

2. *Ein Volumometer für kleine Substanzmengen; von L. Zehnder.*

Zu mineralogischen Untersuchungen wünschte Prof. v. Groth eine neue bequeme und doch möglichst exakte Methode der Dichtebestimmung für kleine Substanzmengen zu erhalten. Ich habe daraufhin das bekannte Volumometer in eine neue Form gebracht und glaube nunmehr einen Apparat konstruiert zu haben, der nicht nur den Mineralogen, sondern auch den Chemikern bei Dichtebestimmungen von Nutzen sein wird. Einige Vorversuche wurden mit von mir angegebenen Apparaten und unter meiner Leitung von H. Steinmetz im physikalischen Institut ausgeführt. Dieselben ließen mich hoffen, daß man mit der neuen Methode ganz brauchbare Resultate erhalten könne. Nachdem ich die Versuche selber an die Hand genommen hatte, kam ich durch dieselben schließlich zu der nachfolgend beschriebenen Konstruktion.

Apparat.

Das Volumometer besteht im wesentlichen aus einem Quecksilberbarometer, in dessen luftverdünnten Raum der Körper (mit einer gewissen Luftmenge) gebracht wird, dessen Dichte zu bestimmen ist. Das etwa 95 cm lange Barometerrohr *b b* (Fig. 1) ist eine beiderseits offene Glasröhre, die oben durch einen eingeschliffenen Glasstöpsel *s*₁ verschließbar ist und durch darüber stehendes Quecksilber abgedichtet wird. Unter diesem Stöpsel ist Raum für das von oben einzuführende Stöpselfläschchen *f*, das den zu untersuchenden Körper *k* enthält. Das Fläschchen ruht auf einem schwarzen Glaszeiger *z*, mit dem der Quecksilbermeniskus eben zur Berührung gebracht wird. Das Barometerrohr *b* taucht in ein langes, oben erweitertes, mit Quecksilber gefülltes Glasgefäß *G G*, in welchem

es, soweit als notwendig, auf- und abgeschoben werden kann. Zur größeren Einstellung jenes Quecksilbermeniskus wird das ganze Barometerrohr *b* im äußeren Gefäß *G* gehoben oder gesenkt. Zur feineren Einstellung dient ein in einer Führung mit sanfter Reibung verschiebbarer gläserner Regulierzapfen *r*, mit dem man durch Eintauchen in das Quecksilber den Quecksilbermeniskus in gewünschter Weise mit dem Zeiger *z* zur Berührung bringt.

Von der in das Barometerrohr durch das Fläschchen *f* hineingebrachten Luft kennt man nach vorherigem Kalibrieren die Volumina, man bestimmt außerdem während des Versuches ihre Temperaturen, und die auf ihr lastenden Drucke werden aus dem Barometerstand bez. aus der Quecksilbersäule ermittelt, die nach Einstellung des Meniskus auf den Zeiger *z* an der Quecksilberoberfläche *q* abgelesen wird. Zu diesem Zwecke ist das Barometerrohr *b* mit einer Millimeterteilung versehen in der Weise, daß der Zeiger *z* dem Nullpunkt der Teilung entspricht, und daß nur der untere Teil des Rohres von etwa 38—76 cm geteilt ist. Durch eine Lupe *L*₁ beobachtet man die Einstellung des Quecksilbermeniskus auf den Zeiger *z*, durch eine andere Lupe *L*₂ liest man den Teilstrich ab, bis zu dem das Barometerrohr in die Quecksilberfläche *q* eintaucht. Auf die übrigen Konstruktionseinzelheiten werde ich bei Besprechung der bezüglichen Versuche aufmerksam machen.

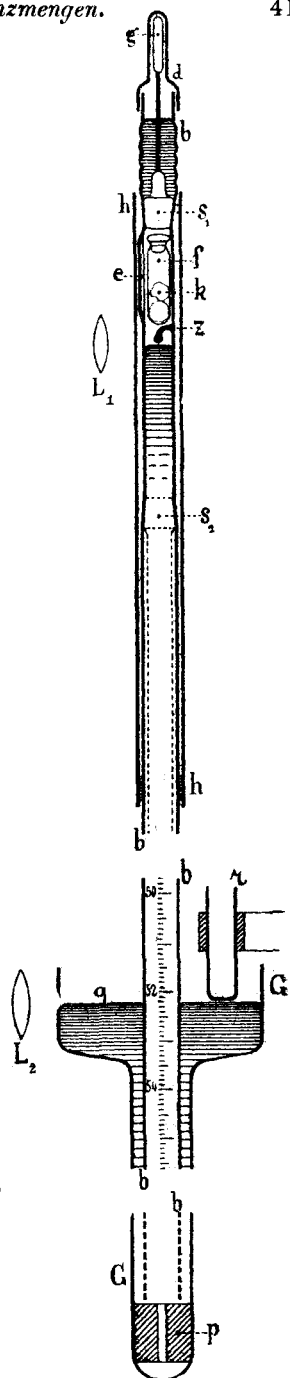


Fig. 1.

Theorie.

In der Fig. 2 sei R das Volumen des Raumes in der Barometeröhre über dem Quecksilbermeniskus, G das Volumen des Glasstöpselfläschchens, dieses selber als Körper betrachtet, C die Kapazität dieses Stöpselfläschchens, S das Volumen der festen oder flüssigen zu untersuchenden Substanz, also $C - S$ das Volumen der mit dem Fläschchen in das Barometerrohr eingeführten Luft, und, wenn $R - G = V$ gesetzt wird, $R - G - S = V - S$ das Volumen, in das sich die eingeführte Luft ausdehnen kann.

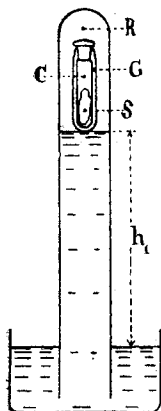


Fig. 2.

Vor dem Einführen des Fläschchens in das Barometerrohr hat die in jenem eingeschlossene Luft das Volumen $C - S$, die zu messende Temperatur t , und sie steht unter dem Druck b , den wir mit dem Barometer bestimmen, unter Reduktion der abgelesenen Quecksilbersäule auf 0° . Nach dem Einführen des Fläschchens in das Barometer dehnt sich diese Luft aus auf das Volumen $V - S$, bei der Temperatur t_1 , und sie steht unter dem Druck $b - h_1$, wenn h_1 die auf 0° reduzierte Quecksilbersäule bezeichnet, die jenem Volumen $V - S$ entspricht. Daher sind für α als thermischen Ausdehnungskoeffizient der Luft:

$$\frac{C - S}{1 + \alpha t} \quad \text{und} \quad \frac{V - S}{1 + \alpha t_1}$$

die auf 0° reduzierten Volumina jener eingeführten Luft, die nach dem Boyle'schen Gesetz den bezüglichen Drucken umgekehrt proportional sind, woraus folgt:

$$(1) \quad \frac{C - S}{V - S} = \frac{(b - h_1)(1 + \alpha t)}{b(1 + \alpha t_1)}.$$

Aus dieser Gleichung erkennen wir den großen Vorteil, den wir für die Berechnung der Versuche erlangen, wenn wir die Temperaturen der Luft vor und nach ihrem Einführen in das Barometerrohr einander gleich zu machen vermögen, weil sich in diesem Fall die beiden entsprechenden Faktoren auf der rechten Seite unserer Gleichung wegheben. Eine absolute Temperaturgleichheit ist allerdings im allgemeinen

nicht möglich. Wir können aber die Temperaturunterschiede so gering machen, daß wir wenigstens in erster Annäherung bei der Berechnung jene Faktoren weglassen dürfen. Aus der Beziehung

$$\frac{C-S}{V-S} = \frac{b-h_1}{b}$$

erhalten wir dann die folgende:

$$\frac{C-S}{V-C} = \frac{b-h_1}{h_1}$$

und daraus:

$$(2) \quad S = C - \frac{(V-C)(b-h_1)}{h_1}$$

In dieser Gleichung sind C und V , also auch $V-C$ Konstanten des benutzten Apparates, die durch vorher vorgenommene Kalibrierungen ein für allemal bestimmt werden. Wenn somit der Barometerstand b und die Quecksilbersäule h_1 im Volumometer abgelesen und auf 0° reduziert sind, berechnet sich das Volumen S der betreffenden Substanz aus der Formel (2) in einfachster Weise.

Sind die Temperaturen t und t_1 wesentlich verschieden, so muß S nach der genauen Formel (2a) berechnet werden, die sich aus Gleichung (1) ohne weiteres auf demselben Weg ergibt:

$$(2a) \quad S = C - \frac{(V-C)(b-h_1)(1+\alpha t)}{b\alpha(t_1-t) + h_1(1+\alpha t)}$$

Kalibrierungen.

1. Die Kapazität C des Stöpselfläschchens ergibt sich aus Wägungen mit Quecksilber in bekannter Weise. Ich fülle das zuvor gut gereinigte Fläschchen mit reinem Quecksilber durch ein sehr feines, aus einer Glasröhre hergestelltes Trichterchen, sodaß das Quecksilber am Boden des Fläschchens einströmt und ganz langsam im Fläschchen steigt. Es ist hierbei Vorsicht geboten, weil leicht Luftbläschen an den Wandungen des Fläschchens hängen bleiben, die zu falschen Resultaten Veranlassung geben. Zeigen sich trotz aller Vorsicht beim Einfüllen solche Luftbläschen, so können dieselben mit einem feinen Eisendraht wieder entfernt werden. Ferner sind die außen am Fläschchen etwa hängen bleibenden, mit einer Lupe leicht zu beobachtenden Quecksilbertröpfchen sorg-

fältig zu entfernen. Unter Berücksichtigung der Quecksilbertemperaturen fand ich aus vier aufeinander folgenden Füllungen und Wägungen die Volumina:

$$0,30758, \quad 0,30755, \quad 0,30751, \quad 0,30752 \text{ ccm}$$

und daraus als Mittelwert die Kapazität des Fläschchens:

$$C = 0,30754 \text{ ccm.}$$

2. Das Volumen G bestimme ich durch Wägung des von dem geschlossenen Fläschchen f' verdrängten Quecksilbers nach der Pyknometermethode. Zu diesem Zweck nehme ich ein etwas größeres Stöpselfläschchen, in das jenes zum Volumometer benutzte Fläschchen bequem eingeführt werden kann. Ein in der Apotheke erhältliches Salmiakfläschchen, an dessen Stöpsel ich den ins Innere ragenden Stiel abgebrochen und die Bruchfläche abgeschliffen habe, genügt vollständig. Nach sorgfältiger Reinigung fülle ich dasselbe durch den kleinen Trichter, wie unter 1. angegeben, von unten her mit reinem Quecksilber, verschließe und wäge es. Dann führe ich das zur Verhinderung eines zu starken Auftriebes fast ganz mit Quecksilber gefüllte, außen gut gereinigte kleinere Stöpselfläschchen f in jenes größere Stöpselfläschchen ein und nehme die zweite Wägung des Ganzen vor. Endlich wäge ich noch das Fläschchen f' mit seinem augenblicklichen Quecksilberinhalt.

Das größere Stöpselfläschchen voll Quecksilber wog in drei Versuchen bei den Temperaturen t

$$\begin{array}{ccc} t = & 16,6^\circ & 17,1^\circ & 17,4^\circ \\ & 54,3036 & 54,3006 & 54,3009 \text{ g} \end{array}$$

Nach Einführung des kleineren Stöpselfläschchens wog das Ganze:

$$\begin{array}{ccc} t = & 17,1^\circ & 17,15^\circ & 18,0^\circ \\ & 52,2363 & 52,2317 & 52,2242 \text{ g} \end{array}$$

Das größere Stöpselfläschchen wog leer 4,7139 g, das kleinere Stöpselfläschchen, nahezu voll Quecksilber, wog 4,6112 g. Daraus berechnet sich die Kapazität des größeren Stöpselfläschchens zu

$$3,65849, \quad 3,65860, \quad 3,65820, \text{ also im Mittel } 3,65843 \text{ ccm}$$

und nach dem Hinausdrücken von Quecksilber durch das kleinere Stöpselfläschchen f' blieben zurück

$$3,16669, \quad 3,16576, \quad 3,16569, \text{ also im Mittel } 3,16605 \text{ ccm.}$$

Die Differenz der beiden Mittelwerte ergibt 0,49238 ccm als das äußere Volumen des Stöpselfläschchens f , dessen Kapazität zu 0,30754 ccm gefunden wurde, sodaß aus der Differenz dieser beiden Zahlen

$$G = 0,18484 \text{ ccm}$$

als Volumen des Stöpselfläschchens selber erhalten wird.

3. Um das Volumen R des Barometerrohres möglichst genau zu ermitteln, verfuhr ich in folgender Weise: Dem Barometerrohr b (Fig. 1) gab ich einen zweiten Schliff s_2 , in den ein entsprechender an langem Glasstab angebrachter Glasstöpsel paßt. Das Barometerrohr wird genau vertikal aufgestellt und so auf den genannten Glasstab gestützt, daß der Schliff s_2 quecksilberdicht wird. Nun wird der Raum des zuvor sorgfältig gereinigten Barometerrohres über dem Schliff s_2 in der oben unter 1. beschriebenen Weise durch einen engen Trichter langsam mit reinem Quecksilber gefüllt, unter Vermeidung aller etwa an den Wänden haftenden Luftbläschen. Sodann wird der Stöpsel s_1 langsam eingeschoben und fest eingedrückt. Durch ein dünnes Röhrchen wird das über dem Schliff s_1 stehen gebliebene Quecksilber abgesaugt und werden alle an den Innenwandungen etwa hängen gebliebenen Quecksilbertröpfchen sorgfältig entfernt.

Nach dieser Vorbereitung wird der Stöpsel s_1 wieder herausgezogen und es wird das über dem Zeiger z im Barometerrohr befindliche Quecksilber durch eine besondere Pipette aufgesaugt. Der hierbei zu benutzenden Pipette gab ich die nebenstehende Form P (Fig. 3). Die Pipette läuft links in eine ganz feine lange Kapillare aus, rechts hat sie einen Schlauchansatz. Die Kapillare wird in den auszumessenden mit Quecksilber gefüllten Raum R des Barometerrohres gebracht, und durch den Schlauch s — unter Einschaltung einer mit konzentrierter Schwefelsäure gefüllten Trockenflasche F — wird das

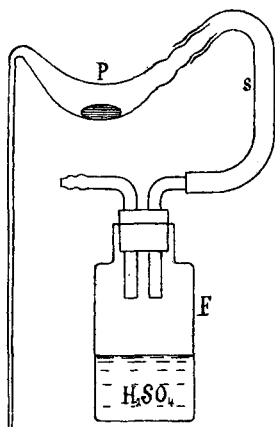


Fig. 3.

Quecksilber langsam in die Pipette aufgesaugt, in einfachster Weise mit dem Mund.

Mit Hülfe der hier zur Beobachtung der Berührung von Quecksilbermeniskus und Zeiger z (Fig. 1) angeordneten Lupe L_1 kann diese Einstellung sehr genau gemacht werden. Viel schwieriger ist es offenbar, nicht zu viel und nicht zu wenig Quecksilber mit der Pipette abzusaugen. Namentlich ist das Absaugen einer zu grossen Quecksilbermenge störend, weil es in der Regel ziemlich schwierig ist, das zu viel angesaugte Quecksilber aus der Pipette ohne Verspritzen desselben wieder in das Barometerrohr zurückzubringen und mit der dort vorhandenen Quecksilbermenge zu vereinigen. Ich beobachte deshalb das Sinken der Quecksilberoberfläche während des Ansaugens beständig, zuletzt durch die Lupe L_1 . Wenn sodann der Zeiger z mit seinem oberen Teil aus dem Quecksilber herauszuragen beginnt, sauge ich nur noch ein Tröpfchen Quecksilber nach dem anderen auf. Bin ich der richtigen Meniskusstellung sehr nahe, so sauge ich die Tröpfchen einseitigen nur in die Kapillare der Pipette herein, in der sie einen längeren Quecksilberfaden bilden. Taucht dann der Zeiger z , nachdem das Barometerrohr mit dem Finger etwas geklopft wurde, noch in das Quecksilber ein, so sauge ich jenen Quecksilberfaden völlig in die Pipette herein. Ist dagegen der Zeiger frei geworden, so drücke ich den die Pipette mit der Schwefelsäureflasche verbindenden Schlauch s (Fig. 3) so weit zusammen, daß wieder ein Teil des Quecksilberfadens in das Barometerrohr zurückfließt, bei welchem Vorgang das Pipettenkapillarenende den einzustellenden Quecksilbermeniskus nahezu berührt. In solcher Weise gelingt es recht gut gerade so viel Quecksilber abzusaugen, daß der Quecksilbermeniskus den Zeiger z eben berührt, wie die folgende Versuchsreihe zeigen wird.

In drei aufeinander folgenden Versuchen fand ich bei den Temperaturen t die Quecksilbermengen Q und daraus die entsprechenden Volumina R

t	17,9°	18,0°	18,1°
Q	17,0918	17,0847	17,0797 g
R	1,26125	1,26075	1,26040 ccm

Der Mittelwert des gesuchten Volumens des Barometerrohres wird demnach:

$$R = 1,2608 \text{ ccm,}$$

wobei die Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert weniger als 0,4 pro mille betragen, ein wie mir scheint ganz bemerkenswertes Resultat für eine derartige Volumenbestimmung.

Es ist vielleicht nicht unnötig, nochmals zu betonen, daß für diese Kalibrierung das Quecksilber mit großer Vorsicht in das Barometerrohr einzuführen ist. Würde nämlich ein Luftbläschen in dem mit Quecksilber zu füllenden Raum des Barometerrohres zurückbleiben, so würde dasselbe beim Einsetzen des Stöpsels s_1 zusammengepreßt, beim Öffnen des Stöpsels würde es sich wieder ausdehnen. Dasselbe würde ferner, wenn es unterhalb des Zeigers z sich befände, stärker zusammengepreßt durch die ganze bis zum Stöpsel s_1 reichende als durch die verminderte nach Absaugen des Volumens R noch auf ihm lastende Quecksilbersäule. Es müßte also ein solches Luftbläschen beim Kalibrieren grobe Fehler im Gefolge haben.

Aus $R = 1,2608$ ccm und $G = 0,1848$ ccm finden wir $R - G = V = 1,0760$ ccm, und da

$$C = 0,3075 \text{ ccm}$$

ermittelt wurde, wird

$$V - C = 0,7685 \text{ ccm,}$$

womit die beiden Konstanten des Apparates in unserer Formel bestimmt sind. Von einem Fabrikanten des Volumometers können diese Konstanten jedem Apparat mitgegeben werden.

Fehlerquellen.

1. Schon weiter oben habe ich gezeigt, daß die Berechnung der Versuche bedeutend vereinfacht wird, wenn es gelingt, die Temperatur der im Fläschchen eingeschlossenen Luft vom Einbringen der letzteren in das Barometerrohr bis zum Ablesen des von ihr erzeugten Druckes konstant zu halten, oder doch die Temperaturänderungen so klein zu machen, daß es sich bei ihrer Berücksichtigung nur um Korrekutionsrechnungen handeln kann. Zur Erreichung dieses Zieles muß vor allen Dingen die Quecksilbersäule des Barometerrohres b (Fig. 1) auf möglichst konstanter Temperatur erhalten werden. Daher wird der obere Teil des Barometerrohres mit einer genügend langen durchsichtigen Hülle h , nämlich mit einem dünnwandigen

Glasrohr umgeben, das mittelst eines Pfropfes fest auf dem Barometerrohr sitzt.¹⁾ Ferner wurde die Lupe L_1 derart gewählt, daß die Einstellung des Quecksilbermeniskus auf den Zeiger z in grösserem Abstand (von etwa 1 m) noch deutlich beobachtet werden kann. Die Vergrößerung ist dabei eine solche, daß sich recht scharfe Einstellungen machen lassen, wie aus den später folgenden Tabellen hervorgehen wird. Sodann ist das Barometerrohr oben, unmittelbar über dem Schliff s_1 , in einen Halter von geringem Wärmeleitungsvermögen gefaßt, und nie darf dasselbe beim Heben und Senken mit der Hand angefaßt werden. Endlich besteht der Griff g des Stöpsels s_1 , durch einen dünnen Stahldraht mit diesem verbunden, aus einem schlechten Wärmeleiter, nämlich aus einem dickwandigen ziemlich schweren Glasrohrstück, damit beim Einsetzen und Herausnehmen dieses Stöpsels eine möglichst geringe Wärmemenge dem Quecksilber des Barometerrohres zugeführt wird.

2. Wird nun das gut gereinigte und getrocknete Barometerrohr mit trockenem Quecksilber ganz gefüllt und nach eingesetztem Stöpsel s_1 so weit aus dem Gefäß G herausgezogen, daß der obere Quecksilbermeniskus auf den Zeiger z einsteht, so wird man im allgemeinen bei q stets eine geringere Quecksilbersäule ablesen, als sie dem augenblicklichen Barometerstand entspricht. Denn das verwendete Quecksilber kann nicht ausgekocht oder sonst in irgend einer Weise luftfrei gemacht werden, und an den Innenwänden des Barometerrohres haftet stets Luft, die sich allmählich ablöst. Namentlich bleibt in dem Schliff s_1 , auch wenn er möglichst fein ausgeführt und nach dem Schleifen noch poliert wird, immer eine merkliche Luftmenge zurück, die beim Heben des Barometerrohres in den Raum R gelangt. Eine Ablesung jener Quecksilbersäule kann uns also über den augenblicklichen Barometerstand immer nur annähernd Aufschluß geben; sie zeigt uns aber, ob grobe Fehler unterlaufen sind oder ob der Apparat tadellos funktioniert. Dementsprechend lehrt jene Ablesung allfällige Fehler erkennen, weshalb ich sie nie unterlassen, vielmehr stets vor bez. nach jedem Versuch vorgenommen

1) Schon bei der Kalibrierung 3 wurde dieser Wärmeschutz benutzt.

habe, obwohl sie bei der Berechnung der Versuche unberücksichtigt bleiben konnte.

3. Eine weitere analoge Fehlerquelle bringt die Einführung des Stöpselfläschchens in das Barometerrohr mit sich. Außer der im Fläschchen eingeschlossenen Luft dringt nämlich noch viel Luft in das Innere des Barometerrohres, die den Außenwänden des Fläschchens anhaftet, und besonders diejenige Luft, die im Schliff und unmittelbar über dem Schliff des Fläschchens im Augenblick des Eintauchens desselben in das Quecksilber gefangen wird. Um diese Luftmenge möglichst klein zu machen, habe ich das Stöpselfläschchen so konstruiert, wie es nebenstehende Fig. 4 in etwa dreifacher natürlicher Größe zeigt. Einspringende Höhlungen sind möglichst vermieden. Es ist nämlich der obere Rand des Fläschchens bei *ff* abgeschrägt und nach der Schlifffläche geschärft, wie aus der Figur hervorgeht.



Fig. 4.

Ein derart geformtes reines Fläschchen nimmt immer ungefähr die gleiche Luftmenge mit sich, und es kann demnach die gesamte Luftmenge, die teils in dieser Weise durch das Fläschchen mitgenommen wird, teils durch die unter 2. erwähnte Fehlerquelle in den luftverdünnten Barometerraum gelangt, als Korrektion durch den Versuch bestimmt werden. Zu diesem Zweck füllt man das Fläschchen fast vollständig mit einem Körper von bekanntem Volumen, am besten mit Quecksilber von bekannter Temperatur. Weil die Kapazität des Fläschchens bekannt ist, kennt man genau die in seinem Inneren dabei noch vorhandene Luftmenge. Durch Versuche mit dem Volumometer bestimmt man andererseits die Luftmenge, die im Barometerrohr tatsächlich erscheint. Die Differenz dieser beiden Luftmengen ist daher auf Rechnung der Luft zu setzen, die den unter 2. und 3. erwähnten Fehlerquellen entspricht, und sie ist bei den Berechnungen zum Körpervolumen S zu addieren.

4. Das Fläschchen führt man, wie später genauer erläutert wird, durch die obere Öffnung des Barometerrohres ein. Dabei wird aber das im Quecksilber untergetauchte Fläschchen stets

gegen die Wandung des Barometerrohres angedrückt und zwischen Rohr und Fläschchen wird eine beträchtliche Luftmenge gefangen. Diese Fehlerquelle suchte ich dadurch zu beseitigen, daß ich das obere Ende des Barometerrohres mit welligen Erweiterungen bez. Verengerungen versah, wie es die Fig. 1 zeigt. Durch diese Verengerungen wird die in soeben beschriebener Weise an der Außenwand des Fläschchens haftende Luft beim Einschieben des letzteren so gut als möglich abgestreift.

5. Würde beim Heben des Barometerrohres nicht alles Quecksilber aus dem Raum R des Rohres in die unterhalb des Zeigers befindliche Quecksilbermenge ablaufen, so würde dies zu entsprechenden Fehlern Veranlassung geben. Ich habe solche Fehler dadurch vermieden, daß ich den inneren Barometerrohrdurchmesser über dem Zeiger z etwas erweiterte, sodaß zwischen der Innenwand des Rohres und der Außenwand des Fläschchens noch genügende Querschnitte für das regelrechte Abfließen des Quecksilbers bleiben. Außerdem ordnete ich an der betreffenden Stelle eine furchenartige Erweiterung e (Fig. 1) an, durch die unter allen Umständen das Quecksilber leicht herabfließen kann, sodaß die erwähnte Störung sich nie geltend machte. Die Furche e darf aber vom Glasbläser nicht zu tief gegen den Zeiger z herabgezogen werden, damit das Glasrohr neben diesem Zeiger nicht zu ungleichmäßig wird; denn sonst würde man durch die Lupe L_1 kein scharfes Bild des Zeigers z mehr erhalten.

6. Ist ein Versuch mit einer zu untersuchenden Substanz ausgeführt worden und macht man gleich nach dem Herausnehmen des Fläschchens ohne besondere Vorsichtsmaßregeln einen zweiten Versuch, so erhält man ein ganz schlechtes Resultat. Bei jenem ersten Versuch wurde nämlich eine größere Luftmenge in das Barometerrohr eingeführt. Diese Luft blieb beim Herausnehmen des Fläschchens zum Teil an den Innenwandungen des Barometerrohres haften und sie läßt die beim zweiten Versuche im Barometerrohr befindliche Luftmenge zu groß erscheinen. Namentlich bleibt an der Einschmelzstelle des Zeigers z stets ein kleines Luftbläschen zurück. Diese Fehlerquelle wird in genügender Weise beseitigt, wenn man nach jedem Versuch mit eingeführtem Fläschchen einen Versuch ohne Einführen desselben macht, das heißt wenn

man jeweils wieder die Quecksilbersäule des Volumometers ohne künstliche Luftzuführung, gleichsam zur Kontrolle, mit dem Barometerstand vergleicht. Dabei wird die erwähnte Luft frei. Sie expandiert in den luftverdünnten Raum R des Barometerrohres und beim darauffolgenden Senken des letzteren wird sie gegen den Schliff s_1 hinaufgetrieben und nachher durch diesen wieder entfernt.

7. Von größter Wichtigkeit ist es, keine Spur von Wasserdampf in das Innere des Barometerrohres gelangen zu lassen. Ich habe deshalb nicht nur die zu untersuchenden Substanzen einige Stunden vor Beginn der Versuche in den Exsikkator gebracht, sondern auch das Fläschchen selber stets in letzterem aufbewahrt, unverschlossen, damit die Luft zum Inneren desselben freien Zutritt hatte. Das Fläschchen soll selbstverständlich nach dem Reinigen, also während der Versuche, nie mit den Fingern berührt und nie auf unreine Gegenstände gelegt, vielmehr nur mit reinen trockenen Pinzetten angefasst werden.¹⁾

Das Heben des Quecksilbers im Barometerrohr geschieht nach Entfernen des Stöpsels s_1 durch Ansaugen mit dem Mund, unter Zwischenschaltung einer konzentrierte Schwefelsäure enthaltenden Trockenflasche F (Fig. 3), damit nie feuchte Luft in den oberen Teil des Barometerrohres gelangt. Läßt man umgekehrt die Quecksilbersäule fallen, so soll die in das Barometerrohr eintretende Luft stets der Trockenflasche entnommen werden. Durch ein Schlauchstück wird man dabei die Trockenflasche mit dem oberen Teil des Barometerrohres verbinden. Dieses Schlauchstück muß aber so leicht über letzteren Teil zu stülpen sein, daß die solches besorgenden Finger keinen Augenblick weder mit dem oberen Rand des Barometerrohres selbst, noch mit dem über diesen Rand zu stülpenden Schlauchende zur Berührung kommen, weil sonst die wesentlich in Betracht kommende Quecksilbertemperatur in merklich störender Weise geändert wird (vgl. 1. p. 47).

1) Etwa dreimal glaubte ich meine Versuche abgeschlossen zu haben und faßte daraufhin das Fläschchen mit meinen allerdings ziemlich trockenen Fingern an. Nachher wollte ich noch weitere Körper untersuchen. Ich that dies ohne das Fläschchen von neuem zu reinigen oder anders als im Exsikkator zu trocknen. Größere Fehler scheinen sich aber aus diesen Berührungen nicht ergeben zu haben.

8. Der Schliff des Stöpselfläschchens *f* (Fig. 4) muß sorgfältig rein und namentlich staubfrei gehalten werden. Bleibt nämlich ein Staubkörnchen auf demselben liegen, etwa beim Einfüllen einer Substanz, so lässt sich das Fläschchen mit dem Stöpsel nicht mehr völlig verschliessen und die mit dem Fläschchen eingeführte Luftmenge ist zu groß. Um einen solchen Fehler zu erkennen, hole ich nach dem Verschließen das Fläschchen jedesmal an seinem Stöpsel mit der Pinzette aus dem Exsikkator heraus. Indessen waren zweimal so feine Stäubchen im Schliff sitzen geblieben, daß dieselben in solcher Weise nicht zu erkennen waren. Die in diesen beiden Fällen erhaltenen Drucke fielen weit aus der Reihe der sonst beobachteten Drucke heraus und die ganzen Versuchsreihen mußten verworfen werden. Nachdem ich aber auf diese Fehlerquelle aufmerksam geworden war, erkannte ich ihren Einfluß nachträglich daran, daß beim Senken des Barometerrohres durch den nicht gut schließenden Schliff etwas Quecksilber in feinsten Tröpfchen in das Innere des Fläschchens hineinspritzte, während bei gut geschlossenem Stöpsel nur die Luft selber durch den Schliff hindurch in das Fläschchen zurückströmen konnte.

9. Das Stöpselfläschchen muß in jeder Weise vor Verunreinigung geschützt werden (vgl. 7. p. 51). Denn feste und namentlich weiche klebrige Körper, die sich außen an das Fläschchen anlegen, werden bewirken, daß an den betreffenden Stellen ganz andere Luftmengen beim Eintauchen in das Quecksilber am Fläschchen haften bleiben und ins Innere des Barometerrohres gelangen, als es ohne diese Körper der Fall wäre. Deshalb wird das Stöpselfläschchen nur auf reine Glas-

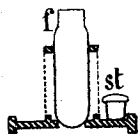


Fig. 5.

schälchen gelegt. Ist es mit einer Substanz gefüllt, die bei geneigtem Fläschchen teilweise aus demselben herausfallen könnte, so stellt man es, namentlich im Exsikkator, in ein entsprechend kleines, innen gereinigtes Ständerchen (Fig. 5), das der Luft freien Zutritt zum Fläschchen gestattet und das auch für das Stöpselchen *st* eine geeignete reine Aufbewahrungsstelle bietet (Fig. 5). Verhältnismäßig sehr nachteilig würden kleine Fäserchen von Fließpapier wirken, die außen an das Fläschchen sich anlegten, wenn man dieses auf Fließpapier

aufbewahren wollte. Denn längs solcher Fäserchen würde beim Eintauchen des Fläschchens in das Quecksilber ein Luftkanal gebildet, aus dem die Luft nicht mehr entfernt werden könnte. Diese Luft aber würde ins Innere des Barometerrohres gelangen und die abzulesenden Druckwerte entsprechend beeinträchtigen.

Nach jedem Versuche sitzt das Stöpselchen fest im Schliff des Fläschchens. Zur Sicherung der Luftdruckausgleichung habe ich (was kaum nötig ist) jenes aus diesem herausgezogen vor der Einbringung in den Exsikkator. Mit einer Pinzette hält man das Fläschchen fest, etwa in jenem Standgläschen, mit einer anderen Pinzette zieht man das Stöpselchen heraus.

Eine weitere Verunreinigungsgefahr für das Stöpselfläschchen bietet die Quecksilberoberfläche oben im Barometerrohr, durch die jenes in dieses eingeführt wird. Damit sich auf der Quecksilberoberfläche möglichst wenig Staub ablagert, wird dieselbe durch einen aufgesetzten Deckel *d* (Fig. 1) vor solcher Verunreinigung geschützt. Dieser Deckel kann teils über den Griff *g* des Stöpsels *s*₁ geschoben werden, während des Versuches, teils kann er unmittelbar auf den oberen Teil des Barometerrohres aufgesetzt werden, nach Beendigung des Versuches. Anderenfalls hilft Absaugen der Verunreinigungen der Quecksilberoberfläche mit einer Pipette.

Vor der Anordnung eines solchen Schutzdeckels *d* habe ich übrigens in einem Zeitraum von nahezu zwei Monaten mit einem und demselben Stöpselfläschchen gearbeitet, ohne eine weitere Reinigung desselben vorzunehmen, als das Herausschütten der gebrauchten Substanz und das kräftige Ausblasen desselben mit dem trockenen Luftstrom eines Blasebalges.

Auch das Barometerrohr selber kann, wenn es nach den gegebenen Vorschriften vor Verunreinigung und namentlich vor Feuchtigkeit bewahrt wird, lange Zeit und zu zahlreichen Versuchen gebraucht werden, ohne daß eine neue Reinigung desselben erforderlich wäre. Ich habe im Lauf eines Monats das Volumometer ohne neue Reinigung zu mehr als 140 Versuchen gebraucht, wovon etwa die Hälfte unter Einführung des Fläschchens mit einer Substanz bez. mit Luft gemacht wurden. Zu diesen Versuchen zählen alle weiter unten mitgeteilten, ausgenommen die Versuche mit Bergkristall. Vor Ausführung

dieser letzteren, einen Monat später angestellten Versuche entleerte ich das Barometerrohr, ließ, ohne eine Reinigung mit Säure oder dergleichen vorzunehmen, trockene Luft durch dasselbe streichen und füllte es dann wieder mit getrocknetem Quecksilber. Mit dem Stöpselfläschchen nahm ich, wie schon oben erwähnt, nie eine besondere Reinigung vor, obwohl ich dasselbe mehrmals, im Glauben, nunmehr meine Versuche abgeschlossen zu haben, mit meinen Fingern angefaßt hatte. Trotzdem ergaben auch die mit Bergkristall ausgeführten Versuche ein recht brauchbares Resultat. Es darf daraus geschlossen werden, daß bezüglich der verlangten Reinlichkeit bei der Behandlung dieses Volumometers keine übermäßig großen Anforderungen gestellt werden. Denn es ist nicht schwer, die hier unter „Fehlerquellen“ besprochenen Vorsichtsmaßregeln zu beachten.

Gang der Versuche.

Das Glasgefäß *G* (Fig. 1 und Fig. 6) erhält in seinem unteren Ende einen hier festsitzenden Gummipfropf *p*, der in der Mitte ein enges Loch besitzt, vermittelt dessen er zum Zweck einer gründlichen Reinigung jenes Gefäßes wieder herausgenommen werden kann. Nun wird das Barometerrohr *b* (selbstverständlich ohne den nur zur Kalibrierung dienenden Glasstab mit Stöpsel *s*₂) mit seiner Glashülle *h* in das zuvor mit reinem, trockenem Quecksilber gefüllte Gefäß *G* eingetaucht. Damit aber nur möglichst reines Quecksilber in das Innere des Barometerrohres gelange, verschließt man beim Eintauchen das untere Ende dieses Rohres mit einem reinen Gummiläppchen oder Papierstreifchen, das erst nach dem vollständigen Untertauchen weggezogen wird. Das Barometerrohr wird nun so tief eingesenkt, daß es den Gummipfropf *p* eben leicht berührt. Sodann wird der zur Trockenflasche *F* führende Gummischlauch *s* vorsichtig über das obere Barometerrohrende gestülpt, nämlich so, daß dabei weder dieses Rohrende selber, noch derjenige Teil des Schlauches, der auf dasselbe zu sitzen kommt, mit den Fingern berührt wird (vgl. 7. p. 51). Nunmehr saugt man mit dem Mund durch die Trockenflasche hindurch das Quecksilber im Barometerrohr so hoch, daß dieses bis nahe zum oberen Rand mit Quecksilber gefüllt ist. Dann drückt

man das Barometerrohr fest auf den Gummipfropf p , sodaß das Quecksilber im Rohr abgeschlossen wird und in demselben stehen bleibt. Der an der Stange S vertikal verschiebbare Träger T des Barometerrohres hat ein so großes Gewicht, daß er in der Regel schon vermöge dieses Gewichtes einen genügenden Druck auf den Pfropf p ausübt, um jenen Abschluß zu bewirken. Sonst müßte dieser Druck durch ein angehängtes Gewicht entsprechend vermehrt werden.

1. Nach den beschriebenen Vorbereitungen und nach Ablesung des Barometerstandes wird die Temperatur des Quecksilbers im Volumeterrohr b gemessen durch Einsetzen eines im Exsikkator aufbewahrten kleinen Thermometers in den oberen Teil des Rohres. Dann wird der gleichfalls im Exsikkator aufbewahrte, nur an seinem Glasgriff g anzufassende Stöpsel in seinen Schliff s_1 eingesetzt. Unter andauern-

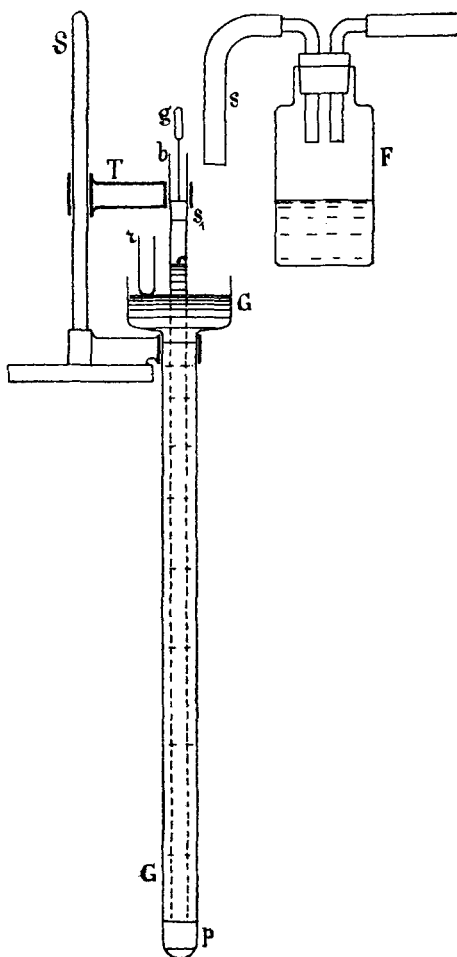


Fig. 6.

dem Niederdrücken dieses Stöpsels wird das Rohr ohne direktes Anfassen nur an seinem Träger T hochgehoben, bis die Quecksilberoberfläche im Inneren wesentlich tiefer als zum Zeiger z gesunken ist, wodurch viel Luft von der Innenwand des Volumo-

meterrohres abgelöst wird. Senkt man nunmehr das Rohr, drückt es auf den Pfropf p und öffnet den Stöpsel s_1 , so steigt jene abgelöste Luft im Quecksilber nach oben, namentlich wenn man den Stöpsel, ohne ihn aus dem Quecksilber ganz herauszuziehen, an den Einschnürungen des Volumeterrohres vorbei etwas auf- und abbewegt. Nach nochmaligem Einsetzen des Stöpsels s_1 , Hochheben des Rohres nur bis zum Freiwerden des Zeigers z , und genauem Vertikalstellen des Rohres stellt man den Quecksilbermeniskus mittelst des Regulierzapfens r auf genaueste Berührung mit dem Zeiger z ein, was — bei Beobachtung durch die Lupe L_1 aus größerem Abstand (vgl. 1. p. 47) — ganz leicht gelingt. Man erhält dann einen Quecksilberstand, der bis auf ein paar Millimeter mit dem wahren Barometerstand übereinstimmt.

2. Man senkt das Rohr b , drückt es auf den Pfropf p , zieht den Stöpsel s_1 heraus, legt ihn in den Exsikkator und bestimmt mit dem kleinen Thermometer die Temperatur der Quecksilbersäule wie oben.¹⁾ Dann wird das Stöpselfläschchen, mit einer Substanz gefüllt, deren Masse man durch Wägung bestimmt hat, im Exsikkator selber verschlossen mittelst der Pinzetten unter genügendem Eindringen seines Stöpselchens (vgl. 8. p. 52). Dasselbe wird von oben her in das Quecksilber des Rohres b gebracht und durch Belastung mittelst des Stöpsels s_1 eben nur so weit im Quecksilber eingetaucht (Fig. 7), daß sein Schliff wenigstens zum Teil noch aus der Quecksilberoberfläche herausragt. Läßt man das Fläschchen eine genügende Zeit (mindestens 5 Min.) in dieser Stellung, so nimmt die in demselben eingeschlossene Luft die unmittelbar vorher gemessene Temperatur des Quecksilbers an und ihr Druck gleicht sich mit dem außen herrschenden Druck aus durch Überströmen von Luft in der einen oder in der anderen Richtung durch den absichtlich nicht übermäßig fein

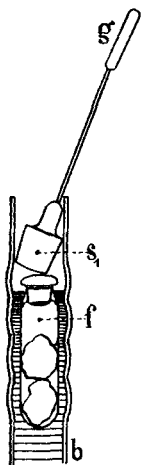


Fig. 7.

1) Befolgt man diese Vorschriften und sorgt namentlich für gutes Aufdrücken des Rohres b auf den Pfropf p , so ist ein neues Ansaugen des Quecksilbers nie mehr nötig.

gearbeiteten Schliff des Fläschchens hindurch. Man kennt somit Temperatur und Druck der in das Volumometer einzuführenden Luft.

Nach dieser Bestimmung wird das Fläschchen mittelst des Stöpsels s_1 völlig untergetaucht. Durch mehrmaliges Auf- und Abbewegen dieses Stöpsels wird das dadurch an den Einschnürungen des Volumometerrohres auf- und abgeschobene Fläschchen noch so gut als möglich von der an seiner Außenfläche haftenden Luft befreit und darauf wird der Stöpsel in seinen Schliff eingesetzt. Das Rohr wird langsam hochgehoben, der Quecksilbermeniskus dabei vorläufig eingestellt und der Apparat einige Zeit sich selber überlassen, damit die Luft aus dem Fläschchen durch seinen verschlossen bleibenden Schliff hindurchströmen kann. Nach 5 Min. ist ein genügender Druckausgleich zu stande gekommen. Vermittelst des Regulierzapfens r wird die feine Einstellung des Quecksilbermeniskus vorgenommen und hierauf wird der Stand der Quecksilberoberfläche q abgelesen.

Senkt man nach dieser Bestimmung das Volumometerrohr nicht zu schnell, so wird die Luft vermöge des zunehmenden Außendruckes durch den Schliff des Fläschchens hindurch in sein Inneres gedrückt, ohne daß dabei Quecksilber mitgerissen wird. Mit derselben Substanzmenge in demselben Fläschchen kann also der Versuch beliebig oft wiederholt werden. Sollte infolge ungenügenden Verschließens des Fläschchens (vgl. 8. p. 52) bei einem Versuch etwas Quecksilber in sein Inneres hineinspritzen, so kann durch Wägung diese Quecksilbermenge bestimmt und ihr Volumen bei allen folgenden Versuchen in leicht ersichtlicher Weise in Rechnung gebracht werden (vgl. 3. Zeile der Tab. 5 p. 66). Derjenige Versuch aber, bei dem zweifellos der Verschluß des Fläschchens ein ungenügender war, muß ausgeschlossen werden.

Nachdem das Rohr auf den Pfropf p aufgedrückt ist, wird der Stöpsel s_1 herausgezogen. Durch seinen eigenen Auftrieb steigt das Stöpselfläschchen von selber hoch und erscheint oben an der Quecksilberoberfläche. Freilich geschieht dies gewöhnlich nicht sofort; vielmehr muß das Fläschchen meistens einige Male mit Hilfe des Stöpsels s_1 an eine andere Stelle des Rohres geschoben werden, bis es steigt. Nur wenn man mit

einem Fläschchen operiert, das fast vollständig mit Quecksilber gefüllt ist, wird der Auftrieb zu gering. Man muß in diesem Fall entweder mit einem dünnen Eisendraht nachhelfen oder unter Zutritt trockener Luft durch die Trockenflasche das Quecksilber im Rohr so weit sinken lassen, daß das Fläschchen an die Quecksilberoberfläche gelangt. Durch erneutes Ansaugen des Quecksilbers kann mit seinem Steigen auch das Fläschchen an das obere Ende des Rohres hinaufgebracht werden.

In der Regel wird man ganze Reihen solcher abwechselnd aufeinander folgender Versuche 1. (p. 55) und 2. (p. 56) machen, sodaß unmittelbar auf einen Versuch 2. wieder ein Versuch 1. folgt, welcher letzterer eigentlich nur als Kontrolle des richtigen Funktionierens auszuführen ist. In meinen Versuchsreihen habe ich zuerst das Barometer und die Temperatur seines Quecksilbers abgelesen, dann Versuche 1. 2. 1. 2. 1. 2. 1. 2. 1. 2. 1. ausgeführt, also im ganzen 6 Hauptversuche 2. gemacht, und schließlich las ich wieder den Barometerstand ab. Für ein Versuchspaar 1. und 2. war durchschnittlich kaum eine halbe Stunde erforderlich.

Den Nutzen der zwischen die Versuche 2. eingeschobenen Versuche 1. sieht man ganz besonders ein, wenn man nach einem Versuch 2. beim erstmaligen Heben des Volumometerrohres im Versuch 1. das Sinken des Quecksilbermeniskus genau verfolgt. Man erkennt nämlich leicht, daß sich nach Maßgabe des Sinkens des Quecksilbermeniskus Luftbläschen von der Innenwandung des Volumometerrohres ablösen. Besonders

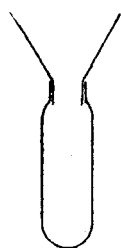


Fig. 8.

deutlich steigt bei der Annäherung des Meniskus ein großes Luftbläschen vom Glaszeiger *z* auf, das sich nach genügender Druckverminderung von ihm abgelöst hat.

Die zu untersuchenden Substanzen fülle ich, wenn es sich um Körner handelt, mit der Pinzette in das Fläschchen ein, alles möglichst im Inneren des Exsikkators und unter Ausschluß beim Atmen etwa eindringender feuchter Luft. Pulverförmige Substanzen fülle ich durch ein reines, trockenes, möglichst weites Trichterchen ein (Fig. 8) so aber, daß das Festsetzen solcher Substanz am Schliff des Fläschchens aufs sorgfältigste vermieden wird (vgl. 8. p. 52).

Versuchsergebnisse.

Ich habe schon oben erwähnt, in welcher Weise ganze Versuchsreihen ausgeführt wurden. In der folgenden Tab. 1 ist eine solche Versuchsreihe mit ihren Ablesungen angegeben, die zur Dichtebestimmung des Bergkristalles diente. In derselben bedeuten:

- t die zu den neben ihnen stehenden Quecksilberständen gehörenden Temperaturen, in Zentigraden;
 (b) die Quecksilberstände im Barometer;
 h „ „ „ Volumometer ohne eingeführtes Fläschchen;
 h_1 „ „ „ mit eingeführtem Fläschchen (voll Bergkristall);
 h_1' die um die Kapillardepression vermehrten Quecksilberstände h_1 des Volumometers, dieselbe beim Glasrohrdurchmesser von 0,45 cm auf 0,10 cm geschätzt;
 b_0 die auf 0° reduzierten Barometerstände, aus den Beobachtungen (b) interpoliert;
 h_{01} die auf 0° reduzierten Volumometerstände h_1' ;
 $b_0 - h_{01}$ die Differenzen dieser beiden Quecksilbersäulen, in Zentimetern.

Jeder Tabelle ist die Nummer der Versuchsreihe beigesetzt, auf die sie sich bezieht, chronologisch geordnet.

Tabelle 1. Nr. 7.

t		h_1'	b_0	h_{01}	$b_0 - h_{01}$
17,0	(b) 71,94	—	71,73	—	—
18,1	h 71,61				
18,2	h_1 58,03	58,13	71,73	57,95	13,78
18,6	h 71,61				
18,7	h_1 58,09	58,19	71,72	58,01	13,71
18,7	h 71,60				
19,0	h_1 58,02	58,12	71,72	57,94	13,78
18,8	h 71,62				
19,0	h_1 58,06	58,16	71,71	57,98	13,73
18,7	h 71,61				
18,9	h_1 57,98	58,08	71,71	57,90	13,81
18,7	h 71,60				
19,0	h_1 57,92	58,02	71,70	57,84	13,86
18,7	h 71,60				
18,7	(b) 71,93	—	71,70	—	—

Setzt man die Zahlen der letzten beiden Kolumnen in die Gleichung (2) (p. 43) ein, so erhält man sofort das Volumen $C-S$

der mit dem Fläschchen in das Volumometer eingeführten Luft und das Volumen S der eingeführten Substanz selber.

In dieser Tabelle möchte ich vor allen Dingen auf die vorzügliche Übereinstimmung der Ablesungen h aufmerksam machen. Diese Volumometerstände unterscheiden sich nicht mehr als höchstens um 0,02 cm voneinander, ein um so bemerkenswerteres Resultat, als doch jedesmal zwischen zwei solchen Versuchen (1.) ein anderer Versuch (2.) ausgeführt wurde, bei dem das Fläschchen mit der Substanz in das Innere des Volumometers gebracht wurde. Die schöne Übereinstimmung dieser Ablesungen, die auch aus den übrigen Versuchsreihen sich ergibt, beweist die Brauchbarkeit der angeordneten Regulier- und Ablesevorrichtungen für dieses Volumometer.

Viel weniger gut stimmen die Ablesungen h_1 , nach Einführung des Fläschchens mit der Substanz, untereinander überein. Die Luftmenge also, die beim Eintauchen des Stöpsels s_1 allein, namentlich unter Beobachtung der oben erwähnten Vorsichtsmaßregeln, mitgerissen wird, ist fast vollständig konstant. Von dem Fläschchen aber, mit seiner großen Oberfläche, an der trotz aller Vorsicht leicht Stäubchen, Papierfäserchen oder dergleichen hängen bleiben, und an welchem Fläschchen überdies einspringende Flächen, also Luftfänger, sich nicht vermeiden lassen, wird bald etwas mehr, bald etwas weniger Luft mitgerissen, die im Volumometer ungleichmäßige Ablesungen zur Folge hat. Zweifellos sind die großen Verschiedenheiten der Volumometerablesungen h_1 bei eingeführtem Fläschchen im wesentlichen diesen ungleichen mitgerissenen Luftmengen zuzuschreiben.

Um die von diesen Luftmengen herrührenden Korrekturen zu ermitteln, habe ich analoge Versuchsreihen wie die oben beschriebene, zuerst nur mit luftgefülltem Fläschchen ausgeführt, ohne irgend eine andere Substanz. Ich erhielt die Ablesungen h der Quecksilberstände im Volumometer, bei eingeführtem Fläschchen, die zugehörigen Temperaturen t der eingeführten Luftmengen und die entsprechenden wie oben durch Interpolation berechneten bereits auf 0° reduzierten Barometerstände b_0 , wie sie in der folgenden Tab. 2 ohne die dazwischen ausgeführten Kontrollversuche (1. p. 55) angegeben

sind. Zwischen der Einführung des Fläschchens in das Volumometer und der Ablesung des entsprechenden Quecksilberstandes verstrichen jeweils 10 Min. (vgl. Schluß der Tabelle).

Tabelle 2. Nr. 2.

t	h	b_0
17,6	50,55	71,42
17,5	50,55	71,40
17,1	50,60	71,38
16,8	50,58	71,36
17,0	50,57	71,35
17,0	50,61	71,35 10 Min.

Die Anfangstemperatur der Quecksilbersäule des Volumometers erhält man in genügender Annäherung aus der ersten Ablesung t des in den oberen Teil des Volumometerrohres eingetauchten Thermometers, wenn der Apparat vor Beginn der Versuchsreihe längere Zeit sich selber überlassen war. Nachher wird diese Temperatur sich ändern, sie wird im allgemeinen um so mehr steigen, je mehr man sich in unmittelbarer Nähe des Apparates zu schaffen macht. Um solche Einflüsse zu verhindern, habe ich die früher erwähnte Glashülle h (Fig. 1) um das Volumometerrohr b gelegt. Dennoch stieg bei meinen Versuchen die Temperatur des Quecksilbers langsam. Ich konstatierte dies an einem zweiten Thermometer, das ich in das Quecksilbergcfäß G (Figg. 1 u. 6) eintauchte. Diese Temperatursteigerung ist aber eine geringe. Um die größtmögliche Genauigkeit der Resultate zu erzielen, wird man diese Veränderungen messen und in Rechnung ziehen. Bei den hier mitgeteilten Versuchen habe ich in dieser Beziehung das einfachste Berechnungsverfahren gewählt. Ich habe nämlich für alle Reduktionen der Volumometerablesungen h die aus allen zugehörigen Temperaturablesungen t (die sich doch wenig voneinander unterscheiden und fast nur zufälligen äußeren Einflüssen ihre Unterschiede verdanken) berechneten Mitteltemperaturen benutzt. Es entspricht sicher bei meinen Versuchen der Wirklichkeit am besten, wenn wir die Temperaturen der Quecksilbersäulen als nahe konstant betrachten. Dagegen besaß die im Fläschchen eingeführte Luftmenge stets nahezu die unmittelbar vor seinem Eintauchen im oberen Teil des Volumometerrohres abgelesene Temperatur t (laut Tabelle).

Für genaue Berechnungen müßte man daher die Formel (2a) (p. 43) anwenden, in der man zwar für t_1 — als Temperatur (des Quecksilbers) im Volumometerraum R — jene Mitteltemperatur beibehalten könnte, wenn man nicht vorzieht, durch ein stets dort befindliches Thermometer diese Temperatur jedesmal zu messen; für t aber — als Temperatur im Fläschchen vor seinem Untertauchen — müßte man die wirklich gemessene für jeden Versuch in der Tabelle angegebene Einzeltemperatur einsetzen. Es wird sich aber zeigen, daß auch mit der hier allein durchgeführten angenäherten Berechnung nach der einfacheren Formel (2) sehr brauchbare Resultate erhalten werden.

Setzt man für die ohne andere Substanz als Luft im Fläschchen gefundene Versuchsreihe (der Tab. 2) $S=0$ in die Gleichung (1) (p. 42) ein, so erhält man ein größeres Luftvolumen C' , als es der Kapazität C des Fläschchens entspricht. Mit den sechs Werten der Tab. 2 ergibt sich nämlich:

$$C' = 0,31517, \quad 0,31496, \quad 0,31399, \quad 0,31409, \quad 0,31413, \quad 0,31352 \text{ ccm},$$

während die Kapazität des Fläschchens nur $C = 0,30754$ ccm beträgt. Die Differenz der beiden, also

$$c = 0,00763, \quad 0,00742, \quad 0,00645, \quad 0,00655, \quad 0,00659, \quad 0,00598 \text{ ccm}$$

ist nichts anderes als das Volumen der im Schliff des Fläschchens und an der Außenwand desselben haftenden, beim Eintauchen mitgerissenen Luft, vermehrt um das Volumen der regelmäßig mit dem Stöpsel s_1 eingeführten Luft.

Zur Bestimmung dieser Korrektur habe ich bei den soeben genannten Versuchen mit einer unnötig großen Luftmenge gearbeitet, was die Sicherheit der erhaltenen Werte beeinträchtigt. Aus diesem Grunde suchte ich später die Korrektur in der Weise zu bestimmen, daß ich das Fläschchen fast vollständig¹⁾ mit Quecksilber füllte, dessen Volumen bekannt ist. Wieviel Luft außer dem Quecksilber noch im Fläschchen sich befand, war also genau bestimmbar, und das als

1) Bei der ersten Beobachtungsreihe (Nr. 1) war das Fläschchen ganz voll Quecksilber, ließ sich aber wegen der Oberflächenspannung des Quecksilbers nicht fest verschließen, weshalb die betreffenden Resultate unbrauchbar sind.

Korrektion einzuführende Luftvolumen ließ sich sicherer ermitteln.

Als das Fläschchen nahezu voll Quecksilber war, erhielt ich die in der folgenden Tab. 3 angegebene Versuchsreihe, mit gleicher Bezeichnungsweise der Ablesungen wie oben:

Tabelle 3. Nr. 6.

t	h	b_0
17,4	71,06	72,11
17,6	71,06	72,10
17,3	71,08	72,09
17,4	71,18	72,08
17,4	71,11	72,07
17,8	70,98	72,06

5 Min.

Aus der durch Wägung bestimmten Masse des im Fläschchen befindlichen Quecksilbers und aus seiner Temperatur berechnete ich sein Volumen zu 0,305 79 ccm, während die Kapazität des Fläschchens $C = 0,30754$ ccm beträgt. Die Differenz 0,001 75 ccm ist somit das Volumen der im Fläschchen eingeschlossenen Luft. Berechnet man aus den Werten der Tab. 3 das Volumen $C - S$ der mit dem Fläschchen in das Volumometer eingeführten Luft, so erhält man die sechs Werte:

$C - S = 0,01234, 0,01224, 0,01191, 0,01070, 0,01136, 0,01268$ ccm.

Davon jene 0,001 75 ccm subtrahiert, ergeben sich als Korrektionswerte die Volumina:

$c = 0,01059, 0,01049, 0,01016, 0,00895, 0,00961, 0,01093$ ccm

der von der Fläschchenaußenwand und vom Stöpsel s_1 bei den verschiedenen Versuchen mitgerissenen Luft. Man erkennt aus diesen Werten, daß die von der Fläschchenaußenwand mitgerissene Luftmenge in der That stark variiert, nämlich um etwa 2 cmm, daß also dieser Umstand die Ungleichheiten in den Ablesungen h der Volumometerstände bei eingeführtem Fläschchen vollständig zu erklären im stande ist.

Es ist selbstverständlich, daß diese verhältnismäßig sehr große Korrektion unter gar keinen Umständen unberücksichtigt bleiben darf. Weil nun die Einstellungen und die Ablesungen der Volumometerstände an sich sehr genau sind, weil also die gefundenen Unterschiede fast ausschließlich auf

Rechnung der in ungleichen Mengen vom Fläschchen mitgerissenen Luft fallen, kann man die entsprechende Korrektur in folgender Weise vornehmen: Versuche mit einem Fläschchen, das nahezu voll Quecksilber ist, werden in größerer Zahl ausgeführt. Daraus bestimmt sich das Intervall, in dem die Werte der mitgerissenen Luft schwanken. Bei den Versuchsreihen zur Bestimmung des Volumens einer Substanz werden nun die verschiedenen möglichen Volumina der mitgerissenen Luft in verschiedener Weise als Korrektur eingeführt. Ist nämlich bei sonst gleichwertigen Versuchen mit derselben Substanz bald ein größeres, bald ein kleineres Luftvolumen im Volumometer gefunden worden, so kann man *nach Maßgabe dieser Unterschiede* jeweils ein größeres bez. ein kleineres Korrekturluftvolumen in Anrechnung bringen. Dieses Verfahren ist gerechtfertigt, wenn die Korrekturversuche mit dem Fläschchen nahezu voll Quecksilber in genügend großer Zahl ausgeführt werden. Denn es wird das Wahrscheinlichkeitsgesetz bei beiderlei Versuchsreihen (mit Quecksilber für die Korrektur bez. mit der zu untersuchenden Substanz) die gleichen Schwankungen ergeben. Ich habe in solcher Weise die gefundenen Korrekturen in den folgenden Tabellen zur Anwendung gebracht, obwohl jede meiner Versuchsreihen nur aus sechs Einzelversuchen besteht. Das schließliche Resultat, der Mittelwert aus allen Einzelversuchen bleibt bei genügender Anzahl der Versuche dasselbe, wenn man statt der gewählten Korrekturart den Mittelwert aller Korrekturen als arithmetisches Mittel bestimmt und jedesmal das so gefundene Luftvolumen als Korrektur einsetzt.

Vergleicht man die Werte von c auf p. 62 mit den später gefundenen Werten p. 63, so erkennt man, daß in beiden Fällen die Schwankungen fast die gleichen sind. Wenigstens ist das Verhältnis der Korrekturschwankung zur Korrektur nahezu konstant. Die absoluten Werte der Korrekturen sind aber in beiden Fällen um einige Kubikmillimeter verschieden. Ich habe für alle folgenden Berechnungen die zuletzt mit der Quecksilberfüllung gefundenen Korrekturwerte benutzt. Denn teils ergeben diese Bestimmungen zweifellos viel genauere Resultate, weil mit so viel kleineren Luftmengen gearbeitet wird, teils aber entsprechen die dabei gefundenen Korrekturen

wahrscheinlich im allgemeinen¹⁾ besser den Luftmengen, die bei den nunmehr zu besprechenden Versuchen wirklich mitgerissen wurden, weil beiderlei Versuchsreihen der Zeit nach einander näher standen. Wie ich weiter oben zeigte, sind nämlich die jeweils mitgerissenen Luftmengen von dem augenblicklichen Zustand der Fläschchenoberfläche und der Quecksilberoberfläche im oberen Teil des Volumometerrohres abhängig. Von einer allmählich zunehmenden Verunreinigung dieser beiden Oberflächen wird zum größten Teil der Unterschied von etwa 3 Kubikmillimetern herrühren, der aus den beiden Versuchsreihen Tabelle 2 und 3 hervorgeht. Für möglichst genaue Versuche ist es zweckmäßig, immer zuerst eine Korrekptionsreihe mit nahezu mit Quecksilber gefülltem Fläschchen (Tab. 3), dann eine Versuchsreihe mit der Substanz im Fläschchen (Tab. 1), und hierauf wieder eine Korrekptionsreihe (Tab. 3) auszuführen. Für die Genauigkeit der hier mitgeteilten Versuche genügt es dagegen — auch bei monatelang fortgesetzten Versuchen — jene Korrektionen ein für allemal zu bestimmen, falls man nur nach den gegebenen Vorschriften die Verunreinigungen möglichst zu vermeiden sucht.

Die in Tab. 1 bereits mitgeteilten Versuche mit acht kleinen im Fläschchen befindlichen Bergkristallen wiederhole ich in Tab. 4 in der abgekürzten Weise der Tab. 2 und 3:

Tabelle 4. Nr. 7.

t	h	b_0
18,2	58,03	71,73
18,7	58,09	71,72
19,0	58,02	71,72
19,0	58,06	71,71
18,9	57,98	71,71
19,0	57,92	71,70 5 Min.

Die Volumometerstände h müssen auf 0° reduziert werden. Wegen der langsamen Temperaturänderung des Quecksilbers im Volumometerrohr (p. 61) benutzte ich für diese Reduktionen einfach die Mitteltemperatur der in Tab. 4 unter t stehenden Werte. Setzt man die so reduzierten Werte von h für h_1 und oben stehende Werte b_0 für b in die Gleichung 2 (p. 43)

1) Vgl. dagegen namentlich Versuchsreihe Nr. 3, Tab. 7 und p. 70.

ein, so erhält man für die Volumina die sechs Werte der ersten Zeile von Tab. 5.

Tabelle 5.

0,1248	0,1259	0,1247	0,1255	0,1242	0,1234
+ 0,0098	0,0089	0,0099	0,0092	0,0103	0,0109
- 0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
$S = 0,1339$	0,1341	0,1339	0,1340	0,1338	0,1336 ccm

Die Abweichungen dieser Werte voneinander rühren größtenteils von den ungleichen Luftmengen her, die, wie oben gezeigt, an der Außenwand des Fläschchens hängen bleiben und mitgerissen werden. Die dadurch nötig werdenden Korrekturen entnehmen wir den aus der Tab. 3 sich ergebenden Werten c , und benutzen entweder den Mittelwert dieser Größen c , oder wir verteilen aus dem p. 64 angegebenen Grund die ungleichen Werte von c ausgleichend auf die aus Tab. 4 berechneten Volumina, proportional den Unterschieden der letzteren, in der Weise, wie die zweite Zeile der Tab. 5 erkennen läßt. In einem Vorversuch der hier besprochenen Versuchsreihe war etwas Quecksilber in feinsten Tröpfchen in das Fläschchen hineingespritzt dadurch, daß ein feines Stäubchen beim Verschließen des Fläschchens in seinem Schliff geblieben war (vgl. 8, p. 52). Ich habe die Gewichtszunahme des Fläschchens durch dieses eingespritzte Quecksilber nachträglich bestimmt und für das Volumen des Quecksilbers 0,7 cmm gefunden, welches Volumen als weitere Korrektur in der dritten Zeile der Tab. 5 in Rechnung gesetzt ist.

Die Gesamtmasse der verwendeten acht Bergkristalle betrug 0,3571 g. Für ihr Gesamtvolumen fand ich die oben berechneten Werte S . Das Verhältnis der beiden Größen ergibt für die Dichte die Zahlen

$$2,667, 2,663, 2,667, 2,665, 2,669, 2,673$$

und das arithmetische Mittel derselben

$$d = 2,667.$$

Würde man die Korrektur c nicht so, wie es oben geschehen ist, ausgleichend auf die Volumina verteilen, sondern vielmehr den Mittelwert von c in allen Fällen als Korrektur verwenden, so würden die Einzelwerte der gefundenen Dichte um einen entsprechend größeren Betrag voneinander abweichen; das arithmetische Mittel derselben würde aber nahezu

das gleiche Resultat ergeben, wie man aus den Zahlen der dritten Kolumne der Tab. 5 sofort ersieht.

Eine andere Versuchsreihe führte ich mit ganz kleinen Bergkristallstücken aus. Zu diesem Zweck zerschlug ich mehrere Kristalle mit Hammer und Amboß, sodaß ich über 120 Kristallsplitter in das Fläschchen hineinbringen konnte. Die Volumometerablesungen und Barometerstände dieser Versuchsreihe gibt Tab. 6:

Tabelle 6. Nr. 8.

t	h	b_0
17,7	59,31	71,73
18,5	59,29	71,72
18,8	59,30	71,72
19,0	59,25	71,71
18,9	59,19	71,71
18,7	59,20	71,70

5 Min.

Das Gesamtvolumen der verwendeten Bergkristallsplitter erhalten wir daraus nach analoger Berechnungsart zu 0,1544 ccm, und da für die Gesamtmasse derselben 0,4080 g gefunden wurde, wird hier die Dichte im Mittel

$$d = 2,642.$$

Nehmen wir aus dem oben und aus dem hier gefundenen Wert der Dichte das Hauptmittel $d = 2,654$, so zeigt sich, daß jene beiden Mittelwerte nicht ganz 5 pro mille vom Hauptmittel abweichen. In ihren Physikalisch-chemischen Tabellen geben Landolt und Börnstein als Mittelwert aus den bisherigen Beobachtungen $d = 2,653^1)$. Damit stimmt das von mir gefundene Hauptmittel sehr gut überein.

Indessen glaube ich, daß der aus den Tab. 4 und 5 sich ergebenden Dichte $d = 2,667$ mehr Gewicht beigelegt werden muß, als dem später gefundenen Wert $d = 2,642$. Beim Zerschlagen der Bergkristalle sammelte ich nämlich die Splitter auf reinem Fließpapier. Nun blieben aber sicher an den 120 kleinen scharfkantigen Bergkristallsplittern viel mehr Papierfäserchen hängen, als an den 8 größeren Bergkristallen. Gelangten solche Fäserchen unbemerkt in das Fläschchen, so mußten sie das Volumen der Bergkristallstücke zu groß, die

1) H. Landolt und R. Börnstein, Phys.-chem. Tab. 2. Aufl. p. 140. Berlin 1894.

Dichte derselben also zu klein erscheinen lassen. Namentlich wird solches bei der zuletzt erwähnten Versuchsreihe der Fall sein. Zur Erzielung einer möglichst großen Genauigkeit hat man daher die zu benutzenden Körper durch geeignetes Waschen oder durch Ausblasen von Staub, Papierfäserchen und dergleichen zu reinigen.

Es ist gewiß bemerkenswert, daß mit diesem kleinen Volumometer, unter Berücksichtigung der notwendigsten Korrekturen, aber ohne besonders peinliche Temperaturkorrekturen, nahezu die gleichen Dichten erhalten werden, wie mit anderen ganz verschiedenen Methoden, die im allgemeinen größere Substanzmengen erfordern. Namentlich wird man versucht sein zu glauben, an den Oberflächen der zu bestimmenden Substanzen haften große Luftmengen, die im Volumometer bei der starken Luftverdünung sich ablösen. Das Volumen der Substanz müßte sich demnach zu klein, ihre Dichte zu groß ergeben. Hätten solche Vorgänge einen größeren Einfluß, so müßten sie sich ganz besonders bemerkbar machen bei den pulverisierten Substanzen mit ihren verhältnismäßig großen Oberflächen. Um den Betrag solcher Einflüsse zu erkennen, habe ich drei Versuchsreihen mit kristallinischem Zucker (Kandiszucker) ausgeführt. Bei der ersten Versuchsreihe (Tab. 7) verwendete ich zwei möglichst große Zuckerstücke, bei der zweiten Reihe (Tab. 8) über 100 kleine Splitterchen, bei der dritten endlich (Tab. 9) den fein pulverisierten Zucker. Ich fand die folgenden Werte:

Tabelle 7. Nr. 3.

	h	b_0
15,1	56,01	71,51
16,0	56,07	71,53
16,4	55,98	71,55
16,0	55,97	71,56
16,6	56,11	71,57
16,7	55,88	71,58 14 Min.

Daraus das Gesamtvolumen:

$$S = 0,1031, 0,1085, 0,1026, 0,1024, 0,1036, 0,1014 \text{ ccm.}$$

Die Gesamtmasse war: $M = 0,1645 \text{ g.}$

Daraus die Dichte: 1,596, 1,589, 1,603, 1,606, 1,588, 1,622.

Mittelwert der Dichte: $d = 1,601.$

Tabelle 8. Nr. 4.

t	h	b_0
16,5	59,53	72,13
16,8	59,63	72,24
16,9	59,60	72,24
16,9	59,66	72,23
16,9	59,68	72,23
16,8	59,62	72,23 7 Min.

$$S = 0,1539 \text{ ccm}, \quad M = 0,2434 \text{ g}, \\ d = 1,582.$$

Tabelle 9. Nr. 5.

t	h	b_0
17,8	57,81	72,19
17,6	57,90	72,20
17,4	57,88	72,20
17,1	57,98	72,20
17,1	57,91	72,21
16,9	57,89	72,21 5 Min.

$$S = 0,1261, 0,1264, 0,1264, 0,1268, \\ 0,1265, 0,1264 \text{ ccm.}$$

$$M = 0,2004 \text{ g, im Mittel } d = 1,585.$$

Berücksichtigt man die sehr kleinen benutzten Substanzmengen, mit denen diese Bestimmungen ausgeführt worden sind (weniger als $\frac{1}{4}$ g, bei der Versuchsreihe Tab. 7, die eine größere Abweichung zeigt, weniger als $\frac{1}{6}$ g), so muß man die Übereinstimmung der einzelnen Mittelwerte der Dichten als eine genügende bezeichnen. Es geht aber weiterhin aus diesen Bestimmungen hervor, daß die neue Volumometermethode, auf pulverisierte Substanzen angewandt, brauchbare Resultate gibt. Denn der für pulverisierten Zucker gefundene Wert liegt zwischen den beiden anderen für ganz grobe bez. für sehr feine Zuckerkörner gefundenen Werten der Dichte. In keinem Fall aber erhält man mit der pulverisierten Substanz bei Beachtung der gegebenen Vorsichtsmaßregeln und besonders bei Einhaltung der vorgeschriebenen Zeit von 5 Min. für die Ausströmung der Luft aus dem Fläschchen in das Volumeterrohr wesentlich größere Dichten als mit grobkörniger Substanz.

Allerdings muß hier noch auf einen Punkt aufmerksam gemacht werden. Die beiden Dichten, die sich aus den Tab. 8 u. 9 ergeben, stimmen weit besser untereinander überein, als mit dem aus Tab. 7 erhaltenen Wert, der etwa 1 Proc. größer ist als die beiden übrigen. Wahrscheinlich ist dieser letztere Wert zu groß und wir erkennen aus dieser Versuchsreihe doch einen Einfluß der Ablösung der Luft im Vakuum. Bei den beiden mit Bergkristall ausgeführten Versuchsreihen, die ganz brauchbare Dichten ergeben haben, wartete ich nämlich nur 5 Min. von der Einführung des Fläschchens bis zur Ablesung des Volumeterstandes h . Offenbar ist daher diese

Zeitdauer eine genügende. Wartet man länger, so lösen sich doch nach und nach zu große Luftmengen von den Substanzoberflächen ab und die erhaltenen Dichten werden zu groß. In der Tat habe ich bei der Versuchsreihe Tab. 7, die eine wesentlich größere Dichte ergibt, im Mittel 14 Min. von der Einführung des Fläschchens bis zur Ablesung des Volumometerstandes verstreichen lassen, bei der Versuchsreihe Tab. 8 nur 7, bei der Reihe Tab. 9 nur 5 Min. Diese Ungleichheiten rühren davon her, daß ich erst nach einigen Erfahrungen jene Wartezeiträume verkürzte, weil nach Ablauf von 5 Min. die Drucke sich gar zu langsam änderten. Es ist nämlich die Versuchsreihe der Tab. 7 der chronologischen Reihenfolge nach die dritte der vollständig durchgeführten Versuchsreihen und zugleich die erste, deren Resultate in dieser Arbeit überhaupt verwertet worden sind.

Nach einer früher veröffentlichten Methode der Dichtebestimmung (Auflösungsmethode) fand ich für die Dichte des Kandiszuckers $d = 1,593$ ¹⁾, während der Mittelwert obiger drei Versuchsreihen hierfür $d = 1,589$ ergibt, einen um 2,5 pro mille kleineren Wert. Nun glaube ich zwar, daß die hier veröffentlichte Volumetermethode genauere Resultate liefert als jene Auflösungsmethode. Dennoch kann möglicherweise der wahre Wert der Dichte des Kandiszuckers größer sein als 1,589. Denn allen Korrekturen für die Versuche mit Zucker habe ich die größeren Werte der Tab. 3 (mit Quecksilber im Fläschchen) zu Grunde gelegt, nicht die aus Tab. 2 sich ergebenden kleineren Werte (mit Luft im Fläschchen). Der Zeit nach fallen aber alle Versuche mit Zucker (Nr. 3, 4 und 5) zwischen die beiden Korrektionsversuchsreihen der Tab. 2 und 3 (Nr. 2 und Nr. 6), welche ein mit der Zeit zunehmendes Mitreißen von Luft durch das allmählich stärker verunreinigte Fläschchen andeuten. Daher sind wahrscheinlich die bei der Berechnung der Beobachtungen der Tab. 7 bis 9 zu Grunde gelegten Korrekturen zu groß. Es müßten Mittelwerte zur Korrektion benutzt werden, die zwischen den aus den Tab. 2 und 3 gefundenen Werten von c liegen. Dementsprechend würden die aus den Tab. 7 bis 9 sich ergebenden Dichten des Kandiszuckers größer ausfallen.

1) L. Zehnder, Wied. Ann. 29. p. 249. 1886.

Es ist also wohl berechtigt, wenn zur Erzielung größerer Genauigkeit vor und nach der Versuchsreihe mit der zu bestimmenden Substanz eine Korrekptionsreihe mit dem Fläschchen nahezu voll Quecksilber verlangt wird (Tab. 3), zur sicheren Ermittlung der Korrektion für die durch das Fläschchen mitgerissene Luft. Denn diese Korrektion ist ihrem absoluten Betrag nach eine sehr bedeutende. Übrigens hoffe ich durch feineres Auspolieren der roh geschliffenen Flächen *ee* und *ff* (Fig. 4, p. 49) des mehr oder weniger improvisierten, zu meinen Versuchen dienenden Fläschchens diese Korrekptions ihrem absoluten Betrage nach herunterbringen zu können. Zur exakteren Temperaturmessung im Raume *R* (p. 42) kann man den Stöpsel *g s*₁ (Fig. 6) als Thermometer ausführen, dessen Quecksilbergefaß unterhalb des Schliffes *s*₁ in den Raum *R* hineinragt.

Durch die hiermit veröffentlichten Versuchsergebnisse glaube ich gezeigt zu haben, daß die neue Volumometermethode vor anderen Methoden der Dichtebestimmung gewisse Vorteile besitzt:

1. Mit geringen Substanzmengen (Bruchteile eines Grammes) werden verhältnismäßig große Genauigkeiten erzielt.

2. Die Substanzen werden während der Versuche mit keiner Flüssigkeit zur Berührung gebracht.

3. Die mit pulverisierter und mit körniger Substanz erhaltenen Versuchsergebnisse unterscheiden sich kaum voneinander.

Allerdings müssen die Calibrierungen, welche die Konstanten des Apparates ergeben, mit größerer Sorgfalt ausgeführt werden. Alle anderen Messungen aber sind einfach und leicht. Jeder Einzelversuch mit Kontrollversuch ist bequem in einer halben Stunde zu beendigen. Volumometer und Versuchsfläschchen sind bei guter Behandlung ohne neue gründliche Reinigung einen oder ein paar Monate gebrauchsfähig, weil keinerlei Fett zur Abdichtung der Schliffe verwendet wird. Ich glaube deshalb, daß diese Volumometermethode nicht nur für Physiker, sondern auch für Chemiker und für Mineralogen zu Dichtebestimmungen vorzüglich sich eigne.

München, Physik. Inst. d. Univ., Oktober 1902.

(Eingegangen 12. Oktober 1902.)
