

Sitzungsberichte

der

königl. bayerischen Akademie der Wissenschaften

zu München.

Jahrgang 1862. Band II.

München.

Druck von J. G. Weiss, Universitätsbuchdrucker.

1862.

In Commission bei G. Franz,

ständigen freien Entwicklung in China wesentlich mit beigetragen haben.

Die Vorschriften über die Pietät gehen oft in's Kleinliche und fast in's Abgeschmackte.

B e m e r k u n g.

Die chinesischen Originaltexte konnten hierorts, wie der Vf. wünschte, nicht beigegeben werden.

Der Classensecretär Herr M. J. Müller hielt Vorträge

- a) „über die Erzählung von der Doncella Teodor;
- b) „über den Tod Don Sebastians;“
- c) „über die Pest im 14. Jahrhundert.“

Diese Vorträge werden späterhin in Druck gelegt werden.

Mathematisch – physikalische Classe.

Sitzung vom 13. December 1862.

Herr Jolly hielt einen Vortrag über

„Bathometer und graphische Thermometer.“

Die Messungen der Tiefe der Meere und der Temperaturen in diesen Tiefen haben für die Physik des Meeres ein nahe liegendes Interesse. Temperatur-Differenzen sind zumeist die einleitenden Ursachen der Meeresströme, und Druck und Temperatur sind in der Lebensökonomie der Meeresgeschöpfe zwei der wichtigsten Factoren.

Zu Tiefenmessungen sind zwei Apparate in Gebrauch, das Tiefloth und das Bathometer, das letztere ein Instrument, welches die Tiefe, in die es herabgelassen wird, graphisch angibt. Mit dem

Tiefloth, einem schweren Körper an einer dünnen Schnur, sind bis jetzt wohl ausnahmslos alle Messungen beträchtlicherer Tiefen ausgeführt. Der Apparat empfiehlt sich durch seine Einfachheit. Die Schnur ist in Toisen oder in Meter getheilt, die Theilpunkte sind durch gefärbte Bändchen, die mit fortlaufenden Nummern versehen werden, bemerklich gemacht, und für jedes Tausend ist eine andere Farbe gewählt. Hat das Loth den Boden erreicht, so wird die abgelaufene Fadenlänge abgelesen. Eine Verbesserung des Apparates ist dadurch erzielt, dass ein am Loth zur rascheren Senkung aufgehängenes, schweres Gewicht durch den Stoss am Meeresboden abgelöst wird, wodurch das Heraufziehen der Leine mit minderem Kraftaufwand und minderer Gefahr des Zerreißens ausführbar wird. Von zwei Fehlerquellen, mit denen man zu kämpfen hat, lässt sich die Grösse der einen vielleicht genügend genau ermitteln, während die der anderen lediglich Vermuthungen überlassen ist. Die durch das Senkblei gespannte Schnur erfährt nämlich durch Benetzung nicht unbedeutende Aenderungen ihrer Länge, und erleidet zugleich selbst bei vollständiger Windstille durch die nie fehlenden Strömungen des Wassers Abweichungen von der Vertikalen. Herr Lenz¹ hat gezeigt, wie die erste dieser Aenderungen in Rechnung gezogen werden kann, für die zweite nahm er an, dass die Neigung, welche die Schnur an der Oberfläche des Wassers zur Vertikalen zeigt, auch für die ganze Tiefe ungeändert bleibe. Es ist einleuchtend, dass die durch Benetzung der Schnur eintretende Aenderung der Länge unter Anwendung der Vorsicht und Umsicht, mit welcher Hr. Lenz in seinen Messungen zu Werke ging, für die Zwecke, die hier erreicht werden sollen, genügend genau bestimmt werden kann. Die Abweichung der Schnur vom Loth wird dagegen aus der Abweichung, welche man an der Oberfläche des Wassers wahrnimmt, nicht beurtheilt werden können. Die Ström-

(1) Poggendorff's Annalen B. 20 p. 73.

[1862. II.)

ungen, die in der Tiefe oft wesentlich von denen an der Oberfläche abweichen, und die in verschiedenen Tiefen in Stärke und Richtung wechselnd sein können, werden zum Erfolg haben, dass die abgehaspelte Schnur keine gleich bleibende Abweichung vom Loth besitzt, und dass dieselbe überhaupt nicht mehr einfach eine gerade Linie bildet. Die Unsicherheiten, die hiedurch in die Messungen mit der Leine eintreten, werden um so beträchtlicher, je grösser die zu ermessende Tiefe ist, und lassen bei bedeutenden Tiefen nur angeben, welch' eine Länge der Leine abgelaufen ist, nicht aber welche Tiefe erreicht wurde. Dem entsprechend führen auch die Naturforscher der Novara-Expedition², die wohl die grössten Tiefenmessungen ausführten, nur an, dass bei einer Messung im atlantischen Meer, $27^{\circ} 2'$ nördl. Breite und $24^{\circ} 7'$ westl. Länge nach einer Abhaspelung einer Schnurlänge von 24,000' engl., und bei einer zweiten Messung auf der Fahrt vom Cap nach der Insel Amsterdam, in $40^{\circ} 44'$ südl. Breite und $60^{\circ} 8'$ östl. Länge, selbst nach einer Abhaspelung von 37,000' engl. das Senkblei noch nicht den Meeresgrund erreicht hatte. Die Tiefen, die in beiden Fällen erreicht waren, bleiben geradezu unbekannt.

In der Construction graphischer Instrumente sind zwei verschiedene Principien in Anwendung gebracht. Die eine Classe der Bathometer gibt die Weglänge an, die das Instrument im Niedersinken im Wasser zurücklegt, die andere bezeichnet den Druck der über dem Instrument stehenden Wassersäule. Beide Vorschläge sind schon vor langer Zeit gemacht, der eine von Robert Hooke³, der andere von Hales⁴.

Der Apparat von Hooke besteht in einem oben und unten offenen Kästchen, in welchem eine vertical stehende, drehbare

(2) Reise der österreichischen Fregatte Novara in den Jahren 1857, 1858, 1859, beschrieben von Dr. Scherzer. B. 1.

(3) Robert Hooke's Bathometer ist im Jahre 1726 bekannt gemacht, und ist beschrieben im 1. B. der Philos. Transactions Nr. 7 p. 147.

(4) Statical Essays, containing vegetable Stat. Steph. Hales. Lond. 1734.

Achse sich befindet. An der Achse sind Blehschaufeln in der Stellung von Windmühlflügeln befestigt. Eine Senkung des Apparates im Wasser hat hiernach eine Drehung der Achse zum Erfolg, und diese wird durch eine Schraube ohne Ende, mit welcher die Achse versehen ist, auf ein Zählerwerk transmittirt. Hooke hat eine Anordnung hinzugefügt, nach welcher mit dem Stoss auf den Meeresgrund eine Auslösung des Zählerwerkes eintritt, wodurch die rotirenden Bewegungen, welche durch das Herausziehen des Apparates eingeleitet werden, ausser Wirkung auf das Zählerwerk bleiben. Der Gebrauch des Apparates setzt eine Art Eichung voraus. Man lässt nämlich das Instrument in eine abgemessene Tiefe herab, und erfährt hiemit die Anzahl der Drehungen, welche einer bekannten Weglänge entsprechen. Hooke behauptet durch Versuche sich überzeugt zu haben, dass die Anzahl der Drehungen der beweglichen Achse nur von der Länge des durchlaufenen Weges und nicht von der Geschwindigkeit des sinkenden Apparates abhängt und dass ebenso die Dichtigkeit des Wassers ausser Einfluss sei. Begreiflich ist diess nur dahin zu verstehen, dass innerhalb der engen Grenzen abgeänderter Geschwindigkeiten und Dichtigkeiten, innerhalb welcher Hooke experimentirte, ein merklicher Unterschied sich nicht zu erkennen gab. Die Principien der Mechanik lassen klar genug erkennen, dass und welcher Unterschied in der Arbeit eines Wasserstromes eintritt, je nach der Geschwindigkeit, mit welcher derselbe durch einen Apparat wie der von Hooke geleitet wird, und je nach der Dichtigkeit des Wassers, ob in Salzwasser oder in süßem Wasser, ob in Wasser von höherer oder von tieferer Temperatur. Wie gross der Unterschied in der Geschwindigkeit des Niedersinkens mit den erreichten Tiefen wird, geht wieder aus den publicirten Beobachtungen der Begleiter der Novara-Expedition hervor, ein Unterschied, der für den Anfang eine 20mal grössere Geschwindigkeit als für den Schluss der Operation ergab. Man müsste also unter Anwendung des Hooke'schen Tiefenmessers zugleich auch Zeitmessungen machen. Da aber die Geschwindigkeit in

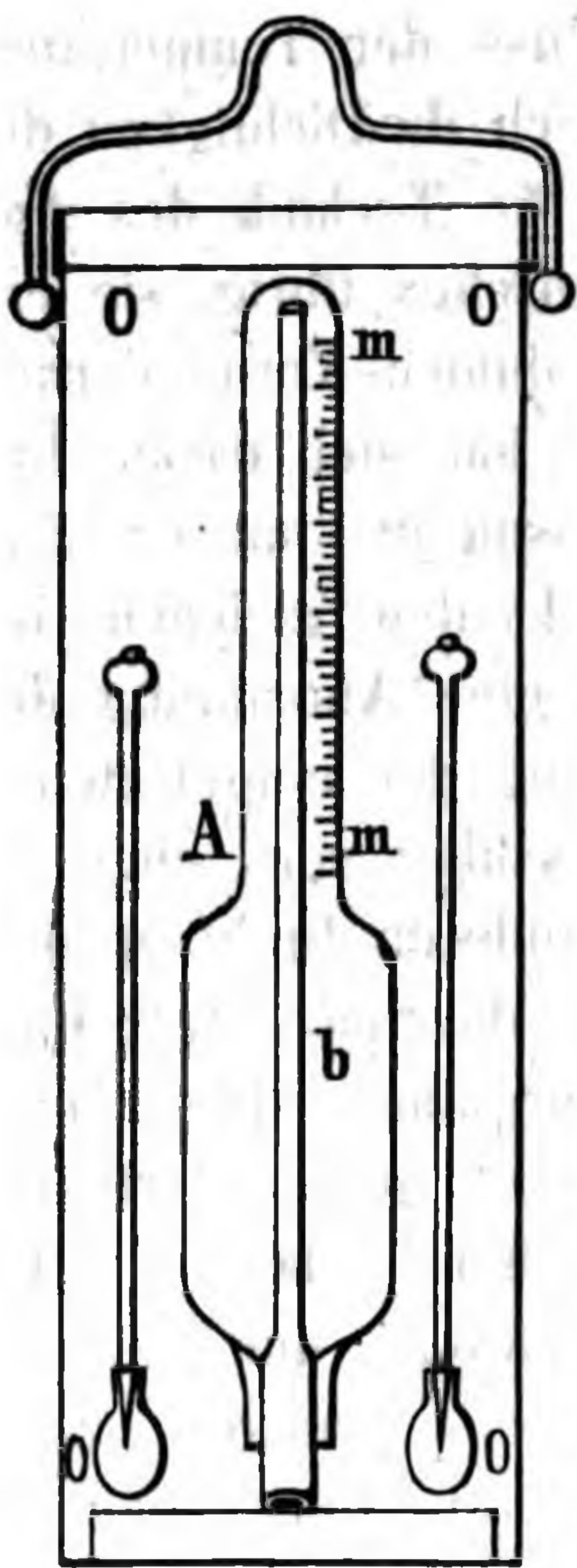
der Abhaspelung sich fort und fort ändert, ohne dass ein einfaches Gesetz für diese Aenderung sich aufstellen lässt, so bleiben die anzubringenden Correcturen höchst unsicher. Doch abgesehen von Fehlerquellen dieser Art ist auch zu besorgen, dass in der Technik des Apparates leicht Störungen eintreten, die seine Angaben illusorisch erscheinen lassen. Geringe Unreinigkeiten des Wassers, kleine Fäserchen u. dgl. können die Beweglichkeit der Achse und die Transmission der Bewegung wesentlich abändern. Vielleicht sind alle diese Umstände der Grund, aus welchem der Bathometer von Hooke mit all den Abänderungen und Verbesserungen, die im Verlauf der Zeit in Vorschlag kamen, zu Messungen bedeutender Tiefen nicht in Anwendung kam.

Nach dem Vorschlag von Hales soll der Druck des Wassers zur Compression einer abgegrenzten Luftmenge benützt, und aus der Volumen-Verminderung der Luft soll auf den Druck, und hiermit auf die Höhe der pressenden Wassersäule geschlossen werden. Eine eiserne, unten offene Röhre taucht mit dem unteren Ende in eine gefärbte klebrige, in Wasser nicht lösbare Flüssigkeit. In der eisernen Röhre ist ein mit einer Theilung versehenes Elfenbein-Stäbchen eingeschraubt. Durch den mit der Tiefe zunehmenden Druck des Wassers wird die Luft comprimirt und die gefärbte Flüssigkeit tritt nach Massgabe dieses Druckes in die Röhre ein. Wird das Instrument heraufgezogen, so dehnt sich die Luft wieder aus, aber am Elfenbein-Stäbchen lässt sich durch die hängen gebliebene klebrige Flüssigkeit die Höhe beurtheilen, bis zu welcher die Flüssigkeit eingetreten war, also auch die Volumen-Verminderung der Luft erkennen, die der Druck in der Tiefe erzeugte. Der Quotient aus dem verminderten Luft-Volumen und dem ursprünglichen Volumen gibt, nach Atmosphärendruck bezeichnet, die Grösse des Druckes in der erreichten Tiefe an. Man sieht, das Princip ist richtig, und wird in der Anwendung zu brauchbaren Resultaten führen, wenn einerseits nur Pressungen in Frage kommen, innerhalb welcher das Mariotte'sche Gesetz Gültigkeit

besitzt, und wenn andererseits der Einfluss der Temperatur-Differenz oben und unten, und wenn endlich die Dichtigkeit des Wassers in Rechnung gezogen werden. Die Technik des Apparates von Hales lässt aber Vieles zu wünschen übrig, sie erlaubt namentlich nicht die eingetretene Volumen-Verminderung genügend genau zu messen. Hales selbst hat sich darauf beschränkt, den Vorschlag zu machen, Messungen hat er nicht ausgeführt. Es scheint, dass erst Oersted⁵ den gleichen Gedanken wieder aufnahm und zugleich auf eine Anordnung des Apparates verfiel, die eine genaue Messung der eingetretenen Volumen-Verminderung zulässt. Oersted schlug vor, eine, an dem einen Ende geschlossene, an dem anderen Ende in eine Spitze ausgezogene Glasröhre anzuwenden, die Spitze war umgebogen und mündete in einem Quecksilbergefass. Das Ganze wird in eine passende Kapsel zum Schutze gegen Zertrümmerung eingeschlossen und in die Tiefe herabgelassen. Der Wasserdruck treibt das Quecksilber in die Röhre, und vermindert das Volumen der Luft nach Massgabe des Druckes. Zieht man das Instrument in die Höhe, so tritt aus der Spitze die comprimirte Luft aus, und das Volumen der comprimirten Luft lässt sich aus dem Stand des Quecksilbers in der Röhre ableiten. Es ist mir nicht bekannt, ob Messungen mit diesem Bathometer ausgeführt sind. Gewiss ist aber, dass ohne gleichzeitige Temperaturbestimmungen eine genügende Genauigkeit sich nicht erreichen lässt.

Von den angegebenen Instrumenten war mir keines bekannt, als ich zum Zwecke einiger Tiefen-Messungen der Seen des bayerischen Gebirges auf die Herstellung eines graphischen Apparates Bedacht nahm. Ich verfiel ebenfalls auf die Idee von Hales, und benützte bei zahlreichen Messungen, die ich am Königssee bei Berchtesgaden, am Obersee, und am Walchensee ausführte, folgende sehr einfache Anordnung:

(5) L'Institut. 1834. Nr. 55.



In eine, am oberen Ende zugeschmolzene, am unteren Ende mit einem Hals versehene Glasröhre, von der Gestalt A der beistehenden Figur, passt eine an beiden Enden offene engere Glasröhre b, welche in den Hals c der weiteren Röhre luftdicht eingeschliffen ist. Das Volumen des Apparates wurde durch Wägung destillirten Wassers, welches der Apparat fasst, bestimmt, und die Kalibrirung des oberen Theiles mm wurde mit Quecksilber in der Art ausgeführt, dass die Röhre b am oberen Ende geschlossen, der Apparat umgekehrt, Quecksilber successiv eingegossen, und die bekannten Vorsichtsmaassregeln in Betreff des Meniscus beachtet wurden. An einem der Instrumente war beispielsweise das Volumen 122,2 Cub. Cent. und die auf mm aufgetragene Theilung erlaubte noch $\frac{1}{10}$

Cub.-Cent. direct abzulesen. Die Länge der weiteren Glasröhre war 45 Cent. M., ihr Durchmesser am Theil mm war 1,2 C. M. und der Durchmesser der engeren Röhre b war 0,4 C. M.

Das Instrument wird, eingeschlossen in eine Blechkapsel, an einer Schnur in die zu messende Tiefe herabgelassen. Der Boden der Kapsel ist mit einer Bleiplatte beschwert, und unten und oben sind, wie die Zeichnung dies andeutet, eine Anzahl kreisrunder Oeffnungen zum freien Durchgang des Wassers angebracht. Durch die Röhre b tritt entsprechend dem mit der Tiefe wachsenden Druck Wasser ein, bis die Luft in A auf das dem Druck entsprechend kleinere Volumen zusammengedrängt ist. Zieht man die Röhre in die Höhe, so entweicht die comprimirt Luft durch die Röhre b, das eingetretene Wasser kann aber nicht abfliessen. Die Höhe des Wassers im Gefäss A lässt also sofort erkennen, auf welch ein Volumen die Luft in der

Tiefe zusammengepresst war und die an der Röhre angebrachte Theilung gibt unmittelbar die Grösse dieses Volumens in Cubik-Centimeter an. Ein graphisches Thermometer, auf dessen Beschreibung ich noch zurückkommen werde, war in der gleichen Kapsel angebracht. Die Temperatur in der Tiefe wird also immer mit der Tiefenmessung zugleich gewonnen.

Gesetzt es wäre V das anfängliche Volumen der Luft in den Röhren A und b , v das Volumen der zusammengepressten Luft, und t die Temperatur-Differenz der Luft am Wasserspiegel und des Wassers in der erreichten Tiefe.

Das Volumen v geht durch eine Temperatur-Erhöhung von t^0 in das Volumen $v (1 + \alpha t)$ über, wo α den Ausdehnungs-Coëfficienten der Luft bezeichnet. Wäre die Temperatur in der Tiefe ungeändert, und die gleiche wie an der Oberfläche geblieben, so hätte man für das Volumen der comprimierten Luft nicht V , sondern $v (1 + \alpha t)$ gefunden. Der Quotient

$\frac{V}{v (1 + \alpha t)}$ gibt an, um das wie vielfache der Druck in der Tiefe den Druck an der Oberfläche übertrifft. Ist b der Barometerstand an der Oberfläche des Wassers, und s das specifische Gewicht des Quecksilbers, so ist $\frac{V b s}{v (1 + \alpha t)}$ den Druck in der Tiefe ausgedrückt durch die Höhe einer Wassersäule. Da aber auf der Oberfläche des Wassers schon der Druck der Atmosphäre, oder eine Wassersäule von der Höhe $b s$ lastet, so ist die erreichte Tiefe

$$T = \left(\frac{V}{v (1 + \alpha t)} - 1 \right) b s.$$

Wird nicht in reinem salzfreiem Wasser, und nicht in Wasser von der Temperatur Null gemessen, sondern in Wasser, dessen specifisches Gewicht s_1 ist, wenn das des destillirten Wassers von 0^0 zur Einheit angenommen wird, so ist die erreichte Tiefe ausgedrückt durch die Gleichung

$$T = \left(\frac{V}{v (1 + \alpha t)} - 1 \right) \frac{b s}{s_1}$$

Das Wasser der Landseen hat einen so geringen Salzgehalt, dass das specifische Gewicht meist erst in der dritten Decimale um eine Einheit von dem des destillirten Wassers abweicht. Zugleich nimmt die Temperatur von der Oberfläche nach der Tiefe rasch ab, und nähert sich mehr und mehr der Temperatur des Maximums der Dichtigkeit des Wassers. Ein Gesetz, nach welchem die Temperatur sich mit der Tiefe ändert, lässt sich nicht aufstellen. also kann auch der Einfluss der Dichtigkeits-Änderungen nicht in exacter Rechnung verfolgt werden. Aber es ist einzusehen, dass der Fehler, den man begeht, wenn man voraussetzt, s_1 sei durch die ganze Ausdehnung der Wassersäule gleich der Einheit, ein sehr geringer ist, und bei den Temperatur-Verhältnissen, die bei den Landseen in Frage stehen, erst in der 5ten Decimale sich von Einfluss zeigen kann.

Das Meerwasser hat eine beträchtlich grössere Dichtigkeit. Sie ist nach den Messungen des Hrn Lenz⁵⁾ im Mittel 1,026, und wechselt selbstverständlich je nach den Temperaturen und dem Salzgehalt. Die Schwankungen sind aber so gering, dass sie in den extremsten Fällen nur $\pm 0,001$ betragen.

Von grösserem Einfluss ist der Dampfgehalt der Atmosphäre. Die Röhre ist im Anfang des Versuches nicht mit trockener Luft, sondern mit Luft gefüllt, die nahezu mit Dämpfen gesättigt ist. Hat man die Röhre im Innern befeuchtet, wie diess nach einem ersten Versuche ohnedies eintritt, so ist die Annahme einer mit Dampf gesättigten Atmosphäre um so exacter erfüllt. Die Tabellen über die Spannkraft der Dämpfe bekannter Temperatur lassen leicht beurtheilen, welches das Volumen der trockenen Luft im Anfang und welches es am Schluss des Versuches war. Denn gesetzt, es sei V das anfängliche Volumen der, mit Dämpfen gesättigten im Apparat enthaltenen, Luft, b sei der Barometerstand und h die Spannkraft der Dämpfe,

(5) Poggendorff's Ann. E. 20 p. 109.

so ist das Volumen der trockenen Luft, welche einem Druck b entspricht, $V \frac{b-h}{b}$. Bezeichnet v das Volumen der comprimierten Luft, H den Druck dieser Luft, ausgedrückt durch die Höhe einer Quecksilbersäule, und h_1 den Druck der Dämpfe, so ist $v \frac{H-h_1}{H}$ das Volumen der trockenen Luft unter dem Druck H .

Der Quotient der Volumina trockener Luft am Anfang und am Schluss des Versuches ist demnach $\frac{V}{v} \frac{b-h}{b} \frac{H}{H-h_1}$, und unter Berücksichtigung der Temperatur-Differenz ist er

$$\frac{V}{v (1 + \alpha t)} \cdot \frac{b-h}{b} \cdot \frac{H}{H-h_1}.$$

Der Bruch $\frac{H}{H-h_1}$ nähert sich um so mehr der Einheit, je grösser H im Verhältniss zu h_1 ist. Bei Tiefen von nur wenigen hundert Füssen ist H ein Vielfaches von 760 m. m., bei 300' beiläufig schon das 10fache, bei 600' schon das 20fache, während h_1 , entsprechend der tiefen Temperatur, die in solchen Tiefen herrschend ist, kaum 6 bis 7 m m. beträgt. Man begeht also einen sehr geringen Fehler, wenn man $\frac{H}{H-h_1}$ gleich der Einheit setzt, und die Gleichung, welche die erreichte Tiefe angibt, hat folgende einfache Form

$$T = \left(\frac{V (b-h)}{v (1 + \alpha t) b} - 1 \right) \frac{b s}{s_1}$$

Bei Süsswasser-Seen darf aber überdiess $s_1 = 1$ gesetzt werden. Man erkennt, dass, unter sonst gleichen Verhältnissen, die Genauigkeit, die erreicht werden kann, wesentlich vom Quotienten $\frac{V}{v}$ abhängt. Sind die Dimensionen der Röhre

in der Art gewählt, dass Zehntel eines Cub.-Centimeters direct abgelesen und Hundertel nach geschätzt werden können, und beträgt die Unsicherheit in dieser Schätzung 0,01 C.-C., so ergibt sich die Bestimmung der Fehlergrenzen für den Quo-

tienten $\frac{V}{v}$ aus dem Ausdruck $\frac{V}{v \pm 0,01} = \frac{V}{v} \mp \frac{V}{v^2} 0,01$,
 in welchem die Glieder mit höheren Potenzen von 0,01 weg-
 gelassen sind. Soll etwa der Tiefenmesser dazu dienen, Tiefen
 bis zu 1024' mit einer Genauigkeit zu bestimmen, für welche
 die Fehlergrenze des Quotienten $\frac{V}{v}$ den Werth von 0,1 nicht
 überschreitet, d. h. soll der Druck bis auf $\frac{1}{10}$ Atm. genau an-
 gegeben werden, also der Fehler bei 1000' Tiefe nicht mehr
 als $\pm 3'$ betragen, so hat man zur Bestimmung der Grösse von
 V die Gleichung $\frac{V}{v^2} 0,01 = 0,1$. Eine zweite Gleichung
 zwischen V und v ergibt sich dadurch, dass in einer Tiefe von
 1024' der Druck gleichkommt 33 Atm. Man hat also $\frac{V}{v} = 33$.
 Durch Elimination von v findet man $V = 108,9$ Cub. Cent. —
 Hält man eine Fehlergrenze von 0,2 für den Quotienten $\frac{V}{v}$ für
 zulässig, also bei einer Tiefe von 1024 einen Fehler von $\pm 6'$,
 so reicht ein Gefäss aus vom Inhalt $V = 54,45$ C. C. Und
 wird bei einem 10mal grösseren Druck, also bei einer Tiefe
 von etwas über 10000' eine Fehlergrenze in der Bestimmung
 des Quotienten $\frac{V}{v}$ von ± 1 für zulässig gehalten, so erhält
 man $V = 1089$ C. C. oder etwas über ein Liter.

In dieser Betrachtung ist vorausgesetzt, dass das Mariotte'-
 sche Gesetz für alle Druckgrössen, die hier in Frage kommen,
 exact gültig sei. Die Messungen von Regnault⁷ zeigen aber,
 dass dieses Gesetz selbst für die sogenannten permanenten
 Gase, nicht ein Naturgesetz, sondern nur ein in ziemlich engen
 Grenzen gültiges empirisches Gesetz ist, sie zeigen aber zu-
 gleich, dass für Druckgrössen bis zu 30 Atm., die Abweichun-

(6) Mémoires de l'Institut. XXI. Paris 1847.

gen gering sind. Für Druckgrößen, für welche die Grösse der Abweichung von dem, als exact gültig angenommenen, Gesetz bekannt ist, lässt die erforderliche Correctur sich sofort ausführen. Ist etwa zu einer Volumen-Verminderung atmosphärischer Luft auf $\frac{1}{30}$ des ursprünglichen Volumens nicht ein 30-facher, sondern nur ein 29,59facher Druck erforderlich, so ist eben der Quotient $\frac{V}{v}$, der die Druckgrösse in der Tiefe ausdrückt, entsprechend zu corrigiren. Unterlässt man die Correctur, so begeht man in der Beurtheilung der Druckgrösse einen Fehler, der in dem angeführten Falle 0,41 Atm. betragen kann, also dem Druck einer Wassersäule von 4 Meter gleich käme.

Für Pressungen von mehr als 30 Atm. ist noch nicht untersucht, wie weit die nach dem Gesetz von Mariotte berechneten Volumen-Verminderungen von den wirklich eintretenden abweichen. Es ist wahrscheinlich, dass mit der Grösse der Verdichtung die Abweichung zunimmt. Von der Aufstellung eines Gesetzes kann aber nach dem, was bis jetzt experimentell vorliegt, nicht die Rede sein. Also tritt unvermeidlich beim Gebrauch des Bathometer's zur Ermittlung sehr beträchtlicher Tiefen eine Unsicherheit ein. In einer Tiefe von 24,000' beträgt der Druck schon mehr als 773 Atm. Wollte man annehmen, dass die Dichtigkeit der Luft auch nur direct wie der Druck zunimmt, so würde in dieser Tiefe die comprimirte Luft schon die Dichtigkeit des Wassers besitzen, in noch grösserer Tiefe würde die Dichtigkeit der Luft die des Wassers überschreiten, die dichtere Luft würde also im Wasser niedersinken und würde nach der Construction des Apparates theilweise durch die mittlere Röhre entweichen. Für Tiefen so beträchtlicher Grössen bleiben also immer die Angaben des Instrumentes illusorisch, selbst dann wenn man daran denken wollte, den Apparat mit einem specifisch leichteren Gas, etwa mit Wasserstoffgas, zu füllen. Bis jetzt ist es aber überhaupt noch nicht gelungen, Körper aus einer Tiefe von 24,000' wieder in die Höhe

zu bringen. Beim Aufhaspeln sind noch immer die Schnüre abgerissen.

Beschränkt man die Anwendung des Instrumentes auf Druckgrößen, also auch auf Tiefen, für welche die Abweichung vom Mariotte'schen Gesetz als zu geringfügig vernachlässigt, oder in anderen Fällen, als der Grösse nach bekannt, in Rechnung gezogen werden kann, so bleibt doch immer noch ein Bedenken übrig. Die über dem Wasser stehende comprimirt Luft wird von dem Wasser absorbirt und zwar, nach dem von Henry aufgefundenen und von anderen Forschern bestätigten Gesetze, in der Art, dass bei gleicher Temperatur immer das gleiche Volumen aufgenommen wird, also von comprimirt Luft dem Volumen nach ebenso viel, wie von nicht comprimirt Luft. Die zur Vollendung der Absorption erforderliche Zeit ist aber — wenn nicht Gas und Wasser anhaltend und heftig geschüttelt werden — sehr beträchtlich. Bei ruhigem Stehen wird die Luft, auch in stark comprimirtem Zustand, nur äusserst langsam vom Wasser aufgenommen. Um einen Anhaltspunkt zu gewinnen, wurden in einem Mariotte'schen Apparat 10 C. C. Wasser mit Luft von 4 Atm. Druck in Berührung gebracht, und an einem Ort constanter Temperatur aufgestellt. Nach 24 Stunden betrug die Absorption noch kaum $\frac{1}{100}$ C.-C. und, da der Inhalt der comprimirt Luft 4 C. C. war, noch kaum $\frac{1}{400}$ dieser Gasmenge. Für die Dauer eines Versuches mit dem Bathometer wird man also die geringe Absorption, welche die Luft in dieser Zeit erfährt, vernachlässigen dürfen. Man umgeht aber diese Unsicherheit vollständig, wenn man das Instrument mit Quecksilber absperirt. In der That hatte ich auch mit einer Anordnung dieser Art bei den Tiefenmessungen, die ich ausführte, begonnen. Nachdem ich mich aber überzeugt hatte, dass bei Absperrung mit Wasser die gleichen Resultate wie bei Absperrung mit Quecksilber erreicht werden, war es von selbst angezeigt, das schwerer transportable Quecksilber zur Seite zu lassen.

Der Gebrauch des beschriebenen Bathometers setzt die Kenntniss der Temperatur-Differenz der Tiefe, in die das Instrument herabgelassen war, voraus. Hales hat wohl am frühesten darauf Bedacht genommen, die Temperatur in verschiedenen Tiefen zu messen. Ein Eimer mit Deckel, der im Boden und im Deckel aufwärts schlagende Ventile besitzt, wird in die Tiefe herabgelassen. Mit der abwärts gehenden Bewegung öffnen sich die Ventile, und das Wasser durchströmt den Eimer. Zieht man den Eimer in die Höhe, so schliessen sich die Ventile, und man erhält Wasser aus der Tiefe, in welcher der Eimer sich befand. Die Temperatur dieses Wassers wird um so beträchtlicher von der der Tiefe abweichen, je mehr Zeit erforderlich war, um den Eimer in die Höhe zu ziehen. Die Unsicherheit wird also mit der Tiefe zunehmen. Péron⁸ (einer der wenigen Naturforscher auf Baudins Entdeckungsreise nach Neuholland, welcher die Beschwerden der Reise glücklich überstanden hat) suchte die Unsicherheiten, welche unter Anwendung von Hales' Eimer eintreten, dadurch zu umgehen, dass er ein, in schlechte Wärmeleiter eingehülltes, Thermometer unmittelbar in die Tiefe herabliess. Das Gesetz der Abkühlung oder der Erwärmung eines so ausgerüsteten Thermometers hat er nicht ermittelt. Man kann daher aus Péron's Beobachtungen nur erkennen, dass überhaupt in der Tiefe eine tiefere Temperatur angetroffen wird, nicht aber was der wahre Betrag der Temperatur-Erniedrigung war.

Hr. Lenz hat nach einer Angabe von Parrot den Eimer von Hales dahin verbessert, dass einerseits die Bewegung der Ventile mit grösserer Sicherheit eintritt, und dass andererseits durch wechselnde Schichten schlechter Wärmeleiter, aus welchen die Hüllen des Eimers bestanden, nur äusserst langsam Temperatur-Änderungen sich geltend machen können. An der Achse

(8) Gilberts Annalen. B. 19. p. 422,

des Eimers war ein Thermometer von starkem Glas befestiget, stark genug, um den Druck des Wassers selbst in bedeutenden Tiefen noch ertragen zu können. Die Brauchbarkeit des Apparats ist durch Hrn. Lenz dadurch erhöht und gesichert worden, dass er zuerst das Gesetz aufsuchte, nach welchem die Temperatur-Änderungen eintreten, wenn das Instrument in einem Wasserstrom bekannter Temperatur und bekannter Geschwindigkeit aufgehangen wird. Vielleicht sind die einzigen verlässigen Bestimmungen über die Temperaturen in der Tiefe des Meeres jene, welche man Hrn. Lenz zu verdanken hat.

Graphische Thermometer würden wohl am dienlichsten sein, wenn anders ihre Construction dahin gebracht werden kann, dass die Angaben verlässlich sind, und dass der Gebrauch keine weitläufige und schwierig auszuführende Vorbereitungen erfordert. Man hat daran gedacht, ein von James Six⁹ angegebenes Instrument in Anwendung zu ziehen. Doch hat schon Hr. Lenz darauf aufmerksam gemacht, wie unsicher die Angaben dieses Instrumentes durch Erschütterung und Bewegung werden können. In der That war auch von Six selbst das Instrument nur bestimmt, um local bei fester Aufstellung Temperatur-Extreme anzuzeigen. Die Einrichtung des Minimum-Thermometers, die man M. Walferdin verdankt, ist dagegen in allen Fällen anwendbar, und gibt selbst bei heftiger Bewegung und Erschütterung noch verlässige Resultate. Wird das Instrument genügend stark in Glas ausgeführt, so dass es selbst durch einen Druck von 100 und mehr Atm. noch nicht zerdrückt wird, so wird man durch dasselbe die Temperaturen beträchtlicher Tiefen namentlich dann ermitteln können, wenn zugleich die Volumen-Verminderungen, die das Instrument durch die bedeutenden Pressungen erfährt, in Rechnung gezogen werden. Die Vorbereitungen für den Gebrauch des Instrumentes sind nicht sehr

(9) The construction and use of a thermometer for shewing the extremes of temperature in the atmosphere during the observer's absence. Lond. 1794.

schwierig, aber sie setzen voraus, dass man über ein Bad tieferer Temperatur und wo möglich über ein Bad von Temperatur Null und noch tieferen Temperaturen verfügen könne. Auf Reisen und Excursionen sind dies oft geradezu unübersteigliche Hindernisse. Ich war daher darauf bedacht, dem Minimum-Thermometer, welches ich bei Tiefenmessungen einiger Landseen gebrauchen wollte, eine Einrichtung zu geben, durch welche die Anwendung des Instrumentes an keine anderen Vorbedingungen geknüpft ist, als an solche, die allerwärts leicht erfüllt werden können, und die bei sehr einfacher Technik auch unter Anwendung sehr dünner, also für die Wärme leicht durchdringbarer, Glashüllen in keiner Tiefe ein Zerdrücken des Instrumentes besorgen lässt.



Das Instrument besteht aus einem Gefäß a und aus einer an beiden Enden offenen, mit einer willkürlichen Theilung versehenen Glasröhre b. Die Röhre ist oben kugelförmig erweitert und unten in eine feine Spitze ausgezogen, kann also wie ein Stehheber gebraucht werden. Das Gefäß a hat einen Hals, in welchem das untere Ende der Röhre b gut eingeschliffen ist. Das Gefäß wird mit einer Flüssigkeit gefüllt, welche innerhalb der Temperaturen, die in Frage kommen, einen gleichbleibenden Ausdehnungs Coëfficienten besitzt. Ich habe hierzu in der Regel concentrirte Kochsalzlösung angewendet. Die Röhre b wird mit Quecksilber gefüllt, mit dem Finger oben geschlossen, und mit dem eingeschliffenen Ende in den Hals des Gefäßes a gesteckt. War im Anfang durch die Wärme der Hand die Temperatur der Flüssigkeit in a nur um Weniges über die Temperatur des Wassers erhöht, so erfolgt rasch die Temperatur-Abnahme, sobald der thermometrische Apparat in ein Wasserbad von der Temperatur der umgebenden Atmosphäre gebracht wird. Das Quecksilber fließt in feinen Tröpfchen, entsprechend der Zusammenziehung der sich abkühlenden Salzlösung, in das Gefäß. Im Anfang des Versuches, gleich nach der Zusammensetzung der beiden Stücke

des Thermometers, wird das überschüssige Quecksilber aus der Kugel ausgegossen. Mit der Abkühlung von a tritt also sofort ein Sinken der Quecksilbersäule ein. Man notirt den Theilstrich an welchem das Quecksilber stehen bleibt, und notirt zugleich die Temperatur des Bades. In einem zweiten Versuche wird das Instrument in ein Bad noch tieferer Temperatur gebracht. Man erfährt hiedurch, um wie viel Theilstriche die Quecksilber-Säule bei einer bekannten Temperatur-Differenz sinkt. Ist diese Eichung des Instrumentes im Laboratorium einmal ausgeführt, so ist der Gebrauch höchst einfach. Man setzt das Instrument zusammen, wie es eben beschrieben wurde, und bringt es in ein Wasserbad, dessen Temperatur nur der einen Bedingung unterworfen ist, höher zu sein als die, welche man graphisch mit dem Instrumente ermitteln will. Durch die Wärme der Hand treibt man den Quecksilberfaden in die Höhe, so weit bis er den in eine Spitze ausgezogenen und hiedurch verjüngten Theil der Röhre verlassen hat. Die aufgetragene Theilung bezeichnet die Länge des Fadens. In einer tieferen Temperatur sinkt ein weiterer Theil des Quecksilbers in das Gefäss, es bleibt nur ein kürzerer Quecksilberfaden zurück. Der Unterschied der beiden beobachteten Fadenlängen, dividirt durch die Anzahl der Theilstriche, die einem Grad entsprechen, gibt in Graden die stattgehabte Temperatur-Differenz.

Wird der Apparat beliebig tief in Wasser eingetaucht, so ist doch ein Zerdrücken des Instrumentes nicht zu besorgen, weil der Druck aussen und innen immer der gleiche bleibt. Dagegen tritt durch den Druck eine Volumen-Verminderung der Salzlösung ein, und Quecksilber fliesst in Folge des Druckes selbst ohne Temperatur-Erniedrigung, in das Gefäss ab. Also erfordert der Gebrauch des Instrumentes zu Temperatur-Bestimmungen in der Tiefe der Seen eine zweite, im Laboratorium auszuführende Vorbereitung, welche die Ermittlung der Volumen-Verminderung unter gegebenem Druck zum Zwecke hat. Ich setzte die graphischen Thermometer in ein Piezometer ein, und notirte um wie viel Theilstriche die Quecksilber-

säule unter verschiedenen Druckgrößen sinkt. Der Compressionsapparat war genügend geräumig, um 3 Instrumente zugleich aufzunehmen, wodurch eine Controle für die Messungen gewonnen werden konnte. Für die Anwendung der graphischen Thermometer ist eine Kenntniss des Werthes des Compressibilitäts-Coëfficienten nicht geradezu erforderlich; es genügt für ein gegebenes Instrument zu wissen, um wie viel Theilstriche das Quecksilber unter dem Druck einer Atmosphäre sinkt. Da aber die Kubicirung der Apparate mit wenig Mühe verbunden ist, so schien es um so gerathener, auch diese Arbeit aufzunehmen, weil dann die Messungen gleich dazu dienen konnten, die Compressibilitäts-Coëfficienten der benützten Salzlösung zu bestimmen, und also aus den Differenzen, die die Instrumente von verschiedenem Kaliber ergeben, zu erkennen, in wie weit die Technik der benützten Instrumente sich bewährt.

Das Gefäss des Thermometers Nr. 1 hatte einen Inhalt von 10,0058 C.-C. und das Kaliber der Röhre war der Art, dass der übrige Inhalt für 39,5 Längentheile sich zu 0,00804 C. C. und an einer andern Stelle für 65,5 zu 0,01331 C. C. ergab. In beiden Fällen erhält man für den Inhalt des Raumes von Theilstrich zu Theilstrich 0,000203 C. C. Ein Druck von 6 Atm. bewirkte ein Sinken des Quecksilberfadens im Betrag von 8,9 Theilstrichen. Die Volumen-Verminderung betrug demnach 0,001806 C. C. Da das anfängliche Volumen 10,0058 C. C. war, so berechnet sich der Compressibilitäts-Coëfficient für 1

Atm. zu $\frac{0,001906}{10,0058} = 0,00030$. Und für den Druck je einer Atmosphäre erfolgt eine Volumen-Verminderung von 0,00030 C. C., also ein Sinken der Quecksilbersäule von 1,48 Scalentheilen. Die Lösung war eine concentrirte Lösung von käuflichem Kochsalz.

Das Gefäss des Thermometers Nr. 2 hatte einen Inhalt von 7,1039 C. C. Der Inhalt des Raumes zwischen zwei Theilstrichen ergab sich zu 0,000288 C. C. Ein Druck von 6 Atm. bewirkte ein Sinken des Quecksilberfadens im Betrag von 3,8 Scalentheilen. Die Volumen-Verminderung beträgt demnach

0,001094. Es berechnet sich hienach der Compressibilitäts-Coëfficient für den Druck einer Atmosphäre zu 0,0000256. Und für den Druck einer Atmosphäre sinkt das Quecksilber um 0,63 Scalentheile.

Das Gefäss des Thermometers Nr. 3 hatte einen Inhalt von 9,4680 C. C. Der Inhalt des Raumes zwischen zwei Theilstriichen ergab sich zu 0,000304 C. C. Ein Druck von 6 Atm. bewirkte ein Sinken des Quecksilberfadens im Betrag von 5,2 Scalentheilen. Die Volumen-Verminderung beträgt demnach 0.001580. Es berechnet sich hienach der Compressibilitäts-Coëfficient für den Druck einer Atmosphäre zu 0,000278. Und unter dem Druck einer Atmosphäre sinkt der Quecksilberfaden um 0,86 Scalentheile.

Allerdings weichen die gefundenen Compressibilitäts-Coëfficienten beträchtlich von einander ab. Der Grund hievon ist aber naheliegend. Auf den Scalen der Röhren sind nur ganze Scalentheile aufgetragen, die Zehntel mussten geschätzt werden. Eine Irrung in dieser Schätzung im Belang von $\frac{1}{10}$ eines Scalentheiles ist schon genügend, um Ungleichheiten in den End-Resultaten zu Wege zu bringen, wie die, welche erhalten wurden. Die Anwendbarkeit des Apparates hängt hiervon durchaus nicht ab. Denn die Aenderungen, die die Wärme bewirkt, sind weit überwiegend über die Aenderungen, die der Druck erzeugt. An den Instrumenten Nr. 1, N. 2 und Nr. 3 beträgt das Sinken des Quecksilbers bei einer Temperatur-Erniedrigung von 1° nach der Reihe 19 Scalentheile, 9,3 und 12,2, und ein Druck einer Atmosphäre hat ein Sinken von 1,48 von 0,63 und von 0,86 zum Erfolg.

Unter einem Druck von 30 Atm., dem beiläufig eine Tiefe von 1000' entspricht, wird das Ausfliessen des Quecksilbers, welches in Folge des Druckes eintritt, 44,4, 18,9 und 25,8 betragen. Gesetzt, es wäre die Ablesung für den Druck von 6 Atm. sogar um $\frac{2}{10}$ eines Scalentheiles unsicher, so würde diess für die Zahlen, welche die Volumen-Aenderung unter dem Druck einer Atmosphäre bezeichnen, eine Unsicherheit von

$\frac{0,3}{6}$ oder von 0,05 erzeugen. Der Fehler könnte also bei einem Druck von 30 Atm. 1,5 Theilstriche betragen. Dies würde bei dem Instrument Nr. 1 eine Unsicherheit in der Temperatur-Bestimmung von $0,079^{\circ}$ C., bei dem Instrument Nr. 2 eine Unsicherheit von $0,12^{\circ}$ C., und bei dem Instrument Nr. 3 eine Unsicherheit von $0,12^{\circ}$ C., also bei keinem dieser Instrumente zwei Zehntel Grad der Celsius'schen Scala erreichen. In einer 10mal grösseren Tiefe, oder unter einem Druck von 300 Atm. würde die Grösse des Fehlers schon bedenklicher, sie würde in der gleichen Reihenfolge der Instrumente $0,79^{\circ}$ C., $1,5^{\circ}$ C. und $1,2^{\circ}$ betragen. Doch ist hiermit zugleich schon das Mittel angezeigt, welches man zur Verringerung dieser Fehlerquelle anzuwenden hat. Man hat nur darauf zu achten, dass der Inhalt des Gefässes im Vergleich zum Kaliber der Röhre gross ist, so dass einer Temperatur-Differenz von 1° C. eine noch weit beträchtlichere Anzahl der Scalentheile entspricht.

Es bleibt noch das Bedenken übrig, ob eine concentrirte Kochsalzlösung innerhalb der Temperaturen, die hier in Frage kommen, eine gleichförmige Ausdehnung besitzt oder nicht. Begreiflich lässt sich dies nur durch messende Versuche entscheiden. Ich hatte zum Zweck einer ganz anderen Untersuchung schon vor längerer Zeit diese Messungen ausgeführt, und mich überzeugt, dass eine concentrirte Kochsalzlösung in den Temperaturen von -5° C. bis $+10^{\circ}$ C. sich beinahe so gleichförmig wie Quecksilber ausdehnt, und einen Ausdehnungs-Coëfficienten besitzt, der etwas mehr als das Doppelte von dem des Quecksilbers beträgt. Man kann indess gleich die graphischen Thermometer selbst benützen, um sich zu überzeugen, dass in diesen tieferen Temperaturen die Zusammenziehung proportional der Temperatur-Abnahme erfolgt. Es reicht hin, die Apparate successiv in verschieden tiefe Temperaturen zu versetzen, und zuzusehen, ob proportional der Temperatur-Abnahme das Sinken des Quecksilbers erfolgt. Man kann sogar aus den Angaben der Instrumente selbst rückwärts den Ausdehnungs-

Coëfficienten der Salzlösung berechnen, wenn man nur anders vorausgehend den Ausdehnungs-Coëfficienten der benützten Glas-sorten bestimmt hat. Dies war anderer Zwecke halber geschehen, und es war die cub. Ausdehnung des Glases für 1° C. gleich 0,0000261 gefunden. Die Rechnung ist hienach sehr einfach, bezeichnet v das Volumen des Gefässes bei 0° , und ist β der Ausdehnungs-Coëfficient der Lösung, α der des Glases, ist n die Anzahl der Scalentheile für eine Temperatur-Abnahme von 1° C. und endlich μ das Volumen eines Scalentheiles, so ist

$$v (\beta - \alpha) = n \cdot \mu.$$

Für das Instrument Nr. 1 war gefunden $v = 10,0058$, $n = 19$, $\mu = 0,000203$. Man erhält hiernach für β .

$$\beta = 0,000411.$$

Für das Instrument Nr. 2 war gefunden $v = 7,1039$, $n = 9,3$, $\mu = 0,000288$. Man erhält hiernach

$$\beta = 0,000403.$$

Für das Instrument Nr. 3 war gefunden $v = 9,4680$, $n = 12,2$, $\mu = 0,000304$. Man erhält hiernach

$$\beta = 0,000417.$$

Es stimmen diese Werthe weit exacter unter einander überein, als jene, welche für die Compressibilitäts Coëfficienten gefunden wurden, einfach weil die Zahlen, welche zu Grunde liegen, mit weit grösserer Exactheit bestimmt werden können, als jene, welche man durch Ablesen durch die Glasylinder des Piezometers gewinnt.

Sind die Constanten eines jeden Instrumentes einmal im Laboratorium mit Exactheit bestimmt, so lässt der Gebrauch des Instrumentes an Bequemlichkeit kaum etwas zu wünschen übrig. Es genügt ein Fläschchen Salzlösung bereit zu halten, von dem gleichen Concentrations-Grad wie der, für welche die Constante, d. h. die Anzahl der Scalentheile, um welche bei einer Temperatur-Abnahme von 1° C. das Quecksilber sinkt, bestimmt wurde, und ferner ein kleines Gefäss mit Quecksilber mitzunehmen, und man hat Alles zur Hand, was zum Gebrauch des Instrumentes er-

forderlich ist. Die Zusammensetzung ist so einfach, dass man selbst auf Reisen mit keinerlei Schwierigkeiten zu kämpfen hat.

Man kann statt der Salzlösung auch Weingeist anwenden, und hat dann den Vorthail, dass, indem der Weingeist einen beiläufig doppelt so grossen Ausdehnungs-Coëfficienten besitzt, die Anzahl der Scalentheile, die einer Temperatur-Differenz von 1° C. entspricht, doppelt so gross wie bei der Salzlösung wird. Ueberdiess ist die Wärme-Capacität des Weingeistes viel geringer als die einer Kochsalzlösung. Der Apparat nimmt daher rascher die Temperatur des umgebenden Mediums an. Dagegen ist der Concentrationsgrad des Weingeistes Aenderungen unterworfen, die Constante des Instrumentes müsste also immer wieder von Neuem geprüft werden. Ich habe mit Weingeist nur Versuche im Laboratorium, nicht aber auf Excursionen, gemacht. Es könnte daher sein, dass die Besorgniss, die ich in Betreff der Aenderung des Weingeistes hege, nicht in dem Grade begründet wäre, wie ich dies annahm.

Die Messungen, die ich von einigen Seen ausführte, lassen sich in Kürze zusammenstellen. Das Volumen des benützten Bathometer's war $V = 122,2$ C. C. In der Blechkapsel, in welcher sich das Bathometer befand, waren zugleich zwei graphische Thermometer angebracht, und mit dem Bathometer wurde, angeknüpft an der gleichen Schnur, ein Hales'scher Eimer von einem Inhalt von beiläufig 10 Liter in die Tiefe herabgelassen. Der Eimer wurde beigefügt, weil mein verehrter Freund und College Hr. v. Siebold, der bei allen Messungen zugegen war, Wasser aus bekannter Tiefe und von bekannter Temperatur zum Zwecke der Untersuchung des Thierlebens in jenen Tiefen zu erhalten wünschte.

Beobachtungen am Königssee bei Berchtesgaden.

Am 19. Aug. 1862.

Temperatur der Luft über dem Wasser 15° C.

Temperatur des Wassers an der Oberfläche 14,9° C.

Barometer 0,705 M.

Ort der Beobachtung: Falkenstein, eine Felswand, die steil in den See abfällt. Die Entfernung vom Ufer war beiläufig 2 Meter. Die Instrumente wurden bis auf den Boden herabgelassen, und verweilten bei diesem, wie bei jedem spätern Versuch, 15 Minuten in der Tiefe.

Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf ein Volumen von 14,52 C. C.

Die graphischen Thermometer geben, unter Berücksichtigung der Einwirkung eines Druckes von $\frac{122,2}{14,5} - 1 = 7,4$ Atm., eine Temperatur von $5,62^\circ$ und $6,68^\circ\text{C.}$, also Mittel beider Angaben $6,0^\circ\text{C.}$ In der Gleichung

$$T = \left(\frac{V (b-h)}{v (1 + \alpha t) b} - 1 \right) b s$$

ist also zu setzen

$$V = 122,2$$

$$v = 14,52$$

$$b = 0,705$$

$$t = 14,9 - 6,0 = 8,9$$

$$h = 0,012 \text{ (nach Regnault's Tabellen für den Druck der Dämpfe.)}$$

$$\alpha = 0,003665$$

$$s = 13,596$$

Man erhält

$$T = 67,20 \text{ Meter.}$$

Am 19. Aug. 1862.

Temperatur des Wassers an der Oberfläche $14,9^\circ\text{C.}$

Barometer 0,705 M.

Ort der Beobachtung: mitten im See zwischen dem Falkenstein und dem Königsbach. Die Breite des Sees ist an dieser Stelle beiläufig 2000 Meter. Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf 6,53 C. C. Die Tempera-

turangaben der graphischen Thermometer sind 5,61 und 5,40, also im Mittel 5,5° C.

Man erhält hiernach

$$T = 163,2 \text{ Meter.}$$

Am 19. Aug. 1862.

Das Bathometer wurde an der gleichen Stelle, wie in dem vorangehenden Versuch nicht bis zum Boden, sondern nur in eine geringere Tiefe herabgelassen. Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf 24,2 C. C.

Die graphischen Thermometer wurden frisch gefüllt, sie gaben in der erreichten Tiefe 6,46 und 6,76, das Mittel beider Angaben ist 6,61° C.

Man erhält hiernach

$$T = 36,8 \text{ Meter.}$$

Am 21. Aug. 1862.

Temperatur des Wassers an der Oberfläche 15,2° C.

Barometer 0,701 M.

Ort der Beobachtung: Mitterling, beiläufig in gleicher Entfernung von den beiden Ufern, die Breite des Sees ist an dieser Stelle ungefähr 4000 Meter.

Das Bathometer wurde bis auf den Seeboden herabgelassen.

Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf 4,88 C. C.

Die graphischen Thermometer gaben an 5,24 und 5,44. Das Mittel aus diesen Angaben ist 5,34.

Die Spannkraft der Dämpfe von der Temperatur 15,2° C. ist 12,9. Es ist also $h = 12,9$ zu setzen.

Man findet

$$T = 216,5 \text{ Meter.}$$

Am 21. Aug. 1862.

Das Bathometer wurde an der gleichen Stelle wie im vorangehenden Versuch in eine geringere Tiefe herabgelassen.

Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf 6,78 C. C.

Die graphischen Thermometer geben an 5,39 und 5,38. Das Mittel dieser Angaben ist 5,38° C.

Man findet

$$T = 153,3 \text{ Meter.}$$

Am 21. Aug. 1862.

Das Bathometer wurde an der gleichen Stelle in eine noch geringere Tiefe herabgelassen. Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf 10,32 C. C.

Die graphischen Thermometer gaben an 5,92 und 5,74. Das Mittel dieser Angaben ist 5,83° C.

Man findet

$$T = 95,5 \text{ Meter.}$$

Am 2. Sept. 1862.

Temperatur des Wassers an der Oberfläche 15,2° C.

Barometer 0,707 M.

Ort der Beobachtung: mitten im See zwischen dem kleinen Watzmann und dem Gotzen.

Das Bathometer wurde bis auf den Seeboden herabgelassen.

Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf 5,09 C. C.

Die Angaben der graphischen Thermometer waren 5,69 und 5,45, also im Mittel 5,52° C.

Man findet

$$T = 209,1 \text{ Meter.}$$

Am 2. Sept. 1862.

Das Bathometer wurde an der gleichen Stelle in einer geringeren Tiefe herabgelassen. Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf 6,66 C. C.

Die graphischen Thermometer zeigten an 5,56 und 5,32. Das Mittel dieser Angaben ist 5,44° C.

Man findet

$$T = 198,0 \text{ Meter.}$$

Am 2. Sept. 1862.

Das Bathometer wurde an der gleichen Stelle in eine noch geringere Tiefe herabgelassen. Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf 12,05 C. C.

Die graphischen Thermometer zeigten an 5,82 und 5,80. Das Mittel dieser Angaben ist 5,81° C.

Man findet

$$T = 104,3 \text{ Meter.}$$

Am 2. Sept. 1862.

Das Bathometer wurde an der gleichen Stelle in eine noch geringere Tiefe herabgelassen. Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf 28,1 C. C.

Die graphischen Thermometer zeigten an 6,48 und 6,68. Das Mittel dieser Angaben ist 6,58° C.

Man findet

$$T = 37,8 \text{ Meter.}$$

Am 2. Sept. 1862.

Das Bathometer wurde an der gleichen Stelle in eine noch geringere Tiefe herabgelassen. Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf 40,7 C. C.

Die graphischen Thermometer zeigten an 7,86 und 7,92. Das Mittel dieser Angaben ist 7,89° C.

Man findet

$$T = 22,6 \text{ Meter.}$$

Beobachtungen am Obersee.

Der Obersee ist vom Königssee ungefähr 2 Kilometer entfernt. Nach den Terrain-Verhältnissen ist nicht zu zweifeln, dass er früher einen Theil des Königssee's bildete, und nur durch eine Erdrutsche abgetrennt wurde.

Am 20. Sept. 1862.

Temperatur des Wassers an der Oberfläche 15,1° C.

Barometer 0,702 M.

Ort der Beobachtung: mitten im See. Das Bathometer wurde bis auf den Seeboden herabgelassen. Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf 15,42 C. C.

Die graphischen Thermometer zeigten an 6,60 und 6,58. Das Mittel dieser Angaben ist 6,59° C.

Man findet

$$T = 62,3 \text{ Meter.}$$

Am 20. Sept. 1862.

Das Bathometer wurde an der gleichen Stelle in eine geringere Tiefe herabgelassen. Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf 30,5 C. C.

Die graphischen Thermometer zeigten an 7,48 und 7,62. Das Mittel dieser Angaben ist 7,55° C.

Man findet

$$T = 27,1 \text{ Meter.}$$

Am 20. Sept. 1862.

Ort der Beobachtung: nahe am Ufer des Obersees, an der Stelle, an der ein Sturzbach sich in den See ergiesst.

Das Bathometer wurde bis auf den Seeboden herabgelassen.

Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf 27,6 C. C.

Die graphischen Thermometer zeigten an 9,02 und 9,22. Das Mittel dieser Angaben ist 9,12° C. Die Temperatur des in den See sich ergiessenden Wassers war 13,8° C.

Man findet

$$T = 31,2 \text{ Meter.}$$

Beobachtungen am Walchensee.

Am 12. Oct. 1862.

Temperatur des Wassers an der Oberfläche 15° C.

Barometer 0,694 M.

Ort der Beobachtung: 1 Kilometer von Urfeld, nahe am steil abfallenden Ufer.

Das Bathometer wurde bis auf den Seeboden herabgelassen.

Die Luft zeigte sich comprimirt auf 9,42 C. C.

Die graphischen Thermometer zeigten an 5,88 und 6,04. Das Mittel beider Angaben ist 5,91° C.

Man findet

$$T = 107,0 \text{ Meter.}$$

Am 13. Oct. 1862.

Temperatur des Wassers an der Oberfläche 15° C.

Barometer 0,692 M.

Ort der Beobachtung: beiläufig in der Mitte zwischen Urfeld und dem Orte Walchensee.

Das Bathometer wurde bis auf den Seeboden herabgelassen.

Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf 4,22 C. C.

Die graphischen Thermometer zeigten an 5,01 und 5,34. Das Mittel beider Angaben ist 5,17° C.

Man findet

$$T = 248,8 \text{ Meter.}$$

Am 13. Oct. 1862.

Das Bathometer wurde an der gleichen Stelle in eine geringere Tiefe herabgelassen. Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf 10,20 C. C.

Die graphischen Thermometer zeigten an 6,22 und 6,02. Das Mittel beider Angaben ist 6,12° C.

Man findet

$$T = 98,6 \text{ Meter.}$$

Am 13. Oct. 1862.

Das Bathometer wurde an der gleichen Stelle in eine noch geringere Tiefe herabgelassen. Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf 16,22 C. C.

Die graphischen Thermometer zeigten an 6,66 und 6,86. Das Mittel dieser Angaben ist 6,76° C.

Man findet

$$T = 58,3 \text{ Meter.}$$

Am 13. Oct. 1862.

Ort der Beobachtung: an einer Stelle des Sees, die beiläufig 1 Kilometer östlich von der vorhergehenden liegt.

Das Bathometer wurde bis auf den Seeboden herabgelassen.

Die Luft im Bathometer zeigte sich comprimirt auf 10,22 C. C.

Die graphischen Thermometer zeigten an 6,10 und 6,04. Das Mittel beider Angaben ist 6,07° C.

Man findet

$$T = 97,6 \text{ Meter.}$$

Die Zusammenstellung der Beobachtungen lässt sofort übersehen, wie mit der Tiefe die Temperatur abnimmt. Es wurde gefunden am Königssee

Tiefe	Temperatur
0	14,9° bis 15,2° C.
22,6 M.	7,89
26,8	6,61
37,8	6,58
67,2	6,00
95,5	5,83
104,3	5,81
153,3	5,38
163,2	5,50
198,0	5,44
204,1	5,52
216,5	5,34.

Die Temperatur nimmt also im Anfang sehr rasch ab, sie ist in einer Tiefe von 22,6 Meter schon um etwas mehr als 7° tiefer als an der Oberfläche; sie nimmt aber dann mit den

wachsenden Tiefen nur äusserst langsam ab, und nähert sich mehr und mehr der Temperatur des Maximums der Dichtigkeit des Wassers. Die tiefste Stelle, die im Königssee mit dem Bathometer gefunden wurde, war 210,5 Meter, die Temperatur in dieser Tiefe übertrifft aber noch um $1,5^{\circ}$ die Temperatur der grössten Dichte des Wassers. Von der Tiefe von 104,3 Meter bis zur Tiefe von 216,5 M. sinkt die Temperatur nur noch um 0,47. Lässt sich aus so wenigen Beobachtungen selbst nicht ein empirisches Gesetz, der Abnahme der Temperatur mit der zunehmenden Tiefe ableiten, so ist doch jedenfalls nach den vorliegenden Zahlen klar, dass erst in beträchtlich tieferen Seen, die ähnlich wie die bayerischen Gebirgsseen tiefen Wintertemperaturen ausgesetzt sind, eine Temperatur zu erwarten ist, die der Temperatur des Maximums der Dichtigkeit des Wassers näher gelegen ist.

Die Temperaturen, welche die graphischen Instrumente aufzeichneten, sind nicht ohne Anomalien. So wurde die Temperatur in der Tiefe von 143 Meter tiefer gefunden, als die in der grösseren Tiefe von 163 Meter, und ebenso in der Tiefe von 198 Meter eine tiefere Temperatur, als in der grösseren Tiefe von 209 Meter. Es ist aber klar, dass dies lediglich den nicht genügend exacten Angaben der Instrumente zuzuschreiben ist. Es treten die Hundertel der Grade nur als Rechnungsgrössen auf, und sie sind nur aufgenommen, um zu erkennen, ob sie mehr oder minder nahe einem Zehntel kommen.

Die Beobachtungen und Messungen am Obersee ergaben

Tiefe in Meter.	Temperatur.
0	15,1° C.
27,1	7,55° C.
31,4	9,12° C.
62,3	6,59° C.

Hier ist die Anomalie bedeutender, und nicht durch die Fehlerquellen der graphischen Instrumente zu erklären. In einer Tiefe von nur 27 Meter war die Temperatur 7,55, und in der grösseren Tiefe von 31 Meter war sie 9,12, also um $1,57^{\circ}$ C.

Die Oertlichkeit erklärt aber zur Genüge die Erscheinung. An der Stelle, an welcher in der grösseren Tiefe die relativ höhere Temperatur gefunden wurde, ergiesst sich ein wasserreicher Bach in jähem Sturz in den See, und macht die höhere Temperatur noch in beträchtlicher Tiefe geltend.

Die Beobachtungen im Walchensee waren minder zahlreich. Es wurde gefunden

Tiefe in Meter	Temperatur
0	15° C.
58,3	6,76.
97,6	6,07.
98,6	6,12.
107,0	5,91.
248,8	5,17.

Die tiefste im Walchensee aufgefundene Stelle ist 32 Meter tiefer als die tiefste Stelle im Königssee. Die Abnahme der Temperaturen mit der Tiefe ist aber in beiden Seen auffallend gleich. Sie befinden sich aber auch unter ganz gleichen physischen Verhältnissen, sie haben nahezu gleiche Tiefen, liegen in gleicher Breite und beinahe in gleicher Höhe über der Meeresoberfläche.

Die graphischen Thermometer müssen längere Zeit in der Tiefe, deren Temperatur ermittelt werden soll, verweilen. Es ist also unvermeidlich, sie an einer Schnur herabzulassen und wieder in die Höhe zu ziehen. Für die Bathometer ist ein längeres Verweilen in der Tiefe nicht erforderlich. Es ist daher nahe liegend auf eine Einrichtung Bedacht zu nehmen, in welcher das zeitraubende Auf- und Abhaspeln einer Schnur wegfällt. Schon Hooke und Hales hatten hierhin zielende Vorschläge gemacht. Eine Kugel von Holz sollte als Schwimmer dienen, an der Kugel war das Bathometer aufgehangen, und am unteren Ende des Bathometers sollte ein Körper von solchem Gewichte befestigt werden, dass durch denselben der ganze Apparat in die Tiefe gezogen wird. Endlich sollte mit dem Stoss auf dem Meeresboden der schwere Körper sich ablösen, und das Batho-

meter durch die Kugel wieder in die Höhe gebracht werden. Der Apparat wird voraussichtlich schon in geringen Tiefen den Dienst versagen. Das Wasser dringt rasch in die Poren des Holzes und macht den Schwimmer unwirksam. Ich habe zunächst hohle Kugeln von dünnem Messingblech angewendet, und fand, dass sie aus Tiefen bis zu 60 Meter unversehrt den Apparat wieder in die Höhe brachten. In Tiefen von 100 Meter wurden aber die Kugeln platt gedrückt. Vielleicht wäre es am dienlichsten, Glocken von dünnem Blech, unten mit weitem Hals und von einer Gestalt, durch welche der Schwerpunkt der Gasglocke tief zu liegen kömmt, anzuwenden. Ein schwerer Stein würde die Glocke sammt dem Bathometer in die Tiefe ziehen. Wird der Stein durch den Stoss am Seeboden abgelöst, so kömmt der Apparat wieder in die Höhe, sobald die Dimensionen der Glocke der Art sind, dass das Gewicht des verdrängten Wassers grösser ist als das Gewicht der Glocke sammt dem des eingetretenen Wassers und dem der verdichteten Luft. Ein Zerdrücken des Apparates wird dann sicher in keiner Tiefe eintreten, dagegen würde seine Anwendbarkeit durch Tiefen begrenzt sein, in welchen der Druck des Wassers 770 Atm. erreicht, indem hiemit eine Verdichtung der Luft erzeugt wird, in welcher die Dichtigkeit der comprimirten Luft der Dichtigkeit des Wassers gleich kömmt. In offener See wird ein Apparat mit Schwimmer überhaupt nicht anwendbar sein, denn er würde durch die Strömungen oft weit fortgeführt, und wenn er in die Höhe kömmt, schwer wieder aufzufinden sein. Man wird also immer die Leine anwenden müssen, wird aber unter Benützung der Luft-Bathometer und der graphischen Thermometer mit grösserer Genauigkeit die erreichte Tiefe und die Temperatur in dieser Tiefe bestimmen können, als durch das Tiefloth und den Hales'schen Eimer.