ANNALEN

DER

CHEMIE UND PHARMACIE.

CLXVII. Band.

Ueber die Luft des Meerwassers; von *Oscar Jacobsen*.

(Eingelaufen den 12. Februar 1873.)

Hierzu Tafel I.

Bei den Expeditionen der Pomerania in die Ost- und Nordsee, welche auf Veranstaltung des Kgl. preufs. landwirthschaftlichen Ministeriums in den letzten beiden Jahren unternommen wurden, und an welchen theilzunehmen mir vergönnt war, stellte sich mir unter anderm die Aufgabe, die Menge und Zusammensetzung der Luft zu ermitteln, die bei verschiedener Tiefe, verschiedener Salzgehalt und unter sonst wechselnden Bedingungen im Meerwasser enthalten ist.

Es haben sich bisher diesen Verhältnissen, trotz ihrer grossen Bedeutung für das maritime Thier- und Pflanzenleben, wie überhaupt für die chemischen Vorgänge auf zwei Drittheilen der Erdoberfläche, nur sehr wenig Untersuchungen zugewandt, und diese führten zu so auffallenden und grossentheils sich widersprechenden Ergebnissen, dafs bei der nun gebotenen Gelegenheit dieser Gegenstand zu wiederholter Bearbeitung aufzufordern schien.

Die ersten darauf bezüglichen Untersuchungen wurden angestellt an Wasserproben, die während der französischen

Expedition der Bonité in den Jahren 1836 und 37 geschöpft waren *). Man machte dabei bereits den Versuch, die Gase des Tiefenwassers mit denen aus dem Meerwasser der Oberfläche zu vergleichen, — ein Versuch, der so viel mir bekannt ist seitdem bis auf die neuesten englischen Tiefseeforschungen nicht wiederholt wurde.

Es wurden fünf Tiefwasser- und vier dazu gehörige Oberflächenwasserproben untersucht. Die größte Tiefe, welcher solche Wasserprobe entnommen war, betrug gegen 700 Meter.

Die vermeintlichen Ergebnisse lassen sich kurz dahin zusammenfassen, daß die Gesamtmenge der Luft in der Tiefe größer sein sollte, als an der Oberfläche, und zwar sollte diese Zunahme auf Rechnung der Kohlensäure kommen, während die gefundene Summe von Sauerstoff und Stickstoff bald unten, bald oben beträchtlicher war. Der Sauerstoff sollte in der Tiefe bedeutend reichlicher als an der Oberfläche vorhanden sein. Er betrug z. B. an einem Beobachtungsort im Oberflächenwasser nur 7,23 pC., in einer Tiefe von 450 Metern aber schon 16,11 pC. der Summe von Sauerstoff und Stickstoff.

Zum Schöpfen des Tiefenwassers diente ein von Biot für diesen Zweck erfundener Apparat **). In einem oben offenen, unten durch eine starke Messingplatte mit aufwärts schlagender Ventilklappe geschlossenen Glascylinder ruhte auf jenem Ventil ein schwerer, gut an die Glaswand anschließender Kolben. Der Apparat wurde bis in die beabsichtigte Tiefe hinabgelassen und dort durch Anziehen eines zweiten Seiles umgekehrt, wobei der Kolben bis an das vorher offene Ende des Glascylinders hinabfiel und der letztere sich durch das Ventil mit dem Wasser anfüllte. Zur Aufnahme des unter dem starken Druck in der Tiefe etwa vorhandenen Uebermaßes von Gas

*) Compt. rendus **6**, 616.

) Poggend. Annal. **37, 461.

sollte eine thierische Blase dienen, welche durch ein in der Messingplatte angebrachtes kurzes Hahnrohr mit dem Innern des Glascylinders communicirte. Die mit diesem Apparat heraufgeholtten Tiefwasserproben hob man auf in Flaschen, die nur zu zwei Dritteln davon gefüllt und mit Glasstöpseln verschlossen wurden. In diesem Zustande verweilten sie zum Theil 1 bis $1\frac{1}{2}$ Jahre lang. Erst nach der Rückkehr der Bonité wurde das Wasser, in welchem sich mittlerweile weifliche Flocken gebildet hatten, von Frémy im Collège de France ausgekocht und das Gas analysirt. In der mit dem verdampften Wasser über Quecksilber aufgefangenen Luft wurde die Kohlensäure durch Kalilauge, der Sauerstoff durch Phosphor bestimmt. Es leuchtet ein, dafs diese Untersuchung nur zu vollständig werthlosen Resultaten führen konnte. Frémy selbst hielt sie für unzuverlässig. Er hob hervor, dafs wenn die gefundene Kohlensäure sich zum Theil erst während der Aufbewahrung auf Kosten des Sauerstoffs gebildet haben sollte, dieser letztere in der Tiefe noch mehr, als die Zahlen der Analyse erkennen lassen, müsse überwogen haben. Diese Zahlen selbst aber sind bei der Seltenheit derartiger Untersuchungen in alle Werke übergegangen, die diesen Gegenstand zu behandeln wünschten.

Im Frühjahr 1843 stellte Morren*) auf der Rhede von St. Malo eine Reihe von Meerwassergasuntersuchungen an, wobei er sich übrigens auf Oberflächenwasser beschränkte.

Er stellte sich dabei die Aufgabe, den Einflufs der Tageszeiten und besonders den des directen Sonnenlichts auf den Sauerstoffgehalt der Meerwasserluft zu bestimmen. Die Methode der Auskochung war wesentlich die von Frémy befolgte, nur dafs das Quecksilber durch Wasser als Sperrflüssigkeit ersetzt

*) Annales de chim. et de ph. [3] 12, 5.

wurde. Der Sauerstoffgehalt wurde durch Verpuffen mit Wasserstoff bestimmt. Er schwankte, soweit sich diese Untersuchungen auf die freie Meeresfläche beziehen, zwischen 33,0 und 38,0 pC. der kohlensäurefreien Luft. Am grössten fand ihn Morren an sonnigen, am kleinsten an trüben, regnerischen Tagen. In umgekehrter Weise wollte er eine Ab- oder Zunahme der Kohlensäure wahrgenommen haben, — eine gegenseitige Beziehung, deren Deutung nahe genug lag.

Genau das Morren'sche Verfahren wurde zwei Jahre später bei einer Reihe ähnlicher, von Lewy *) angestellter Versuche eingehalten. Lewy machte dieselben Folgerungen, wie Morren hinsichtlich des bedeutenden Einflusses des Sonnenlichts. Von der Kohlensäure abgesehen enthielt nach ihm das Sauerstoff-Stickstoffgemenge 38,80 bis 40,57 Volumprocente des ersteren Gases.

Man war damals überzeugt, wie man es theilweise bis vor Kurzem gewesen ist, daß die absolute Gesamtmenge der Luft in der Tiefe des Meeres weit bedeutender sei, als an der Oberfläche. Die Richtigkeit dieser Annahme versuchte Aimé **) 1843 an einigen auf der Rhede von Algier aus grossen Tiefen entnommenen Wasserproben zu prüfen.

Sein Schöpfapparat bestand im Wesentlichen aus einem Probirrohr, welches, in einem geeigneten offenen Behälter angebracht, mit Quecksilber gefüllt und mit der Oeffnung nach oben gekehrt in die Tiefe hinabgelassen wurde. Bei der hier durch ein über das Seil nachgleitendes Gewicht bewirkten Auslösung des Apparats kehrte sich das Probirrohr in solcher Weise um, daß ein Theil des Quecksilbers durch Wasser ersetzt, dieses aber durch Quecksilber abgesperrt wurde. Wenn wirklich die in der Tiefe vorhandene Luftmenge dem dort herr-

*) Annales de chim. et de ph. [3] 17; diese Annal. 58, 328.

**) Annales de chim. et de ph. [3] 7, 497. Poggend. Annal. 30, 412.

schenden Druck entsprach, so mußte sich aus dem an die Oberfläche gelangenden Tiefenwasser ein sehr erhebliches Volumen Luft entwickeln. Aimé fand, daß dies keineswegs der Fall war und sprach geradezu aus, daß die Gewichtsmenge der Luft, die ein gegebenes Gewicht Meerwasser enthält, in jeder Tiefe nahezu gleich sei. Als Beleg dafür gab er in Bruchtheilen des Wasservolumens ungefähr an, wie geringe Mengen Luft sich aus seinen Tiefwasserproben nach einiger Zeit bei der zufällig herrschenden Lufttemperatur freiwillig entwickelten. Diese Angaben sind, so oft sie später citirt wurden, immer dahin mißverstanden, als habe Aimé damit die wirkliche Gesamtmenge der im Meerwasser enthaltenen Luft bestimmen wollen, und dies Mißverständniß hat zu einer seltsamen Ansicht über die Abhängigkeit der Luftmenge von der Tiefe geführt, — einer Ansicht, die noch neuerdings von A. Gautier*) mit den Worten wiedergegeben wird: „Die Luftmenge nimmt zuerst mit der Tiefe zu, bis zu einer Tiefe von ungefähr 600 bis 800 Metern, aber bei 1200 Metern Tiefe enthält das Wasser kaum noch Spuren von Luft.“

Ueber die verschiedene Zusammensetzung der Luft in verschiedenen Tiefen des Oceans besteht wieder eine Angabe von A. Hayes **) aus dem Jahre 1851: „Wenn Meerwasserproben gleichzeitig von der Oberfläche und aus nur 200 Fufs Tiefe entnommen und nach der gewöhnlichen Methode der Analyse unterworfen werden, so findet man beständig ein größeres Verhältniß von Sauerstoff in den Oberflächenproben. Versuche, die an verschiedenen Punkten von der gemäßigten bis in die heiße Zone angestellt wurden, stimmten hierin überein, und nur in dem bewegten Wasser des Golfstroms

*) Wurtz, Dictionnaire I, 1211.

**) Sillim. Amer. Journ. [2] III, 241.

zeigten sich geringe Abweichungen.“ Stürme sollen eine bedeutende Vermehrung des Sauerstoffs im Oberflächenwasser bewirken. Es werden über die betreffenden Untersuchungen keinerlei Einzelheiten gegeben; man erfährt nicht einmal, von wem und bei welcher Gelegenheit sie ausgeführt sind. Hayes sah übrigens einen weiteren Beweis für den größeren Sauerstoffgehalt der Oberfläche in der Thatsache, daß der Kupferbeschlag der Schiffe in der Wasserlinie schneller corrodirt wird, als unterhalb derselben. Daran erkennt man wenigstens, daß er an eine ungemein rasche Aenderung in der Zusammensetzung der Luft unter der Wasseroberfläche glaubte. Mit den von Fr é m y erhaltenen Resultaten steht seine Annahme in directem Widerspruch.

So unvollständig blieben nun unsere Kenntnisse über die Meerwassergase bis zu der englischen Expedition des Porcupine in den atlantischen Ocean im Jahre 1869.

Während der drei Abschnitte, in welche sich diese Untersuchungsfahrt theilte, beschäftigten sich nach einander drei verschiedene Chemiker mit der Untersuchung der Meerwasserluft von der Oberfläche und aus verschiedenen Tiefen *). Der dabei zur Anwendung gekommene Schöpfapparat für Tiefenwasser ist ein schweres Metallrohr, welches oben und unten durch leicht bewegliche, aufwärts schlagende Kegelventile geschlossen wird. Man glaubte annehmen zu dürfen, daß beim Hinablassen dieses einfachen Apparats in die beabsichtigte Tiefe das anfänglich eintretende Wasser der höheren Schichten vollständig durch das der tiefsten Schicht ersetzt werden und dieß letztere unvermischt den Rückweg an die Oberfläche zurücklegen werde.

Die Austreibung der Gase geschah wesentlich nach derselben Methode, welche 32 Jahre früher von Fr é m y angewandt

*) Proceedings of the Roy. Soc. Nr. 121 (1870).

wurde. Die Analyse des Gasgemenges wurde auf dem Schiffe selbst ausgeführt, — die Kohlensäure durch Kalihydrat, der Sauerstoff durch pyrogallussaures Kali absorbirt.

Die gewonnenen Resultate überraschen durch grofse Mannigfaltigkeit; die unter verschiedenen Bedingungen gefundenen relativen Mengen der einzelnen Gase weichen so sehr von einander ab, dafs sich der Speculation für Deutung und Folgerungen ein weites Feld darzubieten scheint. Was zunächst die Luft aus Oberflächenwasser betrifft, so mußte man aus den sehr verschiedenen Ergebnissen ihrer Analysen schliessen, dafs aufser der Tiefe auch andere Factoren wesentlichen Einflufs auf die Zusammensetzung des Meerwassergases übten.

Von der Kohlensäure abgesehen ergaben 30 Analysen von Oberflächenluft als Durchschnittswerth 31,60 pC. Sauerstoff und 68,40 pC. Stickstoff. Die Einzeldaten, welche zu diesem Durchschnittswerth führten, sind meines Wissens nicht veröffentlicht worden. Dafs sie zwischen sehr weiten Grenzen geschwankt haben müssen, zeigt indefs schon die Verschiedenheit der einzelnen Mittelwerthe, welche während der verschiedenen Abschnitte der Untersuchungsfahrt gefunden wurden :

1. 31,61 Sauerstoff auf 68,39 Stickstoff.
2. 36,35 Sauerstoff auf 63,65 Stickstoff.
3. 30,47 Sauerstoff auf 69,53 Stickstoff.

Für die Deutung solcher Verschiedenheiten wurde, wie schon früher von Hayes, die Bewegung der Wasseroberfläche durch den Wind zu Hülfe genommen. Während heftiger Winde glaubte man immer mehr Sauerstoff und weniger Kohlensäure zu finden, als bei ruhigem Wetter, und man nahm daraus Gelegenheit, die wohlthätige Wirkung der Sauerstoff zuführenden Stürme für das Thierleben in der Tiefe hervorzuheben. Eine willkommene Bestätigung sah man darin, dafs in dem Oberflächenwasser weit mehr Sauerstoff und weniger Kohlensäure gefunden wurde, wenn dasselbe hinter der arbei-

tenden Schiffschraube, als wenn es vorn am Bug geschöpft war. Die Luft des von der Schraube gepeitschten Wassers enthielt angeblich bis zu 45,3 pC. Sauerstoff und (anstatt des angeführten Mittels von 20,7 pC.) nur 3,3 pC. Kohlensäure, d. h. es betrug der Sauerstoff mindestens bis zu 47 pC. vom Sauerstoff-Stickstoffgemenge. Wollte man versuchen, diesem auffallenden Resultat Glauben beizumessen und daraus auf die Einwirkung ausgedehnter Stürme auf die vorher ruhige Fläche des Oceans zu schliessen, so käme man allerdings zu der Annahme, daß die letzteren eine sehr wesentliche Aenderung in der Mischung des Meerwassergases hervorzubringen und andererseits in geradezu bedenklicher Weise den Sauerstoff der die Meeresfläche überdeckenden Luftschicht durch Kohlensäure zu ersetzen im Stande seien.

In der Tiefe soll nach den auf dem Porcupine ausgeführten Analysen der Sauerstoffgehalt der Meerwasserluft durchweg abnehmen, die Menge der Kohlensäure dagegen sich beträchtlich erhöhen. Am Stärksten sollen diese Aenderungen nahe über dem Meeresgrund hervortreten. Die dabei beobachteten Unregelmäßigkeiten fanden ihre Erklärung in der stärkeren oder schwächeren Bevölkerung der Tiefe, ja man glaubte schliesslich aus der Analyse der Luft den Erfolg eines Schleppnetzuges vorhersagen zu können, so regelmäfsig erhielt man aus Tiefen, in denen viele Thiere lebten, mehr Kohlensäure, als von thierarmen Strecken des Meeresbodens.

In wie regelmäfsiger Progression mit zunehmender Tiefe der Sauerstoffgehalt kleiner, der Kohlensäuregehalt gröfser gefunden wurde, zeigte sich in den zusammengestellten Resultaten der Gasanalysen, welche J. Hunter*) während des zweiten Abschnitts der englischen Expedition an fünf verschiedenen Oertlichkeiten ausführte :

*) Jahresbericht f. 1869, S. 1279.

	Tiefe in Faden	$(\text{CO}_2 + \text{N} + \text{O}) = 100$			$(\text{N} + \text{O}) = 100$	
		CO_2	N	O	O	N
I.	250	25,12	52,42	22,46	30,00	70,00
	500	28,10	49,70	22,20	30,87	69,13
	750	28,62	49,44	21,94	30,73	69,27
	1000	30,10	49,20	20,70	29,61	70,39
	1250	32,00	47,74	20,26	29,79	70,21
	1500	31,76	48,04	20,20	29,60	70,40
	1750	34,10	45,20	20,70	31,41	68,59
	2090	35,92	43,54	20,54	32,05	67,95
II.	450	24,73	53,09	22,18	29,47	70,53
	500	27,26	—	—	—	—
	550	29,06	50,24	20,70	29,18	70,82
	600	28,34	51,52	20,14	28,10	71,90
	650	30,00	50,20	19,80	28,29	71,71
	700	31,03	49,66	19,31	27,98	72,02
	750	31,92	49,32	18,76	27,55	72,45
	800	33,75	48,46	17,79	26,85	73,15
	862	48,28	34,50	17,22	33,30	66,70
III.	74	37,88	45,63	16,49	26,54	73,46
IV.	0	3,27	59,63	37,10	38,35	61,65
	725	24,85	57,02	18,13	24,12	75,88
V.	0	24,37	50,07	25,56	33,80	66,20

Ich habe in den letzten beiden Rubriken die Zahlen für Sauerstoff und Stickstoff in Procente des kohlensäurefreien Gemenges dieser beiden Gase umgerechnet. Die Methode nämlich, welche an Bord des Porcupine angewandt wurde, mußte, wie ich weiterhin werde auszuführen haben, für die Kohlensäure zu durchaus unrichtigen Werthen führen. Berücksichtigt man dieß, so erscheint aber nicht nur die Zunahme der Kohlensäure mit der Tiefe, sondern, wie die Zusammenstellung erkennen läßt, auch die regelmässige Abnahme des Sauerstoffs als rein zufällig, ja man könnte aus den Zahlen eher ein Wachsen des Sauerstoffgehalts in der Tiefe entnehmen.

Für die Ostseeexpedition von 1871 hatte ich von vornherein eine andere Anordnung der gasanalytischen Arbeiten getroffen, als bisher befolgt war. Ein Aufbewahren der betreffenden Wasserproben bis zum Schlufs der Reise, wie früher auf der Bonité, konnte nicht in Frage kommen; es war kaum zweifelhaft, dafs eine allmälige Oxydation der organischen Substanzen im Meerwasser die relativen Mengen der einzelnen Gase verändern müsse. Andererseits hielt ich es und halte es noch jetzt für unmöglich, an Bord eines bewegten Schiffes mit unvermeidlich bedeutenden Temperaturschwankungen die Gasanalysen mit irgend zufriedenstellender Genauigkeit auszuführen. Ich entschlofs mich deshalb, einen Mittelweg einzuschlagen, nämlich die Gase aus den Meerwasserproben sofort nach deren Hebung auszutreiben, und sie, in Sammelröhren eingeschmolzen, für die später am Lande vorzunehmende Analyse aufzubewahren.

Für die Prüfung der Tiefwasser-Schöpfapparate boten die Verhältnisse der Ostsee eine so günstige Gelegenheit, wie man sie kaum irgendwo wiederfinden dürfte. Hier, wo der Salzgehalt von der Oberfläche bis zum Grund zuweilen auf mehr als das Dreifache steigt, mufste bei einem mangelhaften Apparat selbst eine geringe fehlerhafte Beimengung aus höheren, salzärmeren Wasserschichten sich durch einen für die Chlortitrirung und Dichtigkeitsbestimmung schon sehr merklichen Einflufs zu erkennen geben.

Der einfache und bequeme Apparat, welcher bei den englischen Expeditionen angewandt war, erwies sich bei solcher vergleichenden Prüfung als nicht zuverlässig. Aufser diesem Apparat standen nur solche zur Verfügung, die mit Luft gefüllt in die Tiefe gelangten und erst dort geöffnet wurden. Leider liefs ich mich damals durch die Mangelhaftigkeit des englischen Apparats bestimmen, auch die für die Gasauskochung bestimmten Wasserproben mittelst eines Apparats

der letzteren Art zu schöpfen. Trotzdem bei der Construction desselben Sorge getragen war, der Luft durch eine zweite weite Oeffnung ein möglichst momentanes Entweichen zu gestatten, stellte sich später heraus, dafs unter dem in der Tiefe herrschenden Druck ein Theil der eingeschlossenen Luft plötzlich von dem eindringenden Wasser absorbirt war und die Resultate der späteren Gasanalysen werthlos machte.

Während der im folgenden Jahre unternommenen Nordseeexpedition diente zur Hebung fast sämmtlicher Tiefwasserproben ein anderer, von Dr. H. A. Meyer angegebener und völlig sicher arbeitender Schöpfapparat. Derselbe besteht im Wesentlichen aus einem beiderseits offenen Messingcylinder, welcher, bei der Auslösung auf conisch eingeschliffene Schlußplatten herabfallend, eine bis zum letzten Augenblick durchaus freie Wassermasse von fast drei Litern vollständig gegen die Umgebung abschließt. Die Auslösung wird durch das Aufstoßen auf den Meeresboden, oder, in mittleren Wasserschichten, durch ein nachfallendes Gewicht bewirkt.

Nach der bei der Ostseereise gemachten Erfahrung, dafs bei den gewöhnlichen Methoden der Gasauskochung die Kohlensäure nur sehr unvollständig aus dem Meerwasser austritt, trennte ich nunmehr die Bestimmung der Kohlensäure vollständig von der des Sauerstoffs und Stickstoffs.

Die Austreibung der letzteren beiden Gase neben einer nicht weiter beachteten Menge Kohlensäure geschah wesentlich nach dem Bunsen'schen Verfahren, nämlich durch längeres Kochen unter einem durch Wasserdampf erzeugten Luftvacuum.

Die einzige ernstliche Schwierigkeit, welche der Anwendung dieses Verfahrens auf einem schwankenden Schiffe entgegensteht, trifft die Handhabung des von Bunsen benutzten Kautschukverschlusses. Ich versuchte deshalb, diesen durch einen anderen Verschluss zu ersetzen, der mir von Dr. H. Behrens empfohlen wurde und mittelst dessen Anwendung

ich dem ganzen Auskochungsapparat eine äußerst bequeme und solide Form habe geben können.

Der zusammengestellte Apparat ist in Fig. 1 dargestellt. Die Siedekugel a läuft in ihrem unteren Theil in ein starkwandiges, genau cylindrisches Glasrohr aus, welches unten zugeschmolzen, aber bei c mit einer seitlichen Oeffnung versehen ist. Je nachdem diese Oeffnung bis unter den Kautschukpfropfen d hinabgedrückt oder bis in seine Durchbohrung heraufgezogen wird, ist die Siedekugel mit dem Innern des Wasserkolbens in Verbindung oder gegen dasselbe abgeschlossen. Das Glasrohr muß sich in der glatten Durchbohrung des Kautschukpfropfens mit Reibung auf- und niederbewegen, diese Reibung darf aber nicht so stark sein, wie die zwischen dem Pfropfen und dem cylindrischen Kolbenhals. Ist einmal ein fehlerfreier Pfropfen aus vulkanisirtem Kautschuk den Glastheilen des Apparats auf das Sorgfältigste angepaßt, so kann diese Ventilvorrichtung unbegrenzt lange benutzt werden, ohne von ihrer völligen Zuverlässigkeit einzubüßen.

Das Gassammelrohr b ist durch ein kurzes Kautschukröhrchen mit der Siedekugel verbunden und zwischen die federnden Arme des messingenen Halters f eingeklemmt. Das untere Ende dieses Halters trägt eine weit stärkere Klammer, deren Korkfütterung durch die starke Schraube e sehr fest um das Rohr der Siedekugel geprefst wird, so daß man, am unteren Theil des Halters anfassend, Siedekugel und Sammelrohr in dem Kautschukpfropfen auf- und niederschieben und damit die Oeffnung c beliebig verlegen kann.

Der Rauminhalt der Siedekugel beträgt etwas mehr als das Doppelte von dem Volumen, um welches sich die auszukochende Wassermenge beim Erwärmen auf 100° ausdehnt.

Bei der Benutzung des Apparats füllt man zunächst die schon im Pfropfen steckende und in den Halter eingeklemmte Siedekugel zur Hälfte mit Wasser und schiebt den Pfropfen

über die seitliche Oeffnung. Man füllt nun die Kochflasche durch ein bis auf ihren Boden reichendes Gummirohr direct aus dem Schöpfapparat bis zum Ueberlaufen mit dem auszukochenden Wasser und setzt, nachdem die Oeffnung c bis eben unter den Kautschukpfropfen verschoben ist, diesen sehr fest in den Hals der Kochflasche ein. Zieht man nun die Siedekugel bis zur Herstellung des Verschlusses in die Höhe, so entsteht dadurch in der Kochflasche ein kleines Vacuum, in welches sofort Gasbläschen aus dem Wasser aufsteigen. Es wird dadurch Raum geschafft für die Ausdehnung, welche das oft sehr kalte Wasser schon in den ersten Augenblicken durch die höhere Temperatur der umgebenden Luft erfährt. Man fügt nun das Sammelrohr an, über dessen beide Enden vorher kurze Gummiröhren gezogen sind, stellt die Kochflasche in ein Wasserbad, erhitzt das Wasser in der Siedekugel durch eine darunter angebrachte Weingeistflamme und erhält es im Sieden, bis man der vollständigen Austreibung der Luft aus dem Sammelrohr gewifs sein kann. In dem Augenblick, in welchem man mit der rechten Hand die Flamme entfernt, kneift man mit der linken das Ende des oberen Gummirohrs zu, verschließt es darauf durch Hineinstecken der abgerundeten Spitze eines passenden Glasstäbchens und schmilzt sofort bei g ab.

Nachdem nun die Oeffnung c bis eben unter den Pfropfen hinabgeschoben ist, wird das Wasserbad erwärmt und der Inhalt des Kolbens in heftigem Sieden erhalten. Nach einiger Zeit hat sich im oberen Theil des Kolbenhalses ein freier Raum gebildet, in welchen die Dampfblasen mit Geräusch hineinschlagen. Man bringt durch Entfernen der Wärmequelle oder durch kurzes Herausheben des Apparats aus dem Wasserbade das Wasser aus der Siedekugel in den Kolben zurück und wiederholt dießes Erwärmen und theilweise Abkühlen des Kolbenhalses noch zweimal, wodurch binnen verhält-

nismäßig kurzer Zeit eine sehr vollständige Austreibung der Luft bewirkt wird.

Es ist sehr leicht, schliesslich das Wasser bis zur vollständigen Anfüllung der Siedekugel steigen zu lassen, worauf man durch Aufziehen derselben den Verschluss herstellt und das Sammelrohr nun auch bei h abschmilzt.

Das Sammeln der Gase mittelst dieses Apparats machte auch bei ziemlich stark bewegter See keine Schwierigkeit.

Gewöhnlich wurden 900 CC. Wasser zur Auskochung verwendet.

Die Gasproben wurden später nach der Bunsen'schen Methode analysirt, d. h. die Kohlensäure durch Kalihydrat beseitigt und im gemessenen Rückstand das Verhältniss des Sauerstoffs zum Stickstoff durch Verpuffen mit Wasserstoff ermittelt.

Von den 73 Gasproben, die ich während der Nordseefahrt einschmolz, stammten 24 aus Oberflächenwasser. Die betreffenden Mengen von Oberflächenwasser waren unter den verschiedensten Verhältnissen geschöpft, zu verschiedenen Tageszeiten, bei Sonnenschein und bei Nebel- und Regenwetter, bei ruhiger See und bei so heftigem Seegang, dass das Wasser nur noch mittelst der Schiffspumpe gehoben werden konnte. Etwaige irgendwie erhebliche Einflüsse solcher Verhältnisse hätten sich also bei den Analysen zeigen müssen. In Wirklichkeit aber sind die gefundenen Verschiedenheiten, wie die beigefügte Tabelle zeigt, sehr geringfügig.

Als Extreme ergaben sich einmal 34,14 Sauerstoff auf 65,86 Stickstoff (Nr. 65) und einmal 33,64 Sauerstoff auf 66,36 Stickstoff (Nr. 5), so dass die grösste Differenz gerade $\frac{1}{2}$ pC. betrug.

Wenn man diese beiden Extreme und noch das Resultat einer dritten Analyse (Nr. 40) ausnimmt, so liegen in der sämtlichen 21 anderen Fällen die Sauerstoffprocente zwischen

34,08 und 33,70, einer größten Differenz von wenig mehr als $\frac{1}{3}$ pC. entsprechend.

Als Mittelwerth berechnen sich aus den Analysen aller 24 aus Oberflächenwasser erhaltenen Gasproben 33,93 pC. Sauerstoff auf 66,07 pC. Stickstoff.

Die beobachteten Abweichungen übersteigen immerhin die Höhe der anzunehmenden Versuchsfehler, wie denn von vornherein wahrscheinlich ist, daß die Zusammensetzung der Luft im Oberflächenwasser innerhalb gewisser Grenzen den vorhin erwähnten und anderen Einflüssen unterliegt. Daß diefs aber sehr enge Grenzen sind, glaube ich aus den vorliegenden Resultaten mit Bestimmtheit folgern zu dürfen. Zu irgend welchen Folgerungen über die Einwirkung des Sonnenlichts, der Ruhe oder Bewegung geben die gefundenen Zahlen keine Anhaltspunkte, so daß ich die Angabe der Tageszeiten und der jeweiligen meteorologischen Verhältnisse als überflüssig nicht in die Tabelle aufgenommen habe. Wollte man doch den Versuch machen, derartige Einflüsse durch Analysen von der höchsten erreichbaren Genauigkeit nachzuweisen, so würde diese Arbeit natürlich besser an einem bestimmten Punkte, als während einer Untersuchungsfahrt auszuführen sein.

Das gefundene mittlere Verhältniß des Sauerstoffs zum Stickstoff weicht von dem für reines Wasser gültigen nicht wesentlich ab, und so kann es nicht Wunder nehmen, daß auch ein Einfluß des größeren oder geringeren Salzgehaltes in den Zahlen der Tabelle nicht erkennbar ist.

Mit Bezug auf die oben erwähnte Angabe der englischen Chemiker über den Einfluß der Bewegung habe ich die Mühe nicht gescheut, einmal gleichzeitig zwei Proben von Oberflächenwasser auszukochen, von denen die eine aus dem Schaumwasser, unmittelbar hinter den arbeitenden Schaufelrädern geschöpft war. Wie nicht anders zu erwarten, zeigte die daraus erhaltene Luft (Nr. 33) gleiche Zusammensetzung.

Weit erheblichere Verschiedenheiten als an der Oberfläche, begegnet man in der Tiefe des Meeres, und zwar treten diese Verschiedenheiten im Verhältniß des Sauerstoffs zum Stickstoff auch dann auf, wenn man nur die Gase aus gleichen Tiefen in Vergleich stellt. Die größten Tiefen, die wir auf der Fahrt der *Pomerania* erreichten, betrugen gegen 700 Meter.

Innerhalb dieser untersuchten Tiefen war der Sauerstoffgehalt der ausgekochten Luft demjenigen der aus Oberflächenwasser erhaltenen entweder gleich, oder er war geringer. Den niedrigsten Werth, 28,23 pC. der kohlensäurefrei gedachten Luft, erhielt ich aus einer Tiefe von nur 98 Metern (Nr. 91), und schon hieraus ist ersichtlich, daß die Abnahme des Sauerstoffs keineswegs der Tiefe proportional ist, daß sie vielmehr von localen Bedingungen abhängt.

Als allgemeineres Ergebniß läßt sich hervorheben, daß im südlichen Theile der Nordsee, wo bei durchweg langsamen Abdachungen die größten Tiefen kaum über 50 Meter hinausgehen, der Sauerstoffgehalt in der Tiefe entweder gar nicht, oder nur sehr wenig unter den der Oberfläche hinabstieg. (Nr. 42 bis 78.)

Eine sehr merkliche Verringerung der Sauerstoffmenge beginnt erst in solchen Tiefen, wo auch in der Concentration und Temperatur der oberen und der unteren Schichten wesentliche Verschiedenheiten auftreten.

Der Zusammenhang dieser Unterschiede ist leicht zu deuten. In dem schwereren Wasser, welches ohne erhebliche Beimischung aus höheren Schichten sehr lange in der Tiefe verweilt, wird ohne genügenden Ersatz fortwährend Sauerstoff verbraucht zur Oxydation der im Wasser und besonders am Meeresgrunde vorhandenen oxydirbaren Stoffe, — in wahrscheinlich weit untergeordnetem Grade auch durch die Athmung der Thiere.

Instructiv in dieser Beziehung sind die im Großen Belt beobachteten Verhältnisse. Hier, wo ein von Norden kommender Tiefenstrom salzreichen Wassers mit scharfer Begrenzung von einer Schicht in entgegengesetzter Richtung ausströmenden Ostseewassers überdeckt wird, fand sich im Unterstrom bei einer Tiefe von nur 45 Metern der Sauerstoffgehalt schon so weit vermindert, wie er gewöhnlich erst in Tiefen von mehreren hundert Metern beobachtet wurde. (Nr. 2 bis 4.)

Im großen Ganzen darf man behaupten, daß unsere Ansichten über die Zusammensetzung der Meerwasserluft eine ähnliche Wandlung erfahren, wie früher die über die Zusammensetzung der Atmosphäre, daß nämlich die Mischungsverhältnisse sich um so constanter erweisen, je genauere Untersuchungsmethoden zur Anwendung kommen. Sowie man früher Unterschieden in der Mischung der Atmosphäre nachspürte, in der Meinung, daraus z. B. auf die Gesundheitsverhältnisse schließen zu können, so hat man bis jetzt in der Verschiedenheit der Meerwasserluft wesentliche Veränderungen der Lebensbedingungen für die Seethiere zu sehen geglaubt. Sowie sich später die praktische Eudiometrie auf die abnormen Verhältnisse geschlossener Räume beschränkte, so können wir jetzt nicht zweifeln, daß, wenigstens in den meistbevölkerten geringeren Tiefen, nur localerweise eine wesentliche Verminderung des Sauerstoffgehalts auftritt. Es ist begreiflich, daß wir bei unserer Untersuchungsfahrt nicht oft auf solche locale Ausnahmefälle stoßen konnten. Mit Bestimmtheit kann ich nur einen einzigen Fall dahin rechnen, einen Punkt in der Apenrader Bucht, wo in einer kesselförmigen Vertiefung des Meeresbodens das Wasser bedeutend salzreicher war, als in der oberen Schicht und bei einer totalen Tiefe von nur 34 Metern eine Luft mit 29,22 pC. Sauerstoff enthielt. (Nr. 95.) Der Grund bestand hier zum großen Theil aus modernden organischen Substanzen und roch stark

nach Schwefelwasserstoff. Eine ähnliche muldenartige Vertiefung mit reichlichen Moderstoffen und oft lange, stagnirendem Wasser befindet sich im Kieler Meerbusen, und ich habe später diese mir näher liegende Gelegenheit benutzt, die unter solchen Verhältnissen im Meerwasser enthaltene Luft zu untersuchen. (Tab. II.)

Es zeigte sich eine grofse Veränderlichkeit in dem Verhältnifs des Sauerstoffs zum Stickstoff. Am 6. November sank die Menge des ersteren bis 16,55 pC. Einige Tage später wurden durch einen heftigen Nordostwind, der schliesslich in den so bekannt gewordenen Ostseesturm überging, grofse Mengen frischen Seewassers in die Kieler Bucht hineingeführt; auch das Wasser jener gröfsten Tiefe mischte sich theilweise mit demselben, so dafs der Sauerstoffgehalt von nun an wieder zunahm. Es unterliegt keinem Zweifel, dafs mit jener geringsten Menge von 16,55 pC. keineswegs das hier überhaupt vorkommende Minimum des Sauerstoffs erreicht ist, dafs vielmehr, — namentlich im Sommer, wo salzreiches Wasser oft Monate lang in dieser Vertiefung ruhen bleibt, der darin enthaltene Sauerstoff noch weit vollständiger verbraucht werden mag.

Das stagnirende Wasser derartiger Tiefen enthält gewöhnlich erhebliche Mengen von Schwefelwasserstoff, während ich dieses Gas in dem Wasser des freien Meeres nicht nachzuweisen vermochte.

Wenn ich mich nun zu der *absoluten Menge* der in verschiedenen Tiefen des Meeres enthaltenen Luft wende, so soll auch hier nur die Summe von Sauerstoff und Stickstoff darunter verstanden werden.

Die Angaben von Aimé über den Luftgehalt des Meerwassers in der Tiefe schienen, da sie später allgemein missverstanden wurden, die ältere Ansicht zu stützen, dafs, wenigstens bis zu einer gewissen Grenze, der Luftgehalt mit der Tiefe zunehme.

Im Gegensatz zu dieser Ansicht wurde von W. L. Carpenter auf der vorjährigen Versammlung der British Association in Brighton hervorgehoben, daß die Wasserproben, welche während der Expedition des Porcupine großen Tiefen entnommen wurden, keineswegs, wie allgemein erwartet sei, mehr Luft enthielten, als das Oberflächenwasser.

In der That läßt sich die Richtigkeit dieser Bemerkung im Wesentlichen schon durch äußere Wahrnehmung erkennen. Wenn irgend welche starke, mit Luft gefüllte Schöpfapparate in einigermaßen beträchtliche Tiefen hinabgelassen und dort geöffnet werden, so entweicht aus dem so geschöpften Wasser, wenn es an die Oberfläche gelangt, unter starkem Aufbrausen das unter dem Uebermaß von Druck absorbirte Luftquantum, — eine Erscheinung, die natürlich besonders deutlich wird, wenn der Apparat nach der Füllung noch in der Tiefe wieder geschlossen wurde. Ein solches Aufbrausen tritt aber niemals ein, wenn keine Luft in die Tiefe hinuntergeführt wird. Daraus geht ohne Weiteres hervor, daß in der Tiefe wenigstens keine dem dort herrschenden Druck einigermaßen entsprechende Luftmenge vorhanden ist, und es bleibt nur noch die Frage zu entscheiden, ob die unteren Wasserschichten etwa ein geringeres, nicht mehr direct auffallendes Uebermaß von Luft enthalten. Bei den gewöhnlichen Schöpfapparaten wird das allmälige Entweichen eines etwaigen Luftüberschusses nicht vermieden. Dr. H. Behrens und ich haben deshalb für die endgültige Entscheidung jener Frage den in Fig. 2 dargestellten Schöpfapparat construirt, welcher nach der Füllung noch in der Tiefe wieder luftdicht verschlossen wird und auch für spätere etwaige Gasentwicklung Raum bietet.

Zur Aufnahme des Wassers dient ein in seinem oberen Theil sehr starkwandiger Beutel a aus nicht vulkanisirtem Kautschuck. Derselbe ist mit starker Spannung über das in

der Zeichnung nicht sichtbare trompetenförmige Ende des Messinghalses b gezogen. Darüber befindet sich eine gleichgeformte, etwas übergreifende Glocke c. Durch den Ring des dreiarmigen Halters d, welcher sich auf einer auf den Hals b geschnittenen Schraube bewegt, wird die Glocke c stark auf das Gummi niedergepreßt. Der Hals hat bei b eine wenig conische Durchbohrung für den äußerst sorgfältig gearbeiteten, luftdicht schließenden Hahn e. Durch die Gabel f wird dieser Hahn so gedreht, daß der Apparat bei der gezeichneten Stellung der Gabel offen, beim Niederdrücken derselben geschlossen ist. Sie wird bei diesen Stellungen durch die Vorrichtung g in ihrer Bewegung gehemmt. Alle diese Apparattheile sind aus Messinggufs gefertigt und auswendig wie inwendig galvanisch vernickelt. Das Ganze ruht auf dem gefirniften eisernen Gestell h, an dessen drei Ringe die Leine zum Hinablassen des Apparats befestigt wird. An die Gabel f wird bei i ein Schwimmkörper mit ungefähr 300 Grm. Auftrieb, bei k an kurzer Leine ein Bleiloth befestigt, dessen Gewicht jenen Auftrieb um etwa das Zehnfache überwiegt. Als Schwimmer könnte eine mit starkem Kautschuck überzogene Kugel aus leichtem Holze dienen; wir benutzten abgestumpfte Kegel aus solchem Holze, die in möglichst fest anliegenden Hüllen von dünnem Messingblech steckten, aber der wiederholten Einwirkung des hohen Druckes nicht widerstanden.

Der vorher mit Sublimatlösung ausgeriebene Gummibeutel wird zu etwa einem Fünftel seines Rauminhaltes mit Quecksilber gefüllt.

Beim Gebrauch des Apparats wird er bei geöffnetem Hahn in den Messinghals hinaufgedrückt, bis das Quecksilber diesen vollständig anfüllt. Dann wird der Hahn geschlossen und der Apparat versenkt.

Sobald das Bleigewicht den Meeresgrund berührt, wird durch den Schwimmer der Hahn geöffnet, der bisher aufge-

stülpte Gummibeutel fällt nieder und der Apparat füllt sich mit Wasser, worauf er sich beim Verlassen des Meeresbodens wieder luftdicht schließt.

Die mittelst dieses Apparats geschöpften Wasserproben enthielten nicht mehr Luft, als die mit dem oben beschriebenen einfacheren Apparat erhaltenen. Das Wasser der Tiefe enthält also keinen Luftüberschuss vermittelst des dort herrschenden hohen Drucks aufgelöst.

Dahingegen entspricht die Luftmenge allerdings annähernd der in der Tiefe herrschenden Temperatur, so dafs, wo die Temperatur der tieferen Schichten erheblich niedriger ist, als die der Oberfläche, dort auch eine entsprechend gröfsere Gasmenge vorhanden ist. Die Zahlen der Tabelle in ihrer Gesamtheit lassen diese Abhängigkeit deutlich erkennen, wenn auch bei der immerhin mifslichen Aufgabe, die Gase ganz vollständig auszutreiben, die Uebereinstimmung im Einzelnen zu wünschen übrig läfst.

Nachdem einmal erkannt war, dafs ein irgend erheblicher Ueberschufs von Gas im Tiefenwasser nicht vorhanden sei, durfte unbedenklich für die grofse Mehrzahl der Tiefwasserproben der einfachere Cylinder-Schöpfapparat benutzt werden, da bei der grofsen damit gehobenen Wassermenge und der schnellen, durch eine Dampfwinde besorgten Hebung nur eine sehr geringe Temperaturänderung stattfand.

Von vornherein darf man annehmen, wenn es auch aus den Messungen nicht deutlich hervorgeht, dafs die in der Tiefe wirklich vorhandene Luftmenge hinter derjenigen, welche der Tiefentemperatur entsprechen würde, wenigstens um den Betrag des etwa verbrauchten Sauerstoffs zurückbleibt. Bei den später mit mehr Mufse angestellten Untersuchungen in der Kieler Bucht habe ich diesem Punkte besondere Aufmerksamkeit zugewandt und durch zweimaliges Auskochen jeder Wasserprobe den Luftgehalt möglichst genau zu ermitteln

gesucht. In der That war der grössere Verbrauch von Sauerstoff hier als Deficit an der totalen Luftmenge erkennbar.

Ich glaube danach, über den Luftgehalt des Meerwassers in der Tiefe den Satz aufstellen zu können, „dafs die Summe von Sauerstoff und Stickstoff nahezu gleich ist derjenigen Menge dieser Gase, welche das Wasser bei seiner wirklichen Tiefen-temperatur an der Meeresoberfläche aus der Atmosphäre aufnehmen würde, weniger der etwa verbrauchten Sauerstoffmenge.“

Aus diesem Satze folgt, dafs das Meerwasser der Tiefe sich mit nahezu derselben Temperatur, welche es dort besitzt, an der Oberfläche befunden und hier mit den atmosphärischen Gasen gesättigt haben mufs.

Bei den auf unserer Fahrt erreichten grösseren Tiefen könnte es ohne andere Entscheidungsgründe zweifelhaft bleiben, ob das darin befindliche kalte Wasser aus nördlicheren Breiten stammt, oder ob es seine niedere Temperatur nur der Abkühlung verdankt, welche an Ort und Stelle das jedesmalige Oberflächenwasser während der Wintermonate erleidet.

In wärmeren Gegenden fällt die letztere Möglichkeit weg. Nichtsdestoweniger hat man dort in den grossen Tiefen des Oceans eine eben so niedrige Temperatur beobachtet und hierin einen Beweis gesehen für eine allgemeine oceanische Circulation, welche in der Tiefe das kalte Wasser der Polar-gegenden zum Aequator und das unter den Tropen erwärmte an der Oberfläche wieder rückwärts führt. Für diese Ansicht und gegen die entgegenstehende, welche nur eine seitliche Wärmeableitung nach den Polen zu annimmt, würde offenbar ein neuer Beweis hinzukommen, wenn auch in dem oceanischen Tiefenwasser der wärmeren Zonen ein angenähert seiner niedrigen Temperatur entsprechender Luftgehalt nachgewiesen würde.

Auch in dieser Beziehung wird unsere Kenntnifs der oceanischen Tiefen voraussichtlich bereichert werden durch die jetzt von England aus unternommene Erdumseglung des

Challenger, die Mr. Buchanan als Chemiker begleitet, und bei welcher ebenfalls die hier beschriebenen Apparate und Methoden zur Anwendung kommen werden.

Ich habe bisher abgesehen von der im Meerwasser enthaltenen *Kohlensäure*, die, wie erwähnt, in einer gesonderten Operation bestimmt wurde.

Es lag nahe, ihre Bestimmung in denselben Gasproben vorzunehmen, in welchen das Verhältniß des Sauerstoffs zum Stickstoff ermittelt werden sollte und aus denen die Kohlensäure ohnehin entfernt werden mußte.

Schon die ersten Untersuchungen indeß der von der Ostseereise mitgebrachten Gasproben zeigten deutlich, daß dies Verfahren bei Meerwasser zu ganz werthlosen Resultaten führt.

Die gefundene Menge der Kohlensäure schwankte zwischen fast unmeßbar kleinen Antheilen bis zu reichlich 11 pC. des ganzen Gasgemenges. Im Allgemeinen blieb sie weit hinter derjenigen zurück, die man nach den Ergebnissen älterer Untersuchungen erwarten konnte. Wo aus einem und demselben Wasser zwei Gasproben getrennt ausgekocht wurden, enthielten diese stets erheblich verschiedene Kohlensäuremengen, so daß erst das von Kohlensäure befreite Gasgemenge gleiche Zusammensetzung zeigte.

Nachträgliche Untersuchungen stellten heraus, daß bei dem gewöhnlichen Verfahren der Auskochung die Kohlensäure aus dem Meerwasser nur zum geringen Bruchtheil ausgetrieben wird. Die Menge derselben, welche sich dem mit Leichtigkeit auszutreibenden Sauerstoff und Stickstoff beimischt, giebt durchaus keinen Anhaltspunkt für die Beurtheilung des wirklichen Kohlensäuregehalts im Wasser. Sie ist in jedem einzelnen Falle von den jedesmaligen Versuchsbedingungen abhängig, — in erster Linie von der Dauer des Auskochens, oder, wenn das Wasser ohne Herstellung eines Vacuums im

Sieden erhalten wird, von der Menge des dabei überdestillirten Antheils.

Wie ich hier gleich hinzufügen will, tritt, auch wenn man auf andere Weise eine vollständige Entwicklung der Kohlensäure bewirkt, während derselben keine Phase hervor, in welcher man von einer Grenze zwischen freier und „halbgebundener“ Kohlensäure sprechen dürfte.

Es liegen bereits ältere Angaben darüber vor, daßs Meerwasser zum großen Theil verkocht werden kann, bevor sich Spuren von Erddcarbonaten ausscheiden. Diefs wird natürlich durch das langsame Entweichen der Kohlensäure bedingt. Die ganze Menge der nicht mit Basen zu neutralen Salzen verbundenen Kohlensäure erhält man aus dem Meerwasser, wenn dieses unter Durchleiten eines Stromes kohlensäurefreier Luft bis zur reichlichen Abscheidung von Chlornatrium verkocht wird. Die Kohlensäure kann dann im Destillat bestimmt werden.

Die Untersuchung eines während des vorigen Winters im Kieler Hafen geschöpften Oberflächenwassers mag als Beispiel dafür dienen, wie weit die Kohlensäure in der nach dem gewöhnlichen Verfahren ausgetriebenen Luft hinter der wirklich im Meerwasser enthaltenen zurückbleibt :

Durch Destillation im Luftstrom wurden in einem Liter des Wassers 0,07235 Grm. oder 36,6 CC. Kohlensäure gefunden. Bei der $2\frac{1}{2}$ Stunden lang fortgesetzten Auskochung nach der Bunsen'schen Methode wurden aus einem Liter desselben Wassers 27,6 CC. eines Gasgemenges ausgetrieben, welches aus 12,80 Volumprocenten Kohlensäure, 29,73 pC. Sauerstoff und 57,47 pC. Stickstoff bestand. In der ausgetriebenen Luft waren also nur 3,53 CC. Kohlensäure enthalten. Wäre statt dieser 3,53 CC. die ganze Menge der Kohlensäure (36,6 CC.) ausgetrieben worden, so hätte ein Gasgemenge mit 60,3 pC. Kohlensäure resultiren müssen. Das ausgekochte

Wasser war vollkommen klar; es hatte sich keine Spur von kohlensaurem Kalk abgeschieden.

Ein Theil dieses ausgekochten Wassers wurde im Luftstrom destillirt und lieferte dabei, wieder auf ein Liter berechnet, noch 32,85 CC. Kohlensäure (anstatt der fehlenden 33,07 CC.).

Ein zweiter Theil des unter dem Vacuum ausgekochten Wassers wurde bei fast 100° auf weniger als ein Drittel seines Volumens eingedampft. Auch hierbei trat keine Ausscheidung von Erdcarbonaten ein, und, wie die Analyse ergab, waren in dem Rückstand von den ursprünglich in einem Liter Wasser enthaltenen 36,60 CC. Kohlensäure noch 28,07 CC. zurückgeblieben.

Durch kurzes Sieden von Meerwasser unter dem durch Wasserdampf hergestellten Vacuum kann man ein Gasgemenge erhalten, welches neben fast dem ganzen Betrag des Sauerstoffs und Stickstoffs weniger als $\frac{1}{2}$ pC. Kohlensäure enthält.

Bei dem Sieden des Meerwassers ohne Druckverminderung, wie es bei den bisherigen Untersuchungen der Meerwassergase angewandt wurde, findet die Entwicklung der Kohlensäure etwas schneller statt, ist aber ebenfalls unvollständig und ebensowohl abhängig von der Dauer der Operation. Morren, der bei seinen einzelnen Bestimmungen diese Dauer und überhaupt alle Versuchsbedingungen so weit wie möglich gleichmäfsig machte, konnte ohne Zufall ziemlich übereinstimmende Kohlensäuremengen finden, hob aber dennoch hervor, dafs bei wiederholten Analysen Abweichungen auftraten.

Die später von Anderen gefundenen Regelmäfsigkeiten finden vielleicht darin ihre Erklärung, dafs das Sieden um so länger fortgesetzt wurde, je mehr Kohlensäure man von vornherein erwartete.

In Folge jenes Verhaltens weichen die Angaben über den Gehalt des Meerwassers an Kohlensäure ungemein weit von einander ab, je nachdem die Bestimmung nach verschiedenen Methoden ausgeführt wurde.

In einem Liter Meerwasser von der Oberfläche fanden zum Beispiel :

Frémy 2,2 bis 2,8 CC. Kohlensäure (Compt. rend. **6**, 616).

Morren 1,7 bis 3,8 CC. Kohlensäure (Annal. de chim. et de phys. [3] **12**, 5).

Lewy 2,4 bis 3,9 CC. Kohlensäure (diese Annalen **58**, 328).

J. Hunter [ca. 0,8 bis 5,8 CC. Kohlensäure (Jahresbericht für Chemie u. s. w. f. 1869, 1279).

Bischof 39,0 CC. Kohlensäure (Chem. Geologie 1. Aufl. **2**, 1130.)

Vogel 55,6 bis 116,3 CC. Kohlensäure (Schweigger's Journ. **8**, 351).

Während der Nordseefahrt der Pomerania wurden für die Kohlensäurebestimmung je 250 CC. Meerwasser unter Durchleiten eines kohlensäurefreien Luftstroms bis fast zur Trockne destillirt und der Kohlensäuregehalt des Destillats nach dem Pettenkofer'schen Princip durch Auffangen in überschüssiger titrirter Barytlösung und Titriren mit Oxalsäure ermittelt, wobei Rosolsäure als Indicator diene. Bei der Anordnung des Apparats, welche aus Fig. 3 leicht erkennbar ist, benutzte ich ein mit Glaskugeln gefülltes Absorptionsrohr, wie es P. Wagner*) empfohlen hat. Das Rohr a enthält Natronkalk, b Barytlösung, c ist leer. Die passend geformte Retorte d wird in einem Sandbad erhitzt. Der Kolben e dient als Absorptions- und Condensationsraum; durch das Rohr f, welches unten gröfsere, oben kleinere Glaskugeln enthält, wird die titrirte Barytlösung eingegossen. In g befindet sich etwas Barytlösung als Sperrflüssigkeit, h ist der Aspirator.

Die mittelst dieses Apparats ausgeführten Kohlensäurebestimmungen erreichten keineswegs denselben Grad von Ge-

*) Zeitschrift für anal. Chemie **9**, 445.

naugigkeit, wie die Sauerstoffbestimmung, auch ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß geringe Mengen Kohlensäure erst während des langen Siedens aus organischen Bestandtheilen des Meerwassers entstehen mochten, doch kann dieß bei der großen überhaupt vorhandenen Menge Kohlensäure für die allgemeinen Resultate wenig in's Gewicht fallen. Diese Resultate bestätigen im großen Ganzen die schon von *Bischof* geäußerte Vermuthung, daß der Gehalt des Meerwassers an freier Kohlensäure keinen sehr erheblichen Schwankungen unterliegt.

In einem Liter unverdünnten Nordseewassers sind gegen 0,1 Grm. oder ungefähr 50 CC. Kohlensäure enthalten.

Beim Vergleich der Wasserproben auf dem Wege von der Ostsee zur Nordsee zeigte sich ein Zusammenhang zwischen dem Salzgehalt und der Kohlensäuremenge, welcher mitunter an eine wirkliche Proportionalität derselben grenzte.

Eine Verschiedenheit der Kohlensäuremenge in verschiedenen Tiefen trat nur da hervor, wo eben der Salzgehalt einen erheblichen Unterschied zeigte, — im Uebrigen wurde in der Tiefe nicht mehr Kohlensäure gefunden, als an der Oberfläche.

Daß der durchgehends beobachteten Abnahme des Sauerstoffs in größeren Tiefen eine Zunahme an Kohlensäure entsprechen muß, ist eine Folgerung, die sich von selber ergibt, deren Richtigkeit aber aus den analytischen Resultaten nicht hervortritt. Sie dürfte nur da mit Sicherheit nachzuweisen sein, wo bei günstigen localen Bedingungen lange stagnirendem Tiefenwasser ein sehr bedeutender Bruchtheil seines Sauerstoffgehalts entzogen wird. Die Thatsache, daß über dem Moeresgrund großer Tiefen keineswegs eine massenhafte Anhäufung von Kohlensäure stattfindet, sowie die verhältnißmäßig wenig wechselnden Mengen des Sauerstoffs in der

Meerwasserluft verschiedener Schichten setzen mit Nothwendigkeit eine Ersetzung des Wassers durch ausgedehnte Tiefenströmungen voraus. Es mag dieß hier hervorgehoben werden, weil so sehr oft der seltsame Versuch gemacht wird, der Bewegung der Atmosphäre mit ihrer sich so wenig in die Tiefe erstreckenden Einwirkung auf die Meeresoberfläche einen wesentlichen Einfluß auf die Luft des Tiefenwassers beizumessen.

Die Reihe meiner Kohlensäurebestimmungen im Nordseewasser läßt eine geringe Zunahme des Kohlensäuregehalts in der Nähe der englischen und deutschen Küste, und besonders auffallend in dem schon sehr verdünnten Wasser des Zuidersee's erkennen.

Es lag nahe, bei solcher Verschiedenheit auf den Gehalt des Meerwassers an kohlensaurem Kalk zurückzugehen.

Die bisherigen Angaben über die Menge der Erdcarbonate im Meerwasser gehen fast nicht weniger auseinander, als die über den Kohlensäuregehalt. Wenn manche Analysen im Meerwasser, selbst in dem concentrirten Wasser des todtten Meeres, keine Spur von kohlensaurem Kalk nachzuweisen vermochten, so mag sich dieß wohl aus dem Umstande erklären, daß derselbe sich so schwer beim Kochen daraus abscheidet. Nach anderen Chemikern enthält das Meerwasser „Spuren“ von kohlensaurem Kalk. Wo die Menge desselben bestimmt wurde, wird entweder nur kohlensaurer Kalk, oder dieser neben kohlensaurer Magnesia angegeben, wo dann bald das eine, bald das andere dieser Carbonate in größerer Menge auftritt.

Auf neutrales Salz berechnet sind nach Regnault nur etwa 0,03 Theile kohlensaurer Kalk in 1000 Theilen Meerwasser enthalten, während von Usiglio im Wasser des Mit-

telmeeres 0,079 und neuerdings von Vierthaler*) in dem des adriatischen Meeres gar 0,315 Grm. gefunden wurden.

Es leuchtet ein, dafs solche Verschiedenheiten, falls sie wirklich bestehen und nicht nur durch die Verschiedenheit der analytischen Methoden bedingt sind, für die Existenz schalenbildender Seethiere von grofser Bedeutung sein müssen.

Ich habe mich zur Bestimmung der Erdcarbonate des folgenden Verfahrens bedient :

Etwa 10 Liter Meerwasser werden zur Trockne verdampft, der Rückstand mit ausgekochtem und noch heifsem Wasser behandelt und das davon nicht Gelöste bis zum Verschwinden der Chlorreaction ausgewaschen. Der Rückstand besteht nun aus schwefelsaurem Kalk, kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia, mit Spuren von Kieselsäure und Phosphaten. Die Kohlensäure wird in einem geeigneten Apparat durch verdünnte Salzsäure ausgetrieben und nach der von F. Schulze ausgebildeten Methode bestimmt. In dem Inhalt des Entwicklungsgefäfses können dann zur Controle Kalk, Magnesia und Schwefelsäure bestimmt werden.

In dem Rückstand von 10 Litern des Wassers Nr. 85 wurden auf diese Weise 0,121 Grm. Kohlensäure gefunden; die Bestimmung von Kalk, Magnesia und Schwefelsäure ergab ferner, nach Abzug der als Sulfat vorhandenen Kalkmenge, dafs in jenem Rückstand 0,2500 Grm. kohlensaurer Kalk und 0,0217 Grm. kohlensaure Magnesia (zusammen 0,1213 Grm. Kohlensäure enthaltend) vorhanden gewesen waren. Bei einer zweiten Operation gab der Rückstand von 10 Litern desselben Wassers 0,124 Grm. Kohlensäure; der kohlensaure Kalk wurde zu 0,2350, die kohlensaure Magnesia zu 0,0354 Grm. bestimmt, was zusammen 0,1219 Grm. Kohlensäure entspricht.

Im zweiten Falle war also bei gleichbleibender Kohlensäuremenge die Magnesia in reichlicherer Menge vorhanden.

*) Wiener academ. Berichte [2] **56**, 479.

In der That findet zwischen dem schwefelsauren Kalk und der kohlensauren Magnesia während des Abdampfens und Auswaschens eine Umsetzung statt, deren gröfsere oder geringere Vollständigkeit von Zufälligkeiten abhängt. Man sollte also in diesen und ähnlichen Fällen die Menge der gebundenen Kohlensäure selbst angeben, oder sie conventionellerweise etwa auf neutralen kohlensauren Kalk berechnen.

Leider hatte ich für solche Untersuchung nur von wenigen Wasserproben hinreichend grofse Mengen reservirt. In den meisten Fällen standen mir nur noch die Verdampfungsrückstände von $\frac{1}{4}$ bis 1 Liter zur Verfügung, und bei so geringen Mengen stimmten bei zweimal angestellten Analysen die gefundenen Kohlensäuremengen weit weniger überein, als in dem obigen Beispiel. Ich habe aus diesem Grunde die einzelnen Resultate nicht in die Tabelle aufgenommen, glaube aber, dafs die gefundenen Zahlen in ihrer Gesammtheit immerhin von dem Gehalt des Nordseewassers an Erdcarbonaten eine Vorstellung geben können.

Soweit nur nicht wesentlich verdünntes Meerwasser mit annähernd $3\frac{1}{2}$ pC. Salz berücksichtigt wird, berechnete sich für den ganzen nördlichen Theil der Nordsee, ohne Ausschließung der norwegischen Küste, der Gehalt an neutralem kohlensaurem Kalk zu 0,0180 bis 0,0280 Grm. im Liter. Auch wo der Meeresgrund auf weite Strecken hin mit Muschelschalen bedeckt war, habe ich diese Menge nicht erhöht gefunden. In Wasserproben, die in der Nähe der südlichen Nordseeküsten geschöpft waren, stieg der kohlensaure Kalk bis wenig über 0,03 Grm. im Liter. Er erreichte mit 0,0325 Grm. sein Maximum in dem durch Süßwasserzuflüsse schon sehr verdünnten Wasser des Zuidersees.

Ich kann nicht entscheiden, in wie weit die an diesen Küsten gefundene gröfsere Menge Kohlensäure durch diesen etwas gröfseren Gehalt an kohlensaurem Kalk bedingt wird.

Jedenfalls stehen die kohlensauren Salze und die freie Kohlensäure des Meerwassers durchaus nicht in dem einfachen Verhältniß, daß man sie ohne Rest zu Bicarbonat combiniren könnte, wie es die von Vierthaler angegebenen Mengen gestatten, sondern die Kohlensäure ist in sehr viel größerem Verhältniß vorhanden.

Dieser große Ueberschuß an Kohlensäure ist schon von Bischof *) hervorgehoben, welcher daraus schließt, daß sich der kohlensaure Kalk nur da auf chemischem Wege aus dem Meerwasser abscheiden könne, wo dieses in lebhafter Bewegung innig mit Luft gemengt wird.

Im Gegensatz dazu glaubt Delesse **), daß sich gerade in den großen Tiefen des Meeres durch Concentration und Abkühlung des Wassers Absätze von kohlensaurem Kalk bilden.

Man hat indeß nicht nur das Mengenverhältniß der vorhandenen Kohlensäure zu beachten, sondern auch die oben erwähnte Eigenthümlichkeit des Meerwassers, diese Kohlensäure nur sehr schwer entweichen zu lassen, seine Fähigkeit, den kohlensauren Kalk selbst bei stundenlangem Sieden und bei sehr erheblicher Concentration gelöst zu erhalten. Dann aber muß man zu dem Schlusse kommen, daß überhaupt nirgends, weder in der Tiefe, noch an der Oberfläche, weder in der Ruhe, noch bei der heftigsten Bewegung, der kohlensaure Kalk des Meerwassers anders als durch organische Thätigkeit zur Abscheidung kommen kann, es sei denn, daß dies localerweise durch eine sehr weit gehende Verdunstung bewirkt würde.

Jenes eigenthümliche Verhalten des kohlensauren Kalks im Meerwasser ist auf den Gehalt des letzteren an Chlormag-

*) Geologie II. Aufl. **1**, 476. **3**, 24.

**) Lithologie du fond des mers (1872); p. 141.

nesium zurückzuführen. Man erhält eine sich in dieser Beziehung wie Meerwasser verhaltende Flüssigkeit, wenn man zu einer Lösung von Kalkcarbonat in kohlensaurem Wasser eine ganz neutrale Lösung von Chlormagnesium hinzusetzt. Das Gemisch kann wochenlang an der Luft stehen, es kann gekocht werden, ohne sich im Geringsten zu trüben; erst bei weit fortgesetzter Verdampfung setzt es reine kohlensaure Magnesia ab. Ein großer Ueberschuss von reiner Chlorcalciumlösung fällt daraus kohlensauen Kalk, und in gleicher Weise wirkt ein solcher Zusatz auf Meerwasser, während, wie schon v. Bibra beobachtete, Kalkwasser darin keine Reaction hervorruft. Man könnte versucht sein, das Vorhandensein einer in Lösung beständigeren Verbindung $\text{ClMgO} \cdot \text{CO} \cdot \text{OCaO} \cdot \text{CO} \cdot \text{OMgCl}$ anzunehmen, welche dem von Fritzsche beobachteten Doppelsalz $\text{CaCl}_2 + 2 \text{CaCO}_3$ entsprechen würde.

Hinsichtlich der Fähigkeit des Meerwassers, der atmosphärischen Luft weit größere Mengen von Kohlensäure zu entziehen, als diess durch reines Wasser geschieht, hat Prof. F. Schulze *) angegeben, daß ein Liter Ostseewasser nach dem Schütteln mit großen Mengen atmosphärischer Luft etwa 0,011 bis 0,013 Grm. Kohlensäure enthielt. Derselbe bemerkt, daß man wohl nicht an eine einfache mechanische Absorptionswirkung der Meerwassersalze denken könne, sondern die Betheiligung schwach chemischer Actionen annehmen müsse. Hugo Müller **) beobachtete, im Widerspruch mit älteren Angaben, daß die Löslichkeit der Kohlensäure in Wasser bei einem Chlornatriumgehalt des letzteren zunehme, und fand, daß das Chlornatrium dabei durch die Kohlensäure unter Bildung von Salzsäure theilweise zersetzt werde.

*) „Tägliche Beobachtungen über den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre zu Rostock“ 1871.

**) Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft 1870, S. 40.

Wie man aber auch eine Deutung der starken Absorptionswirkung des Meerwassers auf die atmosphärische Kohlensäure versuchen möge, jedenfalls kann man die Kohlensäure nicht in demselben Sinne, wie Sauerstoff und Stickstoff, als absorbirtes freies Gas darin annehmen. Man mag einstweilen von einem eigenthümlichen Zustand der Bindung sprechen, bei welchem die Kohlensäure selbst durch stundenlanges Kochen nur sehr unvollständig ausgetrieben wird. Das Vorhandensein ungeheurer Mengen Kohlensäure im Meerwasser, in einem solchen Zustande, wo sie der Athmungsluft der Seethiere nicht ohne Weiteres zugezählt werden kann, ohne andererseits der Vegetation des Meeres unzugänglich zu sein, ist jedenfalls für das maritime Thier- und Pflanzenleben von höchster Bedeutung.

Bemerkungen zu Tabelle I.

Die Gasvolumen sind auf 0° und 760 MM. Druck berechnet.

Die mit einem Stern bezeichneten Gasmengen stammen aus mit dem Gummiapparat geschöpften Wasserproben.

Wo von einer und derselben Oertlichkeit Wasserproben aus verschiedenen Tiefen untersucht wurden, sind die betreffenden Zahlen durch Klammern verbunden.

Die tiefsten derselben, wie alle übrigen Tiefwasserproben, sind immer nahe über dem Meeresgrund geschöpft.

Der in der Tabelle angegebene Salzgehalt ist aus dem specifischen Gewicht des Wassers berechnet, welches mittelst für diesen Zweck construirter, äußerst genauer Glasaräometer bestimmt wurde. Der Salzgehalt wurde = $(s-1) \cdot 131$ pC. gesetzt, wo s die Dichtigkeit des Wassers bei 17,5° bedeutet.

Tabelle I.

Nr.	Tag	O r t	Tiefe (Meter)	Temp. (°C.)	pC. Salz	CO ₂ im Liter Wasser		O + N (C.C. im Liter)	(O + N) = 100	
						Grm.	CC.		pC. O	pC. N
1	21. Juli 1872	Großer Belt, zw. Laaland u. Langeland	0	16,9	1,913	0,0519	26,3	—	—	—
2	"	" zw. Korsör u. Sprogø	45	7,0	3,196	—	—	18,2*	31,07	68,93
3	22.	"	47	7,0	3,210	0,0915	46,3	18,7*	31,18	68,82
4	"	"	47	7,0	3,210	—	—	18,1	31,34	68,66
5	"	"	0	17,5	1,900	—	—	17,1	33,64	66,36
6	"	" zw. Seierød u. Samsø	0	18,5	1,873	0,0506	25,6	—	—	—
7	"	Kattegat, 1 1/4 Meilen SO von Fornäs	15	15,5	3,249	0,0924	46,7	16,6	33,35	66,65
8	23.	" vor der Læsø Rinne	502	5,0	3,537	0,0933	47,2	19,6	30,32	69,68
9	"	Skager Rack, 8 M. NW von Hirtshals	0	19,5	2,292	0,0669	33,8	—	—	—
10	"	" 4 M. SO von Mandal	113	—	3,485	0,0889	45,0	—	—	—
11	25.	" vor dem Hafen v. Mandal	0	19,7	2,345	—	—	17,2	34,03	65,97
12	"	" 5 M. S von Lindsnäs	38	12,2	3,458	—	—	17,7	32,55	67,45
13	"	"	414	5,5	3,557	0,0893	45,2	19,4	31,33	68,67
14	"	"	414	5,5	3,557	—	—	21,0	31,24	68,76
15	26.	Im Bukefjord (Norwegen)	320	6,4	3,498	0,0928	47,0	21,3	31,71	68,29
16	27.	" vor Nærstrand	0	17,2	2,856	—	—	15,9	33,76	66,24
17	"	"	677	5,7	3,537	0,0933	47,2	19,7	29,39	70,61
18	"	"	677	5,7	3,537	—	—	20,4*	29,31	70,69
19	"	"	35	8,6	3,406	0,0867	43,8	19,4	33,26	66,74
20	28.	Städlich vor Hougesund	0	15,1	3,275	—	—	17,2	33,71	66,29
21	"	3 M. W von Hougesund	255	5,5	3,537	0,0920	46,5	19,3*	32,45	67,55
22	31.	Hafen von Bergen	0	17,2	2,083	0,0528	26,7	17,1	33,86	66,14
23	1. August	Zwischen den Schären bei Solsvig	0	12,9	3,157	—	—	18,8	33,98	66,02
24	"	"	0	12,4	3,196	0,0748	37,8	—	—	—
25	2.	"	0	12,5	3,249	0,0752	38,1	—	—	—

Nr.	Tag	O r t	Tiefe (Meter)	Temp. (°C.)	pC. Salz	CO ₂ im Liter Wasser		O + N (C.C. im Liter)	(O + N) = 100	
						Grm.	CC.		pC. O	pC. N
24	3. August	Zwischen den Schären bei Solsvig	0	12,0	3,170	0,0739	37,4	—	—	—
25	"	1 1/2 M. W von Sartorö	0	10,7	3,471	0,0924	46,7	—	34,05	65,95
26	4.	Im Korsfjord	38	6,6	3,458	—	—	18,7	33,46	66,54
27	"	" , vor Korsnäs	635	5,5	3,537	0,0968	49,0	20,0	31,85	68,15
28	"	"	635	5,5	3,537	0,0939	48,5	20,3*	31,69	68,31
29	6.	Nordsee. 30 M. O v. d. Orkney-Straße	105	7,2	3,537	0,0933	47,2	—	—	—
30	"	18 M. NOzN von Peterhead (Schottland)	130	7,5	3,576	0,0946	47,8	—	29,08	70,92
31	"	8 M. NNO	102	8,9	3,550	—	—	18,8	29,64	70,36
32	7.	4 M. SO	38	12,0	3,471	—	—	18,0	33,62	66,38
33	"	"	94	11,1	3,511	0,0937	47,4	19,3	32,91	67,09
34	"	Firth of Forth	0	14,2	3,367	0,0924	46,7	16,9	33,97	66,03
35	"	"	0	14,2	3,367	—	—	—	33,92	66,08
36	14.	"	0	14,0	3,340	0,0911	46,1	18,0	33,97	66,03
37	"	Vor dem Firth of Forth	75	10,5	3,485	0,0981	49,6	—	—	—
38	"	3 M. NO von Banborough-Castle	70	10,5	3,485	—	—	17,4	31,53	68,47
39	15.	13 M. O von Berwick	64	7,9	3,524	—	—	18,7	31,60	68,40
40	"	20 M. OSO	0	15,6	3,513	—	—	17,0	33,96	66,04
41	"	"	68	7,2	3,524	—	—	19,6	31,09	68,91
42	"	28 M. SO	0	15,9	3,471	—	—	16,9	34,13	65,87
43	"	"	68	7,5	3,498	—	—	18,5	31,06	68,94
44	16.	Auf der Doggerbank	24	15,9	3,488	—	—	16,5	33,72	66,28
45	"	"	23	16,1	3,471	—	—	17,4	33,83	66,17
46	"	"	0	16,5	3,471	—	—	—	33,75	66,25
47	"	Südende der Doggerbank	23	16,4	3,471	—	—	17,1	34,00	66,00
48	"	Silverpit, 24 M. OzN von Hull	34	13,9	3,485	0,0986	49,9	—	—	—
49	"	"	70	12,7	3,485	0,1034	52,3	—	—	—

Nr.	Tag	O r t	Tiefe (Meter)	Temp. (°C.)	pC. Salz.	CO ₂ im Liter Wasser		O + N (Cv. 1m Liter)	(O + N) = 100	
						Grm.	CC.		pC. O	pC. N
48	17. August	1 1/2 M. NO von Cromer	0	16,0	3,380	—	—	17,3	33,93	66,07
49	"	"	28	15,9	3,380	—	—	17,1	34,04	65,96
50	"	Küste bei Yarmouth	0	17,4	3,314	—	—	—	—	—
51	20.	1/2 M. O von "	0	17,2	3,367	0,1080	54,6	—	—	—
52	"	"	30	17,2	3,380	—	—	16,8	33,99	66,01
53	"	4 M. SO	47	17,2	3,406	—	—	16,1	33,94	66,06
54	"	11 M. OSO	43	17,2	3,524	0,0924	46,7	—	—	—
55	"	14 M. OzS	31	17,2	3,550	—	—	16,5	33,89	66,11
56	21.	Rhede von Nieuwediep	0	17,9	3,326	—	—	15,5	33,70	66,30
57	22.	Im Zuidersee	0	18,5	2,790	0,0990	50,1	—	—	—
58	"	"	0	18,6	2,070	0,1052	53,2	—	—	—
59	"	" bei Enkhuizen	0	18,8	1,546	0,1087	55,0	—	—	—
60	23.	2 M. N von Terschelling	0	18,4	3,314	—	—	16,5	34,08	65,92
61	"	5 M. "	36	17,5	3,445	—	—	16,1	33,81	66,19
62	"	12 M. N von Vlieland	41	16,5	3,445	—	—	17,2	33,68	66,32
63	24.	Vor der Wester-Ems	0	18,2	3,275	0,1100	55,6	—	—	—
64	"	5 M. N von Rottum	0	18,1	3,380	—	—	16,6	33,89	66,11
65	"	10 M. W von Helgoland	0	17,6	3,393	—	—	16,1	34,14	65,86
66	25.	3 M. WNW	0	17,5	3,393	—	—	15,9	33,84	66,16
67	"	"	38	16,2	3,393	—	—	16,0	33,00	67,00
68	"	Helgoland, Norderhafen	0	17,6	3,327	0,1091	55,2	—	—	—
69	26.	Südlich von Helgoland	55	17,2	3,354	—	—	16,7	33,69	66,31
70	27.	Mitte zw. Helgoland und Wangeroog	0	17,7	3,288	—	—	16,5	33,93	66,07
71	"	Bei Wangeroog	0	18,0	3,288	—	—	16,0	33,97	66,03
72	"	Rhede von Wilhelmshafen	0	18,1	3,157	0,1100	55,6	—	—	—
73	30.	"	0	17,6	3,170	0,1126	57,0	—	—	—

Tabelle II.
Bestimmung des Luftgehaltes im Wasser des Kieler Hafens.

T a g	Oberfläche				Tiefe (30 bis 32 Meter)			
	Temperatur	O + N	O	N	Temperatur	O + N	O	N
18. October 1872.	11,2 °C.	18,46	33,77	66,23	11,9 °C.	16,68	26,54	73,46
22. "	11,0	18,18	33,87	66,13	11,6	17,32	28,88	71,12
27. "	9,8	18,52	33,86	66,14	10,9	15,73	18,09	81,91
1. November	10,5	18,65	33,99	66,01	11,5	16,18	20,14	79,86
6. "	9,8				11,4	15,66	16,55	83,45
11. "	9,0				10,1	17,05	23,60	76,40
16. "	6,6				10,0	17,81	28,88	71,12
21. "	7,1				8,5	18,98	29,19	70,81
6. December	6,6	20,65	33,94	66,06	8,2	18,60	26,98	73,02