**V. Ueber die Compressibilität des Wassers;
von W. C. Röntgen und J. Schneider.**

(Hierzu Taf. VI Fig. 8—9.)

Die Versuche zur Bestimmung der scheinbaren Compressibilität des Wassers, welche wir früher mittheilten¹⁾, erreichen nicht denselben Grad von Genauigkeit, wie unsere Versuche über die relative scheinbare Compressibilität von Lösungen. Der Grund dieser Verschiedenheit liegt darin, dass wir bei jenen Versuchen nur kleine Drucke anwenden konnten, und dass folglich die Volumenänderungen in den Piëzometern zu gering waren, um mit einiger Sicherheit die Richtigkeit der letzten Stelle des gefundenen Werthes (0,0000438) garantiren zu können. Dies war uns damals recht wohl bekannt; wir veröffentlichten diesen Werth aber trotzdem, weil die erreichte Genauigkeit genügte, um den beabsichtigten Zweck jener Bestimmung zu erreichen, nämlich die Erkennung von Gesetzmässigkeiten, welche zwischen der molecularen Compressibilität einer Lösung und ihrer Capillarconstante bestehen. Bei der Fortsetzung unserer Untersuchung über Volumenelasticität stellte sich die Nothwendigkeit heraus, den Werth der scheinbaren Compressibilität des Wassers genauer zu bestimmen, und wir entschlossen uns daher, die Versuche mit grösseren Drucken und bei verschiedenen Temperaturen zu wiederholen.

Der Apparat, mit welchem die neueren Versuche ausgeführt wurden, unterscheidet sich von dem früher benutzten nur insoweit, als ein anderes Manometer angewendet wurde. Es wird somit genügen, wenn wir auf die frühere Beschreibung verweisen und die des neuen Manometers hinzufügen.

Die etwa 610 cm lange verticale Manometerröhre bestand aus vier durch aufgekittete Stahlfassungen miteinander verbundenen Glasröhren. Um dieselbe aufstellen zu können, musste das Gewölbe des Kellers, in welchem der Compressionsapparat aufgestellt war, durchbrochen werden; hölzerne, zwischen Boden und Decke der beiden übereinander liegenden

1) Röntgen u. Schneider, Wied. Ann. 29. p. 197. 1886.

Arbeitsräume eingestemmte Balken dienten zur Befestigung des Manometers. Das untere Ende der langen Röhre war durch eine Verschraubung mit einem kräftigen Dreiweghahn aus Stahl (*I* in Fig. 8) verbunden, der selbst auf dem abnehmbaren Deckel eines starkwandigen eisernen Cylinders aufgeschraubt war. Die durchgehende verticale Durchbohrung des Hahnkörpers setzte die Manometerröhre mit einem bis auf den Boden des Cylinders reichenden kurzen Rohre in Verbindung; die seitliche Durchbohrung führte zu einer engen, kurzen Glasröhre, welche zuerst vom Hahnkörper weg horizontal verlief, dann nach unten und schliesslich wieder nach oben gebogen war (Fig. 8); das letzte Stück derselben hatte dieselbe Weite wie die Manometerröhre. Von einer zweiten Durchbohrung des Deckels führte eine enge Kupferröhre zu dem Stiefel der Pumpe des Compressionsapparates: der Kolben war vorher daraus entfernt. Der im Inneren 7,4 cm weite, ungefähr 10 cm hohe Eisencylinder stand mit der den Compressionsapparat enthaltenden Glaswanne auf einem grösseren, sehr solid gebauten Tische.

Der Compressionsapparat, die Kupferröhre und der obere Theil des Eisencylinders waren mit Wasser gefüllt; im unteren Theile des Cylinders, in der Manometerröhre, in dem vom Hahn seitlich abgehenden Röhrchen, sowie in allen Verbindungskanälen zwischen diesen Theilen befand sich Quecksilber. Es wurde dafür gesorgt, dass in keinem Raum Luft übrig blieb.

Es ist nun leicht einzusehen, in welcher Weise die erforderlichen Druckänderungen im Inneren des Compressionscylinders erzeugt wurden. Wir wollen die dazu nöthigen, verschiedenen Stellungen der beiden Hähne am Eisencylinder I und am Compressionsapparat II angeben. Um Atmosphärendruck herzustellen, wurde der Hahn I so gestellt, dass die Manometerröhre vom Eisencylinder abgesperrt war, der Inhalt des letzteren dagegen mit dem seitlichen Röhrchen communicirte; Hahn II verband den Compressionsapparat mit der Kupferröhre und mit dem oben am Apparat angebrachten kleinen Wasserbehälter. Dem Druck der Wassersäule vom Niveau in diesem Behälter bis zur Oberfläche des

Quecksilbers im Eisencylinder hielt die Quecksilbersäule von jener Oberfläche an gerechnet bis zum Stand in dem seitlich vom Hahne angebrachten Röhrchen das Gleichgewicht. Sollte darauf der höhere Druck eingeleitet werden, so wurde zuerst der Hahn II so gestellt, dass der Compressionsapparat nur mit der Kupferröhre communicirte, und dann der Hahn I um einen Winkel von 90° gedreht, sodass die Manometerröhre mit dem Eisencylinder in Verbindung stand, das seitliche Röhrchen dagegen abgesperrt war. Die erzeugte Druckerhöhung wäre nun ohne weiteres zu messen durch die Höhendifferenz des Niveaus neben dem Hahne und oben in der Manometerröhre, wenn das Quecksilber im Inneren des Eisencylinders denselben Stand behalten hätte; dies ist aber nicht der Fall, denn durch die Zusammendrückung der Luft im Compressionsapparat¹⁾ tritt Quecksilber aus der Manometerröhre in den Eisencylinder, und wird dort der Stand erhöht. Der Betrag dieser Erhebung ist aber leicht aus dem Querschnitt des Cylinders, dem der Manometerröhre und der Senkung des Standes des Quecksilbers in dieser Röhre zu berechnen; es ergab sich bei allen Versuchen fast immer ein Werth von 0,5 cm, um welche somit die Länge der Quecksilbersäule im Manometer zu verkürzen ist. Um wieder auf Atmosphärendruck zurückzukommen, wurde der Hahn I wieder in die erste Stellung gebracht, während der Hahn II vorläufig unverändert stehen blieb. Durch die Ausdehnung der Luft im Compressionsapparat wurde das in den Eisencylinder eingetretene Quecksilber durch das Seitenröhrchen hinausgetrieben. Erst nachdem das Ausfliessen des Quecksilbers aufgehört hatte, und das Niveau in jenem Röhrchen auf denselben Stand wie zuvor gebracht war, wurde, um ganz sicher zu sein, dass im Compressionsapparat wieder der ursprüngliche Druck herrschte, auch der Hahn II in die erste Stellung zurückgedreht. Das ausgeflossene Quecksilber wurde wieder oben in die Manometerröhre eingegossen.

Zur Reduction der Quecksilbersäule auf 0° waren in verschiedener Höhe vier Thermometer angebracht. Die unten

1) Vgl. Röntgen u. Schneider, Wied. Ann. 29. p. 173. 1886.

angegebenen Längen der Säulen sind auf 0° , 45° Breite und Meereshöhe reducirt. 1 Atmosphäre entspricht dem Druck einer reducirten Quecksilbersäule von 76,00 cm.

Beide Piëzometer waren mit sorgfältig destillirtem, durch Kochen ziemlich luftfrei gemachtem Wasser gefüllt. Die bei gewöhnlicher Temperatur und Atmosphärendruck absorbirte Luft übt zwar auf die Zusammendrückbarkeit des Wassers keinen merklichen Einfluss aus¹⁾, sie hat aber leicht zur Folge, dass sich in den Piëzometern kleine Bläschen abscheiden, welche das Resultat der Versuche stark fälschen könnten.

Alle wichtigeren, bei der Ausrechnung benutzten Grössen wurden nochmals auf das genaueste bestimmt. Wir geben dieselben im Folgenden an.

Der Inhalt der Piëzometer wurde neuerdings zweimal durch Wägung mit Wasser bestimmt. Die Resultate dieser Wägungen sind in der folgenden Zusammenstellung enthalten:

Piëzometer I mit Wasser von $17,95^\circ$ bis zum Theilstrich 19,7	= 132,542 g in Luft,
Piëzometer I leer	= 73,312 " " "
Daraus berechnet sich der Inhalt des Piëzometers I bei $17,95^\circ$ bis zum Theilstrich 19,7	= 59,372 ccm.
Piëzometer I mit Wasser von $0,00^\circ$ bis zum Theilstrich 19,9	= 132,585 g in Luft,
Piëzometer I leer	= 73,312 " " "
Aus diesen Zahlen ergibt sich der Inhalt des Piëzometers I bei 0° bis zum Theilstrich 19,9	= 59,343 ccm.

Berechnet man aus beiden Bestimmungen den Inhalt des Piëzometers I bei $17,95^\circ$ bis zum Theilstrich 20,0, indem man den cubischen Ausdehnungscoëfficienten des Glases = 0,000 025 5 zu Grunde legt, und indem man beachtet, dass die Theilstriche mit grösserem Nennwerth einem kleineren Volumen entsprechen, und dass der Querschnitt der Capillare I = 0,003 555 qcm ist, so findet man die beiden vorzüglich übereinstimmenden Werthe 59,371 ccm, resp. 59,370 ccm.

1) Röntgen u. Schneider, Wied. Ann. 31. p. 1002. 1887.

Piëzometer II mit Wasser von 17,95° bis zum Theil-	
strich 0,3	= 126,382 g in Luft,
Piëzometer II leer	= 63,765 " " "
Daraus: Inhalt des Piëzometers II bei 17,95° bis	
zum Theilstrich 0,3	= 62,767 ccm.
Piëzometer II mit Wasser von 0,00° bis zum Theil-	
strich 3,8	= 126,415 g in Luft,
Piëzometer II leer	= 63,765 " " "
Daraus: Inhalt des Piëzometers II bei 0,00° bis	
zum Theilstrich 3,8	= 62,724 ccm.

Aus beiden Bestimmungen ergibt sich in ähnlicher Weise wie oben für Piëzometer I der Inhalt des Piëzometers II bei 17,95° bis zum Theilstrich 4,0 zu 62,753 ccm, resp. zu 62,752 ccm; für den Querschnitt der Capillare II ist der Werth 0,003 604 qcm zu setzen.

Die sehr zeitraubende Calibrirung der Capillaren, welche seinerzeit in sehr sorgfältiger Weise ausgeführt wurde, wurde nicht wiederholt. Die auf p. 174 der citirten Arbeit mitgetheilte Tabelle ist daher wiederum zu benutzen. Die oben angeführten Werthe für die Querschnitte der Capillaren stellen die mittleren, für die calibrirten Intervalle geltenden Querschnitte dar; die Aenderung, welche dieselben durch Druck und Temperatur erleiden, braucht nicht berücksichtigt zu werden.

Von den übrigen constanten Fehlern der Beobachtungen ist Folgendes nachträglich zu erwähnen.¹⁾

Die Fehler, welche aus den durch Druckänderungen in den Piëzometern erzeugten Temperaturänderungen entstehen, haben wir auf eine Grösse reducirt, welche mit unseren Piëzometern sicher nicht mehr wahrnehmbar ist; d. h. dieselben sind kleiner als 0,005 cm. Da nun die durch Druck hervorgerufenen Niveausenkungen bei den Versuchen über die Compressibilität des Wassers ungefähr 6,00 cm betragen, so folgt, dass der in Rede stehende Fehler das Resultat nicht um 1 Promille fälschen kann.

Wenn der Druck in den Compressionscylinder eingelassen wird, so steigt das Wasser in der Gabel, und zwar im ganzen um 7,5 cm bei allen Versuchen, die mit vollem Druck

1) Vgl. l. c. p. 177 bis 184.

angestellt wurden. Dadurch wird im Inneren der Piëzometer der Druck kleiner sein als aussen. Für die Grösse des Fehlers gaben wir früher den Werth $+ 0,010$ für beide Piëzometer an. Neuere Versuche haben gezeigt, dass dieser Werth zwar noch für Piëzometer II gültig ist, dass derselbe dagegen für Piëzometer I infolge der grösseren Dicke der Glaswand etwas zu gross ist und durch den Werth $+ 0,008$ ersetzt werden muss. Es ergab sich nämlich, dass das Niveau im Piëzometer I um $0,208$ cm, dasjenige im Piëzometer II um $0,238$ cm steigt, wenn in beiden Piëzometern bloss der innere Druck um denselben Betrag von $13,23$ cm Quecksilber vermindert wird.

Aus diesen Zahlen lässt sich sofort die Grösse eines dritten Fehlers berechnen, der in ähnlicher Weise wie der zweite entsteht. Die durch Druck bewirkte Volumenänderung des Wassers wird durch die in den Capillaren stattfindende Senkung des Niveaus beobachtet; diese Senkung selbst hat aber zur Folge, dass der innere Druck gegen den äusseren abnimmt, die direct beobachtete Niveauverschiebung ist somit wiederum etwas zu klein. Man findet aus den oben angegebenen Werthen leicht, dass man zu jedem Centimeter Senkung im Piëzometer I $0,00110$ cm, im Piëzometer II $0,00132$ cm noch hinzuzufügen hat.

Schliesslich ist noch die vierte Fehlerquelle zu besprechen; so unbedeutend dieselbe zu sein scheint, und so wenig dieselbe bis jetzt von anderen Beobachtern beachtet wurde, so ist es doch gerade diese gewesen, welche uns genöthigt hat, für die Zuverlässigkeit der von uns erhaltenen Resultate viel engere Grenzen zu ziehen, als es sonst der Fall gewesen wäre, wenn wir nur die übrigen Fehler zu berücksichtigen gehabt hätten.¹⁾

Die aus der durch Druck erzeugten Niveauverschiebung in den Capillaren berechnete scheinbare Volumenverminderung des Wassers ist zu gross um den Betrag des Volumens Wasser,

1) Letzteres ist z. B. der Fall, wenn die auf Wasser bezogene relative scheinbare Compressibilität von verdünnten wässerigen Lösungen bestimmt werden soll. Bei diesen Bestimmungen macht sich der besprochene Fehler gar nicht oder nicht merklich geltend. Vgl. l. c. p. 182.

welches beim Sinken des Niveaus an der Capillarwand haften bleibt. Bleibt dasselbe in der Form von Tröpfchen zurück, so ist der Fehler überhaupt nicht zu bestimmen, und der Versuch unbrauchbar. Durch sorgfältiges Reinigen mit Säuren, Aetzkali und destillirtem Wasser bringt man es dahin, dass die zurückbleibende Wassermenge in der Form einer gleichmässigen Schicht die Wand bedeckt, und in diesem Falle ist dieselbe einer Bestimmung zugänglich. Eine grössere Zahl von darauf hinielenden Versuchen wurde in der bereits auf p. 182 der citirten Arbeit kurz mitgetheilten Weise gemacht; sehr gut übereinstimmende Resultate lieferten dieselben keineswegs, denn für das Volumen des auf der Länge von 1 cm der Röhrenwand haften bleibenden Wassers fanden wir Werthe, die zwischen 0,000 028 832 und 0,000 014 16 ccm schwankten. Da sich aber am häufigsten und namentlich bei den gut verlaufenden Versuchen der mittlere Werth 0,000 021 624 ccm ergab, so sehen wir diesen als den richtigen an. Es würde zu weitläufig sein, wenn wir an dieser Stelle alle Details und die zu überwindenden Schwierigkeiten mittheilen würden; wir hoffen, darüber im Zusammenhang mit ähnlichen Erscheinungen bei einer anderen Gelegenheit berichten zu können.

Aus dem angegebenen, für richtig gehaltenen Werthe ergibt sich, dass die in Rede stehende Correction für jedes Centimeter der beobachteten Niveauverschiebung — 0,0060 cm beträgt, und zwar für beide Piézometer.¹⁾

Die scheinbare Compressibilität des Wassers wurde bei den Temperaturen 17,95°, 9,00° und 0,00° bestimmt. Die Lufttemperatur im Keller, in welchem wir die Versuche anstellten, war bei jeder Versuchsreihe möglichst gleich der Badtemperatur und constant, was namentlich bei der höchsten Temperatur in der früher angegebenen Weise sehr gut gelang. Um die tiefste Temperatur (0,00°) herzustellen, wurde das ca. 50 l haltende Bad mit festgestampftem, reinem Schnee

1) Der früher angegebene Werth — 0,012 cm wurde aus Versuchen abgeleitet, deren Genauigkeit für die damals zu erreichenden Ziele ausreichte, die aber nunmehr durch bessere ersetzt werden mussten.

und eiskaltem, destillirtem Wasser bis auf einen kleinen, für die Beobachtung der Piëzometer nöthigen Raum gefüllt, wodurch wiederum eine äusserst contante Temperatur im Compressionsgefäss erreicht wurde. Weniger constant war die Temperatur von $9,00^{\circ}$, und dementsprechend ist auch die Uebereinstimmung in den einzelnen Versuchen bei dieser Temperatur eine weniger gute, als bei den anderen.

Die benutzten Thermometer, sowie die Gewichtssätze und Längenmaasse waren mit Etalons, welche von der Normalaichungscommission bezogen wurden, verglichen.

Die folgenden Tabellen enthalten die an den Piëzometern und am Manometer gemachten Beobachtungen. Bezüglich der Anordnung dieser Tabellen etc. verweisen wir auf p. 176 unserer Arbeit in Wied. Ann. 29.

Tabelle I. Versuche bei $17,95^{\circ}$.

Reihen- folge d. Ables.	Stand im Piëzo- meter I	Stand im Piëzo- meter II	Beob- achtete Zeit	Druck- änderung in cm Hg red auf 0° etc.	Bemerkungen
1	19,620 cm	0,280 cm	9 ^h 45 ^m	—	} Versuchs- dauer 1 Stunde
2	25,535 "	6,500 "	10 0	603,5	
3	19,675 "	0,335 "	15	—	
4	25,555 "	6,580 "	30	602,5	
5	19,700 "	0,360 "	45	—	
6	25,575 "	6,555 "	11 15	604,5	
7	19,685 "	0,345 "	45	—	
8	25,575 "	6,550 "	12 0	604,8	
9	19,685 "	0,350 "	15	—	} Pause von 1 St.
10	19,710 "	0,365 "	1 15	—	
11	26,605 "	6,580 "	30	603,9	
12	19,745 "	0,395 "	45	—	} Versuche bei geringerem Druck
13	22,040 "	2,830 "	55	—	
14	19,735 "	0,380 "	2 5	—	
15	22,265 "	3,065 "	15	—	
16	19,700 "	0,360 "	25	—	
17	19,685 "	0,340 "	40	—	} Versuchs- dauer 1 Stunde
18	25,540 "	6,510 "	3 10	602,0	
19	19,670 "	0,320 "	40	—	
20	25,535 "	6,500 "	4 10	602,3	
21	19,665 "	0,315 "	40	—	
22	25,560 "	6,525 "	55	603,8	
23	19,681 "	0,335 "	5 10	—	
24	25,565 "	6,535 "	25	604,1	
25	19,665 "	0,320 "	40	—	
26	25,545 "	6,505 "	55	604,8	
27	19,640 "	0,285 "	6 10	—	

Tabelle II. Versuche bei 9,00°.

Reihen- folge d. Ables.	Stand im Piëzo- meter I	Stand im Piëzo- meter II	Beob- achtete Zeit	Druck- änderung in cm Hg red. auf 0° etc.	Bemerkungen
1	18,920 cm	1,640 cm	8 ^h 40 ^m	—	
2	25,060 "	8,070 "	55	604,3	
3	18,905 "	1,630 "	9 10	—	
4	25,045 "	8,065 "	25	603,1	
5	18,930 "	1,650 "	40	—	
6	25,080 "	8,100 "	55	604,2	
7	18,980 "	1,710 "	10 10	—	
8	25,165 "	8,185 "	25	605,1	
9	19,060 "	1,795 "	40	—	
10	25,260 "	8,285 "	55	606,0	
11	19,130 "	1,870 "	11 10	—	
12	25,345 "	8,370 "	25	606,3	
13	19,220 "	1,960 "	40	—	

Tabelle III. Versuche bei 0,00°.

Reihen- folge d. Ables.	Stand im Piëzo- meter I	Stand im Piëzo- meter II	Beob- achtete Zeit	Druck- änderung in cm Hg red. auf 0° etc.	Bemerkungen
1	19,865 cm	3,770 cm	1 ^h 0 ^m	—	
2	26,400 "	10,580 "	15	604,2	
3	19,860 "	3,760 "	30	—	
4	26,395 "	10,575 "	45	604,1	
5	19,860 "	3,765 "	2 0	—	
6	26,390 "	10,570 "	15	604,4	
7	19,850 "	3,760 "	30	—	
8	19,845 "	3,750 "	3 15	—	
9	26,385 "	10,565 "	30	603,1	
10	19,860 "	3,765 "	45	—	
11	26,410 "	10,590 "	4 0	604,1	
12	19,865 "	3,775 "	15	—	
13	26,420 "	10,595 "	30	603,8	
14	19,870 "	3,780 "	45	—	

Zwischen Abl. 7 u.
8 fror die Kupfer-
röhre zu

Aus diesen Beobachtungen leiten wir zunächst die Tabelle IV ab, welche die im Piëzometer I, resp. II direct beobachteten, sowie die auf Normalcalibermaass reducirten Senkungen enthält; die Ergebnisse der Versuche mit geringerem Druck sind weggelassen.

Tabelle IV.

Piëzometer I. Senkung in cm.		Piëzometer II. Senkung in cm.		Bemerkungen
beobacht.	auf Normalcali- bermaass red.	beobacht.	auf Normalcali- bermaass red.	
5,887	5,888	6,202	6,127	Versuche bei 17,95°.
5,867	5,868	6,182	6,108	
5,882	5,878	6,202	6,128	
5,890	5,886	6,202	6,128	
5,877	5,873	6,200	6,127	
5,862	5,858	6,180	6,106	
5,867	5,868	6,182	6,107	
5,887	5,888	6,200	6,125	
5,892	5,888	6,207	6,182	
5,892	5,888	6,202	6,137	
6,147	6,140	6,435	6,389	Versuche bei 9,00°.
6,127	6,120	6,425	6,379	
6,125	6,118	6,420	6,375	
6,145	6,138	6,432	6,388	
6,165	6,159	6,452	6,410	
6,170	6,164	6,455	6,415	
6,537	6,536	6,815	6,816	Versuche bei 0,00°.
6,535	6,534	6,812	6,813	
6,535	6,534	6,807	6,808	
6,532	6,531	6,807	6,808	
6,547	6,546	6,820	6,821	
6,552	6,551	6,817	6,818	

Die Zahlen der zweiten und vierten Columnne verwenden wir zuerst zur Berechnung eines Werthes, der bei unseren früheren und folgenden Untersuchungen eine wichtige Rolle spielt: des Verhältnisses der durch gleiche Drucke in beiden Piëzometern verursachten, auf Normalcalibermaass reducirten Senkungen. Bildet man die Summe der Zahlen aus der zweiten Columnne und dividirt dieselbe in die Summe der Zahlen aus der vierten Columnne, so findet man als Quotient 1,0418. Früher¹⁾ ergab sich aus wenigen Versuchen der Werth 1,041; derselbe ist also von jetzt an durch den genaueren 1,0418 zu ersetzen.

Wir kommen nun zur Berechnung der scheinbaren Compressibilität des Wassers. Dazu werden von den Versuchen bei 17,95° nur die Zahlen benutzt, welche mit dem Piëzometer II gefunden wurden; die zehn Versuche zeigen eine so gute Uebereinstimmung, dass es unnöthig wäre, auch noch

1) Röntgen u. Schneider, l. c. p. 175.

die mit dem Piëzometer I erhaltenen zur Berechnung heranzuziehen. Dagegen soll die scheinbare Compressibilität bei $9,00^0$ und $0,00^0$ aus den an beiden Piëzometern abgelesenen Senkungen berechnet werden, und zwar in der Weise, dass wir die mit dem Piëzometer II gefundenen Werthe mit denen von Piëzometer I zusammenstellen, nachdem die letzteren mit dem soeben berechneten Werth $1,0418$ multiplicirt sind. In allen Fällen wird somit die scheinbare Compressibilität des im Piëzometer II enthaltenen Wassers bestimmt.¹⁾

**Scheinbare Compressibilität des Wassers
bei $17,95^0$ im Piëzometer II.**

Correction für das Steigen des Wassers in der Gabel . .	+0,010 cm,
„ „ „ Sinken „ „ im Piëzometer . .	+0,008 „ ,
„ „ die die Capillarwand benetzende Wassermenge	—0,037 „ ,
Gesammtcorrection	—0,019 cm.

Senkung im Piëzometer II in cm auf Normal- caliber- maass red.	corrigirt	Reducirter Druck in cm Hg	Senkung für 1 Atmosph. in cm	Bemerkungen
6,127	6,108	603,5	0,7692	} Versuchsdauer 1 Stunde
6,108	6,089	602,5	0,7681	
6,128	6,109	604,5	0,7680	
6,128	6,109	604,8	0,7677	
6,127	6,108	603,9	0,7687	
6,106	6,087	602,0	0,7685	
6,107	6,088	602,3	0,7682	
6,125	6,106	603,8	0,7686	
6,132	6,113	604,1	0,7691	
6,137	6,118	604,8	0,7688	
Mittel 0,7686				

1) Die scheinbaren Compressibilitäten des im Piëzometer I und des im Piëzometer II enthaltenen Wassers müssen nicht vollständig gleich sein; sie sind verschieden, wenn die Compressibilitäten des Glases oder, wie wir uns lieber ausdrücken wollen, wenn die Deformationscoëfficienten beider Piëzometer verschieden sind. Nun ergeben wohl die mitgetheilten Versuche, dass eine solche Verschiedenheit nicht oder wenigstens in kaum merklichem Maasse existirt, trotzdem aber haben wir uns für die mit dem Piëzometer II erhaltenen Zahlen entschieden, und zwar deshalb, weil dieses Piëzometer bei den früheren und bei den später mitzutheilenden Versuchen zur Aufnahme von anderen Substanzen als Wasser diente, deren relative scheinbare Compressibilität bestimmt werden sollte, und weil wir mit Hülfe dieser Versuche zu einem Werthe für die wahre Compressibilität des Wassers gelangen wollen. Vgl. p. 660 dieser Abhandl.

Aus diesem Mittelwerthe und dem Querschnitt der Capillare II = 0,003 604 qcm berechnet sich:

die durch 1 Atm. im Piëzometer II erzeugte
scheinbare Volumenänderung des Wassers = 0,002 770 0 ccm,
der Inhalt des Piëzometers II bei 17,95° bis zum
Theilstrich 0,3 beträgt = 62,766 ccm.

Folglich finden wir:

die scheinbare Compressibilität des Wassers bei 17,95° im Piëzometer II = 0,000 044 13 Atm.⁻¹.

Die Versuche, bei welchen zwischen je zwei Ablesungen eine halbe Stunde verlief, liefern denselben Werth, wie die übrigen, bei welchen nur eine viertel Stunde gewartet wurde.

Scheinbare Compressibilität des Wassers bei 9,00° im Piëzometer II.

Correction für das Steigen des Wassers in der Gabel . . + 0,010 cm,
" " " Sinken " " im Piëzometer . + 0,009 " ,
" " die die Capillarwand benetzende Wassermenge - 0,038 " ,
Gesammtcorrection - 0,019 cm.

Senkung im Piëzometer II in cm		Reducirter Druck in cm Hg	Senkung für 1 Atmosph. in cm	Bemerkungen
auf Normal- caliber- maass red.	corrigirt			
6,389	6,370	604,3	0,8011	Diese Werthe sind aus den Be- obachtungen mit Piëzometer I ab- geleitet. Vergl. p. 654.
6,379	6,360	603,1	0,8015	
6,375	6,356	604,2	0,7995	
6,388	6,369	603,1	0,8000	
6,410	6,391	606,0	0,8015	
6,415	6,396	606,3	0,8018	
. . .	. . .	. . .	. . .	
6,397	6,388	604,3	0,8021	
6,376	6,357	603,1	0,8010	
6,374	6,355	604,2	0,7994	
6,395	6,376	605,1	0,8008	
6,416	6,397	606,0	0,8023	
6,422	6,403	606,3	0,8026	
Mittel 0,8011				

Daraus ergibt sich:

die durch 1 Atm. im Piëzometer II erzeugte
scheinbare Volumenänderung des Wassers = 0,002 887 3 ccm.
der Inhalt des Piëzometers II bei 9,00° bis
zum Theilstrich 1,8 ist = 62,745 ccm.

Folglich finden wir:

die scheinbare Compressibilität des

Wassers bei $9,00^{\circ}$ im Piëzometer II = $0,000\ 046\ 02\ \text{Atm.}^{-1}$.

Scheinbare Compressibilität des Wassers
bei $0,00^{\circ}$ im Piëzometer II.

Correction für das Steigen des Wassers in der Gabel . . +0,010 cm,

„ „ „ Sinken „ „ im Piëzometer . . +0,009 „ ,

„ „ die die Capillarwand benetzende Wassermenge —0,041 „ ,

Gesammtcorrection —0,022 cm.

Senkung im Piëzometer II in cm		Reducirter Druck in cm Hg	Senkung für 1 Atmosph. in cm	Bemerkungen
auf Normal- caliber- maass red.	corrigirt			
6,816	6,794	604,2	0,8546	Diese Werthe sind aus den Be- obachtungen mit Piëzometer I ab- geleitet. Vergl. p. 654.
6,813	6,791	604,1	0,8544	
6,808	6,786	604,4	0,8533	
6,808	6,786	603,1	0,8549	
6,821	6,799	604,1	0,8554	
6,818	6,796	603,8	0,8554	
6,809	6,787	604,2	0,8537	
6,807	6,785	604,1	0,8536	
6,807	6,785	604,4	0,8532	
6,804	6,782	603,1	0,8546	
6,820	6,798	604,1	0,8552	
6,825	6,803	603,8	0,8563	
Mittel			0,8546	

Daraus ergibt sich:

die durch 1 Atm. im Piëzometer II erzeugte

scheinbare Volumenänderung des Wassers = $0,003\ 079\ 8\ \text{ccm}$,

der Inhalt des Piëzometers II bei $0,00^{\circ}$ bis

zum Theilstrich 3,8 ist = $62,724\ \text{ccm}$.

Folglich finden wir:

die scheinbare Compressibilität des

Wassers bei $0,00^{\circ}$ im Piëzometer II = $0,000\ 049\ 10\ \text{Atm.}^{-1}$.

Vergleicht man die in den vierten Columnen enthaltenen Werthe mit einander, so erkennt man, dass die zufälligen Fehler bei unseren Versuchen und namentlich bei den unter günstigen Bedingungen angestellten Versuchen bei $17,95^{\circ}$ sehr klein sind. Die grösste in der auf p. 654 mitgetheilten vierten Columne vorkommende Differenz beträgt noch nicht 0,2 Proc.

der einzelnen Werthe, was in Anbetracht davon, dass der eine der beiden Factoren, aus denen jene Zahlen berechnet wurden, eine Länge von etwas über 6 cm ist, von welcher die Unterabtheilungen des Millimeters durch Schätzung gewonnen wurden, sehr wenig zu nennen ist. In der That sind es die constanten Fehler, und darunter, wie oben schon erwähnt wurde, hauptsächlich der durch das Zurückbleiben einer Wasserschicht auf der Capillarwand beim Sinken des Niveaus verursachte Fehler, welche den Genauigkeitsgrad der für die scheinbare Compressibilität des Wassers gefundenen Werthe bestimmen. Eine sorgfältige Abwägung ihres Einflusses führt zu dem Resultat, dass die vorletzte Stelle der mitgetheilten Werthe als richtig zu betrachten ist.

Es dürfte von Interesse sein, unsere Versuchsergebnisse mit denen anderer Beobachter zu vergleichen. Da wir nur die scheinbare Compressibilität des Wassers bestimmten, so kann es sich auch nur um eine Vergleichung der für die Aenderung der Compressibilität mit der Temperatur gefundenen Werthe handeln; wir müssen sogar dabei voraussetzen, dass der Deformationscoefficient unseres Piézometers sich nicht merklich ändert, wenn die Temperatur von 0° auf 18° steigt; wozu wir aber nach den darüber vorliegenden Beobachtungen zu urtheilen wohl berechtigt sein dürften. Auf Taf. VI Fig. 9 sind die Beobachtungen Grassi's (*G*), die von Pagliani und Vicentini (*P* u. *V*) und die unserigen (*R* u. *S*) in ein Coordinatennetz eingetragen. Aus dieser Zeichnung ist ersichtlich, dass die Grassi'schen Versuche mit ziemlich beträchtlichen, zufälligen Fehlern behaftet sind, insbesondere die bei tieferen Temperaturen: Zwischen 0° und 4° liegt keineswegs ein Maximum der Compressibilität, wie Grassi vermuthete; die Gestalt der Curve an jener Stelle ist die Folge von Beobachtungsfehlern. Weiter erkennt man, dass Pagliani und Vicentini¹⁾ eine raschere Abnahme der Compressibilität mit steigender Temperatur fanden als Grassi; leider ist uns die Originalarbeit dieser Herren nicht zugäng-

1) Pagliani und Vicentini bestimmten, beiläufig bemerkt, auch nur die scheinbare Compressibilität.

lich, sodass wir die durch Interpolation berechneten, in den Beiblättern 8. p. 794 1884 mitgetheilten Werthe haben eintragen müssen. Trotzdem unsere Versuche nicht weiter als bis zu 18° reichen, so lassen dieselben doch erkennen, namentlich dann, wenn man die von uns erreichte Genauigkeit berücksichtigt, dass die Compressibilität des Wassers wenigstens von 8° an nicht so rasch abnimmt, wie es Pagliani und Vicentini fanden. Der Verlauf unserer Curve scheint sich mehr der von Beobachtungsfehlern befreiten Grassi'schen Curve anzuschliessen. Gewiss wäre es wünschenswerth gewesen, unsere Versuche auf höhere Temperaturen auszudehnen, sollten dieselben aber mit derselben Präcision ausgeführt werden, so würden dazu grössere Hilfsmittel erforderlich gewesen sein, als uns zu Gebote standen.

Die Tafel enthält noch eine vierte Curve; dieselbe wurde aus Versuchen über die Aenderung des Brechungsexponenten des Wassers mit dem Druck erhalten, welche von Herrn Dr. Zehnder im hiesigen Laboratorium bei verschiedenen Temperaturen ausgeführt wurden und demnächst veröffentlicht werden sollen. Die in dieser vierten Curve dargestellten Werthe der Compressibilität des Wassers sind aus jenen Versuchen unter Annahme der Gültigkeit der Gladstone-Landolt'schen Regel $(n - 1)/d = \text{const.}$ berechnet. Es ist nun bemerkenswerth, dass die so berechnete Differenz der Compressibilitäten bei 9° und 18° genau, diejenige der Compressibilitäten bei 0° und 9° bis auf 3 Einheiten der letzten als sicher bezeichneten Stelle mit der von uns gefundenen Differenz übereinstimmte. Dieser Unterschied von 3 Einheiten könnte auch dadurch verursacht sein, dass die Temperatur des Wassers bei jenen optischen Versuchen nicht 0° , sondern eine um einige Zehntel höhere war. Letzteres ist nicht unmöglich, denn die Versuchsanordnung brachte es mit sich, dass eine Unsicherheit in der Bestimmung dieser tiefen Temperatur nicht ausgeschlossen werden konnte.

Die oben mitgetheilten Versuche bieten die Möglichkeit die wirkliche Compressibilität der Lösungen und Salze, von welcher wir die relative scheinbare Compressibilität bestimmten,

zu berechnen, sobald die wahre Compressibilität des Wassers mit genügender Sicherheit bekannt sein wird.

Es ist bekannt, dass die Elasticität fester Körper häufig Gegenstand von ausgezeichneten theoretischen und experimentellen Untersuchungen war; so hat man z. B. häufig aus Biegungs- und Torsionsversuchen mit Stäben die Elasticitätsconstanten derselben bestimmt. In manchen Fällen aber ist die Richtigkeit der erhaltenen Werthe keineswegs über jeden Zweifel erhaben. Selbst angenommen, dass es gelungen wäre, durch sinnreiche Methoden und Versuchscombinationen die Schwierigkeit zu überwinden, welche die genaue Messung der Dimensionen und Deformationen namentlich von kleinen Stäbchen bietet, so bleibt doch noch ein Bedenken übrig; dasselbe richtet sich gegen die Berechnung der Resultate. Die nöthigen Formeln liefert die Theorie, es fragt sich aber, ob die bei der Ableitung jener Formeln gemachten Annahmen auch bei den Versuchen in hinreichendem Maasse zutreffen. Ein sehr lehrreiches Beispiel in dieser Hinsicht bieten die Untersuchungen von W. Voigt über die Elasticität des Steinsalzes.¹⁾

Es dürfte daher erwünscht sein, wenn man mit Hülfe der Piézometermethode, somit auf einem ganz anderen Wege, eine Controle ausüben könnte. Dass diese Methode bei richtiger Handhabung im Stande ist, diesen Dienst zu leisten, glauben wir in unserer Arbeit über die Compressibilität des Steinsalzes gezeigt zu haben; neue Versuche mit Steinsalz und Sylvin sind bereits seit längerer Zeit abgeschlossen und sollen demnächst veröffentlicht werden.

Die Verwendung der Piézometerversuche zu dem angegebenen Zweck wird aber erst dann im vollen Umfange stattfinden können, wenn der genaue Werth der Compressibilität des Wassers bekannt sein wird. Solange dies nicht der Fall ist, haben unsere Versuche mit festen Körpern nur eine beschränkte Bedeutung: Man kann aus denselben die Differenz der cubischen Compressibilitäten fester Körper

1) W. Voigt, Pogg. Ann. Ergbd. 7. p. 214. 1876. Berl. Ber. 1884. p. 989. Vgl. auch F. Braun, Wied. Ann. 32. p. 504. 1887 und 33. p. 239. 1888.

ableiten und untersuchen, ob diese übereinstimmt mit jener, welche sich aus den Biegungs- und Torsionsversuchen mit Stäbchen ergibt, denn die Differenz der beobachteten scheinbaren Compressibilitäten ist der Differenz der wahren gleich.

Zum Schluss möchten wir noch angeben, welchen Werth man aus unseren Versuchen für die wirkliche Compressibilität des Wassers bei $17,95^{\circ}$ erhält, wenn man annimmt, dass die von Hr. Voigt gefundenen Elasticitätsconstanten des Steinsalzes zu richtigen Werthen für die cubische Compressibilität dieser Substanz führen. Eine mit aller Sorgfalt angestellte neuere Untersuchung¹⁾ ergab für die Constanten A und B ²⁾ bei 20° die Werthe 4753, resp. 1313, wenn als Einheit der Druck eines Kilogrammes auf die Fläche eines Quadratmillimeters angenommen wird. Daraus berechnet sich die cubische Compressibilität des Steinsalzes $= 3 : (A + 2B)^3$ zu $0,000\,004\,20\text{ Atm}^{-1}$. Die relative scheinbare Compressibilität des Steinsalzes finden wir bei $18^{\circ} = 0,0476$, und daraus die scheinbare Compressibilität $= 0,000\,044\,13 \cdot 0,0476 = 0,000\,002\,10$. Folglich beträgt die Deformationsconstante unseres Piëzometers II: $0,000\,002\,10\text{ Atm}^{-1}$ und die wirkliche Compressibilität des Wassers bei $17,95^{\circ}$: $0,000\,046\,2\text{ Atm}^{-1}$; ein Werth, der mit dem von Grassi gefundenen genau übereinstimmt.⁴⁾ Aus leicht begreiflichen Gründen halten wir diesen Werth bis auf weiteres für den zuverlässigsten und setzen ihn an die Stelle des früher⁵⁾ mitgetheilten.

Für die Compressibilität des Wassers bei $9,00^{\circ}$ und $0,00^{\circ}$ ergeben sich die Werthe: $0,000\,048\,1$, resp. $0,000\,051\,2\text{ Atm}^{-1}$.

Phys. Inst. d. Univ. Giessen, 5. Febr. 1888.

1) W. Voigt, Berl. Ber. 1884. p. 990.

2) Nach der Bezeichnung von Hrn. Neumann. Vergl. dessen Vorlesungen über die Theorie der Elasticität, herausg. von O. E. Meyer.

3) Neumann's Vorlesungen. p. 181.

4) Grassi, Ann. de chem. et de phys. (3) 21. p. 437. Vgl. die Tab. auf p. 451 und nicht die am Schluss der Abhandlung.

5) Röntgen u. Schneider, Wied. Ann. 29. p. 198. 1886.