IX. Ueber die Volumenvermehrung der Flüssigkeiten durch Absorption von Gasen; von J. J. Mackenzie und E. L. Nichols.

Ueber die Vergrößerung des Volumens der Flüssigkeiten bei der Absorption von Gasen liegen bis jetzt, soweit uns bekannt, besonders wenn die Absorption klein ist, nur wenige Angaben vor.

Bergmann¹⁾ hat schon das specifische Gewicht des mit Kohlensäure gesättigten Wassers bei 2° gleich 1,0015, und die durch Sättigung hervorgebrachte Vermehrung des gesammten Gewichtes, gleich 0,0022 gefunden.

P. Thomson²⁾ gibt weiter an, dass 1 Volumen Wasser mit Ammoniak gesättigt zu 1,666 wird, mit Salzsäure 1,500, mit schwefliger Säure 1,040, und mit Chlor 1,002.

Deicke³⁾ hat in einer Arbeit über den Absorptionscoëfficienten der Salzsäure in Wasser gleichfalls die Ausdehnung des Wassers durch Absorption gemessen. Er benutzte eine von der von Carius gebrauchten, und von Bunsen in seinen „Gasometrischen Methoden“ (p. 178) beschriebenen, nicht wesentlich verschiedene Methode.

Die Messung des specifischen Gewichtes zur Bestimmung der Ausdehnung durch Absorption ist ein nicht zu empfehlendes Verfahren, erstens weil für kleine Volumenveränderungen respective kleine Absorptionen, wie zum Beispiel für die von Kohlensäure, Kohlenoxyd, Stickoxydul, Stickoxyd u. s. w. in Wasser, die feinsten Methoden der Bestimmung des specifischen Gewichtes nicht empfindlich genug sind; und zweitens weil in den Fällen, wo der

1) Opuscula Chemica et Physica I. p. 9 und Schwedische Abhandlungen XXXV. p. 170 der deutschen Uebersetzung.

2) „A Treatise on Chemistry“.

3) Pogg. Ann. CXIX. p. 156.

Absorptionscoefficient nicht schon bekannt ist, vorausgesetzt werden muss, dass die Vorgänge keinen chemischen Charakter haben.

Hieraus ergibt sich die Aufgabe, eine Methode von möglichster Einfachheit, Genauigkeit und Empfindlichkeit zu finden.

Der Ausdehnungsapparat, den wir bei schwächeren Absorptionen gebraucht haben, besteht aus einer Glasflasche *A* (Taf. I Fig. 4) mit drei Oeffnungen (*a*, *b*, *c*). Das Gefäss ist oben conisch geformt, um das Anhaften von Gasblasen zu vermeiden. In die mittlere Oeffnung (*a*) passt ein hohler, sehr gut geschliffener Glasstöpsel (Taf. I Fig. 4a, 4b, 4c) von solcher Form, dass sich ebenfalls keine Blasen an seinen Rändern anhäufen können. Der Stöpsel ist weiter mit einem zweifach durchbohrten Hahn versehen, durch den man je nach der Stellung das Gefäss abschliessen (Fig. 4a), oder sei es mit dem oberen Theile des Apparates (Fig. 4b), sei es mit dem äusseren Raume verbinden kann (Fig. 4c). Auf diesen Stöpsel wird ein aufgeschliffenes kugelförmiges Glasgefäss (*G*) gesetzt, welches eine mit Chlorcalcium gefüllte Röhre (*h*, *h*) trägt. Den ganzen Theil (*G*, *h*, *h*) muss man vor und nach jedem Versuche wägen, um die darin enthaltene Feuchtigkeit zu bestimmen. Durch die Oeffnung (*b*) geht eine unterhalb in eine feine, etwas gebogene Spitze ausgezogene Glasröhre ziemlich tief in das Gefäss hinein, durch welche das Gas in kleinen Blasen einströmt. In (*c*) ist ein feingetheiltes Thermometer angebracht, welches ungefähr bis in die Mitte der Flüssigkeit reicht. Die Glasröhren sowohl, wie das Thermometer waren an den Stellen *b* und *c* sehr gut eingeschliffen, so dass die innere Oberfläche des Gefässes ganz ohne Ausbuchtung an diesen Stellen blieb. Der direct gemessene Ausdehnungscoefficient des Glases des Gefässes betrug zwischen 4° und 32°, 0,0000261. Die Dimensionen der verschiedenen Theile des benutzten Apparates waren folgende:

Höhe des Gefässes (*A*) 200, Länge (*g*, *g* Fig. 4) 100,

Länge (*h,h* Fig. 4) 130, Durchmesser (*kk* Fig. 4a) 20, Durchmesser (*dd* Fig. 4a) 32 mm. Inhalt des Apparates bei 4° = 4653,00 ccm.

Das Gefäss wird in einen Topf mit Wasser von der gewünschten Temperatur gesetzt, sodann mit der betreffenden, von Luft befreiten Flüssigkeit gefüllt, die schon vorher auf dieselbe Temperatur wie das Gefäss gebracht worden ist, und hiernach die Temperatur sehr genau abgelesen. Dann setzt man den Stöpsel auf und füllt das Ganze bis zum Hahn *vv*. Man trägt Sorge, dass kein Tropfen der Flüssigkeit in der Oeffnung des Hahnes übrig bleibt. Sodann wird der obere Theil, dessen Gewicht man schon bestimmt hat, aufgesetzt. Der Hahn wird zunächst geöffnet, wie es Fig. 4b zeigt, und schliesslich das Gas eingeleitet, bis man vollkommen sicher ist, dass die Flüssigkeit vollständig gesättigt ist. Der Einfachheit der Rechnung wegen ist es rathsam, die Temperatur während des ganzen Versuches constant zu erhalten. Am Schluss des Versuches stellt man den Hahn wie in der Figur 4a, lässt die im oberen Theile befindliche Flüssigkeit ausfliessen, damit sowohl diese als auch der Theil *G* (Fig. 4) nachher gewogen werde. Hieraus findet man ohne weiteres die Ausdehnung der Flüssigkeit für die gegebene Temperatur.

Für Ammoniak, Salzsäure, Schwefelwasserstoff, schweflige Säure u. s. w., bei denen die Absorption sehr bedeutend ist, wird der Apparat (Taf. I Fig. 5) benutzt, dessen Construction sich aus der Zeichnung ergibt. *A* und *B* sind zwei kugelförmige Glasgefässe von resp. 700 und 500 ccm Inhalt. Das obere ist genau in die Mündung des unteren eingeschliffen. Das Gefäss (*A*) ist mit einer Oeffnung und einem Hahn (*a*) versehen. In dem Halse von (*B*) ist eine Oeffnung angebracht, so dass durch Drehung von (*B*) der ganze Apparat geschlossen oder geöffnet werden kann. Im übrigen ist die Ausführung der Versuche der schon beschriebenen ganz analog.

Unsere bisherigen Bestimmungen beziehen sich auf

Kohlensäure und Wasser. Die Kohlensäure wurde meist aus kohlensaurer Magnesia und reiner Schwefelsäure entwickelt. Die Einrichtung des Entwicklungsapparates ist aus der Zeichnung (Taf. I Fig. 4) vollständig ersichtlich. Da der Zufluss, der aus dem Schwefelsäuregefäß (*E*) durch das Heberrohr in das Entwicklungsgefäß (*D*) erfolgt, mittelst des Hahnes (*l*) regulirt wird, kann die Entwicklung viele Stunden, ja die Nacht hindurch fortgesetzt werden. In den Flaschen *C* und *B* (Fig. 4) wird das Gas gewaschen und getrocknet.

Die folgende Tabelle gibt die mittleren Werthe für die Coëfficienten der Ausdehnung des Wassers durch die Absorption der Kohlensäure.

Tabelle 1.

Nr.	Temperatur.	Vermehrung des Volumens.	Coëfficient.	Nr.	Temperatur.	Vermehrung des Volumens.	Coëfficient.
1	2° C.	10,06 ccm	0,002144	7	17° C.	5,77 ccm	0,001240
2	6°	8,03	0,001726	8	18°	5,98	0,001280
3	8°	7,76	0,001670	9	22°	5,565	0,001210
4	12°	6,76	0,001450	10	27°	5,550	0,001190
5	14°	6,41	0,001379	11	32°	4,70	0,001010
6	16°	6,41	0,001378				

Aus den oben gegebenen Coëfficienten sieht man, wie ausserordentlich kleine Abweichungen für verschiedene Temperaturen sich ergeben; wie ja auch die Unterschiede des Absorptionscoëfficienten nach Bunsen's Angaben ¹⁾ sehr geringfügig sind. Durch Vergleichung der in Taf. I Fig. 7 von uns gefundenen Ausdehnungcurve für verschiedene Temperaturen, mit der für die Absorptionsmenge gefundenen, sind wir berechtigt zu schliessen, dass:

1) Gasometrische Methoden p. 162.

Die Ausdehnung direct proportional der absorbirten Gasmenge ist.

Wir hoffen diesen Satz bald für andere Gase und Flüssigkeiten prüfen zu können.

Vergleicht man die Ausdehnung, die durch Absorption stattfindet, mit den von Andrews¹⁾ für die Dichtigkeit der flüssigen Kohlensäure angegebenen Zahlen, so findet man, dass das Volumen, welches die Kohlensäure als Flüssigkeit annehmen würde, mit der von uns gefundenen Ausdehnung approximativ übereinstimmt.

Um die schon erhaltenen Resultate weiter zu bestätigen, haben wir eine etwas verschiedene Methode angewendet. Das Gefäß *A* (Taf. I Fig. 4) wurde wie vorher bei einer bestimmten Temperatur mit Wasser gefüllt, sodann Gas bis zur Sättigung eingeleitet, und die Ausdehnung gemessen. Während des fortdauernden Einströmens des Gases wurde zunächst die Temperatur um wenige Grade geändert. Bei der zweiten Temperatur wurde wieder die Veränderung des Volumens bestimmt; und auf diese Weise erhielten wir Messungen über eine ganze Reihe von Temperaturintervallen, sowohl in steigender wie in sinkender Ordnung. Die dauernde Zuströmung des Gases diente dazu, durch Umrühren der Flüssigkeit das Ganze bei einer Temperatur zu erhalten. Es rührt die entstehende Volumenveränderung von zwei Ursachen her. Bei steigender Temperatur zum Beispiel haben wir erstens eine Ausdehnung durch die Wärme; zweitens aber eine Volumenverminderung durch das Abgehen eines Theiles der absorbirten Gasmenge. Die algebraische Summe dieser zwei Einflüsse ist durch die Quantität Flüssigkeit gegeben, welche man jedesmal, um das Gefäß für ein bestimmtes Temperaturintervall voll zu erhalten, zu dem Inhalte des Gefäßes hinzufügen, resp. aus demselben entnehmen muss. Kennt man nun die Ausdehnung durch die Wärme, so kann man die Veränderung, welche der Coëfficient der

1) Phil. Mag. (5) I.

Ausdehnung des Wassers durch die Absorption der Kohlensäure erleidet, direct berechnen.

Die nach dieser Methode beobachteten Volumenveränderungen zeigt Tab. 2. In der dritten Zahlenreihe (C) sind die mittleren Volumenveränderungen jedes Intervalles auf Einheit des Volumens und auf ein Intervall von 1 Grad reducirt.

Tabelle 2.

Inter- vall.	Beob. Vermeh- rungen.	C	Mittlere Temp.	Inter- vall.	Beob. Vermeh- rungen.	C	Mittlere Temp.
2—4 ^o	$\left\{ \begin{array}{l} 0,07 \text{ ccm} \\ 0,02 \end{array} \right.$	0,0000045	3 ^o	18—20 ^o	$\left\{ \begin{array}{l} 1,57 \text{ ccm} \\ 1,31 \end{array} \right.$	0,0001545	19 ^o
4—6 ^o	0,20	0,0000215	5 ^o		1,67		
8—10 ^o	0,48	0,0000504	9 ^o	20—22 ^o	$\left\{ \begin{array}{l} 1,57 \\ 1,75 \\ 1,60 \end{array} \right.$	0,0001805	21 ^o
10—12 ^o	0,64	0,0000690	11 ^o				
12—14 ^o	0,815	0,0000879	13 ^o				
14—16 ^o	$\left\{ \begin{array}{l} 1,14 \\ 1,12 \\ 1,15 \end{array} \right.$	0,0001219	15 ^o	22—24 ^o	$\left\{ \begin{array}{l} 1,67 \\ 1,97 \\ 1,74 \\ 1,99 \end{array} \right.$	0,0001995	23 ^o
16—18 ^o	$\left\{ \begin{array}{l} 1,29 \\ 1,28 \\ 1,22 \end{array} \right.$	0,0001365	17 ^o	24—26 ^o	2,05	0,0002200	25 ^o
				26—28 ^o	$\left\{ \begin{array}{l} 2,44 \\ 2,45 \end{array} \right.$	0,0002465	27 ^o

Nach den in dieser Tabelle gegebenen Zahlen haben wir gleichfalls eine Curve gezogen (Taf. I Fig. 7).

Ueber die Ausdehnung des mit Kohlensäure gesättigten Wassers durch die Wärme waren, soweit wir wissen, gar keine Messungen vorhanden, und daher waren wir genöthigt, diese Ausdehnung zu bestimmen. Die Resultate, soweit sie auf Wasser und Kohlensäure sich beziehen, theilen wir unten mit, mit dem Vorbehalte, diesen Theil der Untersuchungen später fortzusetzen.

Der benutzte Apparat bestand aus einer dünnen Glas-
kugel (A Taf. I Fig. 6), mit einer Oeffnung (a, a) für den

eingeschliffenen Stöpsel, resp. das Thermometer. Es war weiter, wie aus der Zeichnung ersichtlich, eine enge Röhre (b, c) angeschmolzen. Wasser wurde bei der gewünschten Temperatur gesättigt und das Kügelchen damit bis zur Spitze (c) vollständig gefüllt, während das Ganze in einem Wasserbad blieb, welches genau dieselbe Temperatur wie das im Kügelchen befindliche kohlensaure Wasser hatte.

Die etwas gebogene Spitze der Röhre wurde zunächst in Quecksilber getaucht, die Temperatur des Apparats um ungefähr 2° erniedrigt, und die dabei entstehende Zusammenziehung des gesättigten Wassers mittelst des eingesogenen Quecksilbers gemessen. Dieses wurde darauf getrocknet und gewogen, und so der Ausdehnungscoefficient bestimmt. Selbst das Quecksilbergefäss (s. Taf. I Fig. 6) stand während des Versuches zum Theil im Wasserbade, so dass überall dieselbe Temperatur existirte. Die Resultate der für verschiedene Temperaturen angestellten Bestimmungen sind unten angegeben. Es wird angenommen, dass für ein Temperaturintervall von 2 bis 3° , die Veränderung des Absorptionscoefficienten eine verschwindend kleine Grösse bleibt. Wir hielten es für rathsam, wie es Hr. Kopp¹⁾ bei seinen Ausdehnungsversuchen auch gethan hat, Bestimmungen mit Dilatometern von verschiedenen Grössen mit einander zu vergleichen.

Die Inhalte unserer vier Apparate waren, bei 20° gemessen, Nr. 1 198,572, Nr. 2 196,832, Nr. 3 107,249, Nr. 4 106,588 ccm.

Die aus den gefundenen Zahlen (Tab. 3) erhaltene Curve (Taf. I Fig. 7) hat im ganzen ziemlich denselben Lauf wie die Ausdehnungscurve für reines Wasser, nur dass der merkwürdige Umstand dabei statt hat, dass das Dichtigkeitsmaximum nicht wie das des reinen Wassers bei 4° , sondern unterhalb 3° erreicht wird, wie dies für Salzlösungen der Fall ist.

1) Pogg. Ann. LXXII. p. 9.

Hier folgt die Tabelle der Ausdehnungscoefficienten des mit Kohlensäure gesättigten Wassers durch Wärme.

Tabelle 3.

Intervall.	Mittlere Temp.	Volumen des Hg.	Nr. des Apparates.	Coëfficient.
4° — 1,90°	2,95°	0,185 cc.	3	0,0000604
5,80° — 3,40°	4,6°	0,212	4	0,0000610
7,40° — 4,80°	6,1°	0,472	2	0,0000679
12,15° — 9,85°	11,0°	0,610	2	0,0000999
12,85° — 11,21°	12,03°	0,995	2	0,0001130
16,50° — 12,75°	14,62°	1,254	2	0,0001252
20,60° — 16,40°	19,00°	1,460	2	0,0001710
23,43° — 20,33°	21,88°	1,497	2	0,0001811
25,3° — 23,46°	22,88°	1,677	2	0,0002170
27,55° — 25,0°	26,27°	1,716	2	0,0002526
29,15° — 26,32°	27,73°	2,199	1	0,0002923
31,7° — 28,73°	30,21°	2,119	1	0,0002680

Mit Hülfe der in Tab. 2 gegebenen Ausdehnungscoëfficienten sind wir im Stande die Resultate unserer zweiten Methode zu berechnen. Zieht man nämlich von einem in Zahlenreihe (C) der zweiten Tabelle gegebenen Coëfficienten den derselben Temperatur angehörenden Ausdehnungscoëfficienten des gesättigten Wassers ab, so bekommt man die von dem Ausdehnungscoëfficienten durch Absorption bei einer Temperaturerhöhung von 1° erlittene Veränderung. Wird nun eine der nach der ersten Methode gefundenen Zahlen als richtig betrachtet, so kann man die Ausdehnungscoëfficienten durch Absorption für die übrigen Temperaturen leicht herstellen. Auf diese Weise wurde Tab. 4 construirt, indem die Beobachtung (Tab. 1) für 18° als Norm angenommen wurde.

Tabelle 4.

Temperatur	Coëfficient	Temperatur	Coëfficient	Temperatur	Coëfficient
5°	0,001729	12°	0,001406	19°	0,001254
6°	0,001665	13°	0,001381	20°	0,001236
7°	0,001605	14°	0,001360	21°	0,001221
8°	0,001553	15°	0,001329	22°	0,001207
9°	0,001509	16°	0,001319	23°	0,001198
10°	0,001470	17°	0,001299	24°	0,001180
11°	0,001437	18°	0,001280		

Durch Vergleichung mit den nach der ersten Methode gegebenen Coëfficienten findet man eine Uebereinstimmung meistens bis auf vier Decimalstellen. Die nach den Tabellen 1 und 4 gezogenen Curven sind neben einander (Taf. I Fig. 7) gestellt worden, wodurch man sich leicht überzeugen kann, dass der durch die erste der angewendeten Methoden bewiesene Satz gleichfalls durch die zweite derselben vollständig bestätigt wird.

Physik. Lab. d. Univ. Berlin, 3. August 1877.

X. *Einige Beobachtungen an dem Radiometer von Crookes; von Eduard Riecke.*

(Aus den Göttinger Nachr. vom 15. August 1877, mitgetheilt vom Hrn. Verfasser.)

Durch die grosse Zahl neuer und überraschender Erscheinungen, welche in dem kurzen Zeitraume seit der Wiederentdeckung der radiometrischen Bewegungen durch Crookes bekannt geworden sind, dürfte nachgewiesen sein, dass durch diese Erscheinungen der Kreis der physikalischen Thatsachen eine ebenso unerwartete wie bedeutungsvolle Erweiterung erfahren hat. Wenn ich mir