

# Sitzungsberichte

der

mathematisch-naturwissenschaftlichen  
Abteilung

der

Bayerischen Akademie der Wissenschaften

zu München

---

1926. Heft II  
Mai- bis Julisitzung

---

München 1926

Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften  
in Kommission des Verlags R. Oldenbourg München

## Bemerkungen über die Tiefenströme der Ozeane und ihre Beziehungen zur Antarktis.

Von **E. v. Drygalski.**

Vorgelegt in der Sitzung am 12. Juni 1926.

Indem ich mein vor kurzem abgeschlossenes Werk „Ozean und Antarktis“ (Deutsche Südpolar-Expedition, Bd. VII, W. de Gruyter und Co., Berlin 1926) vorlege, seien einige der darin niedergelegten Ergebnisse unserer Tiefsee-Forschungen mitgeteilt, nachdem ich in zwei früheren Vorträgen (Sitzungsberichte der mathematisch-naturwiss. Klasse 1924, S. 2\*, S. 13\*, S. 157) über die Oberflächenströmungen im Atlantischen und Indischen Ozean, sowie über neue Feststellungen im Bodenrelief des letzteren gesprochen hatte. Unsere Tiefsee-Forschungen sind auf die Erkenntnis der großen Wasserumsätze zwischen der Antarktis und den niederen Breiten gerichtet gewesen, wie man sie früher aus dem Vorhandensein kalter Wassermassen am Boden der Ozeane wohl erschließen, doch im einzelnen nicht verfolgen konnte. Diese Umsätze haben wir sowohl direkt verfolgt, nämlich durch Strommessungen im Schelfmeer des antarktischen Kontinents vor dem Rande des Inlandeises, als auch indirekt durch Beobachtungen der Temperatur-Salz-Gas-Plankton- und Bakterien-Werte des Meerwassers vom Schelfmeer an bis zum südlichen Wendekreis im Indischen Ozean, sowie bis zum nördlichen Wendekreis im Atlantik. Unsere Beobachtungen zeigen die Entwicklung der verschiedenen Wasserarten von bestimmtem physischen und biologischen Charakter von der Antarktis her bis in äquatoriale und bis in nördliche Breiten, sowie umgekehrt. Das vorgelegte Werk enthält 170 Seiten in Großquart mit zahlreichen Beobachtungstabellen, 7 Textzeichnungen, einer farbigen Profiltafel und 3 farbigen Karten.

Ein Hauptergebnis ist, daß sich im antarktischen Schelfmeer nördlich vom Gaußberg vor dem Rande des Inlandeises eine kalte ( $t = -1,85^{\circ}$ ) und relativ salzarme ( $S = 34,4^{\circ}$ ) Wassermasse von über 400 m Mächtigkeit befindet, die in der Jahresperiode — von den allerobersten Lagen abgesehen — nahezu konstante physische Eigenschaften hat, das typische Polarwasser. Sie wird dort in dieser Dicke, das ist bis gegen den Boden hin, durch die Winde bewegt und zwar — der herrschenden östlichen Richtung der Winde und dem ihnen annähernd parallelen Küstenverlauf, sowie dem Einfluß der Erdrotation entsprechend — in den obersten Lagen gegen die Küste hin und darunter bis über 300 m Tiefe zu ihr parallel in westnordwestlicher bis nordwestlicher Richtung. Die letztere ist der Ursprung des Polarwasserstroms, dessen Wasser ich aber nicht als Eisschmelzwasser bezeichnen möchte, weil es konstante Eigenschaften hat und bis rund 400 m Tiefe hinabreicht, während das typische Eisschmelzwasser nur nahe an der Oberfläche liegt und im Salzgehalt immer lebhaft schwankt, in der Temperatur auch, doch weniger stark. Das Polarwasser muß vielmehr als ein Grenzzustand des Ozeans aufgefaßt werden, wie er sich in anderer Ausbildung an allen Kontinentalküsten findet. Es hat vor der antarktischen durch das Inlandeis und dessen Auflösung seine konstante thermische und haline Fassung erhalten, nämlich Minimalwerte beider, wenn man die Horizontal-Entwicklung von Temperatur und Salzgehalt des Meerwassers zwischen Äquator und Pol betrachtet. Da das Polarwasser aus dem Schelfmeer nordwestlich abströmt, muß ozeanisches Wasser an anderer Stelle zum Inlandeis herangeführt werden, um vor dessen Rand jenen konstanten Grenzzustand zu erlangen. Dieser Ersatz erfolgt nach unseren Beobachtungen im Gaußberg-Gebiet nicht direkt von Norden her, weder an der Oberfläche noch in der Tiefe. Wo und wie er erfolgt, könnte ich hier nur vermutungsweise besprechen und lasse diese Frage deshalb zunächst unerörtert. Es kann ein Oberflächenstrom oder auch ein Tiefenstrom sein, der jenen Ersatz in anderen antarktischen Räumen zum Inlandeis heran und dann an ihm ostwestlich entlang führt.

Wir konnten den Polarwasserstrom an oder nahe unter der Meeresoberfläche bis über den  $55^{\circ}$  s. Br. nach Norden verfolgen. Da die Küste sich westlich vom Gaußberg gegen WSW

wendet, biegt der Strom von ihr ab und aus dem Schelfmeer hinaus. Denn es drängen ihn auch die der Küste vorgelagerten Schelfeismassen aus der westnordwestlichen in die nordwestliche Richtung. Er verlor außerhalb des Schelfmeers, in welchem er über 300 m dick war, an Mächtigkeit und hatte eine wellig geformte Unterfläche. Seine Temperatur stieg bis jenseits  $55^{\circ}$  s. Br. langsam zu rund  $+ 0,7^{\circ}$  an, während sich sein Salzgehalt gleichzeitig kaum veränderte. Da dieser sich in der Westwindtrift also nicht verringert, liegt nach unseren Beobachtungen kein Anlaß vor, jenen regenreichen Breiten einen Einfluß auf seinen Minimalwert zuzuschreiben, und man kann diesen deshalb nur aus dem Schelfmeer und vom Inlandeis herleiten.

Nördlich von  $55^{\circ}$  s. Br. sank der Polarwasserstrom unter und zwar bis etwa  $45^{\circ}$  s. Br. zu 900 m Tiefe, dann langsam weiter, um im Indischen Ozean am südlichen Wendekreis um 1300 m Tiefe zu liegen. Im Atlantischen haben wir ihn von der Breite des Kaps der guten Hoffnung sogar bis über den nördlichen Wendekreis nach Norden hinaus überall um 1000 m Tiefe gefunden. Seine Temperatur lag am südlichen Wendekreis des Indischen Ozeans schon bei  $+ 6,6^{\circ}$ , doch sein Salzgehalt nur um  $0,1^{\circ}$  höher, wie im antarktischen Schelfmeer, nämlich bei  $34,5^{\circ}$ . Im Atlantischen Ozean lag die Temperatur am nördlichen Wendekreis um  $+ 8^{\circ}$  und der Salzgehalt um  $35,2^{\circ}$ . Das ist eine bemerkenswerte Konstanz in den physischen Eigenschaften dieses Polarwassers auf seinem weiten Weg vom antarktischen Inlandeis her durch zwei Ozeane, da die Temperatur von der Antarktis bis in und durch die Tropen hindurch nur ganz langsam steigt, und der Salzgehalt sich so wenig verändert. Im Bereich dieses Polarwassers liegt ein Maximum des Meerwassergehalts an Nitrat + Nitrit-Stickstoff, das sich im Betrage von 0,5 mgr pro Liter vom Schelfmeer her verfolgen läßt, und anscheinend auch eine reichere Entwicklung des Planktons, als — im Vertikalschnitt — darüber und darunter.

Über dem Polarwasser liegt das Oberflächenwasser, und zwar von Süden her bis über  $55^{\circ}$  s. Br. nach Norden hinaus von ganz geringer, dann mit dem Absinken des Polarwassers von zunehmender Mächtigkeit und von klimatisch oder durch Strömungen bedingten wechselnden Eigenschaften. Es ist innerhalb des Eises

meistens, freilich nicht immer, als Eisschmelzwasser entwickelt, doch außerhalb des Treibeises in der Westwindtrift nur noch selten. Für das Schmelzwasser ist im Vergleich zum Polarwasser außer der geringen Dicke und der Lage unmittelbar an der Oberfläche der geringere und sehr wechselnde Salzgehalt charakteristisch, während die Temperaturen beider sich angleichen. Es läßt sich deshalb vom Polarwasser gut unterscheiden und sollte auch durch die Benennung — eben als Eisschmelzwasser — abgetrennt werden. Denn was man von den wechselnden Erscheinungen der Eisschmelze sieht, ist in ihm zu finden, während die gleichmäßige Auflösung des Inlandeises in dem konstanten Zustand des Polarwassers erscheint. Auch wird ersteres nur von Oberflächenströmungen oder von flachen Windtriften bewegt, während das Polarwasser jenen zuerst nahe der Oberfläche liegenden, dann zur Tiefe sinkenden Stromverlauf hat.

Unter dem Polarwasser liegt eine mächtige Wassermasse, die noch am Rande des antarktischen Kontinentalschelfs etwa  $2^{\circ}$  wärmer und um  $0,2^{\circ}$  salzreicher ist als das Polarwasser. Es kann beide Eigenschaften nur in niederen Breiten angenommen haben und darf als Tropenwasser aufgefaßt werden, das sich in der Tiefe aus den niederen Breiten nach Süden bis zum Rande des antarktischen Kontinentalschelfs in wesentlich horizontalem Strom bewegt. In das flache Schelfmeer an der Gauß-Station südlich von Kerguelen ist es nur noch in Spuren eingetreten, und auch das nur im Sommer. Es kommt dort also nicht bis zum Inlandeis hin.

Dieses Tropenwasser geht unten in größerer Tiefe — ich habe etwa 2000 m angenommen — ohne bestimmte Abgrenzung in das ozeanische Bodenwasser über und dürfte sich, wie einige meiner Beobachtungen zeigen, mit diesem vielfach mischen, gleichwie es sich oben mit den unteren Lagen des Polarwassers in Wellungen mischt. Da das Bodenwasser schon am Schelfrande der Antarktis etwa  $1,5^{\circ}$  wärmer als das Polarwasser ist, auch etwa  $0,2^{\circ}$  salzreicher, steht es in beiden Eigenschaften, besonders aber im Salzgehalt, dem Tropenwasser näher, denn es unterscheidet sich von diesem in der Temperatur nur um  $0,5^{\circ}$  und im Salzgehalt fast gar nicht. Ich fasse das Bodenwasser deshalb als Tropenwasser auf, das sich am Schelfrande mit dem ihm dort entgegen strömenden

Polarwasser wellt und mischt, dadurch abgekühlt wird, schwerer wird und zu Boden sinkt, während sein Salzgehalt im allgemeinen unverändert bleibt und nur inselartige Einschlüsse von Wassermengen mit anderem Salzgehalt erhält. Das ist möglich, weil die Hauptmasse des Polarwassers ja über dem Tropenwasser nach Norden abströmt und sich bei den Begegnungen am Rande des Schelfs die Massen weniger selbst mischen als in ihren Temperaturen angleichen. Es ist ja eine von mir und anderen Forschern wiederholt betonte Erfahrung, daß sich die Temperaturen verschiedener Wasserarten bei der Begegnung schneller als ihre Salzwerke angleichen. Jedenfalls kann das Bodenwasser seine Temperatur dort nur in der Tiefe durch konvektive Abkühlung des Tropenwassers erhalten haben, nicht aber klimatisch an der Oberfläche, da es im Gaußberggebiet unter dem Polarwasser bleibt und an die Oberfläche gar nicht herankommt. Auch steht es ja im Salzgehalt dem Tropenwasser nahezu gleich.

Mein Buch behandelt auch die Art und Entstehung dieser großen, wesentlich horizontalen Wasserumsätze, die sich in der obigen Gliederung der Tiefsee kundgeben. Darnach hängt die Erregung des Tropenwasserstroms indirekt mit dem Sonnengange zusammen, denn sie schwillt mit diesem im Sommer der südlichen Hemisphäre an und dann in Spuren bis ins Schelfmeer hinein. Das Polarwasser, das ihm entgegen strömt und sich in seiner Hauptmasse über ihm nach Norden verbreitet, doch am Schelfrande auch mit ihm verzahnt und mischt, wird durch die Winde bewegt, und zwar oben zugleich mit den dünnen Schmelzwasserlagen darüber, unter dem gleichzeitigen Einfluß der Erdrotation, gegen die Küste hin, darunter als Windstaustrom zuerst zur Küste parallel, dann von ihr abbiegend aus dem Schelfmeer hinaus. Dieser letztere ließ sich im Schelfmeer durch direkte Messungen bis rund 400 m Tiefe verfolgen; nördlich vom Schelf war er weniger mächtig und hatte eine wellige Unterfläche, mit der er an das entgegen gerichtet strömende Tropenwasser grenzt. Das Absinken des Polarwassers nördlich von 55° s. Br. habe ich durch ihm entgegen wirkende warme Oberflächenstromäste also dynamisch zu begründen gesucht und seine Weiterentwicklung nach Norden um 1000 m Tiefe durch Dichteunterschiede. Hiernach würden die Windströme bis etwa 400 m Tiefe reichen und

darunter konvektive Bewegungen herrschen. Die großen im wesentlichen horizontalen Strömungen des Bodenwassers vom Schelf der Antarktis bis in nördliche Breiten, wie des Tropenwassers darüber in umgekehrter Richtung bis zum Schelf der Antarktis und des Polarwassers nach seinem Absinken zu 1000 m Tiefe erscheinen durch Dichteunterschiede bestimmt.

Die hier mitgeteilten Anschauungen entstanden aus Beobachtungen auf der Deutschen Südpolar-Expedition 1901/03 und haben mich nun über 20 Jahre beschäftigt. Sie sind in meinem hier zur Vorlage gebrachten Buch „Ozean und Antarktis“ für den Indischen und für den Atlantischen Ozean ausführlich begründet worden. Grundlagen dafür — nämlich das Salzminimum um 1000 m Tiefe, welches die Verbreitung des Polarwassers anzeigt —, habe ich schon in einem vorläufigen Bericht von der Expedition her berührt (Veröffentl. d. Instituts f. Meereskunde, Heft I, Berlin 1902, S. 47 f. und Tafel IV; O. Krümmel in Ann. d. Hydr. 1902, S. 394). Näheres, auch ein entsprechendes Strombild, bringt schon mein früheres Werk „Das Eis der Antarktis und der subantarktischen Meere“ (Deutsche Südpolar-Expedition, W. de Gruyter und Co., Bd. I, S. 667/69, Berlin und Leipzig, ausgegeben im Dezember 1920). Hieraus geht die originale Entstehung und Entwicklung meiner Anschauungen zur Genüge hervor.

Ganz entsprechende originale Anschauungen hat W. Brennecke auf der Deutschland-Expedition 1911/12 im Atlantischen Ozean und im antarktischen Weddellmeer gewonnen und in seinem Werk „Die ozeanographischen Ergebnisse der deutschen antarktischen Expedition 1911/12, Hamburg 1921 niedergelegt, desgleichen schon früher in Berichten von der Expedition her angegeben (Annalen der Hydrographie 1911, S. 644). Sein Verdienst war es, den Ring der großen horizontalen Wasserumsätze des Polar-, Tropen- und Boden-Wassers, wie ich es oben unterschieden habe, dadurch wesentlich vervollständigt zu haben, daß er als erster einen nordatlantischen Tiefenstrom als den Spender jenes Tropenwassers erkannte und entwickelte, wie es bis zum Rande des antarktischen Kontinentalschelfs am Gaußberg, wie im Weddellmeer vordringt. Die von mir als Polarwasserstrom bezeichnete Bewegung über demselben hat W. Brennecke auch genau verfolgt und als subantarktischen Zwischen-

strom bezeichnet, weil er in subantarktischen Breiten zur Tiefe sinkt. Er hat dabei an der wesentlich antarktischen Natur dieses Wassers auch nicht gezweifelt und sie in der Weddellsee ganz ähnlich beobachten können, wie ich im Gaußberggebiet. Dieser antarktischen Herkunft wegen möchte ich meine Bezeichnung als „Polarwasserstrom“ für geeigneter halten, wie die seinige als „subantarktischer Zwischenstrom“, da jene von dem Ursprungsgebiet des Wassers hergenommen ist und diese nur aus der Region, wo es bei gleichbleibenden Eigenschaften seine Tiefenlage verändert. Denn seine Eigenschaften stammen aus dem Schelfmeer her, wie ich schon S. 281 erwähnte.

Von großer Wichtigkeit ist es endlich gewesen, daß A. Merz und G. Wüst jene großen horizontalen Wasserumsätze, wie sie oben besprochen wurden, auch in den früher nicht so gedeuteten älteren Beobachtungen des „Challenger“ und der „Gazelle“ nachgewiesen haben, indem sie diese genauer sichteten und reduzierten, als es früher geschehen war. Sie haben auf Grund dessen ein Strombild entworfen, welches mit den von W. Brennecke und mir aus der Antarktis gewonnenen Vorstellungen durchaus in Einklang steht, auch in einem Punkt — weitere Ausschaltung von Vertikalströmen — über das von Brennecke hinausgeht. Dagegen blieb der Ursprung des Polarwasserstroms und auch des Bodenwassers bei ihnen naturgemäß unbestimmter, da ihr Material nicht, wie die Beobachtungen des „Gauß“ und der „Deutschland“, bis zum Rande des antarktischen Kontinentalschelfs und bis zum Inlandeis reicht, von wo wir die Entstehung und Entwicklung der beiden nordwärts gerichteten Bewegungen des Polar- und des Bodenwassers verfolgen konnten. (A. Merz zunächst in Verhandl. des Leipziger Geogr.-Tages, Berlin 1922, S. 144 ff. Dann mit G. Wüst in Zeitschr. d. Berliner Ges. f. Erdkunde 1922, S. 1 ff., S. 277 ff., S. 288 ff., 1923, S. 132 ff.; Sitzungsberichte der Preuß. Akademie der Wissenschaften, Sitzung der phys.-math. Klasse vom 26. November 1925, S. 562 ff.)

Durch die letztgenannten Arbeiten von A. Merz und G. Wüst und ihr darauf gegründetes organisatorisches Wirken ist der große Plan der in Ausführung begriffenen deutschen Atlantischen Expedition an Bord des „Meteor“ entstanden, auf der sein Urheber, A. Merz, seinen tief zu beklagenden, tragischen Tod fand. Wir

dürfen aber hoffen, daß Kapitän Spieß und seine Gefährten das Werk fortsetzen und zur Vollendung bringen. Wir dürfen dann vom Meteor die genaue Festlegung der Tiefen-Lagen und -Grenzen jener großen Wasserumsätze erhoffen, von denen oben die Rede war und welche die der Antarktis zugewandten Expeditionen des „Gauß“ und der „Deutschland“ auf ihrem Wege dorthin naturgemäß im einzelnen ebensowenig bestimmen konnten, wie die älteren ozeanischen Expeditionen des „Challenger“ und der „Gazelle“. Dafür haben „Gauß“ und „Deutschland“ im Eise selbst und damit an den Quellen der großen Polar- und Bodenwasser-Bewegungen arbeiten können. Diese Quellen liegen am Rande des Inlandeises und des antarktischen Kontinentalschelfs.

Ich habe diese kurze historische Entwicklung unserer Anschauungen über die Tiefen-Bewegungen der Ozeane und ihren Zusammenhang mit der Antarktis hier mitgeteilt, weil sie neuerdings durch A. Penck wiederholt und zuletzt in der deutschen Literaturzeitung 1926, Nr. 19 bei einer Besprechung meines Buches eine sachlich und historisch irreführende Darstellung erfahren haben. Ich gehe auf Pencks Darlegungen nicht im einzelnen ein, weil sie teils persönlich sind, teils meine Ergebnisse in denen von anderen oder in solchen, die angeblich bei mir fehlen, so eingesponnen haben, daß die Entwirrung kein sachliches Interesse hat. Ich habe deshalb oben nur einige Punkte meines Buches nochmals genau präzisiert (Schichtungen der Tiefsee, Entstehung des Polar- und Bodenwassers, Mischungen, Grenzzustand). Über die Beziehungen der verschiedenen Anschauungen sind ja auch anders als bei Penck lautende Darlegungen inzwischen erschienen, z. B. von L. Möller, Assistent am Berl. Instit. f. Meereskunde (Verhandl. des Breslauer Geographentages, Berlin, Dietrich Reimer, 1926, S. 138) und von G. Schott (Naturwissenschaften, XIV. Jahrgang, S. 489). Ich kann denselben beitreten, sie auch ergänzen.

---