

III. Ueber die Zusammendrückung der Flüssigkeiten; von Hrn. G. Aimé.

(*Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. VIII, p. 257.* — Die Figuren zu dieser Abhandlung, deren Aufnahme schon früher beabsichtigt wurde, finden sich im Band 61 auf Taf. III.)

Die ersten genauen Versuche über die Compression der Flüssigkeiten wurden i. J. 1761 von John Canton gemacht; indem er Luft, in welche ein offnes, mit Wasser gefülltes Thermometer gestellt war, bis auf zwei oder drei Atmosphären zusammendrückte, erkannte und maß er die Compression der in seinem Apparat enthaltenen Flüssigkeit. Später beschäftigten sich Perkins und Oersted mit demselben Gegenstand. Der erste operirte mit einigen hundert Atmosphären, allein seine Resultate waren mit mehren Fehlern behaftet, besonders mit der Schwierigkeit, die seine Methode darbot, den Druck zu bestimmen. Oersted folgte dem von Canton angegebenen Weg und die von ihm gelieferten Zahlen sind ziemlich genau, umfassen aber nur eine sehr kleine Skale; überdiß operirte er nur mit Wasser, ohne die Veränderungen zu untersuchen, welche Temperaturänderungen in der Zusammendrückbarkeit hervorbringen. Um diese Lücken auszufüllen, hielt es die Academie der Wissenschaften (zu Paris) für zweckmäßig, die Compression der Flüssigkeiten, unter Berücksichtigung der Gefäße, zum Gegenstande einer Preisfrage zu machen, und den HH. Colladon und Sturm wurde der Preis zuerkannt. Die von diesen Gelehrten befolgte Methode ist nahezu die von Canton angegebene und von Oersted vervollkommte. Um die Zusammendrückung des Glases, in welches sie die Flüssigkeiten einzuschließen genöthigt waren, zu bestimmen, maßen sie mit vieler Sorgfalt die Verlängerung

einer Glasstange, die an einem Ende eingezwängt und am anderen mit bestimmten Gewichten belastet war. Sie fanden dadurch, daß die lineare Verlängerung des Glases für einen Zug, der dem Druck einer Atmosphäre entspricht, 11 Zehnmilliontel beträgt. Und da die Volumsverringering eines allseitig zusammengedrückten Körpers das Dreifache des linearen Zusammenzuges ist, so nahmen sie 33 Zehnmilliontel als Volumsverringering des Glases für jeden Atmosphärendruck an ¹⁾. Hr. Poisson hat diese Zahl als zu stark verworfen, und meint, daß bei der Verlängerung eines Glasstabes ein Dünnerwerden stattfindet, welches man in Rechnung ziehen müsse ²⁾. Nach seinen Rechnungen muß die Zahl 33 durch ihre Hälfte, nämlich 16, ersetzt werden, und diese ist es, welche wir gebraucht haben.

Da die Versuche der HH. Colladon und Sturm bei schwachen, insgemein unter 30 Atmosphären bleibenden Drucken angestellt wurden, so war es wichtig zu wissen, ob die Resultate, welche sie erhalten haben, noch bestehen würden, wenn man ihre Druck- und Temperaturgränzen überschritt. Diefs war besonders der Zweck der Unternehmung dieser Arbeit.

V e r f a h r e n.

Da das Mariotte'sche Gesetz bisher nur bis zu einem Druck von 25 Atmosphären bestätigt worden, so war es nicht zweckmäfsig zur Messung von Drucken, die weit über diese Gränze hinausgehen sollten, ein gewöhnliches Manometer anzuwenden. Zur Vermeidung dieser Schwierigkeit und auch der Gefahren, die stets mit stark im Innern comprimierten Apparaten verbunden sind, suchte ich das Meer als natürliche Compressionsmaschine zu benutzen, da es den Druck, welchen darin untergetauchte Körper erleiden, mit Genauigkeit zu bestimmen erlaubt,

1) Diese Ann. Bd. 12, S. 39.

2) Diese Ann. Bd. 12, S. 516.

und ein Mittel giebt, diesen Druck bis zu einer sehr fernliegenden Gränze auszudehnen. Diese Methode ist, wie ersichtlich, derjenigen ähnlich, deren sich Arago und Dulong beim Studium des Compressionsgesetzes der Gase bedienten, nur, daß diese Physiker statt der Wassersäule, die eine zu große Länge gehabt haben würde, eine Quecksilbersäule anwandten.

Die zur Untersuchung genommenen Flüssigkeiten wurden in Ausfluß Apparate eingeschlossen. Eins derselben besteht aus einem Thermometer, dessen Stiel in der Mitte so gebogen ist, daß beide Schenkel parallel sind (Taf. III, Bd. 61, Fig. 10). Der eine dieser Schenkel ist offen, und der andere, in einem Haarröhrchen endigend, ragt in eine Erweiterung hinein, die selbst wieder zu einer Spitze ausgezogen ist.

Um das Instrument zu füllen, taucht man diese Spitze in die zu untersuchende Flüssigkeit und bringt sie zum Sieden, um alle an der Innenwand haftende Luft zu vertreiben. Hierauf gießt man Quecksilber in den offenen Schenkel der Röhre und schließt mittelst der Löthrohrflamme die Spitze der Erweiterung zu. Bisweilen bleibt ein Luftbläschen zurück, welches nach einigen Stunden verschwindet; wenn es nicht fortgeht, muß der Apparat verworfen werden. Um ihn zu graduiren, nimmt man die Temperatur, bei welcher die Quecksilbersäule am Ende der in der Erweiterung befindlichen Spitze anlangt; man erhitzt hierauf und die Quecksilbersäule wird zurückgeschoben. Man macht auf der Röhre einen Feilstrich und bemerkt genau die Temperatur, wann das Niveau der Säule ihm correspondirt. Angenommen nun, das Ausdehnungsgesetz der zu comprimirenden Flüssigkeit sey genau bekannt, so wird auch das Verhältniß zwischen den Volumen der Erweiterung und des zwischen dem Feilstrich und der Spitze begriffenen Röhrenstücks bekannt seyn.

Angenommen ferner zur größeren Bestimmtheit, die

Quecksilbersäule erreiche das Ende der Spitze bei 15° C. und den Feilstrich bei 30° . Läßt man den Apparat in das Meer hinab, so ergießt sich die Säule in die Erweiterung, so dafs, nach Herausziehung desselben, die dem Striche entsprechende Temperatur unter 30° liegt, z. B. gleich 22° ist. Um die Compression der Flüssigkeit zu kennen, braucht man nur zu wissen, welcher Temperatur das Instrument in der Tiefe des Meeres ausgesetzt war. Bei allen hier folgenden Versuchen war diese nun immer $12^{\circ},6$ C.

Vernachlässigen wir für einen Augenblick die Quecksilbermenge, welche in die Erweiterung getreten ist. Versenken wir das Instrument abermals bis zur selben Temperatur in das Meer, so wird es sich nicht mehr ergiefsen. Es wird dann die Zusammendrückung vorgestellt seyn durch die Säule, welche mittelst der Temperaturen 15° und 30° geschätzt ist, und deren Volum man, nach dem zuvor Gesagten, eben sowohl kennt als das der Erweiterung. Nun entspringt die beobachtete Zusammendrückung aus zwei Ursachen her, zunächst aus dem Druck und dann aus der beobachteten Temperaturerniedrigung von 22° bis $12^{\circ},6$.

Der allein vom Druck hervorgebrachte Effect wird also vorgestellt durch die Volume entsprechend den Temperaturen

$$(30^{\circ} - 15^{\circ}) - (22^{\circ} - 12^{\circ},6),$$

wobei das Volum, welches die Flüssigkeit bei $12^{\circ},6$ C. einnimmt, zur Einheit angenommen ist.

Wäre das in die Erweiterung tretende Quecksilber incompressibel, so würde zu der dem Versuch unterworfenen Flüssigkeit nur eine ihrer Compression entsprechende Gröfse eintreten, allein dem ist nicht so. Das Quecksilber ist wirklich, wengleich sehr wenig, comprimierbar, und dieses macht, dafs in die Erweiterung eine gröfsere Menge tritt, als die, welche nach dem Herausziehen des Apparats die Zusammendrückung der Flüssigkeit darstellen sollte.

Es giebt noch eine Fehlerquelle, die angegeben werden muß. Nachdem die Flüssigkeit comprimirt worden, erwärmt man sie, um abermals die Temperatur zu bestimmen, bei welcher das Niveau des Quecksilbers an den Feilstrich tritt. Um eine genaue Bestimmung zu machen, müßte man die Ausdehnung des Quecksilbers verhüten können. Das ist aber nicht möglich; man erhält also eine zu große Ausdehnung und mithin eine zu schwache Temperatur.

Wir sagten, daß wir den Effect vernachlässigten, den das in die Erweiterung getretene Quecksilber hervorbringt. Diefs ist erlaubt, denn der dadurch entstehende Fehler hat nur auf die Zehnmilliontel Einfluß, wenn man die mittlere Compression für eine Atmosphäre bestimmt. Wollte man ihn aber in Rechnung ziehen, so könnte es folgendermaßen geschehen.

Die totale Compression, welche wir durch den Temperaturunterschied ($30 - 15$) vorstellten, rührt her von der Compression des Quecksilbers und der der Flüssigkeit. Allein das Quecksilber ändert sein Volum durch den Druck äußerst wenig, dagegen beträchtlich mit der Temperatur. Man kann also die Wirkung des Drucks vernachlässigen und braucht bloß die der Temperaturänderung zu berücksichtigen.

Das Volum des in die Erweiterung getretenen Quecksilbers kann vorgestellt werden durch den Unterschied der Volume der Flüssigkeit bei den Temperaturen 30° und 22° , und die Volumsveränderung, welche es erleidet, ist durch den Temperaturunterschied ($22^{\circ} - 12^{\circ},6$) bedingt. Diese Veränderung ist begriffen in den durch die Zahlen ($30^{\circ} - 15^{\circ}$) — ($22^{\circ} - 12^{\circ},6$) ausgedrückten Total-Effect, und muß davon abgezogen werden.

Zusammendrückung der Flüssigkeiten.

Süßes Wasser.

Druck: 124 Atmosphären; ($42^{\circ},5-25^{\circ}$) — ($18^{\circ},5-12^{\circ},6$).

Um die Zusammendrückung zu berechnen, leerte man ein wohlgraduirtes Thermometer, füllte es mit Wasser und brachte es folgend in die Temperaturen $42^{\circ},5$, 25° , $18^{\circ},5$ und $12^{\circ},6$. Man merkte sich genau die Theilstriche, welche dem Scheitel der Quecksilbersäule für diese Temperaturen entsprechen, und fand sie: 81° , $39^{\circ},2$, $31^{\circ},1$ und $26^{\circ},1$. Die diesen Temperaturunterschieden entsprechenden Volume der Flüssigkeit werden also vorgestellt durch:

$$\left(\frac{81}{6480} - \frac{39,2}{6480}\right) - \left(\frac{31,1}{6480} - \frac{26,1}{6480}\right) = \frac{36,8}{6480}.$$

Das zur Einheit angenommene Volum der Wassermasse ist

$$1 + \frac{26,1}{5550} = \frac{5576,1}{5550},$$

woraus folgt:

$$\frac{5576,1}{5550} : \frac{36,8}{6480} :: 1 : x = 0,05652.$$

Dividirend durch 124, findet man für den Coefficienten der Zusammendrückung durch eine Atmosphäre 0,0000455, und fügt man 1,6 Milliontel für die Zusammenziehung des Glases hinzu, so erhält man 0,0000471 für die Zusammenziehung des Wassers ¹⁾.

1) Wir wollen hier suchen, wie groß der Fehler sey, der durch das in die Erweiterung tretende Quecksilber veranlaßt wird. Das Volum dieses Quecksilbers wird vorgestellt durch den Temperaturunterschied $42^{\circ},5-25^{\circ}$, und da diese Temperaturen entsprechen $81^{\circ}-39^{\circ},2$, so ist das Volum gleich $\frac{41,8}{6480}$.

Nun geht das Quecksilber aus der Temperatur $12^{\circ},6$ in die 25° über; mithin ist die daraus erfolgende Volumsänderung gleich:

$$\frac{41,8}{6480} \times \frac{(25 - 12,6)}{5550} = \frac{518,32}{6480 \times 5550}.$$

Allein wir wissen, daß das zur Einheit angenommene Volum des Wassers bei $12^{\circ},6$ gleich war:

$$\frac{5576,1}{5550}.$$

Süßes Wasser.

Druck: 124 Atmosphären; (42,3—24,5) — (18,5—12,6)
(80,3—38,8) — (31,1—26,1) = 36,5.

$$\frac{5576,1}{5550} : \frac{36,5}{6480} :: 1 : x = 0,05605.$$

Dividirt man durch 124, kommt 0,0000452, und fügt man für die Zusammenziehung des Glases 1,6 hinzu, findet man für die mittlere Zusammendrückung des Wassers durch eine Atmosphäre 0,0000468.

Atmosph.		Zusammendr. für 1 Atm.
165	(48,3—20,3) — (22,3—12,6) ; 0,008693	0,0000542
97	(35,5—15,0) — (16,5—12,6) ; 0,004853	0,0000516
112	(46,6—33,0) — (15,0—12,6) ; 0,005686	0,0000523
220	(46,6—16,0) — (15,0—12,6) ; 0,009830	0,0000463
160	(46,6—15,0) — (25,1—12,6) ; 0,0081879	0,0000527
86	(43,5—11,5) — (32,9—12,6) ; 0,0045158	0,0000541
86	(46,6—15,0) — (35,3—12,6) ; 0,0047495	0,0000578

Um die mittlere Zusammendrückung für eine Atmosphäre zu erhalten, bemerke man, daß 1298 Atmosphären einer Zusammendrückung von 0,063176 entsprechen, diese Zahl durch 1298 dividirt giebt 0,0000502, wenn man die Zusammenziehung des Glases in Rechnung zieht.

Alkohol von 32° Beaumé.

124	(39,2—18,5) — (27,6—12,6) ; 0,0079222	0,0000654
124	(37,1—18,5) — (24,5—12,6) ; 0,007937	0,0000656
124	(37,1—18,5) — (24,7—12,6) ; 0,007733	0,0000639
165	(40,0—20,2) — (22,2—12,6) ; 0,012622	0,0000781
220	(40,0—21,3) — (20,2—12,6) ; 0,013628	0,0000635
160	(40,0—20,2) — (23,5—12,6) ; 0,011191	0,0000715
86	(40,0—20,2) — (28,3—12,6) ; 0,005800	0,0000690

Die mittlere Zusammendrückung, berichtigt für die Wirkung des Glases, ist 0,0000682.

Wir haben also die Proportion

$$\frac{5576,1}{5550} : \frac{518,32}{6480 \times 5550} :: 1 : x = 0,000014.$$

Dividirt man diese letztere Zahl durch 124, so kommt 0,0000001. Diese muß man von der für die Compression des Wassers gefundene Zahl 0,0000471 abziehen, und so erhält man das Endresultat 0,0000470.

Alkohol von 40° Beaumé.

Atmosph.		Zusammendr. für 1 Atm.
124	(40,5–22,3) – (22,0–12,6) ; 0,12196	0,0000999
124	(39,9–21,7) – (22,0–12,6) ; 0,12133	0,0000994
97	(40,5–22,3) – (25,7–12,6) ; 0,007630	0,0000802
160	(40,5–22,3) – (19,6–12,6) ; 0,015107	0,0000960
160	(28,3–10,5) – (16,2–12,6) ; 0,017090	0,0001084
86	(28,3–10,5) – (22,6–12,6) ; 0,0095054	0,0001121

Das allgemeine Mittel ist 0,0000996. Die HH. Sturm und Colladon fanden 0,0000944, allein sie gaben nicht die Concentration ihres Alkohols an. Aus meinen Versuchen geht aber hervor, dafs die Zusammendrückbarkeit des Alkohols sich sehr mit seinem Wassergehalt ändert.

Kleesäure, bei 11° C. gesättigte Lösung.

160	(38,9–15,7) – (16,2–12,6) ; 0,007347	0,0000474
160	(37,2–13,9) – (16,2–12,6) ; 0,006944	0,0000450
86	(38,9–15,7) – (27,3–12,6) ; 0,004303	0,0000516
86	(37,2–13,9) – (26,5–12,6) ; 0,004211	0,0000505

Das allgemeine Mittel ist 0,0000479. — Die angewandte Lösung der Kleesäure war bei 11° gesättigt; wenn man sie in einem mit ihr gefüllten Gefäfs bis 7° erkalte, schlug sich eine grofse Menge Krystalle nieder, die eine oder zwei Stunden, nachdem man die Flüssigkeit bis 15° oder 18° erwärmt hatte, noch nicht verschwanden. Als ich die Lösung bei 12°,6 durch 160 Atmosphären zusammendrückte, verdichtete sie sich mehr als es die Temperatursenkung 12°,6–7° that, und dennoch konnte ich, bei mehrmaliger Wiederholung der Versuche, keine Spur von einer Ausscheidung von Krystallen wahrnehmen.

Diese Beobachtung scheint zu beweisen, dafs die Ausscheidung eines in einer Flüssigkeit gelösten Körpers mehr von der Temperaturänderung als von der Dichtigkeitsänderung der Flüssigkeit abhängt.

Essigsäure von 9°,6 Aréometr. bei 17° Temp.

86	(25,5–10,8) – (21,2–12,6) ; 0,004669	0,0000558
160	(25,5–10,8) – (16,2–12,6) ; 0,007580	0,0000489

Das Mittel ist 0,0000512. Eine weniger concentrirte Säure einem Drucke von 124 Atmosphären ausgesetzt, gab mir die geringere Zusammendrückung 0,000039 für eine Atmosphäre.

Concentrirte Schwefelsäure.

Atmosph.		Zusammendr. für 1 Atm.
160	(47,9—18,5) — (32,4—12,6) ; 0,005061	0,0000332
86	(28,8—15,7) — (21,3—12,6) ; 0,002717	0,0000331

Das Mittel, berichtigt wegen des Glases, ist 0,0000332.

Concentrirte Chlorwasserstoffsäure, von 23°,3 B. bei 16°,8 C.

160	(26,8—10,5) — (16,2—12,6) ; 0,006649	0,0000431
86	(36,0—15,0) — (27,7—12,6) ; 0,003603	0,0000434

Das berichtigte Mittel ist 0,000432.

Ammoniakflüssigkeit.

124	(36,4—22,0) — (22,0—12,6) ; 0,004421	0,0000372
124	(36,8—22,6) — (22,0—12,6) ; 0,004359	0,0000367
97	(25,8—15,0) — (16,5—12,6) ; 0,003651	0,0000392
112	(32,5—23,5) — (15,0—12,6) ; 0,004760	0,0000441
220	(32,5—15,0) — (18,9—12,6) ; 0,007409	0,0000352
220	(30,8—15,8) — (15,4—12,6) ; 0,007394	0,0000352
160	(30,8—15,8) — (18,4—12,6) ; 0,005961	0,0000388
160	(32,5—15,0) — (21,5—12,6) ; 0,005884	0,0000383

Das allgemeine Mittel ist 0,0000376.

Meerwasser.

124	(42,9—18,5) — (25,2—12,6) ; 0,004925	0,0000413
-----	--------------------------------------	-----------

Eine zweite Messung gab identisch dieselben Resultate.

Lösung von schwefelsaurem Natron, von 13°,8 B. bei 16°,0 C.

160	(36,4—14,7) — (16,2—12,6) ; 0,0066855	0,0000434
160	(37,4—16,0) — (16,2—12,6) ; 0,007011	0,0000454
86	(36,4—14,7) — (26,5—12,6) ; 0,003319	0,0000402
86	(37,4—16,0) — (26,0—12,6) ; 0,003881	0,0000461

Das allgemeine Mittel ist 0,0000444.

N a p h t h a.

Atmosph.		Zusammendr. für 1 Atm.
97	(41,5—22,5) — (25,3—12,6) ; 0,007931	0,0000833
112	(34,1—15,0) — (25,0—12,6) ; 0,007178	0,0000656
220	(41,5—22,5) — (15,0—12,6) ; 0,017179	0,0000797
220	(41,5—22,5) — (17,4—12,6) ; 0,015063	0,0000700
160	(41,5—22,5) — (20,0—12,6) ; 0,012727	0,0000811
160	(41,5—22,5) — (21,0—12,6) ; 0,011818	0,0000754
86	(41,5—22,5) — (26,5—12,6) ; 0,006677	0,0000791
86	(41,5—22,5) — (27,2—12,6) ; 0,005940	0,0000706

Das allgemeine Mittel ist 0,0000756.

T e r p e n t h i n ö l .

114	(41,9—28,2) — (18,5—12,6) ; 0,007491	0,0000620
165	(41,5—20,2) — (22,2—12,6) ; 0,011056	0,0000686

Das Mittel ist 0,0000657.

Q u e c k s i l b e r .

Druck von 97 Atmosphären. Um die Zusammen-
drückung des Quecksilbers zu bestimmen, wurde ein wie
Fig. 11, Taf. III, Bd. 61, eingerichtetes Thermometer an-
gewandt.

Es wurde zu gleichen Volumen mit Wasser und
Quecksilber gefüllt; die Graduierung geschah wie bei den
vorhergehenden Instrumenten, d. h., nachdem man einen
Feilstrich auf der Röhre gemacht hatte, suchte man, bei
welcher Temperatur das Quecksilber hinter ihm stand.
Nachdem hierauf das Thermometer hinreichend erkaltet
worden, bestimmte man die Temperatur, bei welcher das
Niveau der Säule sich in die Erweiterung zu ergießen
anfang. Nach der Versenkung in's Meer endlich merkte
man sich die neue Temperatur, bei welcher das Niveau
den Strich erreichte. Da die des Meeres bekannt war,
so hatte man sonach vier Zahlen, analog denen der vor-
hergehenden Versuche, z. B. folgende:

$$(32,6-16,5) - (18,0-12,6) = 10,7.$$

Hierauf nahm man ein wohl auf Glas graduirtes Thermometer, leerte es, füllte es mit Wasser und brachte es successiv in die oben angezeigten Temperaturen. Die neuen, den verschiedenen Lagen des Wasserniveau's entsprechenden Zahlen waren:

$$(55,7-29,1) - (30,5-26,1) = 22,2.$$

Mit diesen Zahlen konnte man die totale Compression berechnen. Denn der Theil der Säule, welcher die Compression vorstellt und geschätzt ward durch die Temperaturveränderungen des Quecksilbers in der Erweiterung, ist gegeben durch die Proportion

$$\frac{5562,6}{5550} : \frac{10,7}{6480} :: \frac{1}{2} : x = \frac{0,001647}{2},$$

der, welcher herrührt von den Temperaturvariationen des Wassers in der Erweiterung, ist gegeben durch die Proportion:

$$\frac{5576,7}{5550} : \frac{22,2}{6480} :: \frac{1}{2} : x = \frac{0,003409}{2}.$$

Das gesammte Volum der die Compression vorstellenden Säule ist also:

$$\frac{0,001647}{2} + \frac{0,003409}{2} = 0,002528,$$

das der Erweiterung zur Einheit genommen.

Wie wir gesehen, comprimirt sich das Wasser für eine Atmosphäre um 0,0000486 und für 97 um 0,0047142, wovon das Mittel 0,0023571 ist. Zieht man diese Zahl von 0,002528 ab, so kommt 0,000171. Verdoppelt man letztere, dividirt durch 97 und fügt dem Quotienten 1,6 Milliontel für die Compression des Glases hinzu, so hat man die des Quecksilbers 0,0000051.

Quecksilber.

Druck: 160 Atmosphären. Thermometer enthaltend gleiche Volume Quecksilber und Wasser.

$$\begin{array}{l} \text{Atmosph.} \\ 160 \end{array} \left| \begin{array}{l} (39,7-15,6) - (20,2-12,6) = 16,5 \\ (71,8-28,3) - (33,0-12,6) = 36,6 \end{array} \right.$$

woraus für das Quecksilber:

$$\frac{5562,6}{5550} : \frac{16,5}{6480} :: \frac{1}{2} : x = \frac{0,002545}{2}$$

und für das Wasser

$$\frac{5576,1}{5550} : \frac{36,6}{6480} :: \frac{1}{2} : x = \frac{0,005621}{2}$$

Die gesammte Zusammendrückung ist also:

$$\frac{0,002545}{2} + \frac{0,005621}{2} = 0,004083.$$

Das Wasser comprimirt sich für 160 Atmosphären um 0,007776, wovon die Hälfte 0,003888 ist. Zieht man diese Zahl von 0,004083 ab, verdoppelt den Unterschied, dividirt durch 160, und fügt dem Quotienten 1,6 Milliontel hinzu, so kommt 0,0000040 für den Coëfficienten der Zusammendrückung des Quecksilbers.

Quecksilber.

Druck: 112 Atmosphären. Thermometer enthält gleiche Volume Quecksilber und Wasser.

$$\begin{array}{l|l} \text{Atmosph.} & (34,5-17,9) - (17,4-12,6) = 11,8 \\ 112 & (58,9-30,3) - (29,9-26,1) = 24,8. \end{array}$$

Daraus ergeben sich die beiden Proportionen:

$$\frac{5562,6}{5550} : \frac{11,8}{6480} :: \frac{1}{2} : x = \frac{0,001817}{2}$$

$$\frac{5176,1}{5550} : \frac{24,8}{6480} :: \frac{1}{2} : x = \frac{0,003808}{2}$$

Die Zusammendrückung des Wassers für einen Druck von 112 Atmosphären, ohne Rücksicht auf die Zusammendrückung des Glases, ist 0,0054432, und wenn man die Rechnung wie im vorhergehenden Beispiel fortsetzt, findet sich der gesuchte Coëfficient gleich 0,0000032.

Das Mittel der drei vorstehenden Beobachtungen, mit Rücksicht auf die Compression des Glases, ist 0,0000040.

Wahre Zusammendrückung der untersuchten Flüssigkeiten
für Eine Atmosphäre.

	bei 12°,6 C.	Nach Colladon und Sturm bei 0°.
Süßes Wasser	0,0000502	0,0000488
Alkohol von 32° B.	0,0000682	
do. von 40° B.	0,0000996	0,0000944
Kleesäure	0,0000479	
Essigsäure	0,0000512	
Schwefelsäure	0,0000332	0,0000302
Chlorwasserstoffsäure	0,0000432	
Ammoniak	0,0000376	0,0000363
Meerwasser	0,0000413	
Schwefelsaures Natron	0,0000444	
Naphtha	0,0000756	
Terpenthinöl	0,0000657	0,0000713
Quecksilber	0,0000040	0,0000033

Wie man sieht, sind die von mir bei 12°,6 C. erhaltenen Zahlen größer als die von den HH. Sturm und Colladon bei 0° gefundenen. Nur das Terpenthinöl macht eine Ausnahme, aber, wie schon gesagt, war das von mir angewandte nicht rein ¹⁾).

Die-

- 1) Als ich zu den Compressionsversuchen ein Thermometer mit Terpenthinöl füllte, bildeten sich bald Gasbläschen, die sich oft sogar so weit vergrößerten, daß sie einen bedeutenden Theil der Erweiterung des Instruments erfüllten. Um zu sehen, bis wie weit diese Gasentwicklung gehen würde, nahm ich eine Röhre von 0^m,01 Durchmesser und 0^m,25 Länge, bog sie in der Mitte, und verschloß sie an einem Ende vor der Lampe. Hierauf füllte ich sie mit Quecksilber und Terpenthinöl, dergestalt, daß dieses in dem verschlossenen Schenkel eine Säule von 0^m,02 Länge bildete. Nachdem ich mich überzeugt, daß keine Luft mehr mit dem Terpenthinöl in Berührung war, und daß die äußere nicht die Quecksilbersäule durchdringen konnte, stellte ich den kleinen Apparat an einer Mauer auf. Nach einigen Tagen gewahrte ich eine Gasblase auf dem Ocle schwimmen; sie vergrößerte sich während zweier Monate fortdauernd, und erreichte zuletzt ein Volum wenigstens so groß, wie das des Terpenthinöls. Ich kann nicht sagen, von welcher Natur dieses Gas war, und worauf seine Bildung beruhte. Die mit dem Terpenthinöl in Berührung stehende Quecksilberfläche hatte ihren Metallglanz verloren, und war

Diese Resultate scheinen zu beweisen, dafs im Allgemeinen die Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten zunimmt mit steigender Temperatur, dafs sie beim Wasser abnimmt, wenn Salze darin gelöst worden, und dafs die Ammoniaklösung eine der wenigst zusammendrückbaren Flüssigkeiten ist.

Eine wichtige Folgerung, die sich auch aus obigen Versuchen ergibt, ist die Proportionalität der Zusammendrückbarkeit mit dem Druck, nachgewiesen bis zu 220 Atmosphären. Um dies Gesetz anschaulich zu machen, haben wir den vergleichenden Gang des Drucks und der Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten, mit denen wir experimentirten, durch Linien vorgestellt ¹⁾.

Giebt man dieses Gesetz zu, so kann man es benutzen, um mit Flüssigkeiten Manometer zu verfertigen, die für den Fall, dafs es sich um Funfzige von Atmosphären handelt, anwendbar sind. Man kann auch submarine Temperaturen mit Minima-Thermometer bestimmen, ohne dafs man diese, wie gewöhnlich geschieht, in kupferne Büchsen einzuschliessen braucht, sobald nur die Zusammendrückung ein kleiner Bruch von der Volumsveränderung ist, die durch die Temperaturveränderung bewirkt wird. Man braucht nur vom Stiel des Thermometers die Spitze abzubrechen, damit der Druck des Wassers zugleich innen und ausen wirke. Kennt man die senkrechte Tiefe, zu welcher das Instrument gelangt ist, so ergibt sich daraus der Druck und mithin auch die Temperatur. Die Anwendung kupferner Büchsen ist un-

bedeckt mit einer ziemlich dünnen Schicht einer pulverförmigen grauschwarzen Materie. Die HH. Sturm und Colladon machen in ihrer Abhandlung die Bemerkung, dafs im Allgemeinen das Daseyn eines Gases in einer Flüssigkeit die Compression derselben verringere. Ich glaube, dafs man, wenigstens zum Theil, dieser Ursache die Geringerheit der von mir gefundenen Zahl zuschreiben müsse.

1) Wir haben diese Construction fortgelassen, da sie nicht unentbehrlich nöthig ist.

bequem, da es schwer hält sie so zu verschließen, daß das Wasser nicht durch die Fugen eindringt; überdies muß man beim Aufschrauben der Büchse eine Gewalt anwenden, die leicht den Zeiger des Instruments verrückt. Auch das Gewicht des Instruments ist unbequem, denn es hindert den Beobachter, Schnüre von kleinem Durchmesser anzuwenden. Endlich ist die Masse der Hülle so groß, daß das Thermometer die Temperatur des Mittels, in welches das Instrument versenkt ist, erst nach einer halben Stunde annimmt.

Wenn man fern von der Küste bei windstillem Wetter Peilungen (*sondages*) ausführt, können die Stricke senkrecht hinabgehen; allein an Orten, wo das Meer zusammengeschnürt ist, wie in Meerengen, ist der Vorgang anders. Die Beugung der Stricke macht, daß der Beobachter zuweilen den Grund nicht erreicht, oder, wenn er ihn erreicht, daß er ihn in größerer Tiefe liegend glaubt, als es wirklich der Fall ist. In diesen Fällen, glaube ich, kann man mit Vortheil das Flüssigkeits-Manometer anwenden, welches ich beschreiben will. Es stützt sich auf das erwähnte Compressionsgesetz und ist so eingerichtet, daß man es beliebig oft anwenden kann.

Die Gestalt desselben ist nahe die eines Ausfluß-Thermometers, Fig. 12, Taf. III, Bd. 61. Die Spitze der in den Bauch hineingehenden Röhre ist etwas gekrümmt, und tritt in eine kleine Höhlung, die zur Aufnahme des ausgeflossenen Quecksilbers bestimmt ist. Die Röhre ist nahe am Knie mit zwei kleinen Erweiterungen *BB* versehen.

Um dieses Manometer zu graduiren, merke ich mir genau die Temperatur, bei welcher das Quecksilber auszufließen beginnt, und diese Temperatur muß möglichst derjenigen des Mittels, in welchem man operiren will, nahe seyn. Gesetzt, der Ausfluß beginne bei 4° . Ich erwärme den Apparat bis 10° und mache im Niveau des Quecksilbers einen Feilstrich auf der Röhre; ich wieder-

hole die Operation, erst bei 15° , dann bei 20° u. s. w. Hierauf befestige ich am Manometer eine kleine Skale, auf welche ich die successiven Grade auftrage. So vorgerichtet, senke man das Instrument in's Meer, und, nachdem es heraufgezogen worden, bestimme man die Compression auf folgende Weise.

Man stelle das Instrument in ein Gefäß voll Wasser, dessen Temperatur α man genau bestimme. Sey β die entsprechende Angabe des Manometers und γ die Temperatur des Meers am Ort, wohin es versenkt worden. Die vier Zahlen

$$(\beta - 4) - (\alpha - \gamma)$$

werden die Compression und mithin die Meerestiefe kennen lehren, wenn man nach der zu Anfange dieser Abhandlung gegebenen Anweisung verfährt. Um hierauf das Manometer zu einem zweiten Gebrauche in Stand zu setzen, braucht man es nur zu erwärmen, um das Quecksilber wieder in die Röhre treten zu lassen. Dieses treibt den Alkohol vor sich hin, und in der Kugel B nehmen beide, wegen ihrer ungleichen Dichtigkeit, ihre regelmäßige Stellung wieder ein; beim Erkalten sieht man den Alkohol wieder in den Bauch steigen ¹⁾, und wenn diese Operation nicht hinreicht, erwärmt man es abermals. Man braucht übrigens nicht alles Quecksilber wieder in die Röhre treten lassen, sondern nur so viel, dafs die Peilung nach dem Ausflufs stattfinden kann.

Wir sagten oben, dafs man, um die Tiefe des Meeres zu ermitteln, direct die Temperatur desselben bestim-

1) Ich glaube es würde vortheilhaft seyn, die Thermometergraphen mit zwei kleinen Kugeln B , B zu versehen, wie ich es bei meinem Manometer gethan. Personen, welche Gelegenheit hatten, submarine Temperaturen zu nehmen, werden bemerkt haben, dafs die Quecksilbersäule sich öfters zertheilt oder über den Index hinausgeht. Dieser Uebelstand verschwindet durch den vorgeschlagenen Zusatz, denn es wird leicht seyn, das Instrument wieder in seinen normalen Zustand zu versetzen.

men, und folglich hohle Metallcylinder anwenden müsse. Man könnte sich aber dessen überheben, wenn man zwei Manometer anwendete, eins mit Alkohol und eins mit Schwefelsäure, dessen Compressionscoëfficient sehr gering ist. Allein dieß wenig genaue Verfahren wäre nur selten anzuwenden.

Schließlich bemerke ich, daß das oben beschriebene Verfahren auch benutzt werden könnte, um Compressionen über 200 Atmosphären mit einander zu vergleichen, obwohl für solche das Gesetz der Proportionalität noch nicht erwiesen ist. Es wird anzeigen können, ob ein Meer tiefer sey als ein anderes, und dann würde die Tiefe provisorisch durch eine Zahl ausgedrückt seyn, deren entsprechender Druck später zu ermitteln wäre. Ich glaube endlich, daß es bei allen etwas wichtigen Peilungen zweckmäfsig wäre, ein oder mehre Manometer mit dem Senkblei hinabzulassen; dieß ist um so leichter ausführbar, als Gewicht und Volum dieser Instrumente sich so verringern lassen, daß daraus kein Beschwernis für den Beobachter entsteht.

Condensation der Gase durch Druck.

Ueber die Condensation der Gase verdankt man Hrn. Faraday die merkwürdigste Arbeit. Denn mittelst zweckmäfsig vorgerichteter Glasröhren ist er dahin gelangt, alle Gase zu liqueficiren, die dazu bei gewöhnlicher Temperatur keinen über 50 Atmosphären hinausgehenden Druck erfordern. Die Haltbarkeit seiner Apparate erlaubte ihm nicht diese Gränze zu überschreiten. Später hat Hr. Thilorier dieselben Versuche mit Anwendung gufseiserner Gefäße vorgenommen, und dabei die Eigenschaften der flüssigen Kohlensäure in sehr ausgedehntem Maasse untersucht. Eine Explosion, der mehre Personen zum Opfer wurden, hat diese Arbeiten unterbrochen.

Im ersten Theil dieser Abhandlung habe ich gesagt,

dafs ich das Meer als Compressionsmaschine für Flüssigkeiten anwandte; ich habe es auch für Gase benutzt.

Die Gase, welche bei Hrn. Faraday's Versuchen der Liquefaction widerstanden, waren Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Doppelt-Kohlenwasserstoff, Stickstoffoxyd, Kohlenoxyd, Fluokiesel und Fluobor. Es sind diese, mit denen ich meine Versuche anstellte.

Der zur Aufnahme der Gase angewandte Apparat ist in Fig. 13, Taf. III, abgebildet. Eine 4 Decimeter lange capillare Glasröhre AB ist bei A und B gekrümmt, und bei B angeschmolzen an eine andere, BC , die etwa 1 Centm. inneren Durchmesser und 15 Centm. Länge hat. Der Theil A tritt in eine kleine Röhre D , die an beiden Enden offen ist und durch einen Draht an der Röhre A gehalten wird.

Die Röhre D und das Röhrende A befinden sich in der Blase K , die am Knie A wohl festgeschnürt ist; sie enthält das zu comprimirende Gas und trägt ein kleines Gewicht G . Röhre und Blase sind bei A , G , B durch Schnüre an einem Eisenstab LL befestigt. Das innere Volum der Röhre D beträgt etwa 5 Kubikcentim. und das des Gases in der Blase etwa 2 Liter.

Senkt man diesen Apparat in's Meer, so wird das Gas comprimirt, und es kann nicht entweichen, da es von der in der Röhre BC befindlichen Quecksilbersäule zurückgehalten wird. Eben so wenig kann das Wasser durch die Röhre in die Blase gelangen. Wenn das Gas durch den Druck sein Volum sehr verringert hat, so wird es, vermöge der Spannung, welche das kleine Gewicht G auf die Blase ausübt, genöthigt, sich in die Röhre D zu begeben.

So lange das in der Blase enthaltene Gasvolum größer ist als die Geräumigkeit der Röhre D , bleibt die Quecksilbersäule in der Röhre BC . So wie es aber unter diese Gränze kommt, steigt das Quecksilber wieder, ergießt sich in die Röhre D und fällt in die Blase hinab.

Ich comprimirte Doppelt-Kohlenwasserstoff, Stickstoffoxyd, Stickstoff, Wasserstoff, Kohlenoxyd und Sauerstoff bis zu 47 Atmosphären, letzteren allein so weit, daß das Quecksilber in die Blase trat.

Mit denselben Substanzen wurde der Versuch bei 88 Atmosphären wiederholt, und es fand sich Quecksilber in den Blasen, die Sauerstoff und Doppelt-Kohlenwasserstoff enthielten. Dasselbe Resultat erhielt ich mit Stickstoffoxyd bei einem Druck von 121 Atmosphären, und mit Kohlenoxyd bei dem von 165. Wasserstoff und Stickstoff wurden bei diesem letzteren Druck nicht liqueficirt.

Da mir die gemessene Spannkraft des Sauerstoffs zu gering vorkam, so glaubte ich, ehe ich schlösse, daß die Condensation desselben unter einem Druck von 47 Atmosphären erfolgt sey, untersuchen zu müssen, ob nicht das beobachtete Resultat aus einer vernachlässigten Ursache entsprungen sey. Ich wiederholte also meine Beobachtungen nach einem ganz anderen Verfahren, und erkannte nun, daß der Sauerstoff nicht nur bei 47, sondern gar bei 165 Atmosphären nicht flüssig wird. Wie aber konnte die Condensation geschehen seyn? Hätte das Wasser die Eigenschaft, unter Druck eine große Menge dieses Gases zu lösen und dadurch gleichsam oxygenirt zu werden? Oder fand durch die Membran der Blase hier eine Absorption statt? Diese Fragen verdienen untersucht zu werden.

Der Apparat, mit dem ich die Versuche zur Condensation des Sauerstoffs wiederholte, bestand aus einem großen Ausfluß-Thermometer, das mit Gas gefüllt und in ein Probeglas mit Quecksilber gestellt wurde. Es besteht aus drei aneinandergelötheten Röhren *DC*, *CB*, *BA*. Die erste ist 2 Decimeter lang und 2 Centim. weit (Fig. 14, Taf. III, Bd. 61). Das fast verschlossene Ende *D* hat nur eine capillare Oeffnung. Die zweite Röhre *CB* ist zu einer Spitze ausgezogen, und diese tritt in die dritte

Röhre *BA*, fast bis zum Ende *A*. Das Probeglas und der Gasbehälter werden durch einen Eisenstab gehalten, an welchem das Senkblei befestigt ist.

Wenn man diesen Apparat in's Meer senkt, steigt das Quecksilber vermöge des Wasserdrucks in den Behälter und ergießt sich, wenn die Condensation des Gases hinreichend ist, in die obere Röhre *BA*. Der Unterschied zwischen der inneren Geräumigkeit dieser Röhre und dem Volum des ausgeflossenen Quecksilbers giebt das Volum des Gases im Zustande seiner größten Condensation. Kennt man die Geräumigkeit des gesammten Behälters, so ist die Dichtigkeit und der Verdünnungsgrad des comprimirten Gases leicht daraus abzuleiten.

Um den Behälter mit Gas zu füllen, bringt man erst Quecksilber hinein und gießt dieß darauf in einen Behälter voll des zu untersuchenden Gases. Dann verschließt man die Spitze *A*, erst mit Wachs und hernach mit dem Löthrohr.

In gewissen Fällen habe ich mich anders benommen. Durch Pfropfen war der Apparat mit Flaschen verknüpft, die zur Bereitung des Gases dienten, so daß man es durch die Oeffnung *D* eintreten und durch die Spitze *A* ausfließen lassen konnte. Nachdem die Entwicklung einige Minuten gedauert hatte, verschloß ich die Spitze mit weichem Wachs, nahm die Flaschen fort, verschloß die Oeffnung *D* mit Wachs und darauf mit der Lampe die Spitze *A*.

Die Ordnung, in welcher sich die Gase in diesem Apparat condensirten, fand ich der früheren gleich; nur der Sauerstoff machte eine Ausnahme.

Sauerstoff wurde durch einen Druck von 83 Atmosphären im Verhältniß 90 : 1 Vol. comprimirt. Doppelt-Kohlenwasserstoff liqueficirte sich durch einen Druck von 124 Atmosphären. Die Condensation erfolgte im Verhältniß 356 : 1; dieß giebt für die Dichtigkeit der Flüssigkeit 0,44, die des Wassers zur Einheit genommen. Stick-

stoffoxyd wurde durch einen Druck von 165 Atmosphären im Verhältniß 251 : 1 reducirt. Wenn man also annimmt, es sey zur Flüssigkeit geworden, so würde diese die Dichte 0,33 gehabt haben. Kohlenoxyd wurde durch diesen Druck im Verhältniß 180 : 1 verdichtet, Sauerstoff in dem 160 : 1.

Wasserstoff und Stickstoff konnten durch 220 Atmosphären nicht liqueficirt werden. Endlich ward das Fluokieselgas durch 105 Atmosphären im Verhältniß 350 : 1 verdichtet, was für die Dichtigkeit der Flüssigkeit 1,6 giebt.

Diese Resultate lassen in Bezug auf Genauigkeit Eini- ges zu wünschen übrig. Denn es hält schwer das Vo- lum des ausgeflossenen Quecksilbers und das des Behäl- ters gut zu bestimmen; auch ist es möglich, dafs das li- queficirte Gas, wenn es wieder in den Gaszustand über- geht, eine gewisse Menge Quecksilber mit fortreißt.

Um diese Uebelstände zu vermeiden, habe ich noch einen anderen, und, wie ich glaube, die beiden früheren übertreffenden Apparat ersonnen, den ich zwar noch nicht angewandt, den ich aber deßungeachtet beschreiben will. Er besteht aus einem großen Ausflufs-Thermometer von Quecksilber, dessen zweimal gebogene Röhre in eine Kaut- schuckblase voll Gas tritt. Ein Eisenstab, unten versehen mit einem Senkblei, hält das Thermometer und die Blase (Fig. 15, Taf. III). Gesetzt, man habe zuvor ermittelt, bei welcher Temperatur das Ende der Quecksilbersäule der Röhre in den Bauch tritt, und angenommen selbst, dafs das Gas bei der Temperatur 20° einzutreten be- ginne. Klar ist, dafs wenn man den Apparat bis 12°,6 erkaltet, in dem Bauche ein Vacuum entstehen wird, welches sich durch den Temperaturunterschied (20°—12°,6) genau bestimmen läßt. Diefs Vacuum wird gefüllt wer- den durch das Gas der Blase, so dafs, wie groß auch der auf den Apparat ausgeübte Druck seyn mag, das Volum des eingeführten Gases constant seyn wird. (Wir überge-

hen dabei die Zusammenziehung des Quecksilbers und des Glases, da man deren Effect zu berechnen weifs.)

Man wird also im Voraus, wie auch der Druck seyn möge, das Volum des comprimirtten Gases, und, nach Herausziehung des Apparats aus dem Meer, auch das des Gases bei gewöhnlichem Drucke kennen. Das Verhältniß beider ergibt die Condensation. Bei diesem Apparat ist nicht zu fürchten, daß mit abnehmendem Druck das Gas des Bauches entweiche; vermöge seines specifischen Gewichtes strebt es immer sich von der Oeffnung der Spitze zu entfernen, wenn der Versuch so geleitet ist, daß bei gewöhnlichem Druck das eingeführte Gas den Bauch des Thermometers kaum mehr als zur Hälfte füllt.

Das eben angedeutete Verfahren erlaubt, glaube ich, genauer als es bisher geschah das Verhältniß der Volume eines Gases unter verschiedenen Drucken und die Dichtigkeit desselben im flüssigen Zustand zu bestimmen. Es wird auch dazu dienen, für jedes besondere Gas zu ermitteln, bis zu welcher Druckgränze das Mariotte'sche Gesetz richtig sey.

IV. *Ueber die Erscheinungen bei einer freien und der Wirkung der Schwere entzogenen flüssigen Masse; von J. Plateau* ¹⁾,

Professor der Physik in Gent.

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus den *Mém. de l'acad. roy. de Bruxelles*, T. XVI. — Vorläufige Notizen von dieser Abhandlung finden sich schon in dies. Ann. Bd. 55, S. 517, und Bd. 56, S. 167.)

1. Vermöge der ungemeinen Beweglichkeit ihrer Theilchen gehorchen die Flüssigkeiten mit großer Leicht-

1) Seit der Verfasser diese Abhandlung in der Brüsseler Academie las (15. Jan. 1842), hat er an ihr mehre wichtige Abänderungen ange-