

Werk

Titel: Berliner Seenstudien und Meeresforschung

Autor: Merz, Alfred

Ort: Berlin

Jahr: 1912

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?391365657_1912 | LOG_0049

Kontakt/Contact

Digizeitschriften e.V.
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de

Berliner Seenstudien und Meeresforschung.*

Von Dr. Alfred Merz.

Zwei Forschungsrichtungen, die fast ausnahmslos getrennt betrieben werden, wage ich heute zusammenzufassen. Doch hoffe ich dabei der Zustimmung der Limnologen und Ozeanographen nicht zu entbehren; denn diese Trennung ist nicht natürlich und von keiner Seite erwünscht, sondern wohl ausnahmslos durch äußere Verhältnisse erzwungen. Ihrem Wesen nach gehören Seen- und Meereskunde zusammen, die eine ist die wichtigste Hilfswissenschaft der anderen. Denn eine ganze Reihe von Problemen ist beiden hydrographischen Disziplinen gemeinsam, und die Verschiedenheit der äußeren Bedingungen ermöglicht es bald durch Meeresforschung, bald durch Seenstudien die Lösung zu finden und sie beiden fruchtbar zu machen.

Die riesenhafte geschlossene Ausdehnung der Ozeane schaltet den Einfluß des Landes von großen Gebieten ganz aus und gestattet hydrographische und biologische Verhältnisse in ihrer freien, durch keine scharfen Schranken gehemmten Entwicklung zu verfolgen. Es wird damit der richtige Maßstab gewonnen, an dem jene Faktoren gemessen werden können, die jedem einzelnen See im Gegensatz zum einheitlichen erdumschließenden Ozean ein besonderes Gepräge geben. Es sind dies die räumliche Beschränktheit, die geographische Lage und der mit abnehmender Größe bis zu extremen Graden steigende Einfluß der umschließenden Landmassen besonders auf Thermik, Chemie und Biologie der Seen.

Nicht minder bedeutsame Dienste können Seenstudien der Meeresforschung leisten. Denn viele Probleme bieten die Seen in einfacherer, leichter lösbarer Form. Entbehren doch die meisten von ihnen des differenzierenden Salzgehaltes und alle, ihrer Kleinheit wegen, der Gezeiten. Auch die Wellenbewegung hält sich deshalb in viel engeren Grenzen, und dies gewährleistet wieder eine erhöhte Exaktheit der Untersuchung. Da die Form der Seen häufig sehr einfach und die Größe sehr gering ist, so können alle hydrographischen und biologischen Vorgänge mit Leichtigkeit über den ganzen See verfolgt und ohne große Hilfsmittel und Kosten selbst Jahre hindurch unter Kontrolle gehalten werden.

So bieten die Seen der Ozeanographie die wundervolle, bisher leider nur wenig benützte Gelegenheit, gleichsam Experimente im großen durchzuführen. Wie der Mathematiker bei Lösung einer Aufgabe vorerst zur Vereinfachung der Annahmen, wie der Physiker zum Experiment schreitet,

*) Vortrag, gehalten in der Allgemeinen Sitzung vom 2. Dezember 1911.

so sollte sich der Meeresforscher in vielen Fällen der Seeuntersuchung bedienen, um die Klärung mancher schwieriger ozeanographischer Probleme anzubahnen.

Wird den meisten Ozeanographen diese so wünschenswerte Verbindung der beiden Forschungsrichtungen aus äußeren Gründen sehr erschwert, so ist das Institut für Meereskunde in Berlin infolge des Seereichtums seiner Umgebung in der glücklichen Lage, neben der Ozeanographie auch der Limnologie einen Teil seiner Tätigkeit widmen zu können. Diese Seen bieten die dreifache Möglichkeit, die Studierenden jederzeit im Gebrauche der hydrographischen Instrumente zu üben, Aufgaben der Seenkunde zu lösen und die dabei gewonnenen Erfahrungen und Resultate der Meereskunde fruchtbar zu machen. Dadurch wird der Nachteil, den man für Forschung und Lehre am Institut für Meereskunde aus seiner Binnenlage vielleicht folgern könnte, zum großen Teil wettgemacht, ganz abgesehen davon, daß nunmehr das Institut an der Adria, in Rovigno, einen maritimen Stützpunkt besitzt.

Es hat denn auch bereits Professor Alfred Grund, als er noch am Institut für Meereskunde wirkte, seine Aufmerksamkeit auf die Seen der Umgebung geworfen und, unterstützt durch die Ortskenntnisse seines Privatassistenten Herrn Adolf Schroer, den Sakrower See bei Potsdam als ausgezeichnetes Arbeitsfeld für die Aufgaben des Instituts erkannt. Die leichte Erreichbarkeit, seine einfache Form und beträchtliche Tiefe (37 m), sowie die außerordentlich langsame Umsetzung seiner Wassermassen durch den unbedeutenden Zufluß und den schmalen, 1.5 m tiefen Kanal zur Havel machen ihn für die erwähnten Zwecke besonders geeignet.

So wurden bereits im Jahre 1909 am Sakrower See eine Reihe von Untersuchungen vorgenommen, deren interessante Ergebnisse in der Internationalen Revue für Hydrobiologie und Hydrographie publiziert wurden.

Als weiterhin die Zahl der Studierenden beträchtlich zunahm und das Instrumentarium des Instituts immer mehr vervollständigt wurde, da konnten auch die Übungen und Arbeiten einen weit größeren Umfang annehmen, nach einem auf Jahre hin entworfenen Plane systematisch durchgeführt und auf ein großes Endziel hin gerichtet werden. Dieses Endziel soll bestehen in der Aufhellung des Problems von den Beziehungen zwischen der Beschaffenheit des Seewassers und dem Lebensprozesse seiner Bewohner. Mag dieses Vorhaben vielleicht allzu kühn erscheinen, so empfiehlt es sich doch für die Arbeiten des Instituts für Meereskunde. Denn einerseits verlangt die Durchführung ein Zusammenarbeiten der verschiedensten Zweige der Hydrographie, wofür die Bedingungen an einem großen Institut noch am ehesten gegeben sind, andererseits würde die Lösung eine

wesentliche Vorarbeit für die Bearbeitung des analogen, aber noch viel schwierigeren Problems der Ozeanographie bedeuten.

Vorerst erfordert die Annäherung an das in der Ferne schwebende Endziel eine Reihe von Vorarbeiten. Muß doch vorher das physikalische und chemische Verhalten des Seewassers in allen Tiefenschichten und zu allen Jahreszeiten genau studiert werden, müssen doch auch die Organismen nach Art und Zahl das ganze Jahr hindurch verfolgt und sollen die Bodenablagerungen genau analysiert werden. Von diesen Voruntersuchungen ist ein nicht unbeträchtlicher Teil bereits durchgeführt worden, und ich möchte hier einige Hauptergebnisse flüchtig skizzieren, jedoch nicht ohne vorher einige Worte über Hilfsmittel und Arbeitsmethoden gesagt zu haben.

Das Institut für Meereskunde verfügt leider nur über eine Marinejolle, deren Fortbewegung an die Ruderkraft ihrer Insassen beträchtliche Anforderungen stellt. Ohne das selbstlose Entgegenkommen eines Privatmannes, des Herrn L o h m a n n in Nikolassee, der durch lange Zeit sein Motorboot zur Verfügung stellte, wäre es unmöglich gewesen, das große Arbeitsprogramm stets durchzuführen. Die Jolle ist nunmehr für die Seeuntersuchungen so gut als möglich eingerichtet. Ein solider Eichenschrank dient zur Aufbewahrung, ein Arbeitsmast mit zwei Auslegern zum Hinablassen und Heraufholen der Instrumente. Von den Winden wird der Draht über die an den Auslegern befestigten Meterräder geführt, deren Umdrehungen die abgelassene Drahtlänge auf wenige Zentimeter genau angeben und kostspielige Lotmaschinen ersetzen. Sie wurden auch bei der genauen Auslotung des Sees benutzt, die Herr Dr. Walter B e h r m a n n, unterstützt von einem Stabe von Geographen, leitete.

Für die hydrographischen Zwecke wurden die von der internationalen Meeresforschung verwendeten exakten Instrumente und Apparate erstmalig zur Seeuntersuchung mit bestem Erfolge herangezogen. Ekmannsche Wasserschöpfer dienen zum Aufholen der Wasserproben, die Richterschen Kippthermometer, deren Temperaturangaben auf wenige Hundertstelgrade genau sind, zur Untersuchung der Wärmeverhältnisse. Nach den Resultaten des Hydrographen richtet der Biologe seine Arbeit ein. Ihm ist der zweite Arbeitsmast zugeteilt, der zum Fieren und Hieven des Schlauches dient, durch den aus genau festgestellter Tiefe ein bestimmtes Wasserquantum herausgepumpt wird, um es auf seinen Organismengehalt sorgfältig quantitativ zu untersuchen. Denn eine Feststellung aller für das Problem bedeutsamen Faktoren nach Maß und Zahl ist eine der wichtigsten Vorbedingungen für die Lösung des Endproblems. — Da es meist erforderlich war, an mehreren Stationen gleichzeitig zu arbeiten oder an einem einzigen Tage dreißig und mehr Stationen zu untersuchen, so mußte zur Mietung primitiver Fischerkähne geschritten werden, die dann recht und schlecht

für die Arbeiten adaptiert wurden. Im Winter trat anstelle der Boote die Arbeit vom Eis aus.

Die eingehendste Erforschung haben bisher die Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse erfahren. Seit Februar 1909 wurden sie fortlaufend verfolgt und von April 1910 bis Mai 1911 wurden diesen Fragen fünfzig gleichmäßig über das Jahr verteilte Arbeitstage gewidmet.

Eine in alle Einzelheiten eindringende Feststellung des jährlichen Temperaturganges für alle Tiefenschichten ist eines der Hauptresultate. Es ist mir hier nicht möglich, auf die hochinteressanten Details einzugehen. Sie werden ihre ausführliche Erörterung in einer umfangreichen Arbeit von Herrn Georg Schickendantz finden. Nur die Hauptpunkte sollen hier gestreift werden. Der Gang und die vertikale Verteilung der Temperatur ist charakterisiert durch große Gleichförmigkeit im Winter, wo von der Oberfläche bis zum Boden fast gleiche Temperatur herrscht, und durch große Gegensätze im Sommer, wo, wie zu erwarten, die Oberflächenschicht sich hoch erwärmt. Überraschender, aber auch schon bisher bekannt, ist die Erscheinung, daß mit zunehmender Tiefe das Wärmemaximum immer später eintritt und bereits in 11 m Tiefe auf Anfang November verschoben ist. Noch wenig bekannt ist eine weitere Tatsache, die unsere Arbeiten zeigen, daß die untersten Wasserschichten im Gegensatz zur Oberschicht die größten Temperaturänderungen nicht im Sommer, sondern im Vorfrühling und Spätherbst erleiden. Vollständig neu und im ersten Moment frappierend ist die Feststellung, daß der See eine Schicht aufweist, wo das Wasser gerade in der wärmsten Jahreszeit, in den Monaten der höchsten Oberflächentemperaturen, an Wärme verliert.

Diese und eine Reihe anderer Erscheinungen, die auch durch die chemischen und planktonischen Befunde bekräftigt wurden, zwangen uns dazu, unsere Anschauungen über den jährlichen Wärmegang eines Sees zu revidieren und besonders über die Genesis der Sprungschicht neue Gesichtspunkte aufzustellen, worüber ich vor einiger Zeit eine kurze Abhandlung publizieren konnte; die eingehende Behandlung wird erst Schickendantz bringen.

Auch jene merkwürdigen Schwankungen in der Tiefenlage der Sprungschicht, welche durch die wundervollen Untersuchungen am Loch Ness in Schottland erst vor kurzer Zeit entdeckt wurden, konnten am Sakrower See nachgewiesen werden. Sie wurden von den schottischen Limnologen bekanntlich als stehende Schwingungen der beiden durch die Sprungschicht getrennten, verschieden dichten Wassermassen erklärt. Sie treten am Sakrower See nicht nur in der Längsachse, sondern auch als Querschwingung auf und beeinflussen die Temperaturverteilung so stark, daß gelegentlich die Flächen gleicher Temperatur an dem einen Ende des Sees

um 4—7 m tiefer als an dem anderen liegen. Dies entspricht einem Gefälle von 2—3,5 ‰ und muß Ausgleichsströmungen hervorrufen.

Vollkommen neue Tatsachen bieten eine Reihe von Temperaturuntersuchungen, die im vergangenen Sommer mehrere Tage hindurch von zehn zu zehn Minuten im Gebiete der Sprungschicht vorgenommen wurden. Die Veranlassung dazu boten neben theoretischen Überlegungen die Erfahrungen, die gelegentlich bei rasch wiederholten Messungen in der Sprungschicht gemacht wurden. Es zeigte sich, daß solche Wiederholungen selbst bei exaktestem Arbeiten oft Temperaturdifferenzen bis zu einem Grad ergaben. Die systematische Durchführung rasch aufeinanderfolgender Beobachtungen hat nun hochinteressante Resultate gezeigt. Es zeigte sich nämlich neben dem bereits erwähnten langsamen Auf- und Abpendeln der Sprungschicht von ungefähr 5 Stunden Dauer ein ziemlich regelmäßiges An- und Absteigen der Temperatur mit einer Periode von ungefähr 25—30 Minuten, das wir aus einer fortschreitenden Wellenbewegung im Gebiete der Sprungschicht glauben ableiten zu dürfen. Durch diese Ergebnisse erhalten unsere analogen, freilich viel weniger umfassenden Beobachtungen an der Adria eine bedeutsame Stütze.

Diese Resultate der thermischen Arbeiten stehen in erfreulicher Übereinstimmung mit unseren Beobachtungen über den Sauerstoff- und Planktongehalt des Wassers. Zum leichteren Verständnis der Ergebnisse möchte ich darauf hinweisen, daß nach unseren Untersuchungen der See im Winterhalbjahre eine homogene Wassermasse enthält, die alle Strömungsimpulse bis zum Grund vordringen läßt, während er im Sommer aus zwei getrennten Schichten besteht, die sich infolge ihrer Dichtedifferenz nicht miteinander mischen, so daß sich Bewegungsvorgänge nur innerhalb einer jeden Schicht abspielen, ohne daß sie von der einen in die andere übergreifen. Auf dieser Grundlage lassen sich nicht nur die erwähnten Eigenheiten im Jahresgang der Temperatur, sondern auch Sauerstoff- und Planktonverteilung verstehen.

Der Sauerstoffgehalt ist nämlich im Winter, wenn die Wassermischung bis zum Boden greift und dadurch immer wieder sauerstoffgesättigtes Wasser von der Oberfläche hinabgeführt werden kann, in allen Schichten gleich hoch. Sobald sich aber eine sommerliche Sprungschicht entwickelt, wird die unterlagernde Wassermasse von der Kommunikation mit der Lieferantin des Sauerstoffs, der Atmosphäre, abgeschnitten, und der Sauerstoff nimmt hier immer mehr ab, bis er schließlich gänzlich verschwindet. Er wird durch die Lebensprozesse der Organismen verbraucht, und an seine Stelle tritt der lebensfeindliche Schwefelwasserstoff. Wenn aber im Herbst die Sprungschicht tiefer und tiefer sinkt, dann kann auch die Wassermischung wieder weiter abwärts greifen, und Sauerstoff dringt schließlich abermals bis zum Grund vor, während gleichzeitig der Schwefelwasserstoff verschwindet.

Dieses Auftreten von Schwefelwasserstoff in den Tiefen von Binnenseen, das durch die Untersuchungen des Herrn Schickendantz das erstmal nachgewiesen wurde, verdient besondere Beachtung, denn es ist von großer Bedeutung auch für praktische Zwecke, besonders für die Fischerei.

Die im innigen Konnex mit der Hydrographie ausgeführten biologischen Untersuchungen haben gezeigt, daß das Plankton in viel engerer Abhängigkeit von den hydrographischen Verhältnissen steht, als vielfach angenommen wird. Das auffälligste Ergebnis der von Herrn Hugo Behrens durchgeführten Untersuchungen ist die enge Beziehung zwischen Sprungschicht und Planktonmenge. Jede Beobachtungsserie zeigte ihre einschneidende Bedeutung für das organische Leben, meist in der Weise, daß unterhalb die Planktonmenge rasch auf geringe Quantitäten abnahm. Wir können allerdings heute die Art der Beziehung noch nicht immer vollkommen durchschauen und können nur konstatieren, daß sie für die einzelnen Komponenten durchaus nicht ganz gleichartig ist. Im Winterhalbjahr dagegen, wenn die Sprungschicht verschwunden, die Wassermasse homogen geworden und der Sauerstoff wieder bis in die Bodenschichten vorgedrungen ist, dann ist auch das Plankton gleichmäßig in der Vertikale verteilt.

Eine noch recht rätselhafte Erscheinung ist das Auftreten eines Maximums lebender Planktonten in großer Tiefe, dessen Lage sich im Laufe des Spätsommers und Herbstes allmählich nach oben verschiebt. Die Weiterführung der Untersuchungen wird hoffentlich auch diese Fragen klären.

Ist schon die limnologische Tätigkeit des Instituts für Meereskunde etwas durch den Mangel eines geeigneten Fahrzeuges erschwert, so galt dies vor der Verbindung mit Rovigno in noch viel höherem Grade für die maritimen Arbeiten. Sollte dennoch nicht auf selbständige Forschungstätigkeit verzichtet werden, so mußte versucht werden, irgendwie anders aufs Meer hinaus zu gelangen. Die außerordentliche Förderung, welche die kaiserliche Marine und zivile Behörden sowie die Norddeutschen Seekabelwerke diesen Bestrebungen zuteil werden ließen, haben in den letzten Jahren in der Tat eine ausgedehnte ozeanographische Betätigung ermöglicht.

In erster Linie wurde die Deutsche Bucht der Nordsee als Arbeitsfeld in Betracht gezogen. Denn einerseits war sie nicht in das Bereich der Internationalen Meeresforschung einbezogen worden, und andererseits boten sich hier Stützpunkte für die Untersuchungen in den Feuerschiffen, welche die Deutsche Bucht umgürten.

So wurde nach einer von Professor Grund geleiteten Voruntersuchung auf den Elbfeuerschiffen die Deutsche Bucht als erstes Arbeitsgebiet ge-

wählt. Das Institut trat zu diesem Zweck in Kooperation mit der Biologischen Anstalt auf Helgoland, welche den biologischen Anteil übernahm. Als Arbeitspunkte wurden die Feuerschiffe Borkum Riff, Norderney, Elbe I und Amrum Bank gewählt, die in ziemlich gleichen Abständen die Küste der Deutschen Bucht begleiten. Hier sollte in jeder Jahreszeit mehrere Tage hindurch gearbeitet werden.

Der Plan der hydrographischen Untersuchungen mußte sich natürlich den speziellen Verhältnissen des Arbeitsgebietes anpassen. — Während unsere Seen ihre interessanteste Eigentümlichkeit in der Entwicklung einer Sprungschicht haben, auf die sich die Hauptaufmerksamkeit der Beobachter konzentrieren muß, ist die Deutsche Bucht gerade durch entgegengesetztes Verhalten charakterisiert. Außerordentlich gleichförmig sind in diesem seichten und stürmischen Meere Salzgehalt und Temperatur von der Oberfläche bis zum Grund angeordnet, große Differenzen gibt es nur in der Horizontalen. Warm sind gegenüber der offenen See die Küstengebiete im Sommer und relativ kalt im Winter; stets sind sie aber salzarm infolge der einmündenden Süßwässer. Bedeutsam sind die Gezeiten in der Deutschen Bucht, und sie müssen nicht nur den Wasserbewegungen ihr Gepräge geben, sondern auch die Verteilung von Temperatur und Salzgehalt beeinflussen. Sollte daher mehr als bloß ein Beitrag zur Kenntnis der jahreszeitlichen Veränderungen der hydrographischen Verhältnisse erreicht werden, dann mußten die Gezeitenerscheinungen zu einem Hauptobjekt des Studiums gemacht werden. Dies konnte nur erzielt werden, wenn weit über den gewöhnlichen Umfang hydrographischer Untersuchungen hinaus in regelmäßig wiederholten Beobachtungsserien Stromrichtung und Geschwindigkeit, Temperatur und Salzgehalt gemessen wurden. So sollten denn auf allen Feuerschiffen während einer Woche mindestens jede zweite Stunde die genannten Faktoren in allen Tiefenschichten beobachtet werden.

Nur die Winteruntersuchungen wurden durch die berüchtigten Stürme in der zweiten Februarhälfte dieses Jahres vereitelt, sonst wurde das ganze große Programm, das Tausende und Tausende von Beobachtungen einbrachte, glatt und, trotz sehr schwieriger Witterungsverhältnisse, ohne Verlust von Instrumenten durchgeführt. Daß dies so glücklich gelungen ist, und daß die Exaktheit der Beobachtungen nichts zu wünschen übrig läßt, zeigt recht eindringlich den großen Nutzen, welchen die intensive Schulung der Studierenden durch die vorbereitenden Arbeiten auf Seen gewährt.

Die Überfahrt zu den Feuerschiffen, deren Benützung von den betreffenden Regierungen auf das Entgegenkommendste gestattet wurde, geschah teilweise auf Regierungsdampfern, meist aber auf Fahrzeugen der

kaiserlichen Marine, der das Institut dafür zu größtem Danke verpflichtet ist. Die Arbeiten an Bord der Feuerschiffe, deren Besatzung auf willigste jede Hilfe leistete, geschahen mit denselben Instrumenten, die wir bei den Seeuntersuchungen benutzt hatten. Backbord und Steuerbord wurde je ein Ausleger als Arbeitsmast angebracht und mit Meterrad und Draht versehen. Auf der einen Seite wurde der Wasserschöpfer mit Kippthermometer, auf der anderen Seite der Strommesser angebracht. Die zur Aufnahme der Wasserproben bestimmten Kisten wurden als Arbeitstische montiert, und bei dieser Anordnung ließ sich zu zweit gut arbeiten.

Die Verarbeitung des riesigen Materials wird am Institut von Herrn *Fritz Wendicke* durchgeführt. Sie ist nunmehr soweit vorgeschritten, daß es möglich ist, einige Hauptresultate der Sommerexkursion zu überblicken.

Allenthalben sind, wie vorauszusehen war, die Gezeiten das dominierende Phänomen in den hydrographischen Erscheinungen. Entgegen dem Sinne des Uhrzeigers dreht der Gezeitenstrom in allen Tiefen von Flut auf Ebbe und von Ebbe auf Flut, wobei er seine größten Geschwindigkeiten nahe am Mittelwasser, seine geringsten dagegen zur Zeit von Hoch- und Niedrigwasser erreicht. Doch verhielten sich Flut- und Ebbestrom recht verschieden. Stets hatte der Flutstrom seine größte Geschwindigkeit in den obersten Wasserschichten, wenn auch ähnlich wie die Flüsse nicht unmittelbar an der Oberfläche, sondern etwas tiefer. Die Abnahme der Geschwindigkeit mit der Tiefe war sehr beträchtlich. Anders der abfließende Ebbestrom. Er erreichte in den oberen Wasserpartien nur geringe Stärke, und erst in halber Tiefe oder noch näher dem Boden erlangte er das Maximum seiner Kraft. Diese Tatsachen geben uns ein Bild von dem Bau der küstennahen Gezeitenwelle, das in mancher Hinsicht an die Brandungserscheinungen an einer Flachküste erinnert. Wie dort im kleinen die brandende Welle mit überbrechenden Kämmen von obenher auf die Küste zustürzt, so besitzt hier im Großen der landwärts gerichtete Flutstrom die höchste Geschwindigkeit in der Oberschicht. Und wie dort das Wasser am Boden entlang als Sog abläuft, so kehrt hier im großen der Ebbestrom mit besonderer Mächtigkeit in der Tiefe zurück. Wenn er nicht in unmittelbarer Nähe des Grundes seine größte Geschwindigkeit erreicht, so dürfen wir darin auch eine Einwirkung der Reibung erblicken. Allerdings scheint auch der zyklonale Nordsee-Strom diese Entwicklung nicht unbeträchtlich zu beeinflussen. Anders liegen natürlich die Verhältnisse in der Elbe, wo mit der Ebbe das leichte Elbwasser abwärts strömt, das nur in der Oberschicht zum Abfluß gelangen kann.

Diese Gezeitenströme werden besonders durch drei Faktoren in ihrer Reinheit gestört. Ganz allgemein durch den zyklonalen Strom der Nordsee,

zeitlich durch stürmische Witterung und lokal durch die Anordnung der Tiefenverhältnisse. Bekanntlich umkreist die Nordsee eine Meeresströmung von West über Süd nach Nord. Auch aus unseren Beobachtungen konnte der vom Gezeiteneinfluß befreite resultierende Strom abgeleitet werden, der während der Beobachtungszeit allerdings nicht ganz dem durchschnittlichen Schema entsprach. Jedenfalls ergab aber diese Berechnung die interessante Tatsache, daß der resultierende Strom mit der Tiefe rasch abnahm. Dies ist nun von großem Einfluß auf die Gezeitenströme. Dieselben werden in den Oberschichten durch den kräftigen Strom verhindert, die normale Rotation auszuführen. Sie wird vielmehr in eine Zickzackbewegung auseinandergezogen, die selbst in der halben Wassertiefe noch klar hervortritt. Nur in den untersten Schichten bleibt die rotatorische Bewegung fast völlig erhalten, so daß sich hier ein Wasserteilchen nach Ablauf einer halbtägigen Gezeitenperiode nur wenig von seinem ursprünglichen Platze entfernt, während ein Oberflächenteilchen weit von seinem Ausgangspunkt abkommt. — Die gewaltigen Stürme der Nordsee sind das zweite Element, das die Gezeitenerscheinungen in hohem Grade beeinflußt, da sie Richtung und Stärke der resultierenden Strömung wesentlich modifizieren. Braust zum Beispiel ein mächtiger West- oder Nordweststurm auf das Land zu, so werden die Oberschichten mit beträchtlich erhöhter Geschwindigkeit gegen die Küste gedrängt, wodurch der Weg des Gezeitenstroms noch mehr ausgezogen wird. Aber noch größer ist der Einfluß auf die Tiefenschichten. Denn der Wasseranstau an der Küste erzeugt einen Überdruck, der zur Entwicklung eines seewärts, also gegen den Sturm gerichteten Tiefenstroms führt, der nun die normale rotatorische Form des Gezeitenstroms der Tiefe stört. Es ist mithin bei diesen Untersuchungen gelungen, im Meer durch Strommessungen ein Zirkulationssystem nachzuweisen, das bisher für Seen in ähnlichen Fällen nur indirekt aus Temperaturmessungen erschlossen werden konnte.

Nicht minder deutlich ist die Wirkung der Tiefenverhältnisse auf die Gezeitenströme. Besonders bei Feuerschiff Amrum Bank läßt sich dies nachweisen. Hier liegt nordöstlich der Beobachtungsstelle die nur 8 m Wassertiefe aufweisende Bank. Sie bildet ein Hindernis für die normale Herausbildung des Tiefenstroms, der hier nicht regelmäßig rotiert, sondern den seichten Nordostquadranten fast überschlägt, so daß der Gezeitenstrom rasch von der Ebbe- in die Flutrichtung überspringt.

Vergleicht man den Gang der Temperatur- und Salzgehaltswerte mit den Gezeitenströmungen, so tritt eine enge Beziehung unverkennbar hervor. Allerdings ist dies nicht in jedem einzelnen Falle leicht zu ersehen und manchmal ist auf den ersten Blick kaum mehr festzustellen, als daß auch hier wie bei den Strömungen selbst die Erscheinungen in der Tiefe

viel regelmäßiger als an der Oberfläche sind. Doch das Bild klärt sich außerordentlich, wenn wir die Temperatur- und Salzgehaltsbeobachtungen nach den halbtägigen Gezeitenperioden übereinanderlegen und durch diese Methode andere Perioden und Störungen ausscheiden. Wir erhalten dann besonders für Feuerschiff Amrum Bank ein Bild von wundervoller Klarheit. Regelmäßig steigt in der ganzen Wassersäule mit der Dauer des Flutstroms der Salzgehalt und sinkt die Temperatur. Wenn dagegen Ebbestrom eintritt, kehrt sich das Verhältnis um: der Salzgehalt beginnt zu fallen und die Temperatur zu steigen. Befreit man die beobachteten Temperatur- und Salzgehaltswerte von diesen Gezeitenschwankungen, so zeigen sie einen recht einförmigen Verlauf. Dies ist ein weiterer Beweis, daß hier die Gezeiten die Hauptursache der kurzperiodischen, recht beträchtlichen Veränderung sind. Welchen Wert würde die höchste Genauigkeit von Einzelbeobachtungen haben, wenn die eine zufällig nahe an Hochwasser, die andere nahe an Niedrigwasser fällt? Wir müssen aus unseren Untersuchungen folgern, daß selbst in einem so wenig differenzierten Gebiet wie die Nordsee die Forderung gilt, daß viele wichtige hydrographische Erscheinungen nur durch ausgedehnte Beobachtungsreihen der Erklärung zugänglich gemacht werden können.

Führten diese Untersuchungen das Institut auf das Meer hinaus, so hat das unschätzbare Entgegenkommen der Norddeutschen Seekabelwerke auch die Möglichkeit einer ozeanischen Betätigung gesichert. Denn die Seekabelwerke erklärten sich bereit, einen Beamten des Instituts an Bord des Kabeldampfers „Stephan“ zu nehmen, um die Legung der Teilstrecke Monrovia—Pernambuco auch der Wissenschaft dienstlich zu machen. Dieses Anerbieten war von um so größerem Werte, als die für die Kabellegung nötige Lotungsreihe quer durch die Tropen des Atlantischen Ozeans führte, einem ebenso hochinteressanten, als von modernen Expeditionen nur wenig bearbeiteten Gebiete. Vom Institut zur Teilnahme an der auf Januar dieses Jahres festgesetzten Ausreise bestimmt, konnte ich alle Vorbereitungen für ein möglichst umfassendes Programm treffen, dessen Ausführung durch die große Hilfsbereitschaft, die ich an Bord fand, sehr erleichtert, ja größtenteils überhaupt erst ermöglicht wurde. In Verwertung der Erfahrungen, die bei den bereits angezogenen Arbeiten gemacht worden waren, plante ich, alle überhaupt auszuführenden Beobachtungen in möglichst kleinen Zeitintervallen regelmäßig zu wiederholen.

So wurden bereits auf der Ausreise vom Kanal bis in den Golf von Guinea jede zweite Stunde meteorologische, sowie hydrographische Oberflächenbeobachtungen angestellt und nur von 12 $\frac{1}{2}$ Uhr nachts bis 4 Uhr

morgens eine größere Pause eingeschoben. Aus den Ergebnissen dieser in Fahrt angestellten Beobachtungen möchte ich hier nur ein Resultat hervorheben, das im nordwestafrikanischen Kaltwassergebiet erzielt wurde. Während sich sonst die Beobachtungen zu einer sehr regelmäßigen, sanft geschwungenen Kurve zusammenfügen, wird sie hier viel reicher bewegt. Temperaturdifferenzen von $2,3^{\circ}$ kamen innerhalb zweier Stunden zur Beobachtung. Und dieses Auf- und Absteigen vollzieht sich nicht regellos, wie man es bei zufälliger Mischung verschieden temperierter Wassermassen erwarten müßte, sondern mit auffallender Periodizität. Um ungefähr 12 Stunden fallen die Maxima auseinander. Es drängt sich unwillkürlich der Gedanke auf, daß hierin Gezeitenbewegungen zum Ausdruck kommen. Diese vielleicht kühn erscheinende Annahme erhält eine wesentliche Unterstützung durch weitere Beobachtungen auf meiner Reise, durch Untersuchungen von Helland-Hansen anlässlich der atlantischen Expedition des Michel Sarß im Sommer vergangenen Jahres und vor allem durch die jüngst von Knudsen publizierten Ergebnisse dänischer Arbeiten bei den Fär-Öer-Inseln, die dartun, daß die Tiefenwasser durch die Gezeiten nicht nur bewegt, sondern auch in Temperatur und Salzgehalt merklich beeinflusst werden. Es ließe sich daraus folgern, daß solche Erscheinungen in unserem Gebiete auch an der Oberfläche auftreten könnten, da ja hier Tiefenwasser emporquillt.

Die Hauptaufgaben boten sich jedoch erst bei der Lotungsreise von Monrovia nach Pernambuco. An 100 Lotungen wurden auf diesem Querprofil, zum Teil in sehr engen Abständen, gelegt. Während der Lotungen lag das Schiff ungefähr eine Stunde still, und diese Zeit konnte für die Durchführung hydrographischer Serienmessungen ausgenützt werden. Die Schiffs- und Expeditionsleitung förderten dies nach Kräften. Es wurde mittschiffs für die hydrographischen Arbeiten ein Ausbau errichtet, der eine sichere Führung des Drahtes gewährleistete und vor allem die gefährliche Reibung am Schiffskörper verhinderte. Zum Auf- und Abholen der Instrumente stand eine von mehreren Matrosen bediente Kabelwinde zur Verfügung, und ein zwischengeschalteter Dynamometer diente zur Abschwächung der Stampfbewegung des Schiffes. Mit diesen Einrichtungen war es möglich, 64 Lotungen für hydrographische Zwecke auszunützen und Temperatur- und Salzgehaltsuntersuchungen bis 800 m Tiefe anzustellen, ohne daß irgend ein Verlust an Draht oder Instrumenten eintrat. Dadurch ist nunmehr ein mit modernen Mitteln gewonnenes Querprofil durch die Tropen des Atlantischen Ozeans festgelegt.

Soweit diese Beobachtungen verarbeitet sind, bestätigen sie einerseits die Hauptzüge der Temperaturverteilung in den gequerten Stromgebieten, wie sie bereits vorher bekannt waren, andererseits fügen sie eine

Reihe weiterer Züge dem bekannten Bilde hinzu. So ließ sich an der Küste von Liberia ein bisher nicht erwähntes Kaltwassergebiet nachweisen, und die Salzgehaltsbeobachtungen im westlichen Teil des Arbeitsgebietes ergaben ein Minimum bei 650—700 m Tiefe.

Besonders interessante Ergebnisse wurden aber dadurch erzielt, daß in Verwertung der an der Adria und am Sakrower See gemachten Erfahrungen über rasche Veränderungen im Gebiete der Sprungschicht, dieser besondere Beachtung in Form häufig wiederholter Beobachtungen geschenkt wurde. Dadurch gelang es, die wichtige Tatsache nachzuweisen, daß auch auf offenem Ozean die Lagerung der Flächen gleicher Temperatur und gleichen Salzgehaltes durchaus keine horizontale und daher stabile ist. Und auch der Abfall dieser Flächen in Staugebieten, sowie der Anstieg in Auftriebsgebieten geht durchaus nicht gleichförmig vor sich. Vielmehr gleiten die Isothermobathen und Isohalinen mit Amplituden von hundert und mehr Metern auf und ab, und die Bewegung ist immer dort am größten, wo verschiedene Wassermassen übereinander liegen. Ob diese Erscheinungen stets in einer zeitlichen Aufeinanderfolge, oder ob sie, wie manche Ozeanographen geneigt sind anzunehmen, gelegentlich auch auf einem örtlichen Nebeneinander beruhen können, muß in jedem einzelnen Fall sorgfältig untersucht werden. Jedenfalls liegen die Beobachtungsdifferenzen weit außerhalb jedes Beobachtungsfehlers und führen uns immer wieder vor Augen, wie eng auch auf dem Ozean die Stationen angelegt werden sollen. Sie zeigen uns aber auch, daß aus Beobachtungsdifferenzen zwischen verschiedenen Expeditionen nicht ohne weiteres auf fehlerhafte Ergebnisse da oder dort geschlossen werden darf.

Trotz der Kürze der für die Beobachtungen verfügbaren Zeit war es noch möglich, während mehrerer Tage über 50 brauchbare Strömungsmessungen bis 250 m Tiefe auszuführen. Ich habe eine neue, einfache Methode der Strommessung angewendet und erprobt. Sollte sie sich, wie ich aus äußeren und inneren Gründen bestimmt zu hoffen wage, auch weiterhin und in größeren Tiefen bewähren, so würde ich in der Einführung dieser Methode einen wesentlichen Gewinn aus meiner Fahrt ersehen. Denn sie würde uns in die Lage setzen, eine der wichtigsten Aufgaben der Meeresforschung, nämlich Strömungsmessungen, in der Tiefsee in größerem Umfange auszuführen, während bisher die Erfüllung dieser Forderung an dem Mangel einer rationellen Methode gescheitert ist. Die Strömungsmessungen sind während der Lotungen von Bord des Kabeldampfers „Stephan“ aus angestellt. Sollen gute Resultate erhalten werden, dann ist es nötig, daß bei der Ausführung ein ähnlicher Vorgang eingehalten wird wie bei den Lotungen des „Stephan“, den ich nunmehr skizzieren will. Das Schiff wurde sorgfältig in den Strom eingestellt, so daß es weder nach

Backbord noch nach Steuerbord schwaite. War dies erreicht, so wurde nur so viel Dampf gegeben, daß das Schiff noch ein wenig vom Strom zurückgetrieben wurde. Dann ging das Lot vom Bug aus zur Tiefe, so daß es etwas nach vorn ausstand. Auf den nunmehr leicht sichtbaren Treffpunkt des Lotdrahtes in die Wasserfläche wurde langsam zuggedampft, bis der Draht senkrecht stand. Dies Resultat zu erzielen, ist allerdings nicht leicht, aber bei der glänzenden Navigierung an Bord des Kabeldampfers wurde es fast immer erreicht. Des weiteren war es nicht so schwierig, den Draht auch durch längere Zeit in der senkrechten Lage zu erhalten. So lange aber der Draht senkrecht steht, kann der Schiffsort als praktisch unverändert betrachtet werden. Denn sobald das Schiff von seiner Position abkäme, würde sich der Draht schräg stellen und schließlich reißen, da er sich mit seinen tieferen Partien und dem Lotgewicht in Wasserschichten befindet, die jedenfalls nur minimal bewegt sind. Es konnte demnach, sobald bei einer Lotung der Draht die senkrechte Lage erreicht hatte, mit Strommessungen begonnen werden. Und ich glaube, daß diese Methode mehr Sicherheit bietet als die Strommessung von einem einfach verankerten Schiff aus, dessen Schwaiven nur schwer, dessen Gieren gar nicht kontrolliert werden kann. Und doch haben die Versuche des niederländischen Instituts für Meeresforschung und unsere Arbeiten ergeben, daß an Bord einfach verankerter Feuerschiffe mit gutem Erfolg gearbeitet werden kann. Die wichtigsten Gründe für die Verlässlichkeit der angewandten Methode sehe ich aber in den Ergebnissen selbst. So gaben die in 15 m Tiefe ausgeführten Beobachtungen, die mit Rücksicht auf den eisernen Schiffskörper anstelle von Oberflächenbeobachtungen traten, Stromrichtungen und Geschwindigkeiten, die mit den Resultaten aus der sorgfältigen Besteckrechnung sehr wohl übereinstimmten. Ferner harmonisieren die Ergebnisse der Einzelmessungen miteinander und geben klare, verständliche Bilder. So zeigen alle zwischen 19—29° w. L. und 2½° N. bis 2° S. ausgeführten Messungen analoges Verhalten. Der Oberflächenstrom kommt ausnahmslos aus dem nordöstlichen Quadranten, wir befinden uns daher in einem einheitlichen Stromgebiet. Je weiter wir aber in die Tiefe dringen, um so mehr dreht der Strom nach rechts und nimmt an Stärke ab. Diese Erscheinungen zeigen sowohl die Mittelwerte der einzelnen Beobachtungstage als auch, in besonderer Reinheit, das Gesamtmittel aller Beobachtungen aus dem erwähnten Gebiet: der Oberflächenstrom kommt aus Ostnordost mit einer Geschwindigkeit von 50 cm in der Sekunde (1 Seemeile in der Stunde); in 50 m Tiefe kommt der Strom aus Ost und hat 30 cm sec. Geschwindigkeit, in 100 m Tiefe kommt er mit 20 cm in der Sekunde aus Südost und in 150 m mit gleicher Geschwindigkeit aus Südwest. Auch bei diesen Untersuchungen bestätigte sich wieder die Erfahrung, daß eine vereinzelt Serie nicht einer

weitergehenden Auswertung unterzogen werden kann, ohne daß man Gefahr läuft, zu irrigen Schlüssen zu gelangen. Denn meine Beobachtungen zeigen ebenso wie die bereits erwähnten Messungen von Helland-Hansen, daß die Strömungen in den verschiedenen Tiefen selbst wieder eine Drehbewegung besitzen, deren sichere Erklärung erst umfassendere Beobachtungsreihen ermöglichen werden.

Wenden wir nach diesem kurzen Bericht unseren Blick vorwärts auf diejenigen Aufgaben der Ozeanographie, die in nächster Zukunft der Lösung harren, so fühle ich die Pflicht, hier an dieser für den Fortschritt der Geographie so bedeutsamen Stelle die Überzeugung auszusprechen, daß die Meereskunde infolge der großen Errungenschaften besonders des letzten Jahrzehnts nunmehr ebenso wie einst vor fast 40 Jahren in ein Stadium getreten ist, das berechtigt, aber auch gebietet, an die Bearbeitung von Problemen heranzutreten, die von größter Tragweite für die gesamte Geophysik sind.

Der Boden der Tiefsee birgt in seiner Sedimentschichtung das Geheimnis von gewaltigen Krustenbewegungen, die er erlitten hat. Wir vermögen heute in langen Stanzröhren uns diese Zeugnisse heraufzuholen und auszuwerten für geologische Vorgänge, die Flächen von riesigen Dimensionen betroffen haben. Konnten wir bis vor kurzem nur die Wasserbewegung an der Oberfläche des Weltmeeres verfolgen, so stehen uns nunmehr Mittel zu Gebote, um in die großen Tiefen einzudringen und das Problem von den internen Wasserbewegungen in Angriff zu nehmen und Vorgänge direkt durch Messung nachzuweisen, die bisher nur indirekt erschlossen werden konnten. Der durch die neuesten Arbeiten erbrachte Beweis, daß durch feine Luftdruckmessungen und besonders durch Strom-, Temperatur- und Salzgehaltsbeobachtungen auch auf der Hochsee der Wechsel von Ebbe und Flut nachgewiesen werden kann, gewährt uns die Möglichkeit, durch systematische Untersuchungen den Fortschritt der Gezeitenwelle über die Ozeane festzustellen und so die Lösung eines der größten Probleme der Physik der Erde anzubahnen.

Wir müssen im Hinblick auf die Größe dieser Aufgaben, denen chemische und biologische Fragen von eminenter Bedeutung zur Seite stehen, die Überzeugung ausdrücken, daß eine großzügig angelegte Tiefsee-Expedition heute das dringendste Bedürfnis der Ozeanographie ist. Wie die englische Challenger-Expedition ihre unsterblichen Erfolge nicht nur dem glänzenden Stab ihrer Gelehrten, sondern auch dem Umstande verdankt, daß sie reif gewordene große Probleme im richtigen Zeitmoment erfaßte, so könnte auch jetzt wieder eine solche Expedition die reichsten Ergebnisse ernten. Und ich glaube, daß diesmal das deutsche Volk frisch zugreifen sollte, sich diese Erfolge zu sichern und eine neue Großtat seinen ozeanographischen Leistungen hinzufügen.