

A 6677  
13641.  
VIII, 823.

**Die Quecksilberluftpumpe**  
in ihren wichtigsten Formen

von

**H. Hellmann,**

Oberlehrer an der Stadt-Realschule zu Riga.

Mit 3 lithographirten Tafeln.

**Riga,**

Buchdruckerei von W. F. Häcker.

1885.

# Die Quecksilberluftpumpe

in ihren wichtigsten Formen

von  
Zeler seiner ersten fünf Lektionen

**H. Hellmann,**

Oberlehrer an der Stadt-Realschule zu Riga.

Mit 3 lithographirten Tafeln.



**Riga,**

Buchdruckerei von W. F. Häcker.

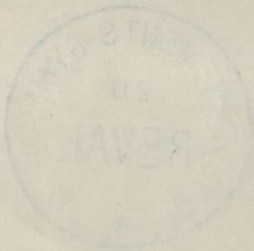
1885.

Est.



6741

Дозволено цензурою. Рига, 4 Декабря 1885 г.



# Denkschrift

dem

**Stadt-Gymnasium zu Riga**

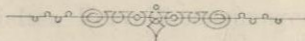
zur

**Feier seiner ersten fünf Lustren**

am 16. December 1885

glückwünschend dargebracht

von der Stadt-Realschule zu Riga.



Selbst in den umfangreichsten physikalischen Lehrbüchern findet sich kaum die Grundformen von Geissler, Tafel und Sprengel eingehend besprochen; die Details darüber, wie diese Hauptformen von verschiedenen Beobachtern variirt sind, scheinen aber auch einem Theil der nächstinteressirten Kreise so wenig zur Hand zu sein, dass ein und dieselbe Abänderung sich zu sehr verschiedenen Zeiten als Neuigkeit mitgetheilt findet.

Seitdem die Quecksilberluftpumpe durch Geissler in die Reihe der brauchbaren Beobachtungsinstrumente gestellt ist, hat sie sich in den verschiedensten Gebieten der physikalischen, chemischen und physiologischen Forschung eingebürgert.

Es vergeht kaum ein Jahr, ohne dass die dabei interessirten Forscher diesem Apparat eine neue Gestalt verleihen, durch welche er ihrem speciellen Arbeitsfelde besser dienstbar wird, oder doch durch mehr oder minder wichtige Abänderungen der alten Formen die Leistungsfähigkeit dieser Pumpe noch mehr zu heben suchen.

Je grösser die geforderten Leistungen sind, um so mehr Bedeutung haben auch die scheinbar unwesentlichsten Umformungen für das Resultat.

Die Zeitersparnis und Bequemlichkeit der Arbeit wie der Werth der zu erlangenden Beobachtungsergebnisse lassen es daher dem Experimentator wünschenswerth erscheinen, sich bei der Wahl seines Instruments möglichst vollständig der von seinen Vorgängern gemachten Erfahrungen und erzielten Vervollkommnungen zu bedienen.

Die hierauf sich beziehenden Publicationen sind aber auf eine lange Zeit und in vielen Zeitschriften zerstreut, so dass es, trotzdem das Bedeutendste sich in den Annalen und Beiblättern von Poggendorff und Wiedemann vereinigt findet, dem in dieser Literatur noch nicht Heimischen einen bedeutenden Zeitaufwand kosten müsste, sich das für seine Beobachtungen Wesentliche zu verschaffen.

Selbst in den umfangreichsten physikalischen Lehrbüchern finden sich kaum die Grundformen von Geissler, Töpler und Sprengel eingehend besprochen; die Details darüber, wie diese Hauptformen von verschiedenen Beobachtern variirt sind, scheinen aber auch einem Theil der nächstinteressirten Kreise so wenig zur Hand zu sein, dass ein und dieselbe Abänderung sich zu sehr verschiedenen Zeiten als Neuigkeit mitgetheilt findet.

Um nun den Bedürfnissen des angehenden Experimentators insoweit entgegenzukommen, dass er sich in Kürze darüber zu instruiren vermag, an welchem Orte er das für seine Zwecke Verwendbarste suchen müsse, hat Verfasser dieser Blätter das Material, so weit es ihm bekannt geworden, zusammengestellt.

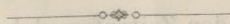
Vollständigkeit ist wol nicht erreicht, da die Benutzung umfangreicher Bibliotheken unmöglich war.

Aus demselben Grunde ist es nicht überall möglich gewesen, von den in den Beiblättern gegebenen Referaten auf die Originalpublicationen zurückzugreifen, doch ist das wenigstens nach Möglichkeit geschehen.

Prioritäts-Ansprüche zu entscheiden, konnte die Arbeit nach dem Gesagten nicht beabsichtigen.

Die in den Tafeln gegebenen Abbildungen entstammen grössten Theils, geringe Veränderungen abgerechnet, den entsprechenden Originalabhandlungen und Referaten in Poggendorff's und Wiedemann's Annalen und Beiblättern, deren Redaction ich mich für freundlichstes Entgegenkommen bei Ueberlassung derselben verpflichtet fühle.

Sollte es mir gelungen sein, den Bedürfnissen des angehenden Experimentators einigermaassen gerecht zu werden, so ist der Zweck dieser Arbeit erreicht.



## Pumpen nach Geissler.

Die ersten Versuche, den festen und daher nicht an allen Stellen sicher anschliessenden Stempel der Luftpumpe durch das flüssige und doch einer verhältnissmässig geringen Verdampfung unterliegende Quecksilber zu ersetzen, reichen nach den Untersuchungen von J. C. Poggendorff<sup>1)</sup> wenigstens bis in das Jahr 1722 zurück, in welchem Emmanuel Svedenborg (*Miscellanea observata circa res naturales et praesertim circa mineralia, ignem et montium strata*; Leipzig) eine Luftpumpe ersann, welche, obgleich sehr ungenau und wenig leistend, doch im Princip mit der Geissler'schen Pumpe vollständig übereinstimmte. (Die alten, von der Academie del Cimento ausgeführten Experimente in dem Vacuum einer am oberen Ende erweiterten Barometerröhre selbst können füglich nicht hierher gerechnet werden.)

Die Svedenborg'sche, sowie darnach die zweite Pumpe von Joseph Baader (Ende des 18. Jahrhunderts), stimmen in Bezug auf Füllung und Leerung des den Stiefel ersetzenden Quecksilbergefässes mit der nachherigen Geissler'schen überein, nur benutzten sie an Stelle des bei Geissler gehobenen und gesenkten Quecksilberreservoirs mit Gummischlauch ein röhrenförmiges eisernes Gefäss, welches mit dem Stiefel durch einen kurzen Lederschlauch oder ein Metallgelenk verbunden war, und durch dessen Aufrichten und Niederlegen der Stiefel mit Quecksilber gefüllt und davon entleert wurde.

Noch eine ganze Reihe von Physikern beschäftigte sich mit demselben Problem, doch wurden all' diese ersten Versuche entweder gar nicht ausgeführt, oder fanden keine Anerkennung.

Unter anderen Ursachen wird man wol die wesentlichste darin zu suchen haben, dass diese Apparate aus Metall ausgeführt werden mussten, weil die Behandlung des Glases damals noch eine sehr ungeschickte war, und das Quecksilber nur bei letzterem Material seine

<sup>1)</sup> Poggendorff, Ann. 1865. Bd. CXXV, pag. 151—160.

Vorzüge recht zur Geltung bringen kann. Ausser den Uebelständen, welche durch die Berührung von Quecksilber mit dem Metall der Verbindungsrohren und Hähne hervorgerufen wurden, mussten sich durch die Art der Formgebung dieser Metallstücke so viel Ecken und Winkel finden, in welche sich das Quecksilber nicht vollständig hineinlegte, dass die derart verbleibenden Luftreste diese Quecksilberpumpen als ebenso unvollkommene Apparate erscheinen liessen, als die gewöhnlichen Luftpumpen es waren.

Erst nachdem die Glasbläserei einen bedeutenden Aufschwung genommen hatte, gelang es Geissler in Bonn<sup>1)</sup>, einen solchen Apparat ganz aus Glas herzustellen. Nur zur Verbindung von Stiefel (hier Recipient genannt) und dem kugelförmigen Quecksilberreservoir diente ein Gummischlauch<sup>2)</sup>. Wie enorm der durch diese Quecksilberluftpumpe gebotene Fortschritt war, geht daraus hervor, dass Geissler mit diesem Apparat sofort von den überaus schwachen Verdünnungen der alten Pumpen auf eine Minimalspannung von 0,11<sup>mm</sup> Quecksilberdruck oder 145 Millionteln Atmosphäre kam<sup>3)</sup>.

Abgesehen von der wenig compendiösen Form dieses Apparates, welche eine Beschädigung desselben begünstigte, waren in demselben noch Fehlerquellen mannigfaltiger Art vorhanden, welche ihre Beseitigung forderten und sie grösstentheils auch gefunden haben.

Die Anordnung der einzelnen Theile der Pumpe hat ihre jetzt allgemein acceptirte Form durch Jolly<sup>4)</sup> gefunden (Tab. I, Fig. I), indem er die sämtlichen Glastheile auf einem einzigen senkrechten Brett und in den Ausschnitten desselben so gruppirte, dass sie dadurch weniger einer Beschädigung ausgesetzt waren, und auf der Hinterseite eine Winde zum Heben des Quecksilberreservoirs anbrachte. (Vergl. eine ähnliche Vorrichtung Tab. II, Fig. I.)

Der Ersatz der gläsernen Hähne und Verbindungsstücke durch Stahl giebt der Pumpe eine grössere Haltbarkeit und lässt sie dadurch leichter für den Vorlesungsversuch brauchbar erscheinen. Um in dieser Hinsicht noch mehr zu erreichen, hat F. Narr<sup>5)</sup> den ganzen oberen Theil über dem Recipienten, sowie die Enden des Steigrohres, aus

1) Dr. Th. Meyer, 1858, „Ueber das geschichtete elektrische Licht.“

2) Ist derselbe aus grauem Gummi, so bildet sich Schwefelquecksilber.

3) Ernst Bessel-Hagen, Wied. Ann. 1881, Nr. 3, pag. 425—445.

4) Journal f. phys. Technik; 1. pag. 144. 1866.

5) Wied. Ann. 1885, Nr. 7, pag. 542—544.

Stahl construirt und nur den dickwandigen Recipienten aus Glas gelassen. Für die Verbindung von Glas und Stahl verwirft er die sonst übliche Kittung mit Siegelack, von dem sich immer Brocken lösen und in der Pumpe das Anhaften von Luftbläschen veranlassen. Er stellt die breiten und gegen einander abgeschliffenen Ränder an den Verbindungsstellen nach leichter Fettung einfach auf einander und zieht sie an ungelegten Metallfassungen durch Schrauben gegen einander.

Ein auf der Pumpe befindlicher Teller für die gewöhnliche Glocke vermehrt die Brauchbarkeit des Apparates als Vorlesungsinstrument. Eine Reinigung des Recipienten lässt sich leicht ausführen.

So empfehlenswerth diese Pumpe für die meisten Vorlesungsversuche ist, dürften die Stahltheile den Gebrauch derselben für viele Gase unmöglich machen.

Wesentlich war der Uebelstand an der Geissler'schen Pumpe, dass an den Hähnen und an den Stellen, wo die Glaswände scharfe Biegungen machen, noch immer leicht kleine Luftbläschen haften und der weiteren Evacuation so ein Ziel setzten.

Da dieser Uebelstand, der sich namentlich an den Hähnen bemerklich macht, nicht anders als mit Fortlassung jeglichen Hahnes beseitigt werden kann, so führte dies, sowie der sofort zu erwähnende Umstand, zum vollständigen Verlassen der Geissler'schen und zum Einführen der Töpler'schen Form der Pumpe.

In so hohem Maasse es auch Geissler gelungen war, die Schiffe der Hähne zu vervollkommen, so sickerte doch bei starker Druckdifferenz innen und aussen Luft durch und zwang also den Experimentirenden, für die Hähne zu einem Schmiermittel zu greifen. Natürlich kam das Schmiermittel auch in die Röhren und lieferte dadurch bei der Spectralanalyse Gasarten, welche der zu untersuchenden fremd waren. Wie schädlich der Einfluss derartiger Schmiermittel für das Resultat sein kann, vermag man aus den Untersuchungen zu ersehen, welche A. Schuller über die „Destillation im Vacuum“<sup>1)</sup> angestellt hat.

Erst Gimingham<sup>2)</sup> (vergl. Tab. III, Fig. 2 u. Fig. 3) vermochte diesen Uebelstand ganz zu beseitigen, indem er überall, wo 2 Theile in einander geschliffen waren und, beweglich bleibend, einen luftdichten

---

<sup>1)</sup> Wied. Ann. 1883, Nr. 2, pag. 317 ff.

<sup>2)</sup> Proc. Roy. Soc. XXV, 1876, pag. 396—402; Beibl. z. Wied. Ann. 1877, pag. 175.

Verschluss bekommen sollten, den äusseren Theil oben zu einer Schale erweiterte, in welche Quecksilber gegossen wurde, welches, durch die Atmosphäre in etwaige Ritzen gepresst, vorzüglich schliesst. Auf das Quecksilber goss er noch Schwefelsäure<sup>1)</sup>, um den Contact zwischen Quecksilber und Glas zu sichern, doch hat man sich meist mit ersterem allein begnügt.

Ein wesentliches Hinderniss für die Arbeit, das aber nur sehr theilweise vermieden werden kann, ist die Feuchtigkeit, welche das Quecksilber im Reservoir durch directe Berührung mit der Luft des Beobachtungszimmers annimmt. So weit es überhaupt möglich ist, wird das nach Bessel-Hagen verhindert, indem man an allen Stellen, an welchen das Quecksilber mit der Aussenluft in Berührung tritt, Chlorcalciumröhren mit enger unterer Oeffnung aufsetzt, so dass die einströmende Luft gleich möglichst getrocknet wird. Um aber den letzten Rest von Feuchtigkeit zu entfernen, setzt man den zu evacuirenden Raum dauernd mit einem Gefäss (Tab. I, Fig. 1 a) in Verbindung, welches eine sehr hygroskopische Substanz enthält. Als solche dient Schwefelsäure oder Phosphorsäure. Beide sind jedoch wieder die Ursache für Dämpfe, welche das zu untersuchende Gas verunreinigen. Namentlich ist dies bei der Schwefelsäure der Fall, aber auch die sogenannte wasserfreie Phosphorsäure enthält nach Schuller eine Beimischung von  $P_2O_5$ , welches schon bei  $50^0$  entschieden sublimirt. Dieses wird verhindert, indem man die Phosphorsäure aus der Luft Wasserdampf anziehen lässt, so dass sich Metaphosphorsäure bildet, welche sehr gut als Trockensubstanz verwerthet werden kann. Besonders hat man sich vor solcher Phosphorsäure zu hüten, welche mit Wasserdampf Phosphorwasserstoff giebt<sup>2)</sup>.

Sehr hinderlich ist bei der alten Geissler'schen Form der Pumpe der Umstand, dass an der Stelle, wo nach geöffnetem Hahn die Luft vor dem Quecksilber aus dem Recipienten entweicht (Tab. I, Fig. 1 b) und der Recipient (c) also mit der Luft vom Atmosphärendruck in Verbindung steht, sich an der Wand des Recipienten ein dünnes Lufthäutchen ansetzt, welches gar nicht wegzuschaffen ist und sich beim Sinken des Quecksilbers in den freigewordenen Raum verbreitet.

---

1) Neesen benutzt dazu, nach dem Vorschlage von du Bois-Reymond, die nicht Luft absorbirende Chlorcalciumlösung.

2) A. Schuller. Wied. Ann. 1883, Nr. 2, pag. 317 ff.

Eine einfache Abänderung, welche zuerst von A. Kundt und E. Warburg<sup>1)</sup> publicirt, aber nach E. Bessel-Hagen<sup>2)</sup> schon seit 1873 für das Berliner Cabinet angewendet ist, vermeidet diesen Uebelstand. Führt man nämlich über dem Auslasshahn des Recipienten das Rohr weiter hinauf und schliesst es dort mit einem zweiten Hahn (Tab. I, Fig. 1 d), so kann man bei dem ersten Pumpen den unteren Hahn offen lassen und den oberen, wie gewöhnlich, als Auslasshahn benutzen. Nach dem Sinken des Quecksilbers schliesst man aber auch den unteren Hahn, so entsteht zwischen beiden ein sehr luftverdünnter Raum. Treibt man nachher die aus dem Recipienten zu stossende Luft bei festem oberem Hahn stets nur in diesen Raum, so hat das etwa bleibende Lufthäutchen nur die Spannung des Raumes zwischen den beiden Hähnen und stört nicht merklich.

Durch diese Aenderung wird das Maximum der Verdünnung einer Geissler'schen Pumpe von  $0,11^{\text{mm}}$  (bei der alten Form) auf  $0,0085^{\text{mm}}$  gebracht<sup>3)</sup>.

Um bei dem Einlassen der Luft in die Pumpe den Apparat nicht zu gefährden, ist das Rohr über dem Auslasshahn nach aussen durch die Vorrichtung Fig. 3, Tab. I, verschlossen. Sie besteht aus 2 in einander geblasenen Gefässen mit ganz engen Oeffnungen, durch welche die Luft nur langsam einströmen kann.

Obwol die Geissler'sche Form der Quecksilberluftpumpe meist dort, wo es darauf ankommt, die grösstmögliche Verdünnung zu erzielen, zu Gunsten der Töpler'schen und Sprengel'schen verlassen ist, giebt es doch noch einige Modificationen derselben, welche Interesse verdienen.

Eine neue Art, das Steigen und Sinken im Recipienten hervorzubringen, stammt von Fr. Rock<sup>4)</sup>. Hier besteht der Recipient aus einem Rohr von  $10^{\text{cm}}$  lichter Weite,  $1^{\text{cm}}$  Wandstärke und  $100^{\text{cm}}$  Länge, welches mit Quecksilber gefüllt und in einem ähnlichen, nur weiteren Rohr, welches auch Quecksilber enthält (wie in einer pneumatischen Wanne), umgestürzt ist. Senkt man das äussere Gefäss, so dass sich das Quecksilber in demselben mehr als  $76^{\text{cm}}$  unter dem oberen Rande

1) Pogg. Ann. 1875, Nr. 8, pag. 526 ff.

2) Wied. Ann. 1881, Nr. 3, pag. 425 ff.

3) E. Bessel-Hagen, Wied. Ann. 1881, Nr. 3, pag. 425 ff.

4) Centralz. f. Optik u. Mechanik. 4. pag. 159—161. 1883; Beibl. z. Wied. Ann. 1883, Nr. 10, pag. 790.

des inneren Gefässes befindet, so muss in diesem auch das Quecksilber fallen und so den luftleeren Raum bilden, während das äussere Gefäss zu heben ist, um aus dem inneren durch einen oben befindlichen Hahn die Luft auszutreiben.

Der Vortheil dieser Anordnung liegt in der Vermeidung der äusserst zerbrechlichen Vacuumkugel.

Eine in anderer Hinsicht bemerkenswerthe Form bietet G. Guglielmo<sup>1)</sup> (Tab. I, Fig. 5), indem er die beiden Hähne, welche, wie früher erwähnt, bewirken sollen, dass die ausgestossene Luft in einen verdünnten Raum austritt, durch eine andere sinnreiche Einrichtung ersetzt.

Er verbindet nämlich das Auslassrohr des Recipienten (*a*) durch einen Gummischlauch (*e*) mit dem oberen Theil (*b*) des Quecksilberreservoirs (*c*), welcher aus einer nach unten gebogenen, 20<sup>cm</sup> langen Röhre mit doppelt gebohrtem Hahn (*f*) besteht.

Wird durch geeignete Stellung der beiden Hähne (*f* und *g*) der Recipient (*a*) und die obere Oeffnung des Reservoirs (*b*) verbunden und das Reservoir gehoben, so fliesst aus demselben durch den Schlauch (*d*) das Quecksilber in den Recipienten; die Luft aus diesem wird aber durch den Auslasshahn (*g*) und Gummischlauch (*e*) in das Quecksilberreservoir (*c*) übergeführt.

Sperrt man jetzt den Auslasshahn (*g*) und verbindet durch den anderen Hahn (*f*) den oberen Theil des Reservoirs mit der freien Luft, so wird beim Senken des Reservoirs (*c*) die Luft aus demselben durch das zurückströmende Quecksilber in das Freie gedrängt. Das Vacuum, in welches die Luft aus dem Recipienten getrieben werden muss, bildet sich also beim Heben des Quecksilberreservoirs in letzterem selbst.

<sup>1)</sup> Atti. R. Acc. di Torino. 19. 27 Ap. 1884. 11 pp.; Beibl. z. Wied. Ann. 1884, Nr. 11, pag. 799.

## Pumpen nach Töpler.

Wie schon erwähnt, schien es für eine recht weit zu treibende Verdünnung erwünscht, nach Möglichkeit Hähne zu vermeiden, und zugleich wies die Unbequemlichkeit der jedesmal sehr vorsichtig auszuführenden Veränderung der Hahnstellung darauf hin, der Pumpe eine Form zu geben, welche wenigstens des Auslasshahnes entbehren kann.

Dieses Resultat erreicht zu haben, ist das Verdienst von Töpler<sup>1)</sup>.

Unabhängig von ihm kam Mendelejew zu demselben Resultat.

An Stelle des Auslasshahnes trat (Tab. II, Fig. I) ein Capillarrohr (*B*), welches, unmittelbar über dem Recipienten (*K*) umgebogen, nach unten in einen Quecksilbernapf führt, dessen Niveau wenigstens um die Barometerlänge tiefer liegt, als die Biegung des Capillarrohres.

Das zum auszupumpenden Raum (*B*) führende Rohr (*E*) setzt unterhalb des Recipienten (bei *D*) an das Steigrohr (*A*) des Quecksilbers an und geht wenigstens um Barometerlänge senkrecht hinauf, ehe es sich wieder nach unten zu dem Trockengefäß (*M*) biegt.

Hebt man das Quecksilber im Steigrohr (*A*), so sperrt es selbst die auszupumpenden Räume, ehe es in den Recipienten eindringt, und indem es in demselben die Luft comprimirt, stösst es dieselbe durch die Capillare (*B*) aus.

Senkt man das Quecksilber, so ist doch das Ende der Capillare (*B*) durch den Quecksilbernapf gesperrt, aus welchem das Metall, der Verdünnung im Recipienten entsprechend, in der Capillare aufsteigt.

Nachdem das Quecksilber den Recipienten verlassen hat, giebt es bei fernerm Sinken die Verbindung mit dem auszupumpenden Raume frei und macht auf diese Weise alle Hähne unnütz.

Erreicht werden mit dieser Pumpe die höchsten bisher (zum Theil durch chemische Hilfsmittel) erlangten Verdünnungen.

<sup>1)</sup> Dingler, polyt. J. 163, pag. 426. 1862.

Diese Grundform wird jetzt fast immer angewendet, wenn es gilt, möglichst weit zu evacuiren.

Dennoch hafteten dieser Construction noch einige Uebelstände an, welche abgestellt werden konnten.

Nach den Beobachtungen von V. Karavodine<sup>1)</sup> bleiben in dem Capillarrohr (*B*), durch welches die Luft aus dem Recipienten gestossen wird, stets Lufttheilchen, welche später wieder in den Recipienten zurücktreten.

Um dies zu vermeiden, hat Karavodine das Capillarrohr (*B*) unmittelbar über dem Recipienten recht eng genommen und über diesem Theil eine kleine Kugel aufgeblasen. Er findet, dass durch das in dieser Kugel zurückbleibende Quecksilber die eben besprochenen Lufttheilchen abgehalten werden.

Aehnlich verfahren auch A. Schuller und A. F. Sundell.

Ein wesentlicher Uebelstand ist es, dass bei dem in den Quecksilbernafp senkrecht mündenden Capillarrohr (*B*) am Ende meist ein kleines Bläschen der ausgetriebenen Luft hängen bleibt und leicht seinen Weg wieder in den Recipienten findet.

Um diesem Uebelstande abzuhelfen, hat Bessel-Hagen<sup>2)</sup> den Quecksilbernafp durch eine weite Röhre (*C*) ersetzt, welche auf dem umgebogenen Auslassrohr der Luft (*B*) trichterförmig (nicht halbkugelig) angesetzt ist.

Den austretenden Luftblasen würde nach einem Vorschlage von G. Guglielmo<sup>3)</sup> das Aufsteigen noch erleichtert werden, wenn diese weite Mündung des Auslassrohres oben durch einen Schlauch mit der oberen Oeffnung des Quecksilberreservoirs correspondirte, so dass beim Heben des Reservoirs die in demselben entstehende Verdünnung sich dem Raume über dem Auslassrohr mittheilte<sup>4)</sup>.

Bei dem langen Rohr (*E*), welches über dem Recipienten aufsteigt und dann nach dem Trockengefäß führt, ist nach E. Wiedemann<sup>5)</sup>

1) J. de Phys. (2) 2, pag. 558—560, 1883; Beibl. z. Wied. Ann., 1884, Nr. 5, pag. 347.

2) Wied. Ann. 1881, Nr. 3, pag. 428. Wied. Ann. 1881, Nr. 6, pag. 383 und 384.

3) Atti, R. Acc. di Torino. 19, 27 Apr. 1884, 11 p. p.; Beibl. z. Wied. Ann. 1884, Nr. 11, pag. 799.

4) In einen luftverdünnten Raum lässt auch G. Coultolenc (C. R. 91, pag. 920, 1880; Beibl. z. Wied. Ann. 1881, Nr. 1, pag. 16) die Luftblasen austreten.

5) Wied. Ann. 1880, Nr. 6, pag. 208 u. 209.

eine gelegentliche Reinigung wünschenswerth, und er hat dasselbe daher kurz über dem Recipienten zerschnitten und vereinigt die beiden Theile durch Schliffe nach Gimmingham mit Quecksilberverschluss. Auch das abgekürzte Barometer setzt er in gleicher Weise an.

E. Bessel-Hagen hat nach einer Idee von Helmholtz<sup>1)</sup> (Tab. II, Fig. 1) für den Ansatz der oben genannten langen Röhre eine noch practischere Form gefunden, indem er das senkrechte Rohrstück am Recipienten nur mit einem Quecksilbernafp umgiebt und durch denselben ungetheilt um mehr als Barometerlänge hinaufführt. Das anzusetzende Stück des Rohres stülpt er einfach über das aus dem Napf aufsteigende Rohr. Der äussere Luftdruck treibt das Quecksilber zwischen beiden Rohrtheilen als Verschluss hinauf, doch kann das Metall, der Höhe der inneren Röhre wegen, nicht in den Apparat dringen.

Eine der wesentlichsten Unbequemlichkeiten, welche man beim Arbeiten mit der Töpler'schen Pumpe findet, liegt in dem Umstande, dass beim Sinken des Quecksilbers unmittelbar, bevor die Verbindung zwischen dem Recipienten und dem zu evacuirenden Gefäss frei wird, die aus letzterem drängende Luft das Quecksilber im Recipienten aufspritzen macht, so dass derselbe durch das schwere Metall gefährdet wird. Durch eine Einrichtung von F. Neesen<sup>2)</sup> ist dem abgeholfen.

Er führt von dem unter dem Recipienten angesetzten Rohr (Tab. II, Fig. 1) (*D*), welches senkrecht nach oben und dann nach unten zum Trockengefäss geht, in der Höhe der unteren Oeffnung des Recipienten ein Rohr im Bogen um den Recipienten nach der oberen Oeffnung (*O*) desselben, so dass die Luft aus dem zu evacuirenden Raum zuerst von oben in den Recipienten tritt und daher kein Aufspritzen verursacht.

Auch von Bessel-Hagen und anderen ist diese practische Einrichtung acceptirt.

Als Beispiel einer vorzüglichen und bereits viel verwendeten Pumpe nach Töpler'scher Form ist die Abbildung derjenigen von E. Bessel-Hagen<sup>3)</sup> (Tab. II, Fig. 1) beigegeben.

Sie hat überdies noch den Vorzug, dass durch eine am oberen Theil des Auslassrohres (*B*) der Luft angebrachte Millimeter- und

1) Wied. Ann. 1881, Nr. 3, pag. 429.

2) Wied. Ann. 1878, Nr. 3, pag. 608.

3) Wied. Ann. 1881, Nr. 3, pag. 425—445.

Volumtheilung aus dem Verhältniss des Volumens der Luft im Auslassrohr, wenn das Quecksilber den Recipienten erfüllt, zum Volumen des Recipienten + dem ihm gleich langen Stücke der neben demselben befindlichen Röhre jeden Augenblick der genaue Luftdruck gemessen werden kann (cf. Methoden zur Bestimmung des Luftdruckes im Vacuum).

Bei dieser Construction findet Bessel-Hagen<sup>1)</sup>, wenn er ohne angesetzte Vacuumröhren, nur mit der Pumpe allein experimentirte, als Maximum der Verdünnung aus 6 Versuchen den Luftdruck von  $0,000012 \text{ mm} = \frac{1}{63}$  Milliontel Atmosphäre, während es Crookes mit der Sprengel-Gimingham'schen Pumpe nur gelang,  $0,000046 \text{ mm} = \frac{1}{17}$  Milliontel Atmosphäre zu erreichen.

Um grössere Apparate einigermaassen elastisch und trotzdem völlig luftdicht mit der Pumpe zu verbinden, bedient sich Bessel-Hagen der sogenannten Kundt'schen Glasfedern. Es sind dies dünnwandige lange Röhren, welche einerseits an die Pumpe, andererseits an den zu evacuierenden Apparat angeschmolzen sind und durch vielfache zickzackförmige Biegungen, die nach verschiedenen Richtungen laufen, nach allen Seiten eine gewisse Elasticität entwickeln.

Zum besseren Verständniss der Zeichnungen dienen folgende Angaben:

*Q* ist das Quecksilberreservoir, nach oben mit aufgesetztem Chlorecalciumrohr.

Das Gestell zeigt bei *X* und *J* Oeffnungen für Anschlagstifte, um das Steigen und Sinken des Quecksilbers genau zu reguliren.

*S* ist der Gummischlauch, welcher zum Steigrohr des Quecksilbers *A* führt.

Bei *D* führt das Steigrohr in den Recipienten *K* (welcher am besten nach oben und unten eiförmig zugehen sollte), während eine Abzweigung als *E* und *G* in die Höhe führt, um dann wieder zum Trockengefäss *M* und der Vacuumröhre *R* hinabzusteigen.

Dem Rohr *E* (das bis *I* reicht) ist bei *F* ein Quecksilbernapf aufgesetzt. Das Rohr *G* ist über die Verlängerung von *E* in das Quecksilber des Napfes *F* gestülpt.

Vor dem Rohre *E* zweigt in der Höhe der unteren Oeffnung des Vacuumgefässes *K* ein Rohr ab, welches sich bei *O* mit der oberen Oeffnung des Recipienten vereinigt.

1) Wied. Ann. 1881, Nr. 3, pag. 425—445.

Die Fortsetzung bildet das capillare Rohr *B*, welches trichterförmig in das breite Rohr *C* übergeht. Auf *C* hat man sich eine Chlorcalciumröhre zu denken.

Neben *K* sitzt am Auslassrohr *B* die Millimeter- und Volumtheilung.

Neben dem Steigrohr *A* befindet sich ein Halter für das Quecksilberreservoir, um den Apparat bequem transportiren zu können.

Ein Widerlager *Z* und eine Schraubzwinde ermöglichen es, die Pumpe an jeden Tischrand zu befestigen.

Um für das Experimentiren mit verschiedenen Gasen eine Verbindung des Trockengefäßes mit einem Gasometer ohne Hahn, nur mit Quecksilberverschluss zu ermöglichen, verbindet Bessel-Hagen das Trockengefäß und den Gasometer durch ein Rohr, welches U-förmig um mehr als Barometerhöhe nach unten gebogen ist und an der Biegung mit einem Gummischlauch in Verbindung steht, welcher zu einem kleinen beweglichen Quecksilberreservoir führt. Der zum Recipienten gekehrte senkrechte Theil des U ist oben in eine kleine Kugel aufgeblasen.

Ist das kleine Reservoir gehoben, so ist die Verbindung zwischen Trockengefäß und Gasometer gesperrt; ein Senken des kleinen Reservoirs giebt den Weg frei.

Eine ganz ähnliche Vorrichtung benutzt A. F. Sundell<sup>1)</sup>, um Gase vom Ende des capillaren Auslassrohres der Luft in die Pumpe treten zu lassen.

<sup>1)</sup> Acta Soc. Scient. Fennicae 14. 1884. 10 pp. Sept.; Beibl. z. Wied. Ann. 1885, Nr. 3, pag. 193.

## Pumpen nach Geissler und Töpler, mit Ventilen und sonstigen Complicationen.

Um das bei längerem Arbeiten mit den Luftpumpen Geissler'scher und Töpler'scher Form beschwerliche Heben und Senken des Quecksilberreservoirs zu vermeiden, macht man von einer gewöhnlichen Kolbenluftpumpe Gebrauch und senkt das Quecksilber durch Auspumpen der Luft im Quecksilberreservoir, während das Hinaufpressen des Quecksilbers nach eingeleiteter Verdünnung im Recipienten durch den Atmosphärendruck im Reservoir besorgt wird. Oft ist bei diesen Abänderungen der Pumpe auch darauf Rücksicht genommen, die Hähne und die langen und daher sehr zerbrechlichen Röhren, die bei der Töpler'schen Pumpe vom Recipienten ausgehen, durch Ventile zu vermeiden.

Die erste Pumpe, in welcher versucht ist, das Heben und Senken des Reservoirs zu umgehen, ist nach J. C. Poggendorff<sup>1)</sup> von dem Rev. T. R. Robinson construirt.

Das Senken des im Recipienten befindlichen Quecksilbers führt er durch Verdünnung der Luft im Reservoir mit einer gewöhnlichen Luftpumpe aus; das Steigen des Quecksilbers wird aber noch durch einen am Reservoir befindlichen Cylinder mit hölzernem Druckkolben besorgt. Der ganze Apparat ist complicirt und ungeschickt in der Form.

Ohne von dem Robinson'schen Versuch zu wissen, führte J. C. Poggendorff<sup>1)</sup> dieses Princip weit vollständig durch.

Bei ihm ist der Recipient, welcher sich sonst nicht wesentlich von dem der Geissler'schen Pumpe unterscheidet, mit seinem Steigrohr in eine in der Mitte und seitlich oben tubulirte und an letzterer Stelle mit Hahn versehene Flasche so eingeschliffen, dass das Steigrohr fast bis zum Boden der als Quecksilberreservoir dienenden Flasche reicht.

<sup>1)</sup> Pogg. Ann. 1865, Band CXXV, pag. 151—160.

Bei dem seitlichen Hahn des Tubulus am Reservoir, sowie über dem Auslasshahn der Luft am Recipienten sind Ansatzstücke, auf welche abwechselnd der zur Kolbenluftpumpe führende Schlauch befestigt wird.

Setzt man ihn auf den geöffneten Auslasshahn und evacuirt mit der Hilfspumpe, so steigt das Quecksilber sehr schnell bis über den Auslasshahn. Schliesst man diesen und setzt den Schlauch der Hilfspumpe an den Hahn des Tubulus, so sinkt das Quecksilber im Recipienten. Oeffnet man jetzt den Hahn, der zum auszupumpenden Raum führt, so tritt die erste Verdünnung ein und kann beliebig fortgesetzt werden.

Abgesehen von der Unbequemlichkeit des Umsteckens des Schlauches, der zur Hilfspumpe führt, ist durch Schuld der Hähne die höchste Verdünnung wol kaum zu erzielen.

Der wesentlichste Uebelstand aber, auch in solchen Fällen, wo die Verdünnung vollkommen genügend wäre, ist der Umstand, dass man sämtliche zu verdünnende Gase in die Hilfspumpe bekommt, was zum Beispiel bei Chlor etc. vollkommen unstatthaft ist.

Obwol die Pumpe nicht Anklang gefunden zu haben scheint, ist sie durch Wüllner's Lehrbuch doch in weiten Kreisen bekannt geworden.

In einer andern Beziehung hat A. Mitscherlich<sup>1)</sup> (Tab. I, Fig. 4) die Arbeit des Evacuirens erleichtert.

Er ersetzte den Auslasshahn für die Luft durch ein Ventil. Die obere enge Oeffnung (*a*) des Recipienten erweitert sich nämlich kegelförmig in ein Rohr von 1<sup>cm</sup> Weite, auf welches eine Kappe gesetzt werden kann, welche in ein enges Rohr endet.

In dem durch das Rohr und die Kappe gebildeten Raum befindet sich ein Glasstab (*b*), dessen zugespitztes Ende luftdicht in die kegelförmige Oeffnung des Recipienten passt. Die Verbindung mit dem zu evacuierenden Gefäss setzt sich unterhalb des Recipienten an das Steigrohr des Quecksilbers und ist gegen das Eindringen des letzteren durch ein Ventil, welches nur quecksilberdicht zu schliessen braucht, gesperrt. *d* ist das Trockengefäss, welches nach unten durch einen nicht luftdicht sitzenden Kegel geschlossen und mit Phosphorsäure gefüllt ist.

<sup>1)</sup> Pogg. Ann., 1873, Bd. CL., pag. 420—423.

Das Quecksilberreservoir wird mit der Hand gehoben.

Erfüllt das Metall den Recipienten, so stösst es das stabförmige Ventil los. Beim Senken des Reservoirs bleibt am Ventil so viel Quecksilber zurück, dass ein luftdichter Verschluss bewirkt wird.

Damit der Ventilstab nicht so hoch gehoben werden kann, dass er zu hart niederfällt, wird in die Kappe an geeigneter Stelle ein durchbohrter Korken gesetzt.

Soll das ausgepumpte Gas oben an der Kappe aufgefangen werden, so füllt man diese zuvor vollständig mit Quecksilber.

Alle Theile sind aus dickem Glase gearbeitet.

Wird man nun, in Anbetracht der Construction des Ventils, auch nicht geneigt sein, dieser Pumpe die höchsten bisher erreichten Verdünnungen zuzutrauen (die Verdünnungsgrenze ist nicht genau angegeben), so ist sie jedenfalls ein Apparat, welcher, für die meisten Arbeiten ausreichend, sich durch einfache Construction, Billigkeit und Haltbarkeit empfiehlt und namentlich dem Chemiker durch die Möglichkeit, ihn leicht zu reinigen, von Nutzen sein dürfte.

Auch H. Göbel und J. W. Kulenkamp<sup>1)</sup> haben den Auslassbahn der Luft durch ein Ventil ersetzt, führen aber von einem Punkte, nahe über dem Ventil, einen Schlauch nach dem Quecksilberreservoir, damit nicht eine zu grosse zurückgebliebene Quecksilbersäule das Ventil unnütz belastet.

Die Erleichterungen von Poggendorff und Mitscherlich finden sich in der Pumpe von F. Neesen<sup>2)</sup> (Tab. II, Fig. 3) vereinigt. Er setzt nur voraus, dass dem Experimentirenden eine Hilfspumpe zu Gebot steht, mit der man sowol evacuiren als comprimiren kann.

In seinem Apparat besteht, wie bei Poggendorff, das Quecksilberreservoir aus einer zweihalsigen Flasche (A). Durch einen Hals geht das Steigrohr des Quecksilbers (C) mit aufgesetztem Recipienten (B). Vom Steigrohr zweigt unterhalb des Recipienten das Verbindungsrohr (D) mit dem Trockengefäss ab. Dieses Letztere ist gegen eindringendes Quecksilber durch ein Plattenventil (E) geschlossen.

<sup>1)</sup> Centr. Zeit. für Optik u. Mechanik 3, pag. 167, 1882; Beibl. z. Wied. Ann. 1882, Nr. 11, pag. 846.

<sup>2)</sup> Zeitschrift für Instrumentenkunde 2, pag. 285--289, 1882. — 3, pag. 245--246, 1883; Beibl. z. Wied. Ann. 1883, Nr. 9, pag. 651.

Die senkrecht nach oben laufende Verbindungsröhre (*D*) erweitert sich nämlich vor dem Trockengefäß cylindrisch. Die aus diesem Raum zum Trockengefäß führende Röhre ragt in die cylindrische Erweiterung hinein und trägt an ihrem Ende eine durchbohrte runde Spiegelglasplatte. Unter dieser liegt, so dass sie die von unten kommende Röhre nicht ganz absperrt, eine zweite Spiegelglasplatte, welcher die cylindrische Erweiterung als lose Führung dienen kann. Steigt das Quecksilber, so schliesst die untere Glasplatte, indem sie gehoben wird, den Zugang zum Trockengefäß. Damit die Glasplatte beim Sinken des Quecksilbers nicht haften bleibt, kann sie durch einen mit Quecksilber gefüllten Becher beschwert werden.

Zwischen dem Steigrohr und der cylindrischen Erweiterung zweigt das bei der Töppler'schen Pumpe besprochene Neese'sche Seitenrohr (*F*) ab, welches sich über dem Recipienten mit dem aus letzterem kommenden Rohr vereinigt. Nach der Vereinigung dieser beiden Röhren biegt sich das capillar gewordene Rohr erst nach unten und dann wieder nach oben zu einem kurzen *S*, welches in ein weiteres cylindrisches Gefäß (*G*) mündet. Dieses trägt unten ein abgekürztes Barometer (*H*) und endet oben in einen Trichter, der durch ein Kegelventil (*J*) geschlossen wird. Zur Führung des letzteren ist um den engen Hals des Trichters ein kurzes Stück eines weiten Cylinders gelegt, welches oben durch Kork verschlossen ist. Diesen Verschluss durchsetzt ein enges Rohr mit Hahn.

Das *S*-förmige Capillarrohr hält beim Sinken des Quecksilbers einen Rest Metall zurück, welcher als zweites Ventil sich zwischen den Recipienten und das cylindrische Gefäß legt, so dass am Ventil hängen gebliebene Luftblasen nicht aus dem cylindrischen Gefäß nach dem Recipienten zurück können.

Die Dichtungen der Schliffe, durch welche das Trockengefäß und der auszupumpende Raum angesetzt sind, sind mit Quecksilber bewerkstelligt, welches von Chlorcalciumlösung bedeckt ist.

Das Heben und Senken des Quecksilbers wird durch Comprimiren und Evacuiren der Luft des Reservoirs am zweiten Halse desselben ausgeführt.

Ein Urtheil über die Leistungsfähigkeit der Pumpe liesse sich wol nur aus Beobachtungsergebnissen, welche nicht mitgetheilt sind, entnehmen.

Von F. Neesen ist auch das Modell einer Quecksilberluftpumpe<sup>1)</sup> (Tab. I, Fig. 2), welche, entsprechend der zweistiefeligen Kolbenluftpumpe, durch gleichzeitiges Arbeiten von 2 Pumpen die Arbeitszeit abkürzen soll.

Er wählt hierzu 2 unmittelbar neben einander gestellte Quecksilberluftpumpen Töppler'scher Construction (*a* und *b*) mit dem schon wiederholt erwähnten Neesen'schen Nebenrohr (*c* und *d*) am Recipienten, deren zum Trockengefäß führende Röhren (*e* und *f*) sich vereinigen.

Als Quecksilberreservoirs benutzt er 2 weite Cylinder (*g* und *h*), welche mit quecksilberdicht schliessenden Kolben versehen sind.

Diese cylindrischen Stiefel sind am Boden durch 2 Röhren (*i* und *k*) verbunden, welche an jedem Ende quecksilberdicht schliessende Kegelventile haben.

Die Ventile der einen Verbindungsröhre *i* öffnen sich nur nach dem Innern der Röhre; die der andern Verbindungsröhre *k* nur nach aussen, in die Cylinder.

Jede dieser Verbindungsröhren der Cylinder trägt das Quecksilbersteigrohr (*m* und *n*) einer der Töppler'schen Pumpen. Diese beiden Steigrohre sind so gebogen, dass sie sich an einer Stelle (*l*) fast berühren.

Hier sind beide Steigrohre horizontal durchschnitten, und in den Durchschnitt ist eine Vorrichtung geschaltet, welche es ermöglicht, durch eine Vierteldrehung der letzteren das untere Stück jedes Steigrohrs nach Belieben mit der einen oder andern Pumpe in Verbindung zu setzen.

Dieses ist erreicht, indem die unteren Enden der Steigrohre in eine Stahlplatte, die oberen Enden der Steigrohre in eine der ersten nahe und parallel gegenüber stehende Stahlplatte mit Siegelack gekittet sind. Den Zwischenraum zwischen beiden füllt quecksilberdicht eine dritte Stahlplatte (*o*), welche 2 bogenförmige Kanäle von 120° Länge enthält, und durch welche je nach Stellung die zu den Pumpen führenden Steigrohre vertauscht werden können.

Es ist dafür 'gesorgt, dass der hinaufgehende Kolben, der die eine Pumpe leert, sich drei mal so schnell bewegt, als der sinkende Kolben, der die andere Pumpe füllt.

<sup>1)</sup> Wied. Ann. 1880, Nr. 11, pag. 522—526; Wied. Ann. 1881, Nr. 6, pag. 383 und 384.

Ueber die mit diesem Apparat erreichbaren Resultate fehlen leider alle Angaben.

Am weitesten in dem Bestreben, dem Experimentirenden alle lästigen Manipulationen zu ersparen, geht Alois Schuller<sup>1)</sup> bei seiner automatischen Quecksilberluftpumpe (Tab. II, Fig. 2).

Bei derselben wird, je nach Stellung eines doppelt durchbohrten Hahnes (*a*), das Senken des Quecksilbers im Recipienten (*b*) durch Verdünnung der Luft im Reservoir (*c*), das Steigen des Quecksilbers im Recipienten durch den äusseren Atmosphärendruck bewirkt.

Als Hilfspumpe dient eine stetig arbeitende Wasserluftpumpe (bei *d*), welche auch das Drehen des oben erwähnten Hahnes (*a*) allein besorgt.

Um dieses zu ermöglichen, ist ein Nebenapparat angebracht, von welchem Schuller treffend bemerkt, dass er selbst wieder eine Art kleiner Quecksilberluftpumpe sei. Die Hauptpumpe erinnert in ihrer Form an die schon beschriebenen Pumpen von J. C. Poggendorff und F. Neesen.

Das Quecksilberreservoir (*c*) besteht aus einer dreihalsigen Flasche, in deren mittleren Hals das Quecksilbersteigrohr eingekittet ist, welches zum Recipienten (*b*) führt. Unter dem Recipienten zweigt das Verbindungsrohr mit dem Trockengefäss ab, welches durch ein Ventil (*e*) oder durch 2 über einander gestülpte barometerlange Röhren (wie sie bei der Bessel-Hagen'schen Pumpe geschildert wurden) vor eindringendem Quecksilber geschützt ist.

Das hier verwendete Ventil ist eine Glasplatte, welche, vom Quecksilber gehoben, sich an den abgeschliffenen Rand der weiter führenden Röhre anlegt. Der genaue Schluss wird durch das Metall selbst bewirkt.

Von dem zum Trockengefäss führenden Rohr führt das schon vielfach erwähnte Neesen'sche Seitenrohr um den Recipienten zur oberen Oeffnung (*f*) des Letzteren. An diese setzt sich ein in der Mitte kugelig aufgeblasenes Auslassrohr für die Luft von einigen Centimetern Länge und ist oben wieder durch ein Plattenventil (*g*) ge-

1) Wied. Ann. 1881, Nr. 7, pag. 528—534.

Eine andere automatische Quecksilberluftpumpe ist von G. Serravalle (Riv. Se. Industr. 13, 1881, pag. 205—208; Beibl. z. Wied. Ann. 1884, Nr. 8, pag. 673) construiert.

geschlossen. Um dieses luftdicht zu machen, läuft um das abgeschliffene Ende des Auslassrohres, auf welches sich die Ventilplatte legen soll, eine schmale Rinne. In dieser Rinne bleibt beim Zurückströmen des Quecksilbers von *g* nach dem Recipienten ein Rest des flüssigen Metalls, dessen Oberfläche nach oben gewölbt ist, so dass der Scheitel des Meniskus höher liegt, als der Rand der Rinne.

Auf diese Quecksilberwölbung legt sich die nach unten sinkende abgeschliffene Glasplatte.

Da durch die am äussersten Ende, über dem Ventil *g*, fortgesetzt saugende Wasserluftpumpe der Raum über dem Ventil immer sehr luftverdünnt ist, lässt sich wol annehmen, dass der Verschluss genügt.

Um die am Ventil etwa zurückbleibenden Luftblasen vom Recipienten abzusperrern, dient ein ebenso einfaches wie zweckmässiges zweites Ventil (*f*). Es besteht nämlich nur aus einem im Auslassrohr unter der Kugel angebrachten kleinen Trichter mit nach oben gerichteter feiner Spitze. Ein zurückbleibender Quecksilbertropfen setzt sich auf die Spitze des Trichters und schliesst denselben.

Der zur automatischen Bewegung des Steuerungshahnes construirte Nebenapparat besteht aus einem senkrechten Glasrohr (*l*), welches in der Mitte zu einer Kugel aufgeblasen ist.

Dort, wo dieses Rohr oben mit der Wasserluftpumpe verbunden ist, befindet sich ein Plattenventil (*m*) mit Quecksilberverschluss.

Das untere Ende dieses Rohres ist, wie jede gewöhnliche Quecksilberluftpumpe, durch einen Gummischlauch mit einem kleinen Quecksilberreservoir (*n*) verbunden.

Die Oeffnung dieses Reservoirs ist mit der einen Oeffnung der dreihalsigen Flasche, welche als Reservoir der Hauptpumpe dient, durch einen Schlauch (*k*) verbunden.

Das kleine Reservoir (*n*) des Nebenapparates hängt an einer Schnur, welche über eine Rolle geführt und auf der anderen Seite mit einem Gegengewicht (*o*) versehen ist, welches gleich dem Gewicht des halb mit Quecksilber gefüllten Reservoirs gewählt wird.

Eine zweite, an einem festen Haken befestigte Schnur verhütet, dass das kleine Reservoir des Nebenapparates zu tief sinken kann.

An der Schnur des Gegengewichtes ist das Ende eines horizontalen Stabes mittelst eines Bogens *q* befestigt und dient dem Steuerungshahn (*a*) als Griff.

Steht dieser horizontal, so ist das Reservoir (*c*) der Quecksilberluftpumpe mit der Wasserluftpumpe in Verbindung und wird also ausgepumpt, und ebenso der Recipient (*b*) der Luftpumpe, dessen oberste Oeffnung ja stets mit der Wasserluftpumpe in Verbindung steht.

Zugleich wird das Rohr (*l*) des Nebenapparates durch die Wasserluftpumpe evacuirt. Durch letzteren Umstand hat sich, als *a* noch mit der äusseren Luft communicirte, dieses Rohr (*l*) aus dem kleinen Reservoir (*n*) gefüllt.

Durch den Schlauch (*k*) am dritten Halse der Flasche theilt sich die in dieser herrschende Luftverdünnung dem kleinen Quecksilberreservoir (*n*) mit, und es sammelt sich daher in ihm wieder das Quecksilber aus der Röhre (*l*).

Das kleine Reservoir wird dadurch schwerer, senkt sich, und indem es sein Gegengewicht hebt, dreht es auch den Steuerungshahn (*a*).

So ist das Reservoir der Quecksilberluftpumpe (*c*) mit der äusseren Luft in Verbindung gesetzt, und das Quecksilber wird aus dem Reservoir (*c*) in den bereits stark luftverdünnten Recipienten (*b*) gepresst, bis sich in dem Luftauslassrohr des letzteren das Plattenventil (*g*) vor die Röhre legt, die zur Wasserluftpumpe führt und sie sperrt.

Durch das Reservoir (*c*) der Luftpumpe überträgt sich aber der Druck der äusseren Luft auch auf das kleine Reservoir (*n*) des Nebenapparats, und das in demselben befindliche Quecksilber steigt in dem Rohr (*l*).

Dadurch sinkt das Gegengewicht (*o*) und bringt den Steuerungshahn in seine alte Lage.

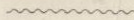
Um die Ventilplatten nicht zu hart auffallen zu lassen, ist bei *r* ein besonderes Plattenventil eingeschaltet, welches ohne Quecksilber und daher nicht völlig luftdicht schliesst.

Nach der Beobachtung Schuller's functionirt die Pumpe bei tagelangem unausgesetztem Gebrauch gut.

Messungen über den erreichten Minimaldruck sind nicht mitgetheilt.

Eine Vorstellung von der erreichten Verdünnung lässt sich aber gewinnen, wenn man erfährt, dass bei ausgepumpten Wasserstoffröhren die Wasserstofflinien verschwinden und die Quecksilberlinien bei Anwendung eines grossen Inductors nur schwach zum Vorschein kommen.

Erwärmte man die Geissler'schen Röhren während des Pumpens, so gingen die Funken in 10—15 cm. langen Röhren nicht über.



## Pumpen nach Sprengel.

Eine von den bisher besprochenen Pumpen, in welchen der Recipient den Stiefel und das Quecksilber den Kolben der gewöhnlichen Luftpumpe vertritt, völlig abweichende Construction hat die Sprengel'sche Quecksilberluftpumpe.

In ihr ist von dem Princip der Bunsen'schen Wasserluftpumpe Gebrauch gemacht, indem man die zu evacuierenden Räume mit einem langen, senkrecht nach unten geführten und mit dem offenen Ende in eine Quecksilberschale tauchenden engen Rohr in Verbindung setzt.

Oben, wenig unterhalb des Trockengefässes, ist an dieses Rohr ein zweites gesetzt, welches dem ersten parallel nach unten läuft und an seinem unteren Ende durch einen Gummischlauch mit einem Quecksilberreservoir, welches gehoben und gesenkt werden kann, communicirt.

Ist das mit Quecksilber gefüllte Reservoir bis über die obere Mündung der zweiten Röhre gehoben, so rieselt das Quecksilber durch das erste Rohr (Fallrohr) in die Quecksilberschale und reisst dabei immerwährend Lufttheilchen aus dem auszupumpenden Raum mit sich.

Hat sich eine grössere Menge Quecksilber unter dem Fallrohr in der Schale gesammelt, so wird es in das Reservoir zurückgegossen.

D. Macaluso<sup>1)</sup> hat, um den Zu- und Abfluss des Quecksilbers zu reguliren, das bewegliche Quecksilberreservoir durch eine feststehende Mariott'sche Flasche ersetzt (Tab. III, Fig. 4).

Um das Fliessen des Quecksilbers einzuleiten, schaltet er zwischen die Mariott'sche Flasche und die Pumpe eine Art Hebevorrichtung (in der Fig. ist dieser Theil der Deutlichkeit wegen verhältnissmässig zu breit gezeichnet) von folgender Construction.

<sup>1)</sup> Appendice alle Mem. d. spett. Ital. 8, pag. 3—6, 1879; Beibl. z. Wied. Ann. 1880, Nr. 7, pag. 516.

Ein Glasrohr von 1<sup>cm</sup> lichter Weite, welches unten zugeschmolzen ist, wird oben durch einen dreifach durchbohrten Pfropfen möglichst luftdicht verschlossen.

Durch die eine Durchbohrung, fast vom Boden an, geht das Rohr (*a*), welches bestimmt ist, das Quecksilber in das Fallrohr der Pumpe zu leiten. Die zweite Durchbohrung trägt einen Trichter (*b*), dessen Röhre etwas kürzer ist, als die oben erwähnte (*a*). Die dritte Durchbohrung trägt nur ein ganz kurzes Röhrechen (*c*), von welchem ein Schlauch nach der Mariott'schen Flasche geht, um Quecksilber zuzuführen.

Das Eingiessen von Quecksilber in den Trichter (*b*) setzt die Pumpe in Gang.

Die einfache Sprengel'sche Pumpe hat mancherlei Uebelstände.

Erstens arbeitet sie sehr langsam, welchem Umstande allerdings durch Ch. H. Gimmingham<sup>1)</sup> auf einfache Weise abgeholfen ist, indem er mehrere Fallröhren neben einander anbringt und das Quecksilber durch alle zugleich strömen lässt.

In einer Pumpe mit 3 Fallröhren und mit einer Quecksilbermenge von mehr als 20  $\%$  erzielt er aber doch erst nach fünfmaligem Durchfliessen der ganzen Quecksilbermenge in einem Apparate von 80<sup>ccm</sup> Inhalt einen Druck von 0,041<sup>mm</sup>.

Ein weiterer Uebelstand besteht darin, dass das bereits durch die Pumpe gegangene Metall leicht Lufttheilchen enthält, welche dann ihren Weg wieder in das Vacuum finden.

Auch kommt es leicht vor, dass bereits in die Fallröhre gerissene Luftbläschen wieder ihren Weg nach oben nehmen.

Diesen Uebelständen hat O. N. Rood<sup>2)</sup> (Tab. III, Fig. 6) abzuhelpen gesucht, indem er das Quecksilber auf dem Wege vom Reservoir (*R*) zum Fallrohr zuerst durch eine kleine Kugel (*k*) laufen lässt, woselbst die enthaltene Luft und der Wasserdampf zurückbleiben sollen, dann geht das Quecksilber durch ein fast horizontales Rohr, welches sich kurz vor dem Einmünden in das Fallrohr (bei *h*) hakenförmig nach oben biegt.

<sup>1)</sup> Proc. Roy. Soc. XXV, 1876, pag. 396—402; Beibl. z. Wied. Ann. 1877, pag. 175.

<sup>2)</sup> Sill. J. (3) 20, pag. 57—58, 1880; Sill. J. 22, pag. 90—102, 1881; Beibl. z. Wied. Ann. 1882, Nr. 2, pag. 68; Beibl. z. Wied. Ann. 1880, Nr. 11, pag. 756; Nature, 1880, pag. 375.

Die Fallröhre selbst hat in ihrem oberen Theil eine horizontale Biegung (*b*), um das Zurücksteigen von Luftblasen zu hindern.

Bei dem Gebrauch sucht man das Ende der Quecksilbersäule im Fallrohr circa 25<sup>mm</sup> unterhalb der Biegung (*b*) zu halten. Zu diesem Zweck taucht das Fallrohr unten in einen Cylinder von 2<sup>cm</sup> Weite und 16<sup>cm</sup> Höhe, der gehoben und gesenkt werden kann.

Bei dieser Pumpe ist das Quecksilberreservoir (*R*) oben fest angebracht und besteht aus einer umgekehrten Flasche mit abgesprengtem Boden, welche oben nur locker bedeckt ist.

Das Rohr, durch welches das Quecksilber abfließen soll, steigt in dem Reservoir (*R*) noch einige Centimeter auf und trägt hier in seiner Mitte (bei *c*) eine kugelförmig nach oben gebogene Schale, welche von dem Boden des Reservoirs aufsteigende Luftblasen am Eintreten in das Rohr hindert.

Durch einen kleinen Hebel (*d*) mit Druckschraube wird ein unten ausgehöhlter Stahlstab (*e*) auf die Mündung der Abflussröhre gedrückt und so der Abfluss des Quecksilbers regulirt.

Bei *f* setzt sich das Trockengefäß etc. an.

Die vorkommenden Kittungen sind mit Burgunderpech und 3—4 % Guttapercha ausgeführt.

Um die Theile der Pumpe zur Entfernung der anhaftenden Luft mit einem Bunsenbrenner erhitzen zu können, sind die dieselben haltenden Klammern in einer Entfernung von circa 55<sup>mm</sup> vom Holz befestigt.

Das höchste mit dieser Pumpe erreichte Vacuum soll  $\frac{1}{39000000}$  einer Atmosphäre betragen haben.

Wie Bessel-Hagen<sup>1)</sup> angiebt, hat, nach einer Zeitungsnotiz, Prof. Ogden N. Rood<sup>2)</sup> auch den Versuch gemacht, das Quecksilber aus einem evacuirten Gefäß in das Fallrohr treten zu lassen, und dabei einen Minimaldruck zwischen  $\frac{1}{94}$  und  $\frac{1}{110}$  Milliontel Atmosphäre erreicht.

Die berühmteste Pumpe Sprengel'scher Form ist von Ch. H. Gimmingham<sup>3)</sup> construiert, und ihre Abbildung ist in Fig. 1 der Tab. III gegeben.

1) Wied. Ann. 1881, Nr. 3, pag. 425—445.

2) The New-York Times, 19. Nov. 1880, pag. 2, Sp. 3.

3) Proc. Roy. Soc. XXV, 1876, pag. 396—402; Beibl. z. Wied. Ann. 1877, pag. 175.

In ihr ist das Quecksilberreservoir (*a*) durch Gummischlauch<sup>1)</sup> mit dem Rohr (*b*) verbunden und kann daher gehoben und gesenkt werden.

Das Sammelgefäß (*f*) und das nach *r* führende Rohr sind durch Quetschhähne gesperrt.

Oben ist das Rohr *b* erweitert, und das U-förmige Rohr *e* taucht tief in die Erweiterung von *b* hinein.

Ueber die Mündung des Rohres *e* in der Erweiterung ist eine Art kurzes Reagensglas (Luftfalle genannt) gestülpt und dient dazu, die mit dem Quecksilber aufsteigenden Luftblasen in die Erweiterung von *b* zu dirigiren und damit unschädlich zu machen. Oben an der Biegung von *e* befindet sich eine Oeffnung, deren Stöpsel (*d*) mit Quecksilber gedichtet ist. Damit nicht Luft zwischen dem Quecksilber und der Glaswand hindurch kann, giesst Gimingham auf alle solche Quecksilberdichtungen Schwefelsäure. Der Stöpsel (*d*) selbst soll weiter unten noch eingehender besprochen werden.

Das andere Ende dieses U-förmigen Rohres (*e*) mündet in den Raum, in welchem sich die 3 Fallröhren für das Quecksilber vereinigen.

Der Ausfluss des Quecksilbers in die Fallröhren geschieht durch eine an das Glas geschmolzene, dreifach durchbohrte Platinspitze, welche das Quecksilber in die 3 Fallröhren leitet.

Unter den Fallröhren sammelt sich das Metall in dem Gefäß *f*, aus welchem es nach *a* zurückströmen kann, sobald dieses gesenkt und ein den Verbindungsschlauch sperrender Hahn geöffnet wird.

Von der Stelle, an welcher sich die 3 Fallröhren vereinigt haben, führt dann ein mehrfach gebogenes Glasrohr nach einem langen Manometer (*g*), einem abgekürzten Barometer (*k*), einem Radiometer (*l*), welches auch zur Schätzung der Verdünnung dient, einem Trockengefäß (*m*), einer mit Blattgold gefüllten Quecksilber-Absorptionskugel (*n*), einem Spectralrohr (*o*) und zu einem wellenförmig gebogenen und daher federnden Rohr (*p*), an welches die auszupumpenden Räume geschmolzen werden.

Bei *q* setzt sich noch ein wellenförmiges Rohr an, welches nach dem Mc.Leod'schen Manometer (*r*) führt, dessen Einrichtung und Anwendung mit den übrigen Methoden der Druckmessung gemeinsam besprochen werden soll.

1) 2 Lagen Gummi durch Leinwand getrennt.

Neben dem langen Manometer (*g*) befindet sich rechts ein gewöhnliches Barometer (*h*) zum Vergleich, links (bei *i*) ein getheiltes Glasstab mit Schieber zum Ablesen von Manometer und Barometer.

Ein zum Theil mit Quecksilber gefüllter Kasten befindet sich bei *s*.

Um einzelne Theile (Mc.Leod'scher Manometer, Radiometer, Goldblattkugel) von dem Innern der Pumpe völlig absperren und abnehmen zu können, ohne dass Luft in die Pumpe dringt, sind diese Theile durch sogenannte „Vacuumzapfen“ mit der Pumpe verbunden. Ein solcher Vacuumzapfen ist Tab. III, Fig. 2, in grossem Maassstabe gezeichnet.

*A* ist das kelchartig erweiterte Rohr, in welches der Apparat eingesetzt werden soll. Am Grunde des Kelches, in welchen Quecksilber und Schwefelsäure gegossen werden, ist eine kurze, ziemlich tief eingekratzte Rinne (*a*).

In *A* sehr sorgsam eingeschliffen ist ein Trichter (*B*), der aber seine feine Oeffnung nicht unten, sondern an der Seite hat.

Gewöhnlich sperrt er also die Luft ab, und nur, wenn er so gedreht wird, dass das Loch mit der Rinne *a* zusammentrifft, öffnet sich ein Zugang zur Pumpe.

*C* ist das in *B* eingeschliffene und ebenfalls mit Quecksilber und Schwefelsäure gedichtete Ende des anzusetzenden Apparates.

Soll *C* entfernt werden, so schliesst man erst durch Drehung das Loch in *B* und lockert dann vorsichtig *C*, so dass etwas Quecksilber in *B* fällt und das Loch deckt. Dann lässt sich *C* entfernen, ohne dass Luft in die Pumpe dringt.

Soll *C* wieder angesetzt werden, so holt man das Quecksilber aus *B* mit einer Pipette und den letzten Tropfen aus dem Loch mit einem amalgamirten Kupferdraht.

Der Stöpsel (*d*), welcher am höchsten Punkt des U-förmigen Rohres (*e*) die daselbst befindliche Oeffnung schliesst, erinnert in seiner Construction an einen Vacuumzapfen.

Eine Abbildung in grösserem Maassstabe befindet sich auf Tab. III, Fig. 3.

Die Oeffnung des Rohres *e* ist trichterförmig erweitert und hat in ihrer unteren Hälfte eine vertiefte Rinne (*x*), wie ein Vacuumzapfen.

In den so gebildeten Trichter ist der Stöpsel (*d*) genau eingeschliffen.

Dieser Stöpsel ist hohl und bildet also ein Fläschchen, welches mit Schwefelsäure gefüllt und mit einem Glaspfropfen (*g*) verschlossen ist.

Der in den Trichter eingeschliffene Fuss dieses Fläschchens ist seitlich (bei *z*) durchbohrt, so dass die Schwefelsäure des Fläschchens, sobald das Loch (*z*) und die Rinne (*x*) sich decken, in die Fallröhre fliesst, um sie zu reinigen.

Eine ebensolche Rinne, wie sie im Trichter bei *x* ist, befindet sich (nur etwas höher als diese) auf dem Fuss des Fläschchens *d*, gegenüber der Oeffnung *z*.

Wird das Fläschchen so gedreht, dass die Rinnen am Fuss und im Trichter an einander passen, so fliesst aus dem Trichter erst Quecksilber und dann Luft in regulirbarer Menge in die Pumpe.

Der am Manometer *r* (Tab. III, Fig. 1) bestimmte Druck beträgt, nachdem das Quecksilber die Pumpe 5 mal passirt hat, bei einem auszupumpenden Apparat von 80 cc. Inhalt = 0,041 mm.

Lästig ist bei den Sprengel'schen Pumpen die Aufmerksamkeit, die man bei ihrer langsamen Arbeit auf sie verwenden muss, um vor vollständiger Entleerung des Reservoirs das aus den Fallröhren geflossene Quecksilber zurückzufüllen.

L. v. Babo <sup>1)</sup> hat in seiner selbstthätigen Wasser-Quecksilberluftpumpe (Tab. III, Fig. 5) diesen Umstand vermieden und zugleich die nöthige Quecksilbermenge auf das Minimum reducirt.

Seine Pumpe besteht aus einem System von 5 Röhren *a, b, c, d, e*, von welchen *b* mit *a* und *e*, und ebenso *c* mit *d* oben verbunden sind. Unten findet sich *a* verbunden mit der Vereinigungsstelle der beiden Röhren *d* und *e*, und ebenso sind die Röhren *b* und *c* unten durch einen Bogen zu einer Röhre vereinigt.

Der Bogen, welcher von *a* unten nach *d* und *e* führt, ist an einer Stelle nach oben eingebuchtet und trägt hier ein Rohr *f* mit einer Oeffnung oben, in welche man durch den Hahn *r* einen beliebig regulirbaren Luftstrom treten lassen kann.

Das Rohr *b* (und daher auch *a* und *e*) ist mit der Wasserluftpumpe zu verbinden. Das Rohr *h*, in welches sich oben *c* und *d* vereinigen, führt nach den auszupumpenden Räumen.

---

<sup>1)</sup> Ber. d. Nat.-Ges. Freiburg. II. 1879, 14. p. p. Sep. Beibl. z. Wied. Ann. 1879, Nr. 10, pag. 738.

Das Fallrohr der Sprengel'schen Pumpe bildet *d*, während das Quecksilber durch *c* in das Fallrohr tritt.

Soll gepumpt werden, so füllt man durch *b* Quecksilber in das Röhrensystem und öffnet den Hahn *r* ein wenig.

Der Luftdruck treibt dann das Quecksilber von unten durch *a* über *b* und *c* nach dem Fallrohr *d*, während die mit dem Quecksilber fortgerissenen Luftmengen durch *e* in die Wasserluftpumpe gehen.

Genauere Angaben über die erreichte Verdünnung fehlen, doch scheint die Möglichkeit, dass das Quecksilber bei dem Wiedereintritt in die Fallröhre Luft und Wasserdampf enthält, nicht ausgeschlossen.

Eine sehr wesentliche Vervollkommnung in der Wirkung der Sprengel'schen Pumpe wird durch J. B. Hannay<sup>1)</sup> erzielt, indem er das Quecksilber der Pumpe durch eine Legirung von 50 % Bi, 25 % Sn, 25 % Pb mit dem Schmelzpunkt 94° ersetzt.

Das Quecksilber der Pumpe hat nämlich selbst schon bei gewöhnlicher Temperatur eine Dampfspannung, welche die Spannung der nach Verdünnung mit einer guten Pumpe übrigbleibenden Luft übertrifft, während die von ihm gewählte Legirung selbst bei sehr hohen Temperaturen in einem Verbrennungsofen sehr wenig verdampfte und auch keine merkbaren Gasmengen gelöst enthielt.

Die Dichtungen der einzelnen Theile der Pumpe hatte er durch verbrannten Kautschuk hergestellt und dann den ganzen Apparat in einem Luftbad bis über 94° erhitzt.

Den zu entleerenden Raum, welcher aus 2 durch ein enges Rohr verbundenen Kugeln bestand, verband er ausser mit der von ihm construirten Pumpe noch mit einer gewöhnlichen Quecksilberluftpumpe und evacuirte mit letzterer nach Möglichkeit, ehe er dieselbe abschmolz und mit der andern Pumpe die Arbeit fortsetzte.

Nach hinreichend langem Evacuiren liess er die Legirung so hoch steigen, dass sie bis in die obere Kugel des Vacuumgefässes drang, richtete dann gegen die capillare Verbindung der beiden Kugeln einen kalten Luftstrom, so dass in ihr das Metall erstarrte, und sperrte auf diese Art die noch übrig gebliebene Luft in die obere Kugel.

Während nach seiner Angabe die Verdünnungsgrenze der gewöhnlichen Sprengel'schen Pumpe  $\frac{1}{23000000}$  Atmosphäre beträgt und ein

---

<sup>1)</sup> Phil. Mag. (5) 13, p. 229—236, 1882, Beibl. z. Wied. Ann. 1882, Nr. 8, pag. 631.

so evacuirtes Geissler'sches Rohr die Elektricität einer Holtz'schen Maschine noch leitete, gingen, wenn er nach seiner Methode evacuirte hatte, selbst die Funken von 12 Leydener Flaschen nicht mehr über.

Trotz dieses günstigen Resultates hatte er bemerkt, dass, obwohl er die Doppelkugel, um die anhaftende Luft zu entfernen, beim Pumpen stark erhitzt hatte, doch beim Abschmelzen derselben von dem Glase noch eine grosse Menge Gas abgegeben wurde.

Nach seiner Ansicht könnte ein weiter gehendes Resultat nur erzielt werden, wenn die Doppelkugel innen aus leichter schmelzbarem, aussen aber aus sehr schwer schmelzbarem Glas besteht, damit beim Evacuiren die innere Fläche bis an die Schmelztemperatur erhitzt werden kann.

Ist die von ihm angewendete Methode gewiss auch gelegentlich von nicht zu unterschätzender Bedeutung, so lässt sie doch ihrer Umständlichkeit wegen eine weitergehende Anwendung nicht thunlich erscheinen.

## Bestimmung des erreichten Verdünnungsgrades.

Die nächstliegende Methode, den im Vacuumgefäss herrschenden Luftdruck zu bestimmen, ist die Ablesung eines abgekürzten Barometers nach Art der an den Kolbenluftpumpen gebräuchlichen oder eines vollständigen Barometers, dessen Vacuumraum mit der Luftpumpe in Verbindung gesetzt ist. Die Differenz des Quecksilberstandes in letzterem und im gewöhnlichen Barometer giebt die Spannung des übrig gebliebenen Gases.

Bald waren jedoch die Quecksilberluftpumpen so weit vervollkommenet, dass selbst die kathetometrische Ablesung des Barometerstandes nicht mehr der geringen noch vorhandenen Differenz entsprach und man gezwungen war, auch die zu diesen Bestimmungen benutzten Hilfsmittel zu vervollkommenen.

Einen Versuch stellte in dieser Hinsicht unter Anderen W. Hittorf<sup>1)</sup> an.

Er bestimmte, so lange der Druck noch die Ablesung des Barometers gestattete, aus diesem das Verhältniss zwischen dem Volumen des Vacuumgefässes und demjenigen des um das Vacuumgefäss vermehrten Recipienten.

Hatte er nun den Luftdruck, so lange es noch direct durch das Barometer möglich war, bestimmt und darauf  $n$  Mal gepumpt, so ist der endliche Luftdruck gleich dem abgelesenen Barometerstande, multiplicirt mit der  $n$ ten Potenz des vorher bestimmten Verhältnisses.

Wie aber schon Hittorf selbst bemerkt, ist die erhaltene Angabe äusserst unzuverlässig, da man durchaus nicht dessen sicher sein kann, dass die relative Menge des vom Quecksilber ausgestossenen Gases bei jedesmaligem Pumpen unverändert bleibt. Im Gegentheil wird mit wachsender Verdünnung die Menge in Blasen zurückgehaltener Luft verhältnissmässig bedeutend wachsen.

<sup>1)</sup> Wied. Ann., Bd. XX, 1883, Nr. 12b, pag. 732.

Dazu kommt, dass, auch wenn dieser Fehler vollständig in Wegfall käme, während des Durchganges von Elektrizität durch das Vacuum sich aus den Elektroden recht bedeutende absorbirte Gas-mengen entwickeln, und den Wänden des Glases anhaftende Gas-häutchen, die dem Pumpen widerstanden haben, sich loslösen.

Der Druck während der nachherigen Beobachtung ist also von dem berechneten so weit verschieden, dass bei den geringen in Betracht kommenden Drucken der Werth derartiger Angaben recht illusorisch ist.

Kundt und Warburg<sup>1)</sup> haben diesem Umstande bereits Rechnung getragen, indem sie dafür sorgten, dass der augenblicklich vorhandene Druck, so lange das Vacuumrohr in Verbindung mit der Pumpe ist, stets von Neuem bestimmt werden kann.

Allerdings ist die dazu benutzte Theilung des Rohres nach der auch von Hittorf verwendeten Methode hergestellt, so dass alle in dieser Hinsicht oben geäußerten Bedenken auch hier ihre Stelle finden.

An der von ihnen benutzten Pumpe kann das Vacuumgefäß unmittelbar am Recipienten durch einen Hahn abgesperrt werden.

Das Rohr über dem Recipienten, in welchem der Auslasshahn sitzt, ist in Millimeter getheilt, und in diesen Raum comprimiren sie durch Heben des Quecksilbers den Inhalt des Recipienten.

Indem sie bei vollständig gehobenem Quecksilberreservoir für verschiedene durch Berechnung<sup>2)</sup> bestimmte Verdünnungen den Quecksilberstand an der Millimetertheilung ablesen, erhalten sie die Werthangaben des Luftdruckes für jeden nachher beobachteten Stand des Quecksilbers an der Millimetertheilung.

Ist die Verdünnung schon sehr weit vorgeschritten, so ist die Ablesung natürlich nicht mehr möglich, und so können sie ihre Methode denn nur bis auf einen Druck von  $\frac{1}{10}^{\text{mm}}$  anwenden.

Obwol dasselbe durch Kathetometerablesung sicherer erreicht werden könnte, hat ihre Methode den Vorzug grösserer Einfachheit.

Die sicherste Methode zur Bestimmung von Gasdrucken, welche ihrer Kleinheit wegen nicht mehr kathetometrisch beobachtet werden können, geht darauf aus, das verdünnte Gas aus einem Raum von bestimmter Grösse auf ein recht kleines, aber messbares Volumen zusam-

1) Pogg. Ann. 1875, Nr. 8, Bd. CLV, pag. 526—528.

2) Siehe Methode von Hittorf.

menzupressen, um so seine bedeutend gesteigerte Spannung am Manometer bestimmen zu können.

Das Verhältniss der beiden Volumina des Gases vor und nach der Compression giebt den Druck des verdünnten Gases.

In sehr primitiver Weise hat Tomas Andrews<sup>1)</sup> diese Methode bereits 1853 angewandt, um die Spannkraft der im Barometervacuum übrig gebliebenen Luft zu bestimmen.

Er schätzte das Volumen des Vacuums, neigte dann das Barometer und liess so das Vacuum bis auf ein winziges Bläschen zusammenschrumpfen, dessen Durchmesser mit einem Zirkel gemessen und dessen Volumen als Kugel berechnet wurde.

War hierbei zugleich gemessen, unter welchem Quecksilberdruck das Bläschen stand, so erlangte er aus dem Volumverhältniss von Bläschen und Vacuum den Druck in letzterem.

Einen für die Verwendung an der Quecksilberluftpumpe sehr geeigneten Apparat, um nach diesem Princip den Druck im Vacuum zu messen, hat Mc. Leod<sup>2)</sup> angegeben. Seine Einrichtung ist aus Tab. III, Fig. 1, *r* an der Gimingham'schen Pumpe zu ersehen.

Eine Kugel von 48 cem. Inhalt, welche ein oben geschlossenes und nach Volumen getheiltes Rohr trägt, steht an ihrer unteren Oeffnung durch eine neben der Volumtheilung parallel laufende, in Millimeter getheilte Röhre mit dem evacuirten Raum in Verbindung.

Ein von der Kugel nach unten geführtes Rohr gestattet, durch gehobenes Quecksilber die Luft der Kugel in das aufgesetzte kalibrierte Rohr zu comprimiren.

An der in Millimeter getheilten Röhre wird die Niveaudifferenz in dem Volumrohr und der Nebenröhre gemessen.

Für die erste Berechnung wird die Spannung des Gases im Vacuum vernachlässigt und die Niveaudifferenz in beiden Röhren als Druck des im Volumrohr comprimierten Gases betrachtet.

Das Verhältniss zwischen dem Volumen der comprimierten Luft und dem Inhalt der Kugel + Volumrohr gestattet eine genäherte Berechnung des ursprünglichen Druckes in der Kugel.

<sup>1)</sup> Pogg. Ann. 1853, Bd. LXXXVIII, pag. 309—314.

<sup>2)</sup> Phil. Mag. (4), XLVIII, pag. 110—113, 1874; Beibl. z. Wied. Ann. 1877, pag. 175.

Fügt man diesen zur abgelesenen Niveaudifferenz in beiden Röhren und wiederholt die Rechnung, so ergibt sich die genaue Spannung der Luft im Vacuum.

Kleine Veränderungen dieses Apparates, dessen sich Gimingham, Crookes, Hannay, Rood bedient haben, beziehen sich auf das Bestreben, das Innere des Volumrohres von oben zugänglich zu machen und die Luftblasen des in die Kugel steigenden Quecksilbers abzuhalten.

O. N. Rood<sup>1)</sup> schliesst das Volumrohr oben nur durch einen eingeschliffenen Glasstöpsel, der mit einem Kitt aus Burgunderpech und Guttapercha gedichtet ist. Das Rohr, durch welches das Quecksilber in die Kugel dringt, lässt er in einen verschiebbaren Cylinder von 318 mm. Höhe tauchen.

Gimingham<sup>2)</sup> füllt die Manometerkugel durch einen Schlauch, welcher zum grossen Quecksilberreservoir der Pumpe führt und bis zur beginnenden Druckmessung durch einen Quetschhahn geschlossen steht.

Eine sehr glückliche Vervollkommnung des Mc.Leod'schen Manometers, welche in Tab. I, Fig. 6, abgebildet ist, rührt von W. Crookes<sup>3)</sup> her.

Bei *a* und *b* sind in dem Rohr, durch welches das Quecksilber in das Manometer dringt, sogenannte Luftfallen angebracht, welche vom Quecksilber mitgeführte Lufttheile in abgesperrte Räume dirigiren und so von dem Manometer abhalten.

Die Construction dieser Luftfallen ist genau dieselbe, wie sie bei der Sprengel-Gimingham'schen Pumpe an dem Quecksilbersteigrohr geschildert ist.

Eine ähnliche Druckmessung erreicht E. Bessel-Hagen<sup>4)</sup> an seiner Pumpe ohne jeden Nebenapparat, indem er an dem Capillarrohr *B* (Tab. II, Fig. 1), durch welches die Luft des Recipienten ausgestossen wird, über der Vereinigung der oberen Recipienten-Oeffnung mit dem Neesen'schen Nebenrohr eine Marke anbringt.

---

1) Sill. J. 22, pag. 90—102. 1881, Beibl. z. Wied. Ann. 1882, pag. 68.

2) Proc. Roy. Soc. XXV, 1876, pag. 396—402; Beibl. z. Wied. Ann. 1877, pag. 175.

3) Proc. Roy. Soc. Lond. 31, pag. 448, 1881; Beibl. z. Wied. Ann. 1881, Nr. 12, pag. 838.

4) Wied. Ann. 1881, Nr. 3, pag. 425—445. Die Methode rührt von Arago her.

Der Raum, den das Quecksilber freigiebt, indem es von dieser Marke bis zu der nach der Trockenröhre führenden Abzweigung sinkt, ist durch Quecksilberwägung bestimmt.

Das capillare Auslassrohr der Luft trägt an seinem oberen Theil eine doppelte Eintheilung: erstens eine von der Marke an gerechnete Volumtheilung und zweitens eine Millimetertheilung.

Steigt nun das Quecksilber im Recipienten bis zur Marke, so wird die Luft desselben in dem Capillarrohr zu einem ablesbaren Volumen comprimirt, während die Millimetertheilung die dadurch bedingte Druckzunahme abzulesen gestattet.

Aus der Druckdifferenz und dem Verhältniss des ursprünglichen Volumens zum verkleinerten ergiebt sich der Druck im Vacuum.

Die mitgetheilten Druckmessungen lassen die Angaben so minimaler Drucke, wie sie oft die Verwunderung der über die benutzte Methode nicht orientirten Leser erregen, als wol begründet erscheinen, wenn auch die Zweifel an dem practischen Werth dieser Zahlen aus noch zu erörternden Gründen voll berechtigt sind.

A. Kundt und E. Warburg gehen so weit, sich mit ihrer Methode, die den Druck bis zum Minimum von  $\frac{1}{10}$  mm. misst, zu begnügen und den weitergehenden Messungen die Bedeutung abzuspreehen.

Sicherlich ist ein wunder Punkt dieser Bestimmungen, dass sie sich nur auf den Druck des verdünnten Gases beziehen und die Dampftension des Quecksilbers, welche oft viel beträchtlicher ist, ausser Acht lassen.

Den Dampfdruck des Quecksilbers geben die einzelnen Beobachter recht verschieden an, doch ändern auch die kleinsten Zahlen dafür an dieser Behauptung nichts.

Die Dampftension des Quecksilbers ist nach Bessel-Hagen<sup>1)</sup> bei:

$$0^{\circ} = 0,0148 \text{ mm.}$$

$$20^{\circ} = 0,0201 \text{ mm.,}$$

während Regnault<sup>2)</sup> für:

$$0^{\circ} = 0,0200 \text{ mm.}$$

$$20^{\circ} = 0,0372 \text{ mm. gefunden hat.}$$

---

<sup>1)</sup> Wied. Ann. 1881, Nr. 3, pag. 425—445; Wied. Ann. 1882, Nr. 8, Bd. XVI, Heft 4, pag. 610—618.

<sup>2)</sup> Rel. d. Expér. 2, pag. 520, 1862.

Dieselben Angaben lauten bei H. Hertz<sup>1)</sup>:

$$0^{\circ} = 0,00019 \text{ mm.}$$

$$20^{\circ} = 0,0013 \text{ mm.}$$

Berechnet nun Bessel-Hagen Drucke zwischen  $0,000015 \text{ mm}$  und  $0,000008 \text{ mm}$ , so scheinen dieselben allerdings gegen den Dampfdruck des Quecksilbers bei der Beobachtungstemperatur zu vernachlässigende Grössen zu sein.

Dennoch zeigen die Beobachtungen der Lichterscheinungen an weiten Vacuumröhren, dass Veränderungen solch minimaler Gasdrucke von deutlichen Unterschieden in der Entladungsform begleitet sind.

Um die auffallende Wirkungslosigkeit des im Verhältniss zum Gasdruck bedeutenden Druckes des Quecksilberdampfes zu erklären, hat E. Bessel-Hagen<sup>2)</sup> die Vermuthung ausgesprochen, dass Quecksilber als Gas kein Leiter der Elektrizität sei.

Die Einwendung, welche H. Hertz dagegen macht, die Kleinheit des in Rede stehenden Druckes des Quecksilberdampfes dürfte die Ursache für seine Wirkungslosigkeit sein, lässt sich der beobachteten Wirkung der Veränderung des sehr viel kleineren Luftdruckes gegenüber kaum aufrecht erhalten.

Auf vollständig andere Basis stellt sich E. Goldstein<sup>3)</sup>, indem er behauptet, dass die Entladung in einem gaserfüllten Raum zum Substrat nicht die Gastheilchen selbst hat, sondern der freie Aether den Träger der Entladung bildet.

Die scheinbare Undurchgängigkeit stark evacuirter Röhren beruhe nicht auf dem Widerstande des leeren Raumes, sondern nur auf einem mit der Verdünnung stark wachsenden Widerstande der Kathodenoberfläche.

So wenig die Frage als abgeschlossen angesehen werden kann, sind doch die Goldstein'schen Versuchsergebnisse in hohem Grade bemerkenswerth.

Um diesen Dampfdruck des Quecksilbers zu erniedrigen, hat Crookes das Vacuumgefäss vor dem Abschmelzen bis zur Rothgluth

<sup>1)</sup> Wied. Ann. 1882, Nr. 10, pag. 199 und 200.

<sup>2)</sup> Wied. Ann. 1881, Nr. 3, pag. 441.

<sup>3)</sup> Wied. Ann. 1885, Nr. 1, pag. 79—92.

erhitzt, denselben aber doch noch immer fünfzig mal so gross als den Luftdruck geschätzt.

Die einzige Art, den Quecksilberdampf zu vermeiden, würde eine Absorption desselben durch irgend einen Stoff bieten.

Metallisches Gold ist hierzu von E. Bessel-Hagen empfohlen und unabhängig schon von Gimingham<sup>1)</sup> verwendet worden.

Ebenso hat W. Crookes<sup>2)</sup> sich als Absorptionsmittel des gepulverten Schwefels bedient.

Leo Grunmach<sup>3)</sup> verspricht für die Zukunft Angaben über seine bei der Normal-Aichungscommission gemachten Versuche über Absorption von Quecksilberdampf durch Selen.

Wie weit jedoch die benutzten Mittel Resultate gegeben haben, ist nicht mitgetheilt.

---

1) Proc. Roy. Soc. XXV, 1876, pag. 396—402; Beibl. z. Wied. Ann. 1877, pag. 175.

2) Proc. Roy. Soc. Lond. 31, pag. 448, 1881; Beibl. z. Wied. Ann. 1881, Nr. 12, pag. 838.

3) Wied. Ann. 1884, Bd. XXI, Heft 4, pag. 699, Anm.

Fig. 1.

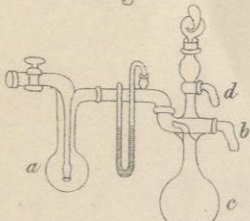


Fig. 3.

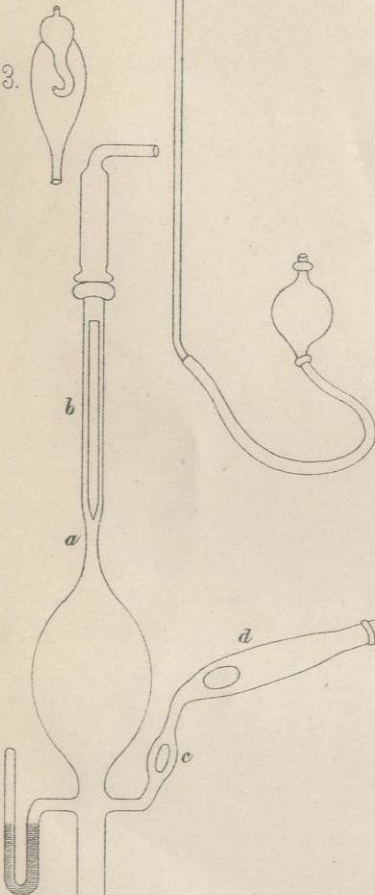


Fig. 4.

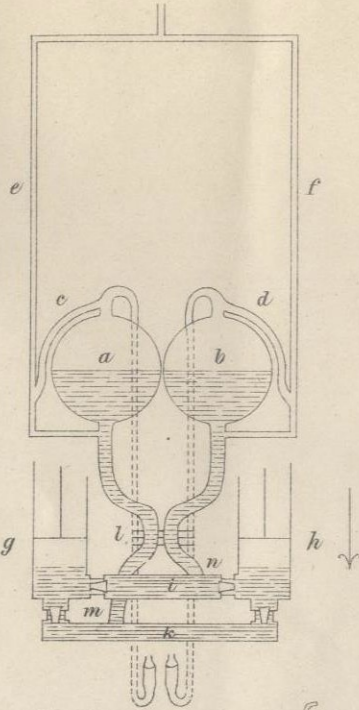


Fig. 2.

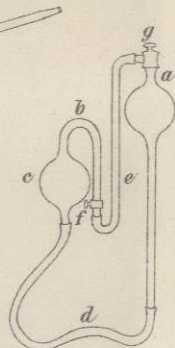
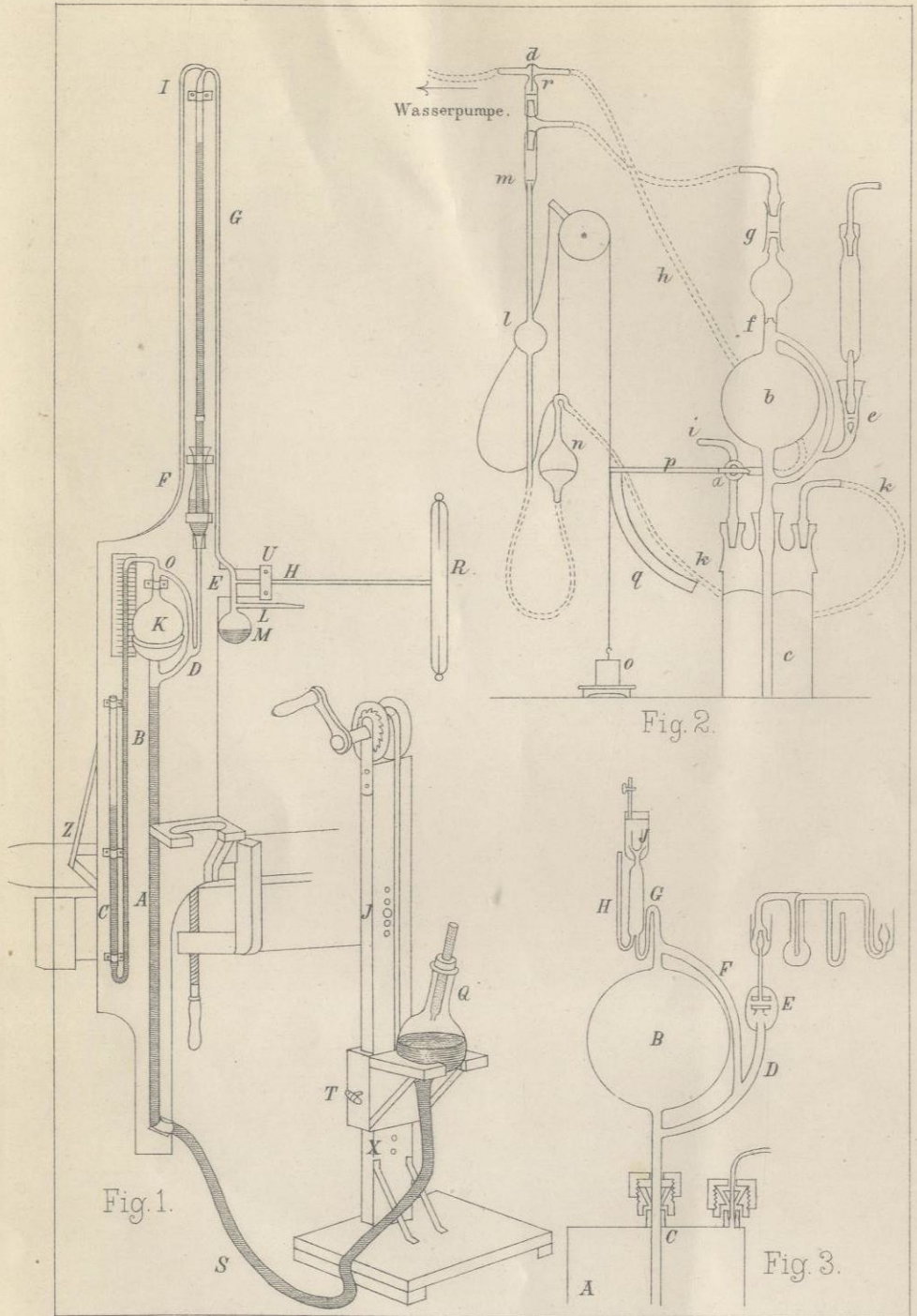


Fig. 5.



Fig. 6.



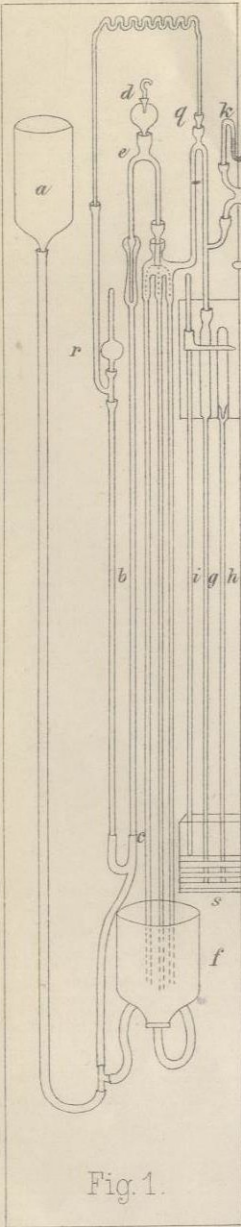


Fig. 1.

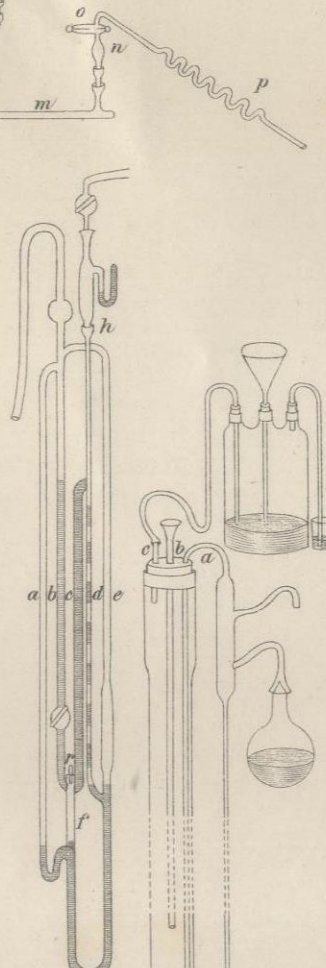


Fig. 5.

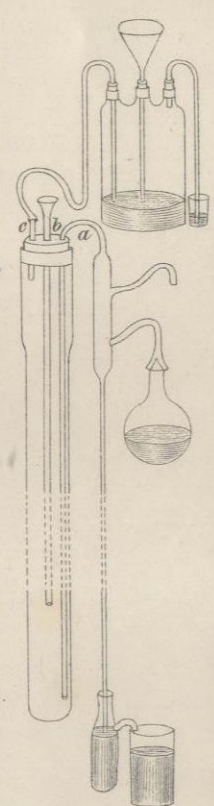


Fig. 4.

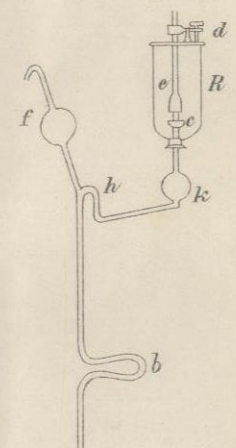


Fig. 6.

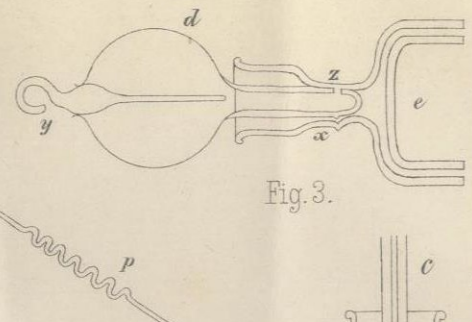


Fig. 3.

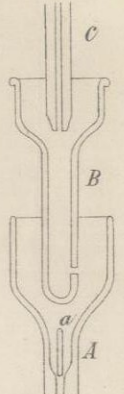


Fig. 2.