habe mich jeden Tag vollständiger überzeugt, dass dieses Einströmen von kaltem Wasser von Süden her<sup>127)</sup> bezogen werden muss auf die einfachste und offenbarste von allen Ursachen, nämlich den Überschuss der Verdunstung über den Niederschlag in dem nördlichen Teile der Land-Hemisphäre (z. B. „in der Gegend des Nord-Atlantic“<sup>128)</sup> und den Überschuss des Niederschlags über die Verdampfung in dem mittleren und südlichen Teile der Wasser-Hemisphäre.“ — Es mag sogleich erwähnt werden, dass Thomson die — im Vergleich zur Fortschiebung des südpolaren Wassers am Meeresboden — heftigen Oberflächenströme auf Winde<sup>129)</sup> und andere Ursachen zurückgeführt wissen wollte.

Seine Worte erhalten eine Stütze durch Angaben Alex. von Woeikofs wie die folgende: „In den mittleren und höheren Breiten“ der Südhemisphäre finden wir „meistens eine grosse Menge Niederschläge,“ u. s. w.<sup>130)</sup> Seine Ansicht erweckt

<sup>126)</sup> Abgedruckt im Naturforscher, 1876, S. 343. Ähnlich lauten andere Mitteilungen Thomsons; vgl. Naturforscher 1876, S. 26 (auch in Krümmels Äquat. Meeresstr. S. 51), S. 353; Geogr. Jahrb. 1880, S. 59.

<sup>127)</sup> S. oben S. 9.

<sup>128)</sup> Naturf. 1876, S. 353.

<sup>129)</sup> Naturf. 1876, S. 342, 353.

<sup>130)</sup> „Über die klimat. Verhältnisse der Eiszeiten sonst und jetzt,“ (Verhandlungen der Gesellsch. für Erdk., Berlin 1880 (VII. Bd.), S. 152; vgl. Thomson im Naturf. 1876, S. 353. Das Emporwölben der unterseeischen Isothermen am Äquator (vgl. Tafeln XI. u. XII. in Hann, Die Erde), welches mehrfach unrechterweise (s. Zöppritz in d. Göttinger gel. Anz. 1878, Stück 17, S. 523) als Beweis eines ziemlich kräftigen Aufsteigens der Bodenschichten gedeutet worden ist, wird nach Dumont d'Urville (Hann, a. a. O., S. 156) und Thomson weit passender „einzig durch die starke, von Hitze und Passatwind begünstigte Verdunstung“ erklärt (s. Geogr. Jahrb. 1876, S. 458). — An der Ausfüllung des durch jenes Fortrücken des Bodenwassers sonst leer werdenden „Südozeans“ sollten sich auch die in denselben führenden Oberflächenströme (neben dem Niederschlag) beteiligen; s. Naturf. 1876, S. 353.

ausserdem Beifall, da sie den in so mancher geographischen und vermutlich auch geologischen<sup>131)</sup> Beziehung wirksamen Gegensatz zwischen der Halbkugel der grössten Land- und der grössten Wassermasse<sup>132)</sup> heranzieht. Und gerade der Umstand, dass das Fortrücken des Tiefenwassers über den Äquator hinüber bis an den Wyville Thomson-Rücken und das Beringsmeer (s. Einl.) mit der Gruppierung der Landmassen auf der ersteren Halbkugel (s. Karte) sich für unsere Vorstellung ziemlich in Einklang bringen lässt, scheint mir der Thomsonschen Ansicht — gegenüber anderen, weiter unten folgenden Erklärungen des Bodenwassers — einen grösseren Wert zu geben, als man ihr neuerdings<sup>133)</sup> zuzuerkennen geneigt ist. Jedenfalls verdiente sie nicht, ohne jede Widerlegung als „unphilosophische Betrachtung“<sup>134)</sup> abgefertigt zu werden, wenn wir auch zugeben müssen, dass wir die Grösse der Wirkung von Verdunstung und Niederschlag im Vergleich zu dem „immensen Wasserquantum“ in der Tiefe nicht kennen,<sup>135)</sup> und dass diese Hypothese sich einige der von Hann gemachten Einwände, obzwar diese selbst problematischer Natur sind,<sup>136)</sup> wird gefallen lassen müssen.

Da diese Frage aber nicht das eigentliche Thema betrifft, so mag es an obigem Hinweis auf die Bedeutung von Thomsons Meinung genug sein.

<sup>131)</sup> Vgl. Woeikof, a. a. O., S. 151—161.

<sup>132)</sup> Vgl. Pouillet-Müller-Pfaundler, Lehrb. d. Physik und Meteorol., II. Bd. II. Abt., Braunschweig 1879, § 146 Schluss, S. 606. Krümmel, Ozean, S. 3—4. — Atlas!

<sup>133)</sup> Vgl. z. B. Handb. d. Ozeanogr., II. Bd. S. 294.

<sup>134)</sup> So sagte 1877 O. Krümmel in den Äquator. Meeresstr., S. 51.

<sup>135)</sup> von Schleinitz im Geogr. Jahrb. 1876, S. 463; vgl. von Boguslawski im Geogr. Jahrb. 1878, S. 543.

<sup>136)</sup> Die Erde, S. 178—179. Auffällig ist bei Hanns Polemik, dass er den „fortwährenden unterseeischen Zufluss antarktischen Wassers bis in den nördlichen atlantischen und pazifischen Ozean,“ für dessen Thatsächlichkeit er selbst lebhaft eingetreten ist (a. a. O., S. 162; s. oben Anmerk. 44), jetzt nur als einen „von W. Thomson angenommenen“ bezeichnet. — Vgl. auch Hann über die südl. Halbkugel in der Zeitschrift d. Öst. Ges. f. Meteorol. VII.

Für die Entstehung der Meeresströmungen sind schon von Leonardo da Vinci, Alex. von Humboldt, Arago<sup>137)</sup> u. a. mit Vorliebe die zwischen Pol und Äquator bestehenden Temperaturdifferenzen verantwortlich gemacht worden; diese haben ja auch, wie sich uns bei der Kritik über Maury gezeigt hat, besonderen Einfluss auf das spezifische Gewicht des Meerwassers. Der Einsicht der genannten Forscher hat sich aber die von uns schon wiederholt betonte Überzeugung von der grundsätzlichen Verschiedenheit der Strömungen und des Tiefenwassers entzogen, und so ist in manchen Schriften<sup>138)</sup> auf Grund einer leidigen Verquickung jener beiden ungleichartigen Erscheinungen die Vorstellung von einer auf thermischen Ursachen beruhenden „vertikalen Zirkulation der ozeanischen Gewässer“<sup>139)</sup> beliebt geworden.

Die Wärmeunterschiede sind in zweierlei Auffassung zur Erklärung der Strömungen benutzt worden: von der einen Seite wurden die oberen Ströme vom Äquator nach den Polen zu, von der anderen aber die angeblichen unteren, in umgekehrter Richtung gehenden als die primären angesehen. In der neuesten Zeit endlich hat man auf jene Ursachen das unmessbar langsame Vordringen des Tiefenwassers zurückzuführen gesucht. — Bei all' diesen Versuchen aber ist im Auge zu behalten,<sup>140)</sup> dass es sich hier um eine vom spezifischen Gewicht abhängige Bewegung handelt, wobei der Salzgehalt der Temperatur entgegenwirkt, und dass „a current will only exist to the extent by which the strength of the one cause exceeds that of the other.“<sup>141)</sup> —

<sup>137)</sup> O. Peschel, Gesch. d. Erdk., München 1877, S. 438; Handb. d. Ozeanogr. II., S. 284.

<sup>138)</sup> Besonders Pouillet-Müllers Lehrb. der Physik, Maury's Phys. Geogr. des Meeres und deren Epigonen; vgl. Zöppritz im Handb. der Ozeanogr., II. Bd. S. 285, 286, 288.

<sup>139)</sup> Peschel, Gesch. d. Erdk. S. 741.

<sup>140)</sup> Vgl. A. v. Humboldt, Kosmos, I. Bd., S. 476—477; Hann, a. a. O., S. 147.

<sup>141)</sup> J. Croll im Philos. Mag., IV. Serie, 40. Bd. 1870, S. 240.

Von Leonardo da Vinci, „dem grössten Physiker des 15. Jahrhunderts, der mit ausgezeichneten mathematischen Kenntnissen den bewundernswürdigsten Tiefblick in die Natur verband,“<sup>142)</sup> stammt der folgende Ausspruch:<sup>143)</sup> „Die Hitze der Sonne bewirkt, dass die Meeresgewässer unter dem Äquat aufsteigen; sie bewegen sich überall von dieser Wasseranschwellung<sup>144)</sup> herunter, um die vollkommene Kugelgestalt wieder herzustellen.“ Diese prinzipiell richtige<sup>145)</sup> Ansicht fand vielen Beifall, und sie ist es auch, mit Hilfe deren Maury den Florida- und Golfstrom zu erklären suchte (s. oben S. 15).

Man denke sich<sup>146)</sup> das Meer überall 200 Faden tief, und dann plötzlich — während alle Wärmewirkung u. s. w. aufgehoben sein mag — die oberen 100 Faden Wasser in den Tropen in Öl verwandelt; alsdann wird hier bei dem geringeren spezifischen Gewicht das Niveau höher als vorher, dadurch wird ein primärer oberflächlicher Abfluss nach den Polen zu bedingt und dann sekundär ein Ersatzstrom darunter in umgekehrter Richtung. Nimmt man ferner an, „dass das Öl, sobald es das Polarbecken erreicht, wieder in Wasser, und das Wasser, wenn es den Krebs- und Steinbock-Kreis überschreitet, wieder in Öl verwandelt werde,“<sup>147)</sup> so hat man ein Strömungssystem, welches durch Erdrotation, Küstenumrisse u. s. w. mannigfach modifiziert und kompliziert wird. Ersetzt man nun das Öl durch das von der Sonnenwärme beeinflusste Tropenwasser, so muss dadurch gewiss — dem obigen Schema gemäss — eine vertikale Zirkulation entstehen,<sup>148)</sup> — aber von welcher Bedeutung?

<sup>142)</sup> Humboldt, Kosmos, II. Bd. S. 324.

<sup>143)</sup> S. Krümmel, Äquat. Meeresstr., S. 37; vgl. Peschel, a. a. O., S. 438.

<sup>144)</sup> Vgl. Hann, a. a. O., S. 148 Anmerk.

<sup>145)</sup> Man vergleiche damit die klassische Auseinandersetzung der allgemeinen Luftzirkulation bei Hann, (a. a. O., S. 93—95.)

<sup>146)</sup> Maury, Phys. Geogr. d. M., S. 21—22.

<sup>147)</sup> Maury, a. a. O., S. 21.

<sup>148)</sup> Vgl. Witte in Poggendorffs Ann. 142 Bd., 1871, S. 284.

Die erwärmende Wirkung der Sonnenstrahlen, die Insolation, reicht beim Meerwasser nur 60—80 Faden<sup>149)</sup> und selbst in den Tropen höchstens 100 Faden<sup>150)</sup> tief, während die durchschnittliche Tiefe der Ozeane 3700 m,<sup>151)</sup> also mehr als 2000 Faden beträgt. Dieses Verhältnis passt schon gar nicht zu Maury's Fiktion: halb Öl, halb Wasser! und auch die wirklichen Strömungen erreichen bei weitem nicht die halbe Ozeantiefe.<sup>152)</sup> Noch mehr: Sir John Herschel<sup>153)</sup> berechnete bereits für den Abfluss des oberflächlichen Wassers nach den Polen zu das geringe Gefäll von  $\frac{1}{28}$  Zoll auf die geographische Meile;<sup>154)</sup> schon dies würde für die Erklärung der manchmal bedeutenden Geschwindigkeit der meridionalen Strömungen gar nicht ausreichen. Dazu kommt aber noch, dass „das Wasser kein vollkommenes Fluidum ist, vielmehr seine Molekeln der Bewegung beträchtlichen Widerstand leisten,“<sup>155)</sup> und dass darum der Neigungswinkel jener schiefen Ebene nicht unter eine gewisse Grenze hinabgehen darf; dieselbe wird nach Dubuats Versuchen<sup>156)</sup> durch die trigonometrische Tangente 1 : 1 000 000 bezeichnet. Nach Crolls Rechnung<sup>157)</sup> kann diese aber für die

<sup>149)</sup> Vgl. d. Bericht über die Challenger-Fahrt (Nares) in Peterm. Mitt. 1874, S. 295.

<sup>150)</sup> von Boguslawski, Tiefsee, S. 39.

<sup>151)</sup> Krümmel, Ozean, S. 71.

<sup>152)</sup> Vgl. Krümmel, Äquat. Meeresstr., S. 10; Tabelle in den Annalen der Hydrographie, 1879, S. 206; v. Boguslawski, Tiefsee, S. 53; Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., II., S. 76.

<sup>153)</sup> Physical Geography, article 57; abgedruckt in Crolls „Ocean Currents“ im Phil. Mag., a. a. O., S. 247; abgekürzt wiedergegeben in Mühry's Lehre v. d. Meeresstr. S. 12.

<sup>154)</sup> Dabei war am Äquat für das Wasser in den obersten 7200 feet (= 1200 Faden) bei Temperaturen von 84° bis 39° F (28° bis 4° C) eine Niveauerhöhung von 10 feet angenommen, während doch nur die oben genannte dünne Oberflächenschicht berücksichtigt werden dürfte, (vgl. Peschel-Leipoldt, a. a. O., S. 93).

<sup>155)</sup> Croll, a. a. O., S. 251.

<sup>156)</sup> S. Croll a. a. O., S. 251.

<sup>157)</sup> Croll, a. a. O., S. 248 ff; besonders 249, 254.

oberflächliche Gefällströmung in L. da Vinci's und Maury's Sinne höchstens 1:1 820 000 betragen;<sup>158)</sup> auch der aus den neuesten Daten abgeleitete Bruch 1:1 200 000<sup>159)</sup> ist kleiner als obiger Grenzwert; folglich entspricht dieser theoretischen Ansicht überhaupt keine messbare Wasserbewegung zwischen Pol und Äquator. Für die Deutung der Strömungen ist sie mithin gänzlich unbrauchbar, wenn auch ganz lokale Erscheinungen, wie die wahrscheinlich dachförmige Gestalt des Floridastroms<sup>160)</sup>, in ihrem Sinne erklärt werden mögen. —

Die andere Theorie einer Thermal-Zirkulation knüpft sich besonders an die Namen Buff, Mühry, Carpenter und Krümmel. Es wird angemessen sein, mit der Auseinandersetzung der einige Eigentümlichkeiten enthaltenden Darstellung Adolf Mühry's zu beginnen, welcher das Verdienst hat, durch seinen 1869 veröffentlichten Systematisierungsversuch zur „Wiederbelebung des Problems der Meeresströmungen“<sup>161)</sup> wesentlich beigetragen zu haben. Zu bemerken ist übrigens, dass derselbe später, 1883, den Wärmeunterschied nur als ein „geringes Motiv“ (und nur in der oberen Schicht wirksam) bezeichnete.<sup>162)</sup>

Abgesehen von kleineren Strömungen, insbesondere solchen, welche durch Winde getrieben würden, wollte Mühry<sup>163)</sup> zwei ineinandergreifende Zirkulationen mit aspirativem Motiv erkennen: die longitudinale entstände aus der Drehung der Erde um ihre Achse und hätte, da die Landmasse

ein Umkreisen des Erdballs verhinderte, in jedem Ozean nach Norden und nach Süden einen seitwärts rückkehrenden Kompensationsstrom nötig,<sup>164)</sup> — die vertikale latitudinale, zur Hälfte submarine Bewegung hätte „zu ihrer Ursache die permanent bestehende Temperaturdifferenz des Meerwassers zwischen den Polen und dem Äquator;“<sup>165)</sup> dabei wäre der primäre Arm der unterseeisch vom Pol nach dem Äquator gehende, „welcher, der Gravitation zufolge, nach dem leichteren Wasser der heißen Zone fiele, in horizontaler Richtung, d. h. aspiriert würde;“<sup>166)</sup> derselbe verlangte als Kompensation einen oberflächlichen Strom vom Äquator zum Pol hin, — alles mit einer Ablenkung infolge der Drehung der Erde.<sup>167)</sup>

Mühry's „Longitudinal-Zirkulation“ haben wir später noch besonders zu besprechen; auch die Bedeutung der von ihm oft zu stark betonten<sup>168)</sup> Kompensation soll am Schlusse gestreift werden. Was aber seine Thermaltheorie für die „latitudinale Zirkulation“ angeht, so ist sie im wesentlichen dieselbe, wie die Erklärung, welche z. B. Professor H. Buff schon 1850<sup>169)</sup> jedenfalls einfacher und anschaulicher gegeben hat, und welche im Anschluss an die Experimente von Dana (1858) und Carpen-

<sup>164)</sup> Einen solchen sah Mühry (a. a. O., S. 18) z. B. in den die Sargassosee begrenzenden südlichen Golfstromgewässern. Ganz nebenbei möge hier darauf aufmerksam gemacht werden, dass diese Tangansammlungen zu verschiedenen Zeiten von verschiedener Größe sein müssen; vgl. meine Mitteilung in der Zeitschrift Gaa, Natur und Leben, 1882, S. 560.

<sup>165)</sup> Mühry, a. a. O., S. 3.

<sup>166)</sup> a. a. O., S. 12; vgl. Zeitschrift der Öst. Ges. f. Meteorol., Bd. 9, 1874, S. 280 ff. Peschel-Leipoldt, a. a. O. S. 93—94; Mühry in Peterm. Mitteil. 1883, S. 385.

<sup>167)</sup> So sollte „der Golfstrom durchaus eine Kompensationsströmung“ sein und zwar „beiden fundamentalen Zirkulationen angehörend“ (a. a. O., S. 25); vgl. Peterm. Mitteil. 1874, S. 372<sub>2</sub>.

<sup>168)</sup> S. Krümmel, Äquat. Meeresstr., S. 12.

<sup>169)</sup> „Zur Physik der Erde,“ ein Auszug daraus im Geogr. Jahrb. 1872, S. 389.

<sup>158)</sup> Die Bemerkung Leiboldts hierüber, die fast wörtlich mit Zöppritz' Aussprache in den Gött. gel. Anz. (1878, Stück 17, S. 522) übereinstimmt, hätte also in der Phys. Erdk. auf S. 93, statt auf S. 95, stehen müssen!

<sup>159)</sup> Vgl. Zöppritz im Handb. der Ozeanogr., II., S. 287; Hoffmann, Mechanik der Meeresstr., S. 19.

<sup>160)</sup> S. Maury, a. a. O., S. 27—28; Krümmel, Ozean, S. 220.

<sup>161)</sup> Zöppritz in d. Gött. gel. Anz. 1878, Stück 17, S. 513.

<sup>162)</sup> s. Peterm. Mitteil. 1883, S. 385.

<sup>163)</sup> Lehre von den Meeresströmungen, Göttingen 1869, S. 31—32, vgl. Peterm. Mitteil. 1871, S. 77<sub>2</sub>; 1874 S. 372<sub>2</sub>; s. oben S. 12 Anmerk. 72.

ter (1871)<sup>170)</sup> O. Krümmel in Mühry's Sinne 1877 weiter auszubauen versucht hat. Wir schliessen unsere Betrachtung darum lieber gleich an die letzteren Darstellungen an.

William Carpenter hatte eine lange, schmale gläserne Wanne mit gleichmässig warmem Wasser gefüllt und letzteres an beiden Enden durch verschiedenfarbige Gummilösungen (rot und blau) gefärbt. Alsdann wurde an der Oberfläche an dem einen Ende ein erhitztes Metallstück (oder — mit Hilfe einer Röhre — heisser Wasserdampf) eingeführt, am anderen Ende ein Eisstückchen. An dem letzteren wird nun das Wasser kühler und damit spezifisch schwerer, sinkt zu Boden und macht so leichteren Schichten Platz, welche von dem oberflächlich erwärmten anderen Ende oben dorthin fliessen (mit angetrieben durch L. da Vinci's Motiv<sup>171)</sup>). Das kühle gesunkene Wasser breitet sich am Boden aus, steigt darauf am warmen Ende, da von dort noch immer oberflächlich Wasser abfließt, auf, und wird hier nun an der Oberfläche erwärmt, sodass ein kontinuierlicher, aber langsamer vertikaler Kreislauf gebildet wird, der seine bewegende Kraft in erster Linie von der Vergrößerung der spezifischen Schwere am kalten Wannende erhält.

In betreff der thatsächlichen Verhältnisse stimmt mit diesem Experimente das Resultat Hanns über das spezifische Gewicht des Meerwassers unter verschiedenen Breiten<sup>172)</sup> überein, und so sollte „die Oberflächenkälte der Polarmeere die erste Ursache der vertikalen Zirkulation der Ozeane“<sup>173)</sup> sein, deren sekundärer Arm durch eine oberflächliche Wasserbewegung vom Äquator nach den Polen hin gebildet würde; dieser obere wie auch der untere

<sup>170)</sup> Vgl. Peschel-Leipoldt, a. a. O., S. 94—95; Proceedings of the R. Geogr. Soc., 1871, Jan. 9; Krümmel, Äquat. Meeresstr., S. 37—38.

<sup>171)</sup> s. oben S. 19.

<sup>172)</sup> s. oben S. 15.

<sup>173)</sup> von Boguslawski, Tiefsee, S. 40, oder im Geogr. Jahrb. 1878, S. 507 unten.

Arm des Kreislaufs erführen durch die Erddrehung eine Ablenkung.<sup>174)</sup>

Den Bemühungen, auf Grund des Vorstehenden die ozeanischen Strömungen zu erklären, hat Carpenter nur im Anfang seine Unterstützung geliehen, vielmehr schon vom Jahre 1868/69 an daraus nur eine allgemeine langsame Zirkulation abgeleitet.<sup>175)</sup> Krümmel aber hat in seiner Doktor-Dissertation<sup>176)</sup> Mühry's Ideen im Anschluss an Carpenters Wannerversuch konsequent durchzuführen gesucht zur Motivierung der Strömungen, und wenn er auch diese Folgerungen aus seiner damaligen Arbeit, in der wohl zum ersten Male die Meeresströmungen im tropischen Teil des Atlantic klar auseinandergesetzt sind, längst hat fallen lassen, so müssen wir sie doch hier — gewissermassen als historischen Abschluss einer ganzen Gruppe von Erklärungsversuchen — behandeln.

Mit Rücksicht auf den thatsächlichen Verlauf der meridionalen Ströme musste diese Hypothese von der Annahme ausgehen, dass die unten in der Tiefe am Äquator von den Polen her angelangten Wasser dort in eine westliche Ascendenzströmung<sup>177)</sup> gerieten, so dass sie danach „an der Westküste des Beckens anschlagen und nach den Polen zu abfließen“<sup>178)</sup> würden. Bevor an den Polen der vertikale Kreislauf wieder beginnt — so war Krümmels Meinung — geht ein Teil jener Gewässer dort, wo der Ozean sich nach den höheren Breiten zu nicht beträchtlich erweitert, sowohl aus Raumangel als auch zur Kompensation am Ostufer nach

<sup>174)</sup> Vgl. O. Krümmel, Äquat. Meeresstr., S. 38.

<sup>175)</sup> Dies führt uns also wieder auf das schon wiederholt erwähnte Vordringen des Tiefenwassers. Vgl. Hann im Geogr. Jahrb. 1872, S. 135; von Boguslawski im Geogr. Jahrb. 1878, S. 521, 523; Tiefsee, S. 50, 55; von Klöden in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde, Berlin 1878 (XIII), S. 30 ff.

<sup>176)</sup> Die äquatorialen Meeresströmungen des Atlant. Ozeans, Leipzig 1877, S. 40 ff.; — also vor den entscheidenden Arbeiten von Zöppritz (1878) erschienen!

<sup>177)</sup> Vgl. oben Anmerk. 130 auf S. 17.

<sup>178)</sup> Krümmel, a. a. O., S. 40.

dem Äquator zurück; das Kompensationsbedürfnis allein aber zieht ebendort polares Wasser herbei, wenn — wie auf der Südhemisphäre — die in dem Westteile des Beckens fließende Strömung auch in höheren Breiten Platz hat, sich in ihrer ganzen Masse nach dem Pole hin zu ergießen.

So scheinen die Strömungen in der That in den Ozeanen stattzufinden; — aber wie steht es zunächst mit den vertikalen Enden dieser Thermal-Zirkulation? Die Antwort auf diese Frage geben wieder die neueren Tiefseeforschungen (s. oben S. 6—9); sie versetzen dieser Ansicht — wie der von Witte und Maury — einen wuchtigen Stoss, der sie sofort ins Wanken bringt.

Das obere warme Ende am Äquator nämlich ist zwar für die sämtlichen Stromsysteme beider Halbkugeln gleich gut, das kalte Ende der südhemisphärischen Kreisläufe ebenfalls; aber wegen der das nördliche Eismeer absperrenden Bodenschwellen ist das arktische kalte Ende unentwickelt, ein Herabsinken und submarines Abströmen der kalten Schichten nicht möglich, — oder man müsste denn (wie Krümmel das schon für den nordpazifischen Ozean wollte)<sup>179)</sup> das ochotskische und das Beringsmeer, bez. die Davis- und die Dänemarkstrasse<sup>180)</sup> „als polare Säulen“ der nordhemisphärischen Strömungssysteme gelten lassen. Die Menge kalten Wassers, welche hier den Anstoss zu der Zirkulation geben könnte, ist also viel geringer als im „Süd-ozean;“ folglich müssten auch die sekundären oberflächlichen Arme auf der nördlichen Halbkugel viel schwächer sein, als auf der südlichen. Wie reimt sich aber damit z. B. die Stärke von Antillen-, Florida- und Golfstrom verglichen mit derjenigen des Brasilienstromes?<sup>181)</sup> Diese Hypothese vermag

<sup>179)</sup> a. a. O., S. 50 unten.

<sup>180)</sup> Über die Temperaturen dieser Meeresteile vgl. z. B. Krümmel, a. a. O., Tafel II; Der Ozean Fig. 34, 35.

<sup>181)</sup> Die Richtigkeit dieser Beweisführung kann nicht schöner bestätigt werden, als durch einen Anhänger der Thermaltheorie, G. A. von Klöden, welcher als Existenzbedingung des Golfstroms, bezw. „der allgemeinen nord-

also die gewaltige Masse des Golfstroms gar nicht zu deuten, auch nicht die Stauung desselben vor dem Wyville Thomson-Rücken, denn von einer solchen muss man doch sprechen, da im Westen von Schottland in 900 Faden Tiefe dieselbe Temperatur herrscht, wie unter dem Floridastrom in 600 Faden;<sup>182)</sup> — diese Stauung ist gewiss auch der Hauptgrund dafür, dass der Nordatlantic in seinen Tiefen so warm ist. Diese grosse Masse warmen Wassers westlich von Europa war auch dadurch nicht erklärt, dass Krümmel sie als thermische direkte Fortsetzung der unter dem Floridastrom hinfließenden Antillenströmung darstellen wollte.<sup>183)</sup> Der Floridastrom liefert ja — schon wegen der „Seichtheit und des kleinen Querschnitts (29 qkm) der Strasse von Florida zwischen der Halbinsel und den Bahama-Bänken“<sup>184)</sup> — nur einen geringen Beitrag zum Golfstrom,<sup>185)</sup> und schon Findlay hat berechnet, dass derselbe „im nordatlantischen Becken auf die thatsächliche Breite des Golfstroms ausgebreitet, höchstens eine Wasserschicht von 6 Zoll Dicke liefern würde;“<sup>186)</sup> eine ähnliche Rechnung liesse sich aber auch für die Antillenströmung anstellen mit entsprechendem Ergebnis.<sup>187)</sup>

Wenn man den Wannerversuch überhaupt zur Deutung von Strömungen heranziehen dürfte, so könnte das nach Obigem nur noch für solche auf

östlichen Drift äquatorialen Wassers“ eine 1000—2000 Faden mächtige kalte Unterströmung aus dem nördlichen Eismeer in der Richtung NO nach SW angab, — während dieselbe doch, wie wir jetzt wissen, gar nicht existieren kann; vgl. Zeitschrift d. Ges. f. Erdk., Berlin, 1878, S. 30 ff.

<sup>182)</sup> Vgl. Peterm. Mitteil. 1870, S. 236 (Diagramm); Annalen d. Hydrogr. 1879, S. 206 (Tabelle).

<sup>183)</sup> Äquat. Meeresstr., 9—11.

<sup>184)</sup> S. Naturforscher 1881, S. 222; Gäa, Natur u. Leben, 1881, S. 630.

<sup>185)</sup> Vgl. die Ergebnisse der U. S. Coast Survey in Peterm. Mitteil. 1883, S. 20.

<sup>186)</sup> S. Geogr. Jahrb. 1872, S. 135; von Klöden in d. Zeitschr. d. Ges. f. Erdk., Berlin 1878, S. 29; Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., II, S. 60.

<sup>187)</sup> Vgl. Peschel-Leipoldt, a. a. O., S. 64.

der Südhalbkugel geschehen, wie denn 1875 schon Carpenter (für seine langsame Zirkulation) anerkannt hatte, dass im Grossen Ozean nur ein thermischer Kreislauf, nämlich zwischen Äquator und Südpol existieren kann.<sup>188)</sup> — Auch in den Meeren der Südhemisphäre giebt es den theoretisch geforderten Unterstrom nicht, denn das „Kriechen“<sup>189)</sup> des Bodenvassers ist eben ganz anderer Art als eine Strömung, ist ohne messbare Geschwindigkeit (s. oben S. 12—13).

Aber auch abgesehen davon enthält eine Verwertung des Wannexperimentes im Sinne dieser Hypothese denselben Fehler, der schon oben bei Maury (S. 14) gerügt worden ist. Denn wenn schon bei den kleinen Dimensionen und dem grossen Wärmeunterschied an den Enden der Wanne das Fliessen des Wassers nur ganz langsam stattfand, so ergeben sich daraus die Geschwindigkeiten der Meeresströmungen erst recht nicht<sup>190)</sup> bei einer Differenz von etwa 30° C auf die grosse Entfernung hin, die zwischen arktischen und tropischen Gegenden besteht.<sup>191)</sup> Aus der mittleren Tiefe der Ozeane 3700 m<sup>192)</sup> und der Länge des Erdmeridianquadranten 10 000 855,8 m (nach Bessel) folgt, dass eine Carpentersche Wanne, deren Grössenverhältnisse den ozeanischen entsprechen sollten, bei einer Tiefe

<sup>188)</sup> S. Geogr. Jahrb., 1876, S. 457. Was Mühry (Peterm. Mitteil. 1874, S. 377<sub>2</sub>) und Krümmel (Äquat. M., S. 51) für ihre Ansicht geäussert haben, ist jetzt gar nicht mehr stichhaltig.

<sup>189)</sup> Zeitschr. d. Ges. f. Erdk., Berlin, 1878, S. 30.

<sup>190)</sup> An einer Stelle seiner Schrift (S. 42) gab Krümmel auch zu, dass die aus dem Experiment folgende Geschwindigkeit nicht gross sein könnte, ohne aber anzudeuten, durch welches gleichstimmige Motiv er sich den Thermalkreislauf verstärkt denken wollte, (gegen die Winde hatte er S. 33—35 opponiert). Mühry nahm dagegen nachträglich dazu noch einen Gravitationskreislauf ähnlich wie Witte an, vgl. Peterm. Mitteil. 1874, S. 375.

<sup>191)</sup> Gegenüber den gewöhnlich gezeichneten, verzerrten Profilen vgl. man das sorgfältige „Erdprofil“ von Ferd. Lingg, (Piloty & Loehle in München).

<sup>192)</sup> S. Krümmel, Morphol. der Meeresstr., Leipzig 1879, S. 99; Der Ozean, Leipzig-Prag 1886, S. 71.

von 2 cm stark 54 m lang sein müsste. — In der Wanne kommt ausserdem nicht zum Ausdruck der Umstand, dass im Meere „die Differenz im Salzgehalt in Bezug auf das absolute spezifische Gewicht den Temperaturdifferenzen entgegenwirkt;“<sup>193)</sup> — ebenso nicht die Thatsache, dass die Wirkung der direkten Sonnenstrahlung im tropischen Meere nur die oberflächlichste Schicht beherrscht<sup>194)</sup> — so, dass dem entsprechend bei den vorhin angegebenen Wannen-dimensionen die oberflächliche Erwärmung nur ungefähr 0,5 mm tief reichen dürfte, während bei dem Versuche selbst das heisse Metallstückchen die Flüssigkeit doch bis auf den Boden hin durchwärmte und so das Aufsteigen des kalten Wassers an dem warmen Ende wesentlich erleichtert.

Das angebliche Aufsteigen des polaren Bodenvassers am Äquator ist eben auch eine Existenzfrage für die hier behandelte Theorie der Strömungen; kann doch, wenn dies nicht kräftig stattfindet, von einem „Anschlagen an die Westküste“<sup>195)</sup> keine Rede sein! Dem hat aber Zöpplitz treffend entgegengehalten,<sup>196)</sup> dass, wenn ein solches Aufsteigen überhaupt stattfindet, „dies nur äusserst langsam geschehen kann, weil sonst die niedrige Bodentemperatur viel höher heraufreichen müsste; denn die einzige Quelle der Erwärmung wirkt von oben her, und bei der geringen Diathermansie und Wärmeleitungsfähigkeit würde das emporsteigende Wasser bei irgend erheblicher Geschwindigkeit<sup>197)</sup> kaum über die Bodentemperatur erwärmt die Oberfläche erreichen.“

<sup>193)</sup> v. Schleinitz im Geogr. Jahrb. 1876, S. 463.

<sup>194)</sup> s. oben S. 19.

<sup>195)</sup> Krümmel, Äquat. Meeresstr., S. 40.

<sup>196)</sup> Gött. gel. Anz. 1878, S. 523 oben (mit einigen stilistischen Änderungen in Peschel-Leipoldt, Pys. Erdk. II, S. 83).

<sup>197)</sup> Dass dieses Emporsteigen nicht durch Centrifugalkraft oder dergl. beschleunigt werden kann, wie Mühry und Krümmel wollten, werden wir später sehen. — Die Temperaturverhältnisse in den tropischen Ozeanteilen erklären sich viel einfacher, wie oben S. 17 Anmerk. 130 angedeutet ist und wie wir weiter unten noch sehen werden.

Wenn die Anhänger der Temperaturtheorie zu Gunsten derselben mit Vorliebe auf mancherlei Ähnlichkeiten des Meeres mit dem Luftozean hingewiesen haben, so lassen sich dagegen auch recht viele Unterschiede zwischen beiden anführen, besonders — im Anschluss an das zuletzt Besprochene — in Bezug auf ihr Verhalten gegen die Wärme.<sup>198)</sup>

Gegen die weitverbreitete Ansicht von der Bedeutung der Temperatur, oder besser gesagt: des spezifischen Gewichts für die Entstehung der grossen meridionalen Meeresströmungen sind so eine Reihe von Gegengründen ins Feld geführt,<sup>199)</sup> von denen schon der eine oder andere allein der Hypothese einen vernichtenden Schlag versetzt; es ist also nur ein formeller Trumpf, wenn wir zum Schluss noch einen der zahlreichen diesbezüglichen Aussprüche des erfahrenen Leiters der Challenger-Expedition, Wyville Thomson, anführen,<sup>200)</sup> wonach er „niemals, weder im Atlantic, noch im Südozean,<sup>201)</sup> noch im Pacific, den geringsten Grund gesehen für die Annahme, dass etwas derartiges wie eine allgemeine vertikale Strömung des Meerwassers existiert, die von Unterschieden des spezifischen Gewichts abhängt.“ —

Etwas Anderes ist es freilich um einige lokale Strömungen, die von ziemlich grossen, auf kürzere Entfernung wirksamen Dichteunterschieden mitbedingt sind;<sup>202)</sup> im grossen und ganzen aber „geht

der Dichteausgleich nur so langsam von statten, dass seine Stromgeschwindigkeit unmessbar ist, und er wird durch die übrigen Bewegungen der Oberflächenschichten des Meeres völlig verdeckt, namentlich aber durch die grossen meridionalen Meeresströmungen vielfach befördert.“<sup>203)</sup>

Wenn es sonach wohl statthaft erscheint, die Temperatur-, bzw. Dichtigkeitsunterschiede für eine unmerkliche Umsetzung der Wassermassen, für eine so verstandene „Vertikalzirkulation der Ozeane,“ d. h. für „die polare Herkunft des Tiefenwassers in niedrigen Breiten“<sup>204)</sup> verantwortlich zu machen, so ist es doch durchaus irrig, die „allgemeine nordöstliche Drift äquatorialen Wassers“<sup>205)</sup> also das, was wir mit Krümmel „Golfstrom“ nennen, aus dieser Zirkulation ableiten zu wollen, wie das den Ansichten von W. Carpenter, von Klöden u. a. entspricht.<sup>206)</sup> Denn diese Drift ist eben eine wirkliche Strömung, von der wir obendrein bereits nachgewiesen haben,<sup>207)</sup> dass der von der Thermaltheorie als Vorbedingung für sie geforderte Unterstrom vom Nordpol nach dem Äquator hin fehlt.

Von dieser Verwirrung abgesehen, verdient aber die auf Differenzen der Dichtigkeit, insbesondere der Temperatur des Meerwassers fussende Theorie Anerkennung,<sup>208)</sup> wenn sie eben nur dasselbe wie Thomsons Hypothese (s. oben S. 17—18) leisten will: die Erklärung des langsamen Vordringens des (antarktischen) Bodenwassers. Mit Rücksicht auf die in der Einleitung (S. 6—9) erörterten

<sup>198)</sup> Vgl. z. B. Peschel-Leipoldt, a. a. O., S. 81, 95; Hann, Die Erde u. s. w., S. 149, 173—174.

<sup>199)</sup> Durch dieselben (besonders auch durch das schon S. 19—20 Gesagte) erachten wir auch die Behauptungen des amerikanischen Geophysikers W. Ferrel („Sea level and Ocean-currents“) für abgethan; vgl. Krümmel im Litteraturbericht Nr. 427 zu Petermanns Mitteil. 1886, S. 98.

<sup>200)</sup> Aus den Proc. of the Royal Society übersetzt im „Naturforscher,“ 1876, S. 343.

<sup>201)</sup> Im „Naturforscher“ steht hier statt „Südozean“ irrtümlicherweise „Südsee“; ebenso in dem in Krümmels Äquat. Meeresstr. S. 51, abgedruckten Passus.

<sup>202)</sup> Wegen dieses lokalen Charakters gehen wir hier auf die Untersuchungen von H. Mohn, (im Ergänzungsheft Nr. 79 zu Petermanns Mitteil.) nicht ein; vgl. Handb. der

Ozeanogr. II, S. 448 ff.; s. ebendort, S. 292—294 über eine unterseeische Dichte-Strömung; vgl. oben S. 9, Anmerk. 40.

<sup>203)</sup> Zöppritz im Handbuch d. Ozeanogr. II, S. 287 vgl. ebendort S. 294.

<sup>204)</sup> Zöppritz, a. a. O., S. 281, 284, 294.

<sup>205)</sup> v. Klöden in der Zeitschr. d. Ges. f. Erdk., Berlin 1878, S. 31.

<sup>206)</sup> Vgl. Zöppritz, a. a. O., S. 288; Hann im Geogr. Jahrb. 1873, S. 135; v. Klöden, a. a. O.

<sup>207)</sup> S. oben S. 22, besonders Anmerk. 181.

<sup>208)</sup> Trotz der Einwände Crolls im Phil. Mag., IV. Serie, 40. Bd., S. 236, 254.

Tiefseeforschungen kann diese Zirkulation nur südhemisphärisch entwickelt sein, daher hat Carpenter schon 1875 für den Pacific angegeben, dass der primäre Arm dieser Zirkulation nur zum grösseren Teil in der Tropengegend aufsteige; „ein Rest aber seinen Weg nach Norden fortsetze;“<sup>209)</sup> auch hat er bereits 1869 der Vermutung Raum gegeben, dass ein Teil des nordatlantischen Wassers ebenfalls antarktischen Ursprungs sei. Ja, wir dürfen nach dem Früheren das von Carpenter für den Grossen Ozean Behauptete unverändert auf den Atlantischen übertragen, zumal in diesem am nördlichen Wendekreis „der höchste Wärmeverrat aufgespeichert“ ist.<sup>210)</sup> Nicht zu leugnen ist indes, dass alsdann die Thermaltheorie für das den Äquator überschreitende Bodenwasser nach einem besonderen Motive (etwa der später zu besprechenden Kompensation? oder doch Thomsons Verdunstung?) suchen muss. Dass an der Oberfläche, wo Wellen, Tiden und Strömungen diese „Vertikalzirkulation“ nach dem Südpol hin ganz verwischen, eine in dem gleichen Sinne und ebenso unmerklich stattfindende Zirkulation durch Verdunstung und Niederschlag bedingt ist, gab auch Zöpplitz zu;<sup>211)</sup> er sprach aber nicht von dem Gegensatze zwischen Land- und Wasserhalbkugel, den Thomson, wie mir scheint, mit Recht betont. —

Wenden wir uns nunmehr zu den früheren Versuchen, die äquatorialen Strömungen zu erklären,<sup>212)</sup> so tritt uns als älteste Ansicht diejenige von Johannes Keppler<sup>213)</sup> entgegen, welcher

<sup>209)</sup> Geogr. Jahrb. 1876, S. 457.

<sup>210)</sup> Krümmel, Äquat. Meeresstr., S. 47.

<sup>211)</sup> Handb. d. Ozeanogr. II, S. 293—294.

<sup>212)</sup> S. oben S. 12.

<sup>213)</sup> Vgl. Mühry, Lehre v. d. Meeresstr., S. 6, Petermanns Mittel. 1874, S. 373 unten. Übrigens hegte man schon vor dem Jahre 1600 ähnliche Anschauungen, s. Peschel, Gesch. d. Erdk., S. 438; Krümmel im Handb. der Ozeanogr. II, S. 331. — Über die Schreibweise des Namens „Keppler“ s. Koppe, Physik (Essen 1888), S. 78, Anm.

nachher auch Bernhard Varenius,<sup>214)</sup> I. Kant,<sup>215)</sup> É. Reclus,<sup>216)</sup> A. Mühry<sup>217)</sup> u. a. gehuldigt haben. Sie lässt sich wohl am kürzesten mit Kants Worten wiedergeben: Die „allgemeine Bewegung des Ozeans von Osten nach Westen“ „rührt von der Umdrehung der Erde um ihre Achse von Westen nach Osten her, indem dadurch das Wasser gleichsam zurückgeschleudert wird.“ Natürlich giebt es für die Anhänger dieser Hypothese nur eine Äquatorialströmung; das ist aber ein offener Widerspruch gegen die Thatsachen,<sup>218)</sup> zumal dann gar nicht einzusehen ist, wie sich innerhalb dieser einen Strömung ein Kompensationsstrom, wie die Guineaströmung, in umgekehrter Richtung bilden soll. Man hat auch niemals versucht, die genannte Ansicht mechanisch zu beweisen — aus dem einfachen Grunde, weil dies nicht angeht.<sup>219)</sup> Für den Luftozean hat übrigens Kant selbst später zugegeben, dass „eine so beständig wirksame Kraft“ ihn „zu einer gleichen Bewegung mit der Erde selbst habe bringen müssen“<sup>220)</sup> — nun, das muss doch erst recht der Fall sein bei dem — in das Erd feste eingebetteten — Meere, dessen Teilchen „durch innere Kräfte verbunden“<sup>221)</sup> sind!

<sup>214)</sup> Vgl. Petermanns Mittel. 1874, S. 374. Dieser tüchtige deutsche Geograph ist übrigens weder in Lüneburg, noch in Ülzen (s. Peschel-Ruge, a. a. O., S. 449, 816), sondern in Hitzacker a. d. Elbe geboren, (s. Handb. der Ozeanogr. II, S. 328).

<sup>215)</sup> Kant, Sämtl. Werke (Hartenstein), VIII, Bd., Leipzig 1868, S. 210; Phys. Geogr., herausgeg. v. Rink (vom Jahre 1802 datiert), § 29.

<sup>216)</sup> La Terre, II, Bd., S. 79 unten; s. oben S. 16.

<sup>217)</sup> Lehre v. d. Meeresstr. S. 5 ff.; Petermanns Mittel. 1874, S. 373—374; 1883, S. 384; s. oben S. 20.

<sup>218)</sup> Vgl. Schilling in Petermanns Mittel. 1875, S. 144, 145; s. oben Anmerk. 76 auf S. 12.

<sup>219)</sup> Auch Mühry begnügt sich damit, Keppler, Kant und Fourier als Autoritäten anzuführen! (Lehre v. d. Meeresstr., S. 5—7).

<sup>220)</sup> Kant, a. a. O., (Supplement zur phys. Geogr.), Bd. VIII, S. 446; vgl. Bd. I, S. 481 oben (Neue Anmerk. zur Erläuterung der Theorie der Winde, 1756, 4. Anmerk.)

<sup>221)</sup> Zöpplitz in d. Gött. gel. Anz. 1878, S. 523.

Scheinbar mehr Halt bekam aber das angebliche Eingreifen der Erdrotation, indem Mühry die Wirkung der Centrifugalkraft auf die Ascensionsströmung am Äquator, welche ihm 1869 noch „nur ein untergeordnetes Moment“<sup>222)</sup> war, 1874 als Hauptursache „der grossen West- oder Rotationsströmung“ hinstellte.<sup>223)</sup> Ähnlich hat dann auch Krümmel<sup>224)</sup> darzuthun gesucht, dass die unter dem Äquator schon gemäss der Thermaltheorie vom Boden des Meeres aufsteigenden Wasserteilchen darin durch die Centrifugalkraft eine Beschleunigung erfahren und so — da sie ihre ursprüngliche Geschwindigkeit zufolge des Galilei'schen Trägheitsgesetzes beibehielten — „hinter der allgemeinen östlichen Drehung der Erde zurückblieben, an der Oberfläche sich als westlich gerichtete Strömung offenbarend“<sup>225)</sup>

Einem irgendwie kräftigen Aufsteigen des Tiefenwassers am Äquator widersprechen aber — wie wir schon oben (S. 23) gesehen haben — die Thatsachen — und auch die Erwägung, dass jedes Wasserteilchen sich in einer mit ihm kohärenten grossen Masse befindet.<sup>226)</sup> Mit Ausnahme der unmessbar langsamen Bewegung des Bodenwassers in Carpenters, Thomsons und Zöpplitz' Sinne (siehe oben S. 24—25) giebt es ferner den vertikalen Arm der Thermalzirkulation für Strömungen ebenso wenig wie diese selbst; die Centrifugalkraft aber kann ein Aufsteigen überhaupt nicht bewirken, denn sie findet ihren Ausdruck schon in der „ellipsoidischen Form der flüssigen Umhüllung der Erde,“<sup>227)</sup>

indem die Niveauflächen der Erde überall senkrecht stehen auf der Resultante aus Gravitation und Centrifugalbeschleunigung.“<sup>228)</sup> — Die genannte Hypothese würde auch mit dem submarinen Zusammenhang der nord hemisphärischen Meere mit dem „Südozean“ schwer vereinbar sein.<sup>229)</sup> Selbst wenn aber auch die damalige Meinung Krümmels anerkannt werden dürfte, so wäre damit doch immer nur ein Teil der Geschwindigkeit der äquatorialen Strömungen erklärt, und er musste darum selbst seine Zuflucht zu einem ihm rätselhaften Motiv nehmen,<sup>230)</sup> welches auch in der Richtung Ost-West wirken sollte.

Welches aber ist die rätselhafte Triebkraft, die allein, ohne fremde Beihilfe, die grossen Äquatorialströmungen in den Ozeanen zu erzeugen vermag? Die Passatwinde! lautet die Antwort fast aller praktischen Seeleute.<sup>231)</sup> Da auch von entschiedenen Gegnern dieser Theorie die „Ähnlichkeit und Gleichartigkeit“ beider Phänomene anerkannt wurde,<sup>232)</sup> so gestanden auch mehrere Autoren von ganz verschiedener Anschauung<sup>233)</sup> diesen permanenten Winden eine mehr oder weniger starke Mitwirkung bei der Hervorbringung jener Strömungen zu; andere Theoretiker aber haben, — wie die Seeleute — in den Passaten das entscheidende Agens erblickt. Der erste, welcher in diesem Sinne überzeugt war, dass „die Gewässer der caribischen See“ „von den Passatwinden in den Golf

<sup>222)</sup> Zöpplitz im Geogr. Jahrb. 1880, S. 50. Vgl. damit die zutreffenden Bemerkungen des Barons N. Schilling in Petermanns Mitteil. 1875, S. 145—146.

<sup>223)</sup> Vgl. Mühry in Petermanns Mitteil. 1874, S. 377; Krümmel, Äquat. Meeresstr., S. 51.

<sup>224)</sup> Äquat. Meeresstr. S. 42, 52 (These 2).

<sup>225)</sup> S. Hann, Die Erde u. s. w., S. 176, Anmerk.; Handb. d. Ozeanogr. II, S. 338.

<sup>226)</sup> S. z. B. Krümmel, Äquat. Meeresstr., S. 34.

<sup>227)</sup> Vgl. Zöpplitz in d. Gött. gel. Anz., 1878, S. 523 (fast wörtlich in Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., II, S. 83).

<sup>228)</sup> Zöpplitz, a. a. O., S. 522 (vgl. Peschel-Leipoldt, a. a. O., II, S. 94).

<sup>229)</sup> Z. B. Kant, Phys. Geogr. (Rink), Hartensteins Ausgabe, VIII. Bd., § 30, Anmerk. 1, S. 212; v. Humboldt, Kosmos, I. Bd., S. 326; Reclus, La Terre, II, S. 79 (vgl. oben S. 16); Mühry, Lehre v. d. Meeresstr., S. 3, 7, 31; Geogr. Handb. zu Andree's Handatlas, S. 17; u. s. w.

von Mexiko hineingeworfen würden,<sup>234)</sup> war Benjamin Franklin; ihm folgten James Rennell, John Herschel u. s. w. und — William Carpenter, der sonst den Winden nur ganz oberflächliche Wirkungen zuschrieb.<sup>235)</sup> Kant erklärte, dass „die erste Ursache“ des Floridastroms „allein im Ostwinde zu suchen sei, „der das Wasser im Mexikanischen Meerbusen anhäuft und es auf diese Weise zu einem Austreten, nach dieser Seite hin, gleichsam zwingt.“<sup>236)</sup> Wenn wir auch mit W. Ferrel<sup>237)</sup> der Stauwirkung hierbei nicht zu viel Einfluss zusprechen wollen, so ist diese Anschauung im wesentlichen doch durch die Untersuchungen der U. S. Coast Survey<sup>238)</sup> bestätigt worden.

Früher aber war die Streitfrage offen: hatte die Passattheorie recht, oder aber ihre Gegnerschaft, vertreten durch Arago,<sup>239)</sup> Findlay,<sup>240)</sup> Mühry<sup>241)</sup> u. a., welche als Haupteinwand den vorbrachten, dass auch diese konstanten Winde keine tiefgreifende Wirkung im Meere haben könnten?<sup>242)</sup> Die Entscheidung kam erst im Jahre 1878, als der damalige Professor der mathematischen Physik in Giessen, nachher Professor der Geographie in Königsberg, Dr. Karl Zöppritz († 1885), eine streng mathemati-

sche Untersuchung zu Gunsten der Passatwindtheorie in die Wagschale warf.<sup>243)</sup>

Die Wirkungen aber, welche die Passate hervorbringen können, müssen wir auch den anderen vorherrschenden Winden in ähnlicher Weise zugestehen; was für äquatoriale Meeresströmungen massgebend ist, muss es auch für meridionale sein, denn diese Unterscheidung ist keine wesentliche, sondern nur eine klassifikatorische im Hirne der Geographen; alle ozeanischen Strömungen bilden vielmehr nach den mechanischen Grundgesetzen stetige Kontinuitäten!

So können wir gleich übergehen zu der allgemeinen Theorie für alle Meeresströmungen, welche auf die Wirkung der Winde gegründet ist; dieselbe erhielt ihre Ausbildung besonders durch Rennell<sup>244)</sup> und in neuerer Zeit vorzugsweise durch James Croll, welcher als Schotte eine ähnliche Stellung zu dem Wiedererwachen des Theorems der ozeanischen Strömungen einnimmt, wie Mühry als Deutscher.<sup>245)</sup> Mochten diese Autoren aber auch mit noch so grosser Energie ihre Ansicht verteidigen, — sie konnten im Grunde genommen doch nur eine gewisse Wahrscheinlichkeit für sie in Anspruch nehmen, indem sie das Mangelhafte der anderen Hypothesen nachwiesen; beweisen konnten sie ihre Theorie nicht, besonders was den vorhin genannten Haupteinwand angeht; das leistete erst Zöppritz.<sup>246)</sup>

<sup>234)</sup> J. G. Kohl, *Gesch. d. Golfstroms*, Bremen 1868, S. 110; vgl. Krümmel im *Handb. d. Ozeanogr.*, II, S. 421—422.

<sup>235)</sup> Beim Golfstrom sprach er z. B. von einer unbedeutenden „Surface-drift caused by the prevalence of south-westerly winds.“ — Carpenter starb 1885.

<sup>236)</sup> *Phys. Geogr.* § 31 (gegen Ende), a. a. O., S. 213 unten; vgl. Peschel-Leipoldt, II, S. 97—98.

<sup>237)</sup> Vgl. Petermanns *Mitteil.* 1887, *Litteraturbericht* Nr. 77, S. 18—19.

<sup>238)</sup> Vgl. Petermanns *Mitteil.* 1881, S. 311 oben.

<sup>239)</sup> S. Mühry, *Lehre v. d. Meeresstr.*, S. 7 Anmerk.

<sup>240)</sup> Vgl. Krümmel, *Äquat. Meeresstr.*, S. 33.

<sup>241)</sup> a. a. O., S. 7; in Petermanns *Mitteil.* 1874, S. 372; 1883, S. 384, 385.

<sup>242)</sup> Vgl. darüber z. B. v. Klöden, *Handb. d. Erdk.*, I. Bd., 1873, S. 621. S. oben Anmerk. 113 auf S. 16.

<sup>243)</sup> „Hydrodynamische Probleme in Beziehung zur Theorie der Meeresströmungen,“ I, in Wiedemanns *Annalen der Physik und Chemie*, Bd. III., 1878, S. 582 ff. Vgl. Peschel-Leipoldt, a. a. O., II, S. 84—91; Hann, *die Erde*, S. 176.

<sup>244)</sup> In dem kurz nach seinem Tode veröffentlichten Werke: „An Investigation of the Currents of the Atlantic Ocean,“ vgl. Krümmel, *Äquat. Meeresstr.*, S. 32—33; Kohl, *Gesch. d. Golfstroms*, S. 126 ff.; Hann a. a. O., S. 176 Anm.

<sup>245)</sup> S. oben S. 20.

<sup>246)</sup> Vgl. damit die Bemerkung Behms im *Geogr. Jahrb.* 1874, S. 236.

Er löste das hydrodynamische Problem, den Einfluss zu ermitteln, „den ein Bewegungsimpuls, welcher auf die Oberfläche einer unendlich ausgedehnten Flüssigkeitsschicht wirkt, wie ihn die Winde ausüben, vermöge der molekularen Reibung der Flüssigkeitsschichten an einander in der Tiefe hat.“<sup>247)</sup> — Die Hauptergebnisse dieser Untersuchung, welche in mathematischer Hinsicht wegen ihrer überall hervortretenden Ähnlichkeit mit einem schon bekannten Wärmeproblem (Temperaturverteilung in einem festen Körper)<sup>248)</sup> interessant ist, geben wir am besten mit des Autors eigenen Worten wieder: „Es ergab sich zunächst, dass die Geschwindigkeitsübertragung von Schicht zu Schicht nirgends eine örtliche Begrenzung findet, sondern sich bis zum Boden fortpflanzt, und dass bei unveränderlichem Oberflächenantrieb, also z. B. unter dem Einfluss eines jahraus jahrein mit gleicher Richtung und Stärke wehenden Passates, ein stationärer, d. h. mit der Zeit nicht mehr veränderlicher Bewegungszustand eintritt, wobei die Geschwindigkeit von der Oberfläche zum Boden proportional der zunehmenden Tiefe<sup>249)</sup> bis auf Null abnimmt.“<sup>250)</sup> „Es wird hierbei vorausgesetzt, dass keine anderen Ursachen, wie z. B. Verdrängungsströme, die tieferen Schichten in andere Bewegung versetzen. Für den Fall, dass tiefere Schichten durch irgend eine fremde Ursache in genau entgegengesetzter Richtung in Bewegung erhalten würden, wie die oberen Schichten, muss sich zwischen beiden eine Ebene finden, wo die Geschwindigkeit = 0 ist.“<sup>251)</sup> Oberhalb dieser ist „die Verteilung der Geschwindigkeit“

alsdann dieselbe,<sup>252)</sup> wie wenn die untere Schicht feste Masse wäre.“<sup>253)</sup> „Vorübergehend blasende Winde („Gegenwinde oder Stürme“)<sup>254)</sup> haben nur sehr wenig tief eindringende Wirkung. Wenn z. B. in einem bestimmten Augenblick auf die Oberfläche eines ruhenden Meeres ein Wind zu wirken beginnt, der den Oberflächenteilchen eine bestimmte Geschwindigkeit erteilt, so muss derselbe 239 Jahre lang mit unveränderter Stärke blasen, ehe die Wasserschicht in 100 m Tiefe die halbe Geschwindigkeit der Oberfläche erlangt hat, und 41 Jahre, bis dieselbe Schicht sich mit einem Zehntel der Oberflächengeschwindigkeit bewegt. — Periodisch wehende Winde übertragen ihre Periodizität nur auf eine sehr oberflächliche Schicht, während die tieferen Wassermassen nur von der mittleren Geschwindigkeit der Oberfläche beeinflusst werden. Hat z. B. die Oberflächenschicht infolge der Winde eine jährliche Periode, so tritt diese Periodizität schon in 10 m. Tiefe mit einer auf ein Dreizehntel verringerten Amplitude auf und ist in 100 m Tiefe schon ganz unmerklich.<sup>255)</sup> — Um eine Vorstellung von der Zeit zu geben, während welcher eine konstante Oberflächengeschwindigkeit auf einen ursprünglich ruhenden Ozean von 4000 m Tiefe gewirkt haben muss, damit dessen Zustand sich dem stationären Zustand (mit linear abnehmender Geschwindigkeit der Tiefe) annähert, dienen folgende Zahlen:<sup>256)</sup> Nach 10000 Jahren herrscht in der halben Tiefe, also in 2000 m, wo die definitive Geschwindigkeit die halbe der Oberfläche sein soll, erst 0,037 der Oberflächengeschwindigkeit; nach 100 000 Jahren 0,461, und nach 200 000 Jahren weicht die Geschwindigkeit daselbst nur noch um 0,002 von dem definitiven Werte 0,5 ab.“<sup>257)</sup> Diese langwie-

<sup>247)</sup> Zöppritz im Geogr. Jahrb. 1880, S. 61.

<sup>248)</sup> Vgl. Bernhard Riemann, Partielle Differentialgleichungen, (herausgeg. von Hattendorf), Braunschweig 1876, IV. Abschnitt.

<sup>249)</sup>  $w = w_0 \frac{h-x}{h}$ , wo  $w$  die Geschwindigkeit in der Tiefe  $x$ ,  $w_0$  die an der Oberfläche,  $h$  die gleichförmig angenommene Meerestiefe ist.

<sup>250)</sup> Zöppritz im Geogr. Jahrb. 1880, S. 61.

<sup>251)</sup> Zöppritz in Wiedemanns Ann. III, 1878, S. 587.

<sup>252)</sup>  $w = w_0 \frac{h_1 - x}{h_1}$ , wenn jene Ebene in der Tiefe  $h_1$  liegt.

<sup>253)</sup> Wiedemanns Ann. III, 1878, S. 588.

<sup>254)</sup> Wied. Ann. 1878, S. 598.

<sup>255)</sup> Vgl. Wied. Ann. 1878, S. 599.

<sup>256)</sup> Vgl. Wied. Ann. 1878, S. 600–601.

<sup>257)</sup> Zöppritz im Geogr. Jahrb. 1880, S. 61–62.

rige „Nachwirkung früherer Bewegungszustände“ wird natürlich erheblich abgeschwächt infolge der Unterbrechung des Ozeans durch Länder und Inselmassen von unregelmässiger Gestalt, weniger durch die vermehrte Reibung am Bett, als durch die überall eindringenden Reflexions- und Verdrängungsströmungen;“<sup>258</sup>) jedenfalls macht aber jeder Anfangszustand schliesslich „einem stationären Zustand von dem aufgestellten einfachen Verteilungsgesetze“ platz.<sup>259</sup>) —

Damit ist die Erzeugung einer ozeanischen Strömung durch einen vorherrschenden Wind mathematisch gerechtfertigt<sup>260</sup>) — dieses Ergebnis ist durch verschiedene Versuche, auf die wir noch zurückkommen werden, bestätigt worden — alle anderen angeblichen Ursachen für die Entstehung der Meeresströmungen, die der menschliche Geist ersonnen hat, haben sich als unbrauchbar oder ungenügend erwiesen und können demgemäss erst recht nicht für fähig erachtet werden, die hydrodynamische Wirkung des Windes aufzuheben — so dürfen wir nunmehr überall da, wo die Wind- und die Strömungskarten sich decken, den betr. Wind als die erste Ursache für das Vorhandensein jener Meeresströmung ansehen.<sup>261</sup>)

Mit dieser Erkenntnis fällt für uns natürlich auch der Unterschied, den manche Forscher<sup>262</sup>)

zwischen den konstanten, kräftigen Meeresströmen und den nur oberflächlichen „Driftströmungen“ gemacht haben, fort;<sup>263</sup>) zwischen beiden Erscheinungen besteht eben nur ein Gradunterschied wie zwischen einem vollen, anhaltenden Ton und einem schwachen, vorübergehenden Geräusch.

Neben den Winden sind aber in zweiter Linie noch einige andere Einflüsse von Wichtigkeit für den Verlauf der Strömungen; es sind dies hauptsächlich die feste Begrenzung der Meeresbecken,<sup>264</sup>) die Kompensation und Aspiration und die Axendrehung der Erde.

Die erstere anlangend, hat Zöppritz 1879 in einem zweiten „hydrodynamischen Problem in Beziehung zur Theorie der Meeresströmungen“<sup>265</sup>) zu ermitteln versucht, was aus solch' einer Strömung wird, wenn sie auf eine Küste trifft. Diese Arbeit „erörtert die Stromfiguren, welche sich bilden, wenn ein mit konstanter Geschwindigkeit und konstanter Breite aus unendlicher Entfernung kommender Strom senkrecht<sup>266</sup>) auf eine vertikale ebene Wand trifft. Er teilt sich dann in zwei längs der Wand hinfließende Ströme, die in grosser Entfernung von dem Treffpunkt die halbe Breite des ursprünglichen Stroms und die gleiche Geschwindigkeit haben.“<sup>267</sup>) Umgekehrt setzen sich zwei gleiche, längs einer ebenen vertikalen Wand auf einander treffende Ströme zu einem doppelt so breiten, senkrecht von der Wand hinwegfliessenden zusammen.“<sup>268</sup>) So entsteht aus zwei parallelen und gleichen, in grossem Abstände von einander auf die Wand zuellen-

<sup>258</sup>) Wir wissen aber nicht: wie und in welcher Zeit? Vgl. Zöppritz in Wied. Ann. III, 1878. S. 606—607.

<sup>259</sup>) Vgl. Wied. Ann. 1878, S. 607 unten.

<sup>260</sup>) Die Einwände W. Ferrel's sind von J. Hann (Die Erde u. s. w., S. 177), Hoffmann (Mechanik d. Meeresstr., S. 6) und O. Krümmel, (Petermanns Mitteil., 1886; Litteraturbericht Nr. 427, S. 98) beseitigt.

<sup>261</sup>) Diese grossartigen „kausalen Wechselbeziehungen“ (F. v. Richthofen, China, I. Bd., Berlin 1877, S. 732) zwischen Luft und Meer fand Krümmel (Äquat. Meeresstr., S. 35) „mit einer irgendwie grossartigen Auffassung des Kosmos unvereinbar;“ Zöppritz sprach daraufhin von „naturphilosophisch angekränkelten Betrachtungen“ (Gött. gel. Anz. 1878, Stück 17, S. 523—524).

<sup>262</sup>) Vgl. z. B. noch 1883 Mühry in Peterm. Mitteil. 1883, S. 384.

<sup>263</sup>) Vgl. Hoffmann, a. a. O., S. 3.

<sup>264</sup>) S. oben S. 12.

<sup>265</sup>) Wiedemanns Ann. VI, 1879, S. 599—608.

<sup>266</sup>) „Das Problem des schiefen Stosses, wobei sich der Strom in zwei Arme von verschiedener Breite teilt, ist noch nicht gelöst“ (Zöppritz in Wiedemanns Ann., a. a. O., S. 600). Kapitän P. Hoffmann (Mechanik d. Meeresstr., S. 7) giebt hierüber einige Andeutungen.

<sup>267</sup>) S. Fig. 1 in Wied. Ann., a. a. O., S. 603, od. Fig. 49 im Handb. d. Ozeanogr., II, S. 353.

<sup>268</sup>) Zöppritz im Geogr. Jahrb. 1880, S. 62.

den Strömen mitten zwischen ihnen eine gleiche Gegenströmung.<sup>269)</sup> — Auf ähnliche, wenn auch nicht mehr analytisch bestimmbare Ursachen wird auch, zum Teil wenigstens, die Entstehung der äquatorialen Gegenströmungen im Atlantic und im Pacific, welche die zwischen den jedesmaligen beiden äquatorialen Westströmungen liegenden passatfreien Gebiete durchströmen,<sup>270)</sup> zurückzuführen sein,<sup>271)</sup> wenn auch die Kompensation, die Krümmel schon 1877 betonte,<sup>272)</sup> dabei wohl am wirksamsten ist. Wohl sicher ist für die Form der Guineaströmung die sanfte Neigung der unterseeischen Fortsetzung der brasilianischen Küste und der letzteren „stark gebogene Form“ massgebend<sup>273)</sup>.

Im Sinne der ersten Ergebnisse dieser zweiten Zöpplitz'schen Abhandlung wird man in den Ozeanen, wenn auch deren Verhältnisse viel verwickelter als die genannten theoretischen Voraussetzungen sind, überall da, wo mächtige Strömungen auf vorgelagerte Küsten treffen, längs dieser Küsten je zwei Abzweigungen, Derivationen der Stammströmung<sup>274)</sup> suchen — ohne das Vorhandensein eines die letzteren befördernden Windes, ja nötigenfalls sogar einem dortigen Winde entgegen! Als solche Seitenarme der grossen Triftströmungen sind der Antillen- und Floridaströmung und der Brasilstrom, der Japanische Strom und die Ostaustralströmung, der Madagaskar- und der Mosambikstrom, die Peru- und die Kap Horn-Strömung

u. s. w. aufzufassen,<sup>275)</sup> wenschon auch bei ihnen noch andere Ursachen mit thätig sind. In ihrer Entstehung sind diese Ströme also wesentlich durch die betr. Küste bedingt; letztere übt aber, wenn die Strömung ihr einmal parallel ist, auf dieselbe keine besondere Wirkung mehr aus<sup>276)</sup>.

Eine derartige Strömung kann aber in ihrem weiteren Verlaufe wohl wieder in den Bereich einer gleichgerichteten Windbewegung hineingeraten; so erklärt sich nunmehr<sup>277)</sup> aus den Südwestwinden, die im Westen von Europa vorherrschen, die beträchtliche Tiefe des warmen Wassers, welches wir „Golfstrom“ nennen, seine Stauung vor dem Wyville Thomson-Rücken und sein erfolgreiches Überschreiten desselben (s. Einleitung, S. 8—9). So ist denn das Strömungssystem des nördlichen Eismeerer „durchaus eine Funktion des atlantischen Golfstroms. Dieser ist als das Triebrad aufzufassen, welches auch die kalten Strömungen in Gang setzt und im Gange erhält.“<sup>278)</sup> Für die letzteren liegt also das Hauptmotiv in der Ausgleichung jenes Einströmens,<sup>279)</sup> wenn auch der ostgrönländische Strom z. B. noch

<sup>269)</sup> S. Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk. II, S. 100—101; Dall in Petermanns Mitteil. 1881, S. 369. Vgl. d. Karte! — Zu den guten Karten der Meeresströmungen (s. oben S. 6) gehören auch Nr. 8 und Nr. 34 in Sydow-Wagners ganz neuem method. Schul-Atlas (Gotha 1888).

<sup>270)</sup> S. Zöpplitz in Wied. Ann., III, 1878, S. 602—606, u. Geogr. Jahrb. 1880, S. 62.

<sup>271)</sup> Vgl. oben S. 22.

<sup>272)</sup> O. Krümmel, Morphologie der Meeresräume, Leipzig 1879, S. 28.

<sup>273)</sup> S. oben Anmerk. 42 auf S. 9; vgl. ferner F. J. Evans im Naturforscher 1876, S. 453, von Boguslawski („Ersatz für die durch Triftströme aus niederen Breiten hineingedrängten Wassermassen,“ Geogr. Jahrb. 1878, S. 503) und besonders H. Mohn in Petermanns Mitteil. 1878, S. 10. — Im Gegensatz hierzu vertrat Weyprecht 1872 — in leidlichem Einklange mit der Thermaltheorie — die jetzt haltlose Auffassung, dass der in das Polarbecken reichende Golfstromzweig Ersatz für den ostgrönländischen Polarstrom wäre (s. Geogr. Jahrb. 1872, S. 388; vgl. Mühry, Lehre v. d. Meerestr., S. 38; Weyprecht in Petermanns Mitteil. 1878, S. 352).

<sup>269)</sup> Vgl. Wied. Ann., a. a. O., S. 603 Fig. 2.

<sup>270)</sup> Vgl. z. B. Handb. d. Ozeanogr., II, S. 401 ff.

<sup>271)</sup> Vgl. Zöpplitz in Wied. Ann., a. a. O., S. 604—608; Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., II, Bd., S. 89—90, 90—91.

<sup>272)</sup> Äquat. Meeresstr. S. 43 ff.; vgl. damit Handb. d. Ozeanogr. II, S. 409—412.

<sup>273)</sup> Vgl. Zöpplitz in Wied. Ann., a. a. O., S. 606.

<sup>274)</sup> Das sind Rennéls „Stream currents,“ (vgl. Handb. d. Ozeanogr. II, S. 340), Krümmel nennt sie „freie“ Strömungen (Handb. d. Ozeanogr., II, S. 340, 367); vgl. Reclus' „dérivations“ (s. oben S. 16 u. Anmerk. 116).

durch die dort vorherrschenden Nordwinde unterstützt wird.<sup>280)</sup>

Das Zusammenwirken von Winden und Konfiguration der Meeresbecken springt auch sehr in die Augen, wenn man Passate und Äquatorialströmungen vergleicht<sup>281)</sup>. Die Nordhalbkugel trägt die grossen Landmassen, und diese bewirken bedeutende Auflockerung der Luft, die Südhalbkugel aber ist jetzt die kältere, durchlebt so zu sagen ihre Eiszeit; darum reichen die Südostpassate über den Äquator hinüber, besitzen — im Vergleich zu den Nordostpassaten — „grössere Stärke und Breite“ und führen „eine grosse Menge warmen Wassers von den tropischen Breiten der südlichen Hemisphäre nach der nördlichen“<sup>282)</sup> hinüber. So erklärt sich die verschiedene Ausdehnung der äquatorialen Meeresströmungen, besonders im Atlantic. Die nordhemisphärischen Teile der Weltmeere werden in dieser Weise über das Durchschnittsmass hinaus erwärmt, und dies macht sich besonders in den Breiten nördlich vom 40. Parallel bemerklich, wo sich obendrein „wegen der unbedeutenden Erstreckung der Meere die Wirkung der warmen Meeresströmungen konzentriert“<sup>283)</sup>. Im Gegensatz dazu kommt der nach Norden transportierte Teil des südlichen Wassers „den mittleren und höheren südlichen Breiten nicht zu gute,“ während „der Rest sich in den weitausgedehnten Meeresräumen so zu sagen verliert.“<sup>284)</sup> —

Diese und ähnliche Erörterungen veranlassten Alexander von Woeikof zur Aufstellung der folgenden These:

<sup>280)</sup> Vgl. Peschel-Leipoldt, a. a. O., S. 99; Hann, a. a. O., S. 175.

<sup>281)</sup> S. Peschel-Leipoldt, a. a. O., S. 88; Croll, „Climate and Time in their Geological Relations,“ London 1875, (vgl. Geogr. Jahrb. 1876, S. 11—14); A. von Woeikof in d. Verhandl. d. Ges. f. Erdk., Berlin 1880, S. 151—161.

<sup>282)</sup> Woeikof, a. a. O., S. 153.

<sup>283)</sup> Woeikof, a. a. O., S. 160; vgl. Geogr. Jahrb. 1876, S. 12—13.

<sup>284)</sup> Woeikof, a. a. O., S. 160.

„Die Winde müssen als das erste Motiv der Meeresströmungen anerkannt werden, welche aber wieder von der Lage der Kontinente und Inseln und durch die Gestalt des Meeresbodens beeinflusst werden.“<sup>285)</sup>

Diesen Ausspruch rechtfertigen nicht nur unsere vorstehenden Auseinandersetzungen, sondern auch der neuerdings mehrfach geführte<sup>286)</sup> Nachweis, dass die thatsächlichen Strömungs- und Windverhältnisse einander harmonisch entsprechen, und dass etwaige Widersprüche sich mit Rücksicht auf die Formen des Festen und die durch sie bedingten hydrodynamischen Erscheinungen doch glatt auflösen lassen.

Indirekt auf Winde zurückführbar sind auch kleinere, unbeständige Strömungen. So hat z. B. der dänische Forscher Colding ermittelt, dass infolge eines mächtigen Windstaus die Oberflächen der Ostsee und des Kattegats zwei parallele schiefe Ebenen bilden, welche bei Westwind beide nach Osten, bei Ostwind beide nach Westen ansteigen, und dass hierdurch eine kräftige Gefällströmung durch den Sund bedingt ist, die im ersteren Falle nach Süden, im letzteren nach Norden gerichtet ist.<sup>287)</sup> — Derartige Niveaustörungen kommen aber für die grossen Meeresströmungen nicht in Betracht, da auf bedeutendere Entfernungen hin sich aus ihnen nur ganz winzige Geschwindigkeiten ergeben.<sup>288)</sup> Neuerdings hingegen hat O. Krümmel mit Geschick versucht, eine langsame Vertikal-Zirkulation in west-östlicher Richtung aus dem Windstau abzuleiten, um eine besondere Erklärung für die Wärmeschichtung der Ozeane zu gewinnen.<sup>289)</sup> —

<sup>285)</sup> a. a. O., S. 159. Vgl. Woeikof in d. Zeitschrift d. Ges. f. Erdk., Berlin 1881, S. 237.

<sup>286)</sup> S. Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., II, S. 87—91, 97—102; Hann, Die Erde, S. 174 ff.; Hoffmann, Mechanik d. Meeresstr., S. 28 ff.; besonders aber Krümmel im Handb. der Ozeanogr., II. Bd., Stuttgart 1887, S. 384 ff.

<sup>287)</sup> Vgl. Sklareks „Naturforscher“ 1882, S. 101. Ähnlich ist es wohl bei Gibraltar, s. Handb. d. Ozeanogr. II, S. 296.

<sup>288)</sup> Vgl. Hoffmann, a. a. O., S. 16—18.

<sup>289)</sup> S. Handb. d. Ozeanogr. II, S. 300—324.

Die ganze Windstau-Frage ist übrigens als eine noch in Fluss befindliche zu bezeichnen<sup>290</sup>; unser eigentliches Thema wird davon nicht berührt. —

Ungefähr zu derselben Zeit, als Zöppritz' grundlegende Arbeit erschien, zog John Aitken<sup>291</sup> Schlüsse aus Experimenten,<sup>292</sup> bei denen Wasser in einem Troge, ( — auch in einem Teiche — ) durch einen Blasebalg-Luftstrahl in Bewegung versetzt wurde. Er überzeugte sich so, dass auch im Meere — abgesehen von Unregelmässigkeiten infolge besonderer Gestaltung des Meeresbettes u. s. w. — durch einen Wind diejenige Fortpflanzung der Bewegung in die Tiefe<sup>293</sup> und diejenige Stromteilung beim Anprall gegen eine vertikale Wand entsteht, welche wir bereits als Ergebnisse von Zöppritz' mathematischen Untersuchungen kennen, — dass also „der Wind nur horizontale Strömungen erzeugt und daher nicht die Gegenwart des kalten Wassers erklären kann, das wir am Böden der Ozeane von den Polen bis zum Äquator finden.“<sup>294</sup> Wohl aber erkannte Aitken eine indirekte Beeinflussung jenes kalten Wassers durch die Windwirkung.<sup>295</sup>

Von zwei Querschnitten einer Strömung, von denen der eine „nahe der Stelle, wo der Wind auf sie zu wirken anfängt,“<sup>296</sup> der andere weiter unterhalb gedacht wird, ist letzterer unbedingt grösser

<sup>290</sup> S. oben Anmerk. 86 auf S. 13.

<sup>291</sup> Proc. of the R. Soc. of Edingburgh, IX, übersetzt im „Naturforscher“ 1878, S. 450—452.

<sup>292</sup> Von wem dieser Versuch (für die Windtheorie dasselbe wie Carpenters Wannexperiment für die Thermaltheorie) zuerst angestellt ist, ist mir nicht bekannt.

<sup>293</sup> Dieselbe folgt auch aus praktischen Untersuchungen Colding's, s. Naturf. 1882, S. 102<sub>1</sub>.

<sup>294</sup> Aitken im Naturf. 1878, S. 451<sub>3</sub>.

<sup>295</sup> Hann spricht auch von derselben, (s. Hann, v. Hochstetter u. Pokorny, Allgemeine Erdkunde, Prag 1881, S. 158; Hann, Die Erde, 1884, S. 164; Krümmels diesbezügliche Forschungen sind also nicht neu, im Widerspruch zu Supans Bemerkung im Litteraturbericht zu Petermanns Mitteil. 1886, S. 98, Nr. 426.

<sup>296</sup> Aitken, a. a. O., S. 451<sub>2</sub>.

und wird somit von mehr Wasser (und mit grösserer Geschwindigkeit) passiert als der erstere; dieses Mehr muss die Umgebung liefern, zieht aber demgemäss selbst wieder aspirierend Ersatz heran; das geschieht zu einem Teile von der Seite her, ein Teil aber erhebt sich von dem ruhigen Wasser unterhalb des Oberflächenstromes.<sup>297</sup> Demgemäss ist zu erwarten, dass die obere Grenze des kalten Wassers „in einer geringeren Tiefe unter den Oberflächenströmen gefunden werden wird“<sup>298</sup> als sonst, und dass das aus dem Bereiche der Winde herausgeführte warme Oberflächenwasser an Bewegung verlieren und an Tiefe gewinnen wird. In der That fand Aitken die Bestätigung hierfür an den Profilen der Challenger-Expedition,<sup>299</sup> und neuerdings haben H. Mohn<sup>300</sup> und besonders O. Krümmel<sup>301</sup> es verstanden, mehrere Erscheinungen in den Ozeanen in entsprechender Weise zu begründen. In dem angeführten Momente erkannte Aitken auch eine der Ursachen dafür, dass das kalte Wasser am Äquator, wo die unaufhörlich wehenden Passate Strömungen erzeugen, so hoch heraufreicht.<sup>302</sup>

In dieser Weise tragen die prinzipiell horizontalen, vom Winde erzeugten Strömungen mit<sup>303</sup> bei zu einer vertikalen Wasserbewegung. Dieses Motiv kann aber gewiss erst in zweiter Linie in Frage kommen, wenn es sich um die allgemeine Begründung der langsamen Kaltwasserzufuhr vom „Südozean“ her handelt; — dazu müssen wir vielmehr in erster Linie auf Thomsons, Carpenters und Zöppritz' Erörterungen<sup>304</sup> zurückgreifen.

<sup>297</sup> Aitken, a. a. O., S. 451<sub>2</sub>.

<sup>298</sup> Aitken, a. a. O., S. 452.

<sup>299</sup> S. Petermanns Mitteil. 1874, Tafel 15, und Naturf. 1878, S. 452. Vgl. Hann, Die Erde, S. 157—158.

<sup>300</sup> Petermanns Mitteil. 1884, S. 252 (Ergebnisse der „Vega“-Expedition).

<sup>301</sup> Der Ozean, S. 238—239; Handb. d. Ozeanogr. II, S. 413—414; vgl. Petermanns Mitteil. 1887, Litteraturbericht, Nr. 349, S. 80.

<sup>302</sup> S. oben Anmerk. 197, S. 23.

<sup>303</sup> Vgl. Naturf. 1878, S. 452<sub>3</sub> unten.

<sup>304</sup> S. oben S. 17—18, 24—25.

An die von Aitken untersuchten Thatsachen schliessen sich eng an die „durch Ströme von erheblicherer Geschwindigkeit hervorgerufenen Reaktionsströme“<sup>305)</sup> (besser Aspirationsströme genannt), welche F. L. Ekman in einer Arbeit „On the General Causes of the Ocean-Currents“ eingehend behandelt hat<sup>306)</sup>. Diese Aspiration „setzt die Existenz einer als Strahl sich bewegenden Flüssigkeit voraus“<sup>307)</sup>, welche — bei besonders geformtem Becken — auf die umgebende Wassermasse Saugewirkungen ausübt und so neben sich rückläufige Strömungen hervorruft, wie dies „oft hinter Landvorsprüngen und in Buchten“ und Flussmündungen zu beobachten ist.

So deuten wir mit Zöppritz „die stete Erneuerung“<sup>308)</sup> des kalten Wassers zwischen dem Florida-Strömung und der Ostküste der Vereinigten Staaten; einige warme Strömungen dicht neben arktischen Polarströmen (z. B. in der Baffins-Bai) hielt H. Mohn schon 1878 für ähnliche Aspirationswirkungen<sup>309)</sup>, und Krümmel hat diesen Gedanken in den letzten Jahren weiter verfolgt<sup>310)</sup>. Ekmansche Reaktionsströme können aber nicht nur als seitliche Gegenströmungen, sondern an passenden Stellen auch als vertikale Bewegungen auftreten; ein ausgezeichnetes Beispiel hierfür fand Mohn an dem Nordabhang des unterseeischen Wyville Thomson-Rückens<sup>311)</sup>. Indem der Südwestwind die Golfstromgewässer über diese Bodenschwelle hinübertreibt, werden die obersten Schichten des kalten Wassers der „Eismeertiefe“ mitgerissen und saugen so Ersatz aus der Tiefe herauf, sodass hier dieselbe

Bewegung des Wassers vor sich geht, die Krümmel experimentell in einem kanalartigen Gefässe mit dachförmigem Boden erzielt hat<sup>312)</sup>.

Die Aspiration, welche in der beschriebenen Weise bei besonderer Form des betr. Meeresbeckens wirkt, ist aber auch allgemein thätig, und diese Bedeutung des Kompensationsbedürfnisses hat besonders Krümmel hervorgehoben, sich anlehnend an des alten Varenius Ausspruch: „Cum pars Oceani movetur, totus Oceanus movetur!“<sup>313)</sup> Die treibende Kraft für eine Strömung im Meere sitzt nicht bloss als Winddruck in deren Rücken; das Wasser gehorcht vielmehr gleichzeitig einer Saugewirkung von vorn; denn alle Bewegungen in einer Flüssigkeit bilden ja eine stetige Folge (s. oben S. 27); einer Strömung geht eine andere voraus; für das von dieser fortgeführte Wasser muss das daneben und dahinter liegende Gebiet Ersatz liefern, und so wird eine hier verlaufende Strömung, wenn sie ihre Entstehung auch treibenden Winden verdankt, doch zugleich zu einer „erstattenden Strömung,<sup>314)</sup> zu einem „Kompensationsstrom“<sup>315)</sup>. Auch kann dieses Bedürfnis nach Ersatz für das in „gezwungenen“<sup>316)</sup> Trift-Strömungen weggeführte Wasser, der so verstandene „horror vacui,“ an sich ausschlaggebend für die Entstehung von Strömungen sein, was besonders bei den äquatorialen Gegenströmungen der Fall ist.<sup>317)</sup>

Da die mathematische Untersuchung den verwickelten Verhältnissen der Natur nicht bis ins Einzelne Rechnung tragen, vielmehr nur ideale

<sup>305)</sup> Zöppritz in den Gött. gel. Anz. 1878, Stück 25, S. 796.

<sup>306)</sup> Vgl. Hoffmann, Mech. d. Meeresstr., S. 8, und Handb. d. Ozeanogr. II, S. 359, 457.

<sup>307)</sup> Geogr. Jahrb. 1880, S. 63.

<sup>308)</sup> Geogr. Jahrb. 1880, S. 63; vgl. Hoffmann, a. a. O., S. 54; s. oben S. 13.

<sup>309)</sup> Petermanns Mitteil. 1878, S. 10.

<sup>310)</sup> S. z. B. Handb. d. Ozeanogr. II, S. 434.

<sup>311)</sup> Petermanns Mitteil. 1878, S. 9—10.

<sup>312)</sup> S. Handb. d. Ozeanogr. II, S. 360, Fig. 54.

<sup>313)</sup> Handb. d. Ozeanogr. II, S. 341, 355 ff.; vgl. oben Anmerk. 214 auf S. 25.

<sup>314)</sup> S. Fritz, s. Petermanns Mitteil. 1887, Litteraturbericht Nr. 78, S. 19.

<sup>315)</sup> Krümmel, Handb. d. Ozeanogr. II, S. 367. S. oben S. 20.

<sup>316)</sup> Handb. d. Ozeanogr. II, S. 355, 367.

<sup>317)</sup> S. oben S. 30.

Grenzfälle behandeln kann, so versuchte Krümmel, die vorstehenden Erwägungen experimentell zu begründen; und man muss gestehen, dass die Übereinstimmung der bei den Versuchen erzielten Strombilder mit denen der Ozeane eine geradezu überraschende ist.

In einer 60 cm langen, 30 cm breiten und 6 cm hohen Wanne<sup>315)</sup> wurde Wasser durch einen Dampfstrahl, den ein kleiner Dampfkessel lieferte, in Triftbewegungen versetzt, ohne dass Wellen entstanden. Die Bewegungen wurden oben durch aufgestreutes Sägemehl, unten durch einen eingeführten Tropfen Tinte sichtbar gemacht. Durch Einsetzung von passenden Blechwänden und Blechstreifen konnten die Formen verschiedener Meeresbecken ziemlich gut nachgeahmt werden. Schon die Erzeugung einer einzigen Triftströmung — ein Versuch, der dem von Aitken angeführten entspricht — lehrt die obige Bedeutung der Kompensation kennen: aus der „gezwungenen“ Strömung wurden an der Wand zwei „Derivationen“<sup>319)</sup>, die im Verein mit „erstattenden Strömungen“, welche die Stammströmung in ihrem Rücken herbeisaupte, zu beiden Seiten derselben zwei Strömungszirkel bildeten. Noch deutlicher aber offenbarten sich die „Kompensationsströme“, wenn zwei etwas divergierende Triften erzeugt wurden; aus und zwischen denselben entstand eine kräftige Gegenströmung;<sup>320)</sup> und in der schon angedeuteten Weise liessen sich ähnlich besondere Strombilder herstellen, welche die ozeanischen Strömungsfiguren, z. B. diejenigen des tropischen Atlantic,<sup>321)</sup> widerspiegeln. —

Die Winde, die wir als die wahre erste Ursache für die Entstehung der Meeresströmungen erkannt haben, werden in ihrem Verlaufe wesentlich

<sup>315)</sup> Vgl. Handb. d. Ozeanogr. II, S. 354. S. oben S. 29.

<sup>319)</sup> S. oben S. 30.

<sup>320)</sup> S. Handb. d. Ozeanogr. II, Fig. 50 auf S. 356.

<sup>321)</sup> S. a. a. O., S. 357 u. Fig. 52 auf S. 358; vgl. das oben (S. 33.) Gesagte.

beeinflusst durch die Achsendrehung der Erde; auf der Erkenntnis der Rotationswirkung in Verbindung mit dem Gegensatz zwischen barometrischem Maximum und Minimum beruht ja das Gesetz von Buys Ballot und damit in erster Linie unsere Wetterprognose.<sup>322)</sup> Die vom Winde getriebenen ozeanischen Strömungen sind insofern indirekt auch von der Erdrotation abhängig; letztere übt aber überhaupt auf alle Strömungen eine ablenkende Wirkung aus, auf der nördlichen Halbkugel nach rechts, auf der südlichen nach links. Dieselbe ist besonders von W. Ferrel<sup>323)</sup> und neuerdings in etwas reichlicher Masse von P. Hoffmann<sup>324)</sup> betont worden.

Die Ablenkung richtet sich nach der Geschwindigkeit der Strömung und dem Sinus der geographischen Breite, wie Zöppritz elementar bewiesen hat.<sup>325)</sup> Bei der geringeren Geschwindigkeit der Meeresströmungen im Vergleich zu derjenigen der Luftströmungen kann bei den ersteren aber diese Kraft nur dann eine deutliche Wirkung erzielen, wenn diese Strömung nicht mehr andern treibenden oder ziehenden Kräften unterthan ist. Als solche aber werden wir doch wohl nicht nur die auch von Hoffmann berücksichtigten Winde anzusehen haben, sondern an manchen Stellen auch ein nicht zu unterschätzendes Kompensationsbedürfnis, dem gegenüber die Rotation kaum sich geltend zu machen imstande ist.<sup>326)</sup>

Die Achsendrehung der Erde vermag demnach nur bei „Derivationen“ und schwächeren „Ersatz-

<sup>322)</sup> Vgl. Hann, Die Erde als Weltkörper, etc., S. 95 ff., 100—101, 127 ff.

<sup>323)</sup> Vgl. Handb. d. Ozeanogr. II, S. 332.

<sup>324)</sup> Zur Mechanik der Meeresstr., Berlin 1884, S. 9 ff., besonders S. 13—14.

<sup>325)</sup> Verhandl. des zweiten deutschen Geographentages in Halle a. S., 1882, S. 48.

<sup>326)</sup> So glauben wir mit Mohn und Krümmel (Handb. d. Ozeanogr., II, S. 433—435) die nach Grönland gerichteten Golfstromzweige begründen zu können — gegen Hoffmann (a. a. O., S. 87—91).

strömungen“ als ablenkendes Motiv in Erscheinung zu treten;<sup>327)</sup> ausserdem bewirkt sie nach Mohns Forschungen<sup>328)</sup> eine geringe Niveauveränderung des ganzen Stromgebiets. —

Mit Hilfe der (von S. 27 an) genannten Faktoren lassen sich die Meeresströmungen in Bezug auf Entstehung und Verlauf jetzt in ausreichender Weise erklären; auch bei diesen Erscheinungen sind — was so häufig nicht bedacht wird — immer mehrere Ursachen gleichzeitig thätig, und nur die Berücksichtigung des Ineinandergreifens derselben lässt uns zum Erfassen des kausalen Zusammenhanges der Thatsachen gelangen. Dass in diesem Sinne nunmehr Theorie und Erfahrung in Einklang stehen, ist in eingehendster Form von Krümmel im zweiten Bande des Handbuchs der Ozeanographie<sup>329)</sup> im vergangenen Jahre dargelegt worden; — hier müssen wir natürlich von einer Reproduktion dieser umfangreichen Arbeit absehen.

Die Ergebnisse unserer Betrachtung fassen wir in folgenden Sätzen<sup>330)</sup> zusammen:

1) Die für die Meeresströmungen massgebenden Ursachen sind mechanischer Art, während die physikalischen Momente (Salzgehalt, Temperatur, spezifisches Gewicht, Verdunstung u. s. w.) nur lokale Bedeutung haben.

2) Die erste Entstehung von Meeresströmungen ist auf unaufhörlich oder vorherrschend wehende Winde (Passate in den niederen, Westwinde in den höheren Breiten) zurückzuführen (Zöppritz).

<sup>327)</sup> Vgl. Krümmels genauere Auseinandersetzung dieser Frage im Handb. d. Ozeanogr., II, S. 362—365, 368. Vgl. oben S. 13.

<sup>328)</sup> Ergänzungsheft Nr. 79 zu Petermanns Mitteil. 1885, S. 10 ff.

<sup>329)</sup> a. a. O., S. 384—511; vgl. Hoffmann, a. a. O., S. 28—90.

<sup>330)</sup> Vgl. Krümmels Sätze im Handb. d. Ozeanogr., II, S. 367—368, 371—372.

3) Durch vorgelagerte Küsten entstehen aus diesen Triften Abzweigungen, Derivationen, „freie“ Ströme.

4) Bei allen Strömungen ist eine Ausgleichung zur Aufrechterhaltung der Kontinuität wirksam, und manche Strömungen sind in erster Linie als Kompensations- oder „erstattende“ Ströme aufzufassen.

5) Auf die Richtung der Strömungen übt die Erdrotation eine geringe ablenkende Wirkung aus, welche aber bei Strömen, die noch einer anderen kontinuierlichen Kraft unterworfen sind, verschwindend klein ist. —

Zum Schluss möge noch einmal der Verhältnisse in den Meerestiefen gedacht werden.

Wenn auch die mathematisch-physikalische Analyse des Windeffekts (s. oben S. 28—29) ergeben hatte, dass, wenn keine anders gerichteten Strömungen in der Tiefe vorherrschen, die Geschwindigkeit der Wasserbewegung erst auf dem Boden den Wert Null erreicht, so sind doch die Voraussetzungen, welche den Ausgangspunkt für diese Untersuchung bildeten, so einfach, dass wir den komplizierten Verhältnissen der Meere gegenüber nicht wagen dürfen, daraus Schlüsse zu ziehen, dass es uns vielmehr genügen muss, durch jene Arbeit des unvergesslichen Professor Zöppritz zu wissen, dass überhaupt die Windwirkung sich in die Meerestiefen fortpflanzen kann. Andererseits ist uns ja bekannt, dass die gesamte gewaltige Masse des fast gleich kalten Tiefenwassers aller Ozeane in einem ganz langsamen, stetigen Vorwärtsdringen vom „Südozean“ her begriffen ist (s. oben S. 7—9) und dass die obere Schicht, in der die Meeresströmungen verlaufen, dieses Tiefenwasser nur wenig beeinflusst.<sup>331)</sup> „Die Grenze zwischen der oberen Zone, wo das Wasser durch die Windströmungen beeinflusst wird, und der unteren Zone, in

<sup>331)</sup> S. oben S. 32; Thomson im „Naturforscher“ 1876, S. 342; Krümmel, Der Ozean, S. 132.

der die Temperaturen kontinuierlich sind mit denen des Südozeans,“ scheint nach Wyville Thomsons Ermittlungen überall etwa von den submarinen Isothermen von 4° und 5° C gebildet zu werden,<sup>332)</sup> deren Verlauf ein ziemlich ebener ist, während durch sie an der Oberfläche gleichzeitig die Nordgrenze des Südozeans<sup>333)</sup> bezeichnet wird. „Die Temperatur des darunter liegenden kalten Wassers stammt aus einer anderen Quelle, und seine Verteilung wird von anderen Gesetzen bestimmt.“<sup>334)</sup> Im Anschluss an unsere früheren Betrachtungen

<sup>332)</sup> Naturforscher 1876, S. 322. Mit dieser Grenzangabe harmonieren auch Mohns Ergebnisse in betreff des arktischen Wassers; vgl. z. B. Petermanns Mitteil. 1878, Tafel I, Durchschnitt 1; Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., II, S. 51.

<sup>333)</sup> S. oben S. 7; Peschel-Leipoldt, a. a. O., II, Fig. 4, 5; Krümmel, Ozean, Fig. 35.

<sup>334)</sup> Thomson (Challenger-Bericht) im Naturf. 1876, S. 342.

(s. oben S. 17—18, 24—25) verweisen wir in dieser Beziehung hier nur auf Thomson, Carpenter und Zöppritz. Ein näheres Eingehen darauf gehört nicht zu unserm Thema; klar machen aber muss man sich, dass dieses Tiefenwasser eine ungeheure Mulde bildet und dass auf dieser eine nicht so mächtige Schicht ruht, in welcher sich die grossen Meeresströmungen abspielen.

Wie diese durch das Zusammenwirken verschiedener Ursachen, deren wichtigste der Atmosphäre entstammt, entstehen, so verdankt umgekehrt das Luftmeer viele meteorologischen Vorgänge dem Meere und seinen Strömungen; — und indem der denkende Geist die im Vorstehenden aufgeführte Erklärung des Ursprungs der ozeanischen Strömungen erzielt hat, ist ihm aufs neue zum Bewusstsein gekommen das grossartige, bewundernswürdige Ineinandergreifen des Luft- und des Wasserreiches!