V.

*Verfuche über die Gesetze,
wonach gasartige Flüssigkeiten aus engen Oeffnun-
gen von verschiedener Gestalt und durch Röhren
unter einem gegebenen Druck ausströmen,*

VON

G. G. SCHMIDT, Prof. d. Math. u. Phys. zu Gießen.

Die wichtigen Anwendungen der Gasgebläse auf die chemischen Schmelzversuche, die immer mehr sich verbreitenden Gas-Beleuchtungen, und die Dampf-Heizungs-Anstalten führen uns nothwendig auf Untersuchungen über die Gesetze, nach welchen die elastischen Flüssigkeiten unter einem gegebenen Druck aus engen Oeffnungen von verschiedener Gestalt, und durch Röhren von verschiedenen Längen und Durchmessern strömen. Beobachtungen über diesen Gegenstand müssen daher für den praktischen Chemiker und den Techniker von Nutzen und von Interesse seyn, auch abgesehen von dem Reize, welchen für den Physiker jede Experimental-Untersuchung hat, die unsere Kenntnisse in der Natur-Wissenschaft zu erweitern strebt. Diese Ueberlegung bewog mich bereits im Sommer 1819 eine Reihe von Versuchen dieser Art anzufangen. Sie sind zwar noch nicht ganz beendiget, doch halte ich es der Mühe werth die bereits gewonnenen Resultate den Naturforschern zur Prüfung vorzulegen.

Vorerst mögen hier einige aus der Hydrodynamik entlehnte Lehrsätze ihren Platz finden, welche dazu dienen, die aus den nachfolgenden Versuchen sich ergebenden Resultate leichter und sicherer zu ziehen, und die mich bei der Anstellung derselben geleitet haben.

ERSTER ABSCHNITT.

Einige Lehrsätze aus der Hydrodynamik.

1.

Es sey in dem Gefäß *A* (Taf. I. Fig. 4) ein Gas enthalten, welches nicht bloß durch den Druck der Atmosphäre, sondern auch durch den der *Wassersäule* $ac = x$, um welche das Wasser in dem äußeren Gefäße höher als in dem inneren stehe, in einer gewissen Spannung erhalten werde. Bei Oeffnung des Hahns *e* strömt das Gas mit einer gewissen Geschwindigkeit $= v$ aus; nach Verlauf der Zeit $= t$ habe sich der Wasserspiegel in dem äußern Gefäße bis *c'd'* gelenkt und in dem innern bis *a'b'* gehoben; *man sucht* eine Gleichung zwischen der *Zeit* des Ausströmens und der *veränderlichen Druckhöhe*, vorerst unter der Voraussetzung, daß die Geschwindigkeit des ausströmenden Gases weder durch den Widerstand der äußern Luft, noch durch eine andere Ursache vermindert werde.

Wir wollen die *Querschnitte* des äußern und innern Gefäßes, welche wir beide cylindrisch gestaltet annehmen, mit Q^2 , q^2 und folglich den Querschnitt des Zwischenraumes zwischen beiden mit $Q^2 - q^2$ bezeichnen. Der Wasserspiegel *cd* senke sich um die

Höhe = y , wenn sich ab um z hebt. Wir haben dann

$$y : z = q^2 : Q^2 - q^2 \quad \text{und} \quad dy : dz = q^2 : Q^2 - q^2$$

$$\text{also } dy = \frac{q^2}{Q^2 - q^2} \cdot dz$$

Der veränderlichen Druckhöhe $ac = x$ Differenzial ist also

$$dx = dy + dz = dz \cdot \left(1 + \frac{q^2}{Q^2 - q^2}\right) = dz \cdot \frac{Q^2}{Q^2 - q^2}$$

wofür ich der Kürze wegen schreibe

$$dx = m \cdot dz$$

Nun ist, wenn man die *Dichte* des ausströmenden Gases in Beziehung auf das Wasser = δ setzt, die Geschwindigkeit desselben nach hydrodynamischen Grundsätzen,

$$\text{oder } v = 2 \frac{\sqrt{gx}}{\sqrt{\delta}},$$

wenn g die Fallhöhe in der ersten Secunde bedeutet *).

Eigentlich ist in unserem Falle δ eine veränderliche von der Wasserhöhe x und dem Druck der Atmosphäre abhängige GröÙe. Wenn aber x während der Dauer eines Versuchs sich nicht bedeutend ändert, und über-

*) Ist nämlich die Luft δ mal dichter als Wasser, so würde eine Luftsäule von dieser constanten Dichtigkeit, welche einer Wassersäule von der Höhe x im Druck das Gleichgewicht hielte, die Höhe $\frac{x}{\delta}$ haben müssen. Mit der Endgeschwindigkeit, welche ein Körper erlangt, der diese Druckhöhe von der Ruhe ab durchfällt, $= \sqrt{4g \cdot \frac{x}{\delta}}$ strömt die Luft aus einer engen Oeffnung des Gefäßes in die atmosphärische Luft aus, nach den Grundlehren von der Bewegung der Flüssigkeiten, *Gilb*,

haupt gegen den Druck der Atmosphäre klein ist, so kann man δ als unveränderlich, etwa dem mittlern Werthe von x entsprechend, annehmen. Unter dieser Voraussetzung hat man, wenn man den Querschnitt der Oeffnung $= e^2$ setzt,

$$v e^2 dt = - q^2 \cdot dz = - q^2 \frac{dx}{m}$$

Und setzen wir hier für v seinen Werth, so ist

$$dt = \frac{-q^2}{2e^2 m} \sqrt{\frac{\delta}{g}} \cdot \frac{dx}{\sqrt{x}}, \text{ und also}$$

$$t = \frac{-q^2}{e^2 m} \sqrt{\frac{\delta x}{g}} + \text{Const.}$$

Ist nun beim Anfang des Ausströmens des Gas die veränderliche Druckhöhe $= H$, am Ende desselben $= h$, so hat man für die Zeit in Secunden

$$t = \frac{q^2}{m e^2} \sqrt{\frac{\delta}{g}} (\sqrt{H} - \sqrt{h})$$

2.

Wegen des *Widerstandes* der äusseren Luft sowohl, als wegen des Widerstandes, welchen der Gasstrom beim Durchgang durch die Oeffnung erleidet, muß die *Geschwindigkeit* geringer und die *Zeit* des Ausströmens grösser ausfallen, als sie diese Rechnung giebt. Wir wollen die wirkliche Geschwindigkeit mit v' und die wirkliche Zeit mit t' bezeichnen.

Man kann sich den Widerstand als eine der bewegendenden Kraft entgegenwirkende verzögernde Kraft denken, und da man sich jene als das Gewicht einer Luftsäule von der Höhe $\frac{x}{\delta}$ über der Fläche der Oeffnung als Grundfläche denkt, so ist es gestattet sich diesen über derselben Grundfläche als das Gewicht einer ähm-

lichen Luftsäule vorzustellen; ihre Höhe heiße $= r$. Es läßt sich dann die Geschwindigkeit mit Betrachtung des Widerstandes durch die Gleichung darstellen:

$$v' = 2 \sqrt{g \left(\frac{x}{\delta} - r \right)}$$

Setzet man ferner den Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional, so läßt sich statt r in dieser Gleichung $\frac{ax}{\delta}$ schreiben, wobei das Verhältniß der Dichte des ausströmenden Gases zur atmosphärischen Luft als eine beständige GröÙe betrachtet wird, (sonst ginge dies Verhältniß auch als integrierender Theil in die GröÙe δ ein). Und man erhält

$$v' = 2 \sqrt{g \frac{x}{\delta} (1 - a)}$$

Sieht man a als eine beständige GröÙe an, so kann man den Ausdruck für v' noch kürzer so schreiben

$$v' = A 2 \sqrt{g \frac{x}{\delta}}$$

wo A der *Coefficient des Widerstandes* heißen soll. Die Folge wird zeigen, daß die gemachten Voraussetzungen wenigstens in vielen Fällen durch die Erfahrung bestätigt werden.

Hieraus folgt ferner

$$t' = t : A.$$

Für einerlei Coefficient des Widerstandes verhalten sich die Zeiten des Ausströmens t , das ist abgesehen vom Widerstande, wie t' , das ist wie die, bei denen, man auf den Widerstand Rücksicht nimmt, und wenn der Werth von t' aus der Beobachtung, der Werth

von t durch Rechnung bekannt sind, so ergibt sich aus ihnen der Coefficient des Widerstandes

$$A = \frac{t}{t^1}$$

3.

Die zur mittleren Geschwindigkeit gehörige *Druckhöhe* $= \mathfrak{H}$ zu finden, vermöge welcher sich das Gefäß in derselben Zeit $= t$ um die Höhe $z = \frac{H-h}{m}$ ausleeren würde.

Aus 1) hatten wir gefunden für

$$t = \frac{q^2}{m e^2} \sqrt{\frac{\delta}{g}} (\sqrt{H} - \sqrt{h})$$

Soll sich das Gefäß während derselben Zeit mit gleichbleibender Geschwindigkeit $= c$ um die Höhe $\frac{H-h}{m}$ leeren, so giebt dies für die ausgeströmte *Luftmenge* M die Gleichung

$$M = t c e^2 = \left(\frac{H-h}{m} \right) \cdot q^2 *); \text{ und } c = 2 \sqrt{\frac{g}{\delta}} \cdot \mathfrak{H} **)$$

$$\text{daher } t = \frac{q^2}{e^2} \cdot \left(\frac{H-h}{m} \right) : 2 \sqrt{\frac{g \cdot \mathfrak{H}}{\delta}}.$$

Und verbindet man beide Gleichungen für t mit einander, so erhält man

$$\sqrt{\mathfrak{H}} = \frac{\sqrt{H} + \sqrt{h}}{2}$$

*) Erstere ist die Gasmenge, welche bei der constanten Geschwindigkeit c in der Zeit t durch den Querschnitt e^2 der Oeffnung über dem Hahne durchströmet, letztere die aus dem innern Gefäß herausgetriebene Gasmenge. *Gilb.*

**) Aus dem S. 41 Anm. angegebenen Grunde. *Gilb.*

4.

Ist die Zeit t durch Beobachtung gegeben, so erhält man für die ausgetrömmte Gasmenge

$$M = t e^2 \sqrt{\frac{g}{\delta}} \cdot (\sqrt{H} + \sqrt{h})$$

Hierbei ist auf den Widerstand keine Rücksicht genommen; will man dieses thun, und setzt die unter demselben ausströmende Gasmenge $= M'$, so erhält man nach 2)

$$M' = AM, \text{ also } A = \frac{M'}{M}.$$

5.

Es sey ein prismatisches oder cylindrisches Gefäß gegeben, dessen körperlicher Inhalt $= q^2 \cdot a$ bekannt ist, und in demselben Luft von bekannter Spannung und Dichte enthalten, welche durch eine kleine Oeffnung e^2 ausströme; dabei ändere sich die Dichte der ausströmenden Luft in dem Gefäße nach dem Mariottischen Gesetze. Man sucht eine Gleichung zwischen der *Zeit* des Ausströmens und der *Spannkraft der zurückbleibenden Luft*, vorerst ohne Rücksicht auf den äußeren Widerstand. [Theorie des Knallgas-Gebläses.]

Es drucke b die *Spannkraft* und d die *Dichte* der äußeren Luft, $b + x$ die veränderliche *Spannkraft* der eingeschlossenen Luft, und δ ihre *Dichte* aus. Die Geschwindigkeit der ausströmenden Luft sey $= v$, so erhält man für die in dem Zeitelemente dt ausgetrömmte Luftmenge

$$= v e^2 dt = q^2 dz$$

$$\text{Nun ist } v = 2 \sqrt{g \cdot \frac{x}{\delta}} \quad \text{und} \quad \delta = \left(\frac{b+x}{b} \right) d,$$

daher $v = 2 \sqrt{\frac{g b}{d} \cdot \left(\frac{x}{b+x}\right)}$, und folglich

$$2 e^2 \sqrt{\frac{g b}{d} \cdot \left(\frac{x}{b+x}\right)} \cdot dt = - q^2 dz$$

Nun ist nach dem Mariottischen Gesetze

$$a : a - dz = \delta : \delta - d\delta \quad ;$$

$$\text{also } dz = \frac{a \cdot d\delta}{\delta}, \text{ und } d\delta = \frac{d}{b} \cdot dx, \text{ daher } dz = \frac{a \cdot dx}{b+x}.$$

Sonach findet sich endlich, nach gehöriger Substitution

$$dt = - \frac{q^2 a}{2 e^2} \sqrt{\frac{d}{g b}} \cdot \frac{dx}{\sqrt{x(b+x)}}$$

Es ist aber

$$\int \frac{dx}{\sqrt{x(b+x)}} = \log \text{ nat} \left(\frac{1}{2} b + x + \sqrt{x(b+x)} \right)$$

folglich erhalten wir durch Integriren

$$t = \frac{q^2 a}{2 e^2} \sqrt{\frac{d}{g b}} \cdot \log \text{ nat} \left(\frac{1}{2} b + x + \sqrt{x(b+x)} \right) + C.$$

Schreibt man für x am Anfange des Ausströmens $= H$, am Ende $= h$, so hat man den vollständigen Ausdruck für die Zeit

$$t = \frac{q^2 a}{2 e^2} \sqrt{\frac{d}{g b}} \log \text{ nat} \left\{ \frac{\frac{1}{2} b + H + \sqrt{H(b+H)}}{\frac{1}{2} b + h + \sqrt{h(b+h)}} \right\}$$

Für $q^2 a$ kann man auch den körperlichen Inhalt des Gefäßes $= K$ setzen, und da die Aenderung der Spannkraft und Dichte der Luft von der Form der Gefäße unabhängig sind, so gilt die gefundene Formel für t auch für andere, als cylindrische oder prismatische Gefäße.

Nennt man die Dichte der atmosphärischen Luft $= 1$, den Raum K , worin die Luft verdichtet werden soll, ebenfalls $= 1$, den Raum der Condensationspumpe $= \frac{1}{p}$, und giebt n Stöße, so wird die Verdichtung $= 1 + \frac{n}{p}$ seyn. Da nun $1 : 1 + \frac{n}{p} = b : b + H$, so kann man in der Formel für t im vorstehenden Paragraphen statt b , 1 , und statt H , $\frac{n}{p}$ schreiben. Läßt man die verdichtete Luft so lange ausströmen, bis sie sich mit der außern ins Gleichgewicht gesetzt hat, so ist $h = 0$, und der Ausdruck für die Zeit des Ausströmens geht in folgenden über

$$t = \frac{K}{2 a^2} \sqrt{\frac{d}{g b}} \log \text{nat } 2 \left(\frac{\frac{1}{2} p + n + \sqrt{(n+p) n}}{p} \right)$$

Nimmt man für einerlei Gefäß und Gestalt der Oeffnung den Coefficienten des Widerstandes nach 2) als eine beständige GröÙe an, so hat man für verschiedene Verdichtungen, wozu n und N als Anzahl der Stöße der Condensationspumpe gehören,

$$t : T = \log 2 \left(\frac{\frac{1}{2} p + n + \sqrt{(n+p) n}}{p} \right) : \log 2 \left\{ \frac{\frac{1}{2} p + N + \sqrt{(N+p) N}}{p} \right\}$$

und in dieser Proportion kann man statt der natürlichen auch die gemeinen Logarithmen gebrauchen.

ZWEITER ABSCHNITT.

Prüfung der voranstehenden theoretischen Sätze durch die Erfahrung.

7.

Der Apparat, womit ich meine ersten Versuche über das Ausströmen der Luft aus engen Oeffnungen unter gegebenen Druckhöhen angestellt habe, ist auf Kupfertafel I in Fig. 4 abgebildet. Er bestand aus einer cylindrischen gläsernen Glocke 12 pariser Zolle hoch und 7,075 Zoll im Durchmesser, welche oben mit einer Fassung und einem Hahne aus Messing versehen war, auf den sich Mundstücke von verschiedenen Oeffnungen schrauben ließen. Ich setzte die Glocke in einen 9,7 Zoll weiten und 12,4 Zoll hohen gläsernen Cylinder und drückte in ihr die Luft durch Eingießen von Wasser in den Cylinder zusammen. An die Seitenwand der Glocke war eine in Zollen und Zehnthellen von Zollen eingetheilte Scale angebracht, an welcher ich die Druckhöhen des Wassers und die Menge der ausgefrömten Luft maafs. Jeder Versuch wurde in der Regel 3 oder 4 mal kurz hinter einander wiederholt, und das mittlere Resultat aufgeschrieben. Ich setze bei den ersten Versuchen die einzelnen Beobachtungen vollständig her, damit man den Grad der Genauigkeit beurtheilen könne, der erreicht worden ist.

Der Hahn auf der Fassung der Glocke hatte $2\frac{1}{2}$ Zoll Höhe, die Weite seiner Bohrung betrug 2 Linien. Zu den sieben folgenden Versuchen, welche im Juni 1819 angestellt wurden, bediente ich mich eines *conischen Mundstücks*

von 9,6 Linien Länge, und dessen

Endöffnungen 0,84 Lin. und 0,38 Linien im Durchmesser hatten.

Dieses Mundstück wurde bald so aufgesetzt, daß die Spitze desselben nach außen stand, bald so, daß sie nach innen, das heißt nach dem Gefäße zu, gewendet war.

Es war gekehrt nach <i>außen</i> des conischen Mundstücks	Beobachtung	Wasserstand in Zollen				Zeit des Aus- strö- mens Sec.	
		vor dem Öffnen des Hahns		nach dem Schließsen des Hahns			
		in- nen	au- ßen	in- nen	au- ßen		
<i>Versuch 1</i> 16 Juni	{	1	2	5½	5½	4.8	33½
Barometerst. 27" 7,6"		2	2½	6	3	5,5	28½
Thermometerst. + 15° R.		3	3	6½	3½	5,0	30½
<i>Spitze</i>		4	3½	7	4	6,3	32½
		5	4	7½	4½	6,85	32
mittlere Druckhöhe		3,5		2,37			31,35
<i>Versuch 2</i> 19 Juni	{	1	3	9	4	7,85	44
Barometerst. 27" 7,7"		2	4	10	5	8,85	47
Thermometerst. + 15° R.		3	3	9	4	7,85	47
<i>Spitze</i>		4	4	10	5	8,85	47
		5	3	9	4	7,85	45
		6	4	10	5	8,85	45
mittlere Druckhöhe		6		3,85			45,83
<i>Versuch 3</i> 22 Juni	{	1	2	8	3	7	37
Bar. 27" 8,6"; Thrm. + 15° R.		2	3	9	4	7,9	38
<i>weite Öffnung</i>		3	4	10	5	8,9	37½
mittlere Druckhöhe		6		3,933			37,5
<i>Versuch 4.</i>	{	1	2½	6	3	5,1	26
Barometerst. 27" 8,6"		2	3½	7	4	6,3	27½
Thermometerst. + 15° R.		3	4	7½	4½	6,9	26
<i>weite Öffnung</i>		4	4½	8	5	7,35	26
mittlere Druckhöhe		3,5		2,2875			26,375

Bei den drei folgenden Versuchen setze ich der Kürze wegen bloß die *mittleren Druckhöhen* vor Oeffnung und nach Schließung des Hahns nebst den beobachteten Zeiten im Mittel genommen, her.

Es war gekehrt nach <i>außen</i> des conischen Mund- stücks	Mittlere Druckhöhe in Zollen		Zeit des Ausströ- mens Secunden	ausge- strömte Luft Kub.Zoll
	vor Oeffnen des Hahnes	nach Schließen		
<i>Versuch 5</i>	5,5	4,3	47	39,3
Spitze	4,3	3,1	56	39,3
	3,1	1,9	69	39,3
<i>Versuch 6</i>	5,5	4,3	41,75	39,3
weite Oeffnung	4,3	3,1	50	39,3
	3,1	1,9	59	39,3
<i>Versuch 7</i>	5,5	4,3	40,5	39,3
weite Oeffnung *)	4,3	3,1	50,5	39,3
	3,1	1,9	59,5	39,3

Bei allen drei Versuchen war der Barometerst. 27" 7"',
der Thermometerst. $+ 15^{\circ}$ R.

Aus diesen Beobachtungen, ob sie gleich nur bei sehr kleinen Druckhöhen angestellt worden sind, ergeben sich doch schon sehr bestimmt einige Resultate. Schon eine flüchtige Vergleichung

von Versuch 1 mit 4; Verf. 2 mit 3; und Verf. 5 mit 6 zeigt, daß die Geschwindigkeit des ausströmenden Gases unter übrigens gleichen Umständen sich vermehrte, wenn das weite Ende der conischen Spitze nach *außen* gekehrt war.

Berechnet man nach der in §. 1 entwickelten Formel für t , aus Beobacht. 3 Verf. 5 die Werthe von t in den beiden vorangehenden Beobachtungen, so erhält man

*) und zwischen dem Hahne und der Spitze des conischen Mundstücks war eine $26\frac{1}{2}$ Zoll lange und $\frac{1}{8}$ Zoll weite Glasröhre angebracht.

56,86'' und 49,42'' nach der Berechnung; sie betragen
56,00 47,00 Sekunden nach der Beobachtung.

Dieselbe Rechnung giebt für Versuch 6 die beiden ersten Ausströmungs-Zeiten aus der dritten

48,62 und 42,26 Sekunden; sie waren
50,00'' 41,75'' nach der Beobachtung.

Eben so erhält man aus der letzten Beobachtung von
Verf. 7 für die beiden ersten die Ausströmungs-Zeiten

durch Rechnung 49,04 ; 42,62 Sec.
die Beobachtung gab 50,00 ; 40,5 Sec.

Die Abweichungen liegen innerhalb der Gränzen derjenigen, welche die einzelnen Beobachtungen unter einander selbst zeigten.

Berechnet man endlich nach der §. 4 entwickelten Formel für M , die ausgeströmten *Gasmengen*, und vergleicht sie mit den durch die Versuche gegebenen, M' , so findet sich daraus der *Coefficient des Widerstandes*. Dieses giebt

aus	$M =$	$M' =$	$A =$
Versuch 5	195,1 Kub. Zoll	117,9 Kub. Zoll	0,6042
Versuch 1	32,9	19,65	0,6092
Versuch 2	61,44	39,3	0,6395
Mittel			0,6176

dagegen aus

Versuch 3	159,4	117,9	0,7392
Versuch 4	27,1	19,65	0,724
Versuch 6	171,0	117,9	0,6894
Mittel			0,7175

Die Umkehrung des conischen Mundstückes mit der weiten Oeffnung nach außen gab also im Mittel

eine Vermehrung der Geschwindigkeit von $\frac{1}{2}$, und der Coefficient des Widerstandes stellet sich bei einerlei Beschaffenheit der Oeffnung, wenigstens nahe als eine unveränderliche Gröfse dar.

8.

Um die Gesetze dieser Erscheinungen bei *größeren Druckhöhen*, und unter veränderten Umständen, weiter zu prüfen, ließ ich den folgenden Apparat zu richten, der auf Kupfertafel I in Fig. 5 abgebildet ist.

A, B sind zwei cylindrische Gefäße von starkem gehämmerten weißem Blech, das untere ganz luftdicht verschlossen, das obere oben offen, jedes 10 pariser Zoll im Durchmesser und 12 Zoll hoch.

An dem untern Gefäße befindet sich bei *C* ein Hahn, welcher mit verschiedenen Mundstücken versehen werden kann, und bei *D* eine mit einer Schraube verschlossene Oeffnung, durch welche man das Wasser aus dem untern Gefäße ablassen, auch dasselbe mit einem andern Gas, als atmosphärische Luft auf die bekannte Weise füllen kann. *EF* ist eine 1 Zoll weite Röhre, welche vom Boden des obern Gefäßes luftdicht durch die Decke des untern Gefäßes bis zum Boden desselben reicht. Bei *E* kann die Röhre durch einen gehörig mit Leder umwundenen Stöpsel luftdicht verschlossen werden. *GH* ist eine mit dem Gefäße *B* in Verbindung stehende gläserne Röhre, welche mit einer in Zolle und Zehntheile von Zollen eingetheilten Scale versehen ist, um daran den Wasserstand des obern Gefäßes zu beobachten. *MN, MN* sind Röhren, welche bloß zur Befestigung der beiden Gefäße an einander dienen.

Die Art, wie mit diesem Apparate die Versuche angestellt werden, ist folgende: Nachdem die Oeffnungen *C*, *D*, *E* sämmtlich luftdicht verschlossen sind, füllet man das Gefäß *B* mit Wasser von der Temperatur der umgebenden Luft an, und bemerkt den Stand desselben an der Röhre *G H*. Jetzt wird der Stöpsel *E* mittelst seines Griffes hinweg genommen. Das Wasser stürzt aus dem obern Gefäße mit beschleunigter Bewegung nach dem untern, wodurch in diesem eine plötzliche Luftverdichtung, und nach den Schwingungs-Gesetzen elastischer Körper, Oscillationen entstehen, die anfänglich so stark sind, daß sie die ganze Wassersäule und selbst einzelne Luftblasen nach dem obern Gefäße durch die Röhre *F E* in die Höhe werfen. Es ist daher gut, daß man das obere Gefäß anfänglich nicht ganz fülle, damit durch die Schwankung kein Wasser verloren gehe. Wenn alles zur Ruhe gekommen ist, so mißt man die Senkung des Wasserspiegels im obern Gefäße, und zieht die doppelte Größe derselben von der anfänglichen Höhe des Wasserspiegels über dem Boden des untern Gefäßes ab; dieses giebt *H*, oder die Druckhöhe bei Anfang des Versuchs. Nun öffnet man, den Secundenzeiger in der Hand, den Hahn *c*, und schließet denselben nach Ablauf einer runden Zahl von Secunden. Man beobachtet dann abermals die Senkung des Wasserspiegels im obern Gefäße und zieht ihr Doppeltes von *H* ab; dieses giebt *h* oder die Druckhöhe bei Beendigung des Versuchs. Die einfache Senkung des Wasserspiegels multipliciret in den Querschnitt des Gefäßes giebt die ausgeströmte Gasmenge.

Will man mit einem andern Gas, als atmosphärischer Luft, den Versuch anstellen, so füllet man zuerst das untere Gefäß ganz mit Wasser, indem man das Wasser aus dem oberen Gefäße bei geöffnetem Hahn *c* herabsinken läßt. Ist dieses geschehen, so werden der Hahn *c* und die Oeffnung *E* verschlossen, und der Sicherheit wegen noch etwas Wasser in das obere Gefäß gegossen. Dann bringt man das untere Gefäß mit seinem hohlen Boden auf die pneumatische Wasser-Wanne, öffnet *D* unter dem Wasser, und füllet das Gefäß *A* mit dem Gas; und nun wird auch die Oeffnung *D* wieder unter Wasser verschlossen. Uebrigens verfährt man nach der oben beschriebenen Weise.

Die *Dichte* des eingeschlossenen Gases während der Dauer eines Versuchs, wird aus dem beobachteten Barometerstand + der Höhe $\frac{H + h}{2}$, und dem beobachteten Thermometerstand berechnet. Uebrigens sind die nächstfolgenden Versuche sämmtlich nach der Formel §. 4 in Rechnung gezogen und unter einander verglichen worden.

DRITTER ABSCHNITT.

Einfluss der Oeffnungen auf die ausströmenden Gasmengen.

9.

Um diesen Einfluss gehörig zu bestimmen, ließ ich mir mehrere Mundstücke zum Anschrauben an den Hahn *c* verfertigen, welche theils aus Oeffnungen in sehr dünnen Platten, theils aus kurzen Ansatzröh-

ren von verschiedener Gestalt bestanden. Von den *Oeffnungen in dünnen Platten* hatte nach pariser Maafs

No. 1 ; No. 2 ; No. 3'

0,274 ; 0,42 ; 0,645 Lin. Durchmesser.

Der Frage: wie wurden die Durchmesser solcher kleinen Oeffnungen mit hinlänglicher Schärfe bestimmt? dienet zur Antwort: Ich verfertigte mir feine conische Spitzen von einem zarten weichen Holze, bestrich sie mit einem höchst dünnen Ueberzug von Baumöhl, und drehte nun sanft das Hölzchen einige Mal in der Oeffnung um. Dadurch bildete sich ein metallisch glänzender Ring an der Stelle, wo das Hölzchen mit der Oeffnung in Berührung war. Der Durchmesser dieses Ringes wurde nun gemessen, indem man das Hölzchen in den Brennpunkt eines zusammengesetzten Mikroskops brachte, in dessen Körper an der Stelle, wo der Brennpunkt des hintersten Augenglases hinfällt, ein Branderisches Glasmikrometer eingesetzt war, dessen Abtheilungen Zehntheilen von pariser Linien entsprachen. Die Vergrößerung des Oculars verstattete von diesen Theilen abermals Zehntheile mit dem Auge zu schätzen. Auf diese Art wurde der vergrößerte Durchmesser des Ringes gemessen, welcher durch die Vergrößerungskraft des Mikroskops dividirt, den Durchmesser der Oeffnung gab.

Versuche mit dem Cylinder-Apparat Fig. 5.
Barometerstand 27 Zoll 4,5 Lin; Thermometerst. 16° R.

Versuch 8. Oeffnung in der dünnen Platte
No. 1.

$H = 37,9$ Zoll		Zeit des Ausströmens
$h = 31,7$		$= 4$ Min. 12 Secunden.
$M = 465,7$ Cubikzoll nach der Rechnung		
$M' = 243,35$ Cubikzoll nach der Beobachtung		
$A = 0,5225$		

Versuch 9. Oeffnung in der dünnen Platte No. 2.

$H = 37,6$ Zoll		Zeit des Ausströmens
$h = 31,4$		$= 1$ Min. 49 Secunden.
$M = 460,3$ Cubikzoll nach der Rechnung		
$M' = 243,35$ Cubikzoll nach dem Versuche		
$A = 0,5285$		

Versuch 10. Oeffnung in der dünnen Platte No. 3.

$H = 37,7$ Zoll		Zeit des Ausströmens
$h = 31,02$		$= 51$ Secunden.
$M = 507$ Cubikzoll nach der Rechnung		
$M' = 262$ Cubikzoll nach der Beobachtung		
$A = 0,5172$		

Aus diesen Versuchen ziehen wir die Folge, daß bei Oeffnungen in dünnen Platten die ausströmenden Gasmen gen, bei übrigens gleichen Umständen, den Grö ß en der Oeffnungen proportional sind. Nennt man D den Durchmesser der Oeffnung, so folget aus den Formeln des §. 4, daß D der Grö ß e $\sqrt{\frac{M}{H + \sqrt{h}}}$ proportional ist, wenn die Dichte des ausströmenden Gases unveränderlich ist. Berechnet man hiernach aus dem Durchmesser der kleinsten Oeffnung $= 0,274''$ aus den Versuchen 8, 9 und 10, die Durchmesser der beiden grö ß eren Oeffnungen, so findet man

für No. 2 = 0,4175 ; sollte seyn = 0,42

No. 3 = 0,6343 ; sollte seyn = 0,645

Die Abweichungen liegen innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler.

Die nächstfolgenden Versuche zeigen, daß dies Gesetz auch noch bei ganz kleinen Druckhöhen Statt finde.

Versuche mit dem Glocken-Apparate (Fig. 4)
Barometerft. 27'' 4,5''' ; Thermomst. 16° R., wie zuvor.

$H = 5$, $h = 2,5$ Zolle.

	mit der Oeff- nung	Zeit des Ausströ- mens	M nach der Rechnung Kub. Zoll	M' nach der Beobacht. Kub. Zoll	A
Versuch 11	No. 1	4' 12''	150,6	78,9	0,5238
Versuch 12	No. 2	1 48.	151,7	78,9	0,5202
Versuch 13	No. 3	46	152,3	78,9	0,5179

Berechnet man hieraus, wo alles bis auf die beobachteten Zeiten einerlei war, nach dem verkehrten Verhältnisse der Quadratwurzeln der Zeiten die Durchmesser der Oeffnungen, so findet man, den kleineren Durchmesser zum Grunde gelegt,

für No. 2 = 0,4185 (0,42)

für No. 3 = 0,6428 (0,645)

also eine vollkommene Uebereinstimmung. Vergleicht man die Werthe von A im Versuche 8, 9 und 10 mit denen in Versuch 11, 12 und 13, so finden sich auch hier nur so geringe Unterschiede, daß man annehmen darf, der Coefficient des Widerstandes sey bei verschiedenen Oeffnungen und unter verschiedenen Druck-

höhen eine beständige Gröfse, wie es in §. 2 und §. 4 vorausgesetzt worden ist.

Wir werden aber in der Folge sehen, dafs diese Voraussetzung nur für Oeffnungen in dünnen Platten gültig ist.

VIERTER ABSCHNITT.

Von dem Einflusse, welchen die Gestalt der Mundstücke auf die Mengen der ausströmenden Luft hat.

10.

Um diesen Einfluß näher zu bestimmen, liefs ich mehrere Mundstücke von Messing, alle von gleicher Länge, nämlich von 0,6 Zoll pariser Maafs, und von verschiedenen Oeffnungen verfertigen.

No. 1 sollte *cylindrisch* seyn; es betrug aber der Durchmesser der innern Oeffnung 0,5''' , der äufseren Oeffnung 0,55 Lin.

Die vier andern Mundstücke waren *conisch*, und es betrug

	der kleinere Durchmesser	der gröfsere Durchmesser
des Mundstücks No. 2	0,5''' ;	0,8''' par. Maafs
des Mundstücks No. 3	0,536	1,06
des Mundstücks No. 4	0,536	1,30
des Mundstücks No. 5	0,5634	1,06

Mit diesen Mundstücken und dem Cylinder - Apparat wurden nun folgende Versuche angestellt:

Versuch 14 mit dem cylindrischen Mundstück No. 1, die *weitere* Oeffnung nach ausen gekehrt.

Barometerstand 27 Zoll 9,7 Lin.; Thermometerst. + 14° R.

$H = 38,2$ Zoll		Zeit des Ausströmens
$h = 32,2$		60 Sekunden }
$M = 354$ Cubikzoll nach der Rechnung		
$M' = 235,5$ Cubikzoll nach der Beobachtung		
$A = 0,6651$		

Verfuch 15, mit dem conifchen Mundstück No. 2,
die enge Oeffnung nach außen

Barometerft. 27'' 8,3'''; Thermometerft. + 17° R.

$H = 38,1$ Zoll		Zeit des Ausströmens
$h = 31,48$		$= 60$ Secunden

$M = 360$ Cubikzoll nach der Rechnung

$M' = 259,8$ Cubikzoll nach der Beobachtung

$A = 0,7201 ; 0,7243 ; 0,7387$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{0,7274 \text{ Mittel aus 3 Verf.}}$

Verfuch 16 conifches Mundstück No. 2, die weite
Oeffnung nach außen.

$H = 37,34$ Zoll		Zeit des Ausströmens
$h = 29,86$		$= 60$ Secunden

$M = 354,4$ Cubikzoll nach der Rechnung

$M' = 293,59$ Cubikzoll nach der Beobachtung

$A = 0,8285 ; 0,8502 ; 0,8657$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{0,8481 \text{ im Mittel}}$

Verfuch 17 conifches Mundstück No. 3, die weite
Oeffnung nach außen.

Barometerft. 27 Zoll 10 Lin.; Thermometerft. + 17° R.

$H = 38$ Zoll		Zeit des Ausströmens
$h = 29$		$= 60$ Secunden

$M = 404,5$ Cubikzoll nach der Rechnung

$M' = 353,25$ Cubikzoll nach der Beobachtung

$A = 0,8733$

Verfuch 18 conifches Mundstück No. 3, die enge
Oeffnung nach außen,

Barom. und Thermomft. wie nächst zuvor.

$H = 37,7$ Zoll		Zeit des Ausströmens
$h = 30,68$		$= 60$ Secunden.

$$\begin{aligned} M &= 409 \text{ Cubikzoll nach der Rechnung} \\ M' &= 275,5 \text{ Cubikzoll nach der Beobachtung} \\ A &= 0,6736 \end{aligned}$$

Versuch 19 conisches Mundstück No. 4, die *weite* Oeffnung nach außen

Barometerst. 27 Zoll 9,9 Lin.; Thermomst. + 17° R.

$$\begin{array}{l|l} H = 38 \text{ Zoll} & \text{Zeit des Ausströmens} \\ h = 29 & = 60 \text{ Sekunden} \end{array}$$

$$\begin{aligned} M &= 405 \text{ Cubikzoll nach der Rechnung} \\ M' &= 353,52 \text{ Cubikzoll nach der Beobachtung} \\ A &= 0,8722 ; 0,8699. \text{ Mittel aus 2 Verf. } 0,8710 \end{aligned}$$

Versuch 20 conisches Mundstück No. 4 die *enge* Oeffnung nach außen

Barometerstand und Thermometerstand wie zuvor.

$$\begin{array}{l|l} H = 37,8 \text{ Zoll} & \text{Zeit des Ausströmens} \\ h = 31,0 & = 60 \text{ Sekunden.} \end{array}$$

$$\begin{aligned} M &= 410,8 \text{ Cubikzoll nach der Rechnung} \\ M' &= 266,9 \text{ Cubikzoll nach der Beobachtung} \\ A &= 0,6497 ; 0,6802 ; 0,6992 \end{aligned}$$

0,6764 im Mittel aus 3 Verf.

Versuch 21. Mundstück No. 5, *enge* Oeffnung nach außen;

Barometerst. 27 Zoll 8,1 Lin.; Thermomst. + 15° R.

$$\begin{array}{l|l} H = 38,2 \text{ Zoll} & \text{Zeit des Ausströmens} \\ h = 30,2 & = 60 \text{ Sekunden} \end{array}$$

$$\begin{aligned} M &= 457,2 \text{ Cubikzoll nach der Rechnung} \\ M' &= 314 \text{ Cubikzoll nach der Beobachtung} \\ A &= 0,6867 \end{aligned}$$

Aus diesen Beobachtungen lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

Die aus kurzen Ansatzröhrchen bestehenden

Mundstücke vermehren die ausströmenden Gasmen-
gen, gegen die aus Oeffnungen in dünnen Platten strö-
menden, im Verhältniß von 52 : 60 bis 66, wenn die
Mundstücke eine *cylindrische* Gestalt haben; dagegen
in dem Verhältniße von 52 : 70, wenn die Mundstü-
cke *conisch* sind und die *enge* Oeffnung nach außen
gekehrt ist; und endlich in dem Verhältniß von 52 :
86, wenn die *weite* Oeffnung der conischen Mund-
stücke nach *außen* gekehret ist. Uebrigens ist die Ver-
mehrung der Geschwindigkeit des ausströmenden Ga-
ses in conisch sich erweiternden Mundstücken eine,
theils von dem Verhältniße des conischen Mundstük-
kes, theils von der Druckhöhe des ausströmenden Ga-
ses abhängige Gröfse, wie dieses die folgenden Beob-
achtungen weiter bestätigen.

11.

Ich wählte zu den folgenden Versuchen *cylindri-
sche Glasröhren*, an welche *conische Spitzen* gezogen
waren. Durch Abschneiden der Glasröhre an dem
weiteren Ende konnte bei unverändertem Durchmef-
ser der engen Oeffnung das Verhältniß des Mund-
stücks verändert werden.

Versuch 22, mit einer 1,5 Zoll langen Glasröhre,
deren *conische Spitze* 0,3 Zoll lang war, und an der
engen Oeffnung 0,385, an der weiteren 0,69 Linien
im Durchmesser hatte, die enge Oeffnung nach *innen*
gewendet.

Barometerft. 27 Zoll 9 Lin.; Thermomft. + 17° R.

$H = 37,7$ Zoll

$h = 28,66$

Zeit des Ausströmens

$= 90$ Secunden

$M = 312,1$ Cubikzoll nach der Rechnung

$M' = 354,8$ Cubikzoll nach der Beobachtung

$A = 1,137$; $1,108$. Mittel aus 2 Vers. $1,1225$

Hier tritt also gerade wie bei dem ausströmenden Wasser durch das von Venturi angegebene Mundstück, der merkwürdige Fall ein, daß die beobachtete Ausflußmenge selbst größer war, als die nach der Theorie berechnete. Wir können annehmen, daß dieser Fall eintrete, wenn der Durchmesser der engen Oeffnung sich zum Durchmesser der weiten wie $1 : 2$, und zur Länge wie $1 : 10$ verhält; denn der folgende Versuch zeigt, daß die cylindrische Verlängerung des gebrauchten Mundstücks nichts zur Vermehrung der Geschwindigkeit beitrug.

Versuch 23. Von dem Mundstück des vorigen Versuchs wurden $0,7$ Zoll abgeschnitten, so daß es nur noch $0,6$ Zoll lang war; übrigens alles wie zuvor.

$H = 37,9$ Zoll		Zeit des Ausströmens
$h = 31,68$		$= 60$ Secunden
$M = 217,7$ Cubikzoll nach der Rechnung		
$M' = 247,27$ Cubikzoll nach der Beobachtung		
$A = 1,136$		

Versuch 24. Das Mundstück des vorigen Versuchs wurde umgewendet, so daß die enge Oeffnung nach *außen* gekehrt war.

Barometerst. 27 Zoll $9,3$ Lin.; Thermomst. $+ 15^{\circ}$ R.

$H = 38,0$ Zoll		Zeit des Ausströmens
$h = 29,7$		$= 120$ Secunden
$M = 420,5$ Cubikzoll nach der Rechnung		
$M' = 325,8$ Cubikzoll nach der Beobachtung		
$A = 0,7748$; $0,7676$, Mittel $0,7712$.		

Versuch 25. Zum Mundstück diente der bei Versuch 23 abgeschnittene *cyindrische* Theil der Röhre, von 0,6 Zoll Länge und von 0,65 und 0,685 Linien Durchmesser der Oeffnungen; alles andere wie im vorigen Versuch.

$H = 38,0$ Zoll		Zeit des Ausströmens
$h = 30,8$		$= 45$ Sekunden
$M = 453,3$ Cubikzoll nach der Rechnung		
$M' = 282,6$ Cubikzoll nach der Beobachtung		
$A = 0,6235 ; 0,6211 ; \text{ im Mittel } 0,6223$		

Versuch 26, mit einem *cyindrischen* gläsernen Mundstück 0,6 Zoll lang, 0,4 Linien im Durchmesser.

Barometerst. 27 Zoll 7,6 Lin.; Thermomst. $+ 15^{\circ}$ R.

$H = 38,1$ Zoll		Zeit des Ausströmens
$h = 30,96$		$= 120$ Sekunden
$M = 455,5$ Cubikzoll nach der Rechnung		
$M' = 280, \frac{1}{4}$ Cubikzoll nach der Beobachtung		
$A = 0,6149$		

Versuch 27 mit dem vorigen Mundstück, nachdem es bis auf 0,5 Zoll verkürzet worden, alles andere wie im vorigen Versuche.

$H = 37,9$ Zoll		Zeit des Ausströmens
$h = 30,0$		$= 120$ Sekunden
$M = 449,7$ Cubikzoll nach der Rechnung		
$M' = 280, \frac{3}{4}$ Cubikzoll nach der Beobachtung		
$A = 0,6232$		

Versuch 28, mit einem *cyindrischen* Glasröhrchen 0,6 Zoll lang, 0,634 Linien im Durchmesser, das Uebrige wie zuvor.

$H = 37,2$ Zoll		Zeit des Ausströmens
$h = 280$		$= 60$ Sekunden

$M = 557,5$ Cubikzoll nach der Rechnung

$M' = 361,1$ Cubikzoll nach der Beobachtung

$A = 0,6478$; $0,6618$; im Mittel $0,6548$

Versuch 29. Dasselbe Mundstück auf $0,5$ Zoll abgekürzt

$H = 38,1$ Zoll

$h = 28,27$

Zeit des Ausströmens

$= 60$ Sekunden

$M = 561,5$ Cubikzoll nach der Rechnung

$M' = 385,8$ Cubikzoll nach der Beobachtung

$A = 0,6870$

Aus den Versuchen 26 bis 29 geht hervor, daß die Beschleunigung des ausströmenden Gases in kurzen cylindrischen Mundstücken bereits den größten Werth erlangt hat, wenn die Länge des Mundstückes nur das 5-fache des Durchmessers beträgt. Eine Verlängerung dieses Mundstückes vermindert schon die Geschwindigkeit. Eben das thut bei Haarröhrchen die Verkleinerung der Durchmesser; es steht aber hier die Verminderung der Geschwindigkeit in einem viel kleineren Verhältnisse, als die Abnahme des Durchmessers, wie sich aus einer Vergleichung von Versuch 26 mit Versuch 28, so wie von Versuch 27 mit Versuch 9 ergibt. Hier stehen die Geschwindigkeiten ungefähr in dem Verhältnisse von $25 : 27$, die Durchmesser in dem Verhältnisse von $2 : 3$.

Im Durchschnitt geben die Versuche mit den cylindrischen Mundstücken von Glas einen Coefficienten des Widerstandes, welcher etwas kleiner als der in Versuch 14 gefundene ist, und man wird sich nicht viel von der Wahrheit entfernen, wenn man diesen Coefficienten für kurze cylindrische Ansatzröhr-

chen, die nur das 5-fache ihres Durchmessers zur Länge haben, = 0,64 nimmt.

12.

Die folgenden Versuche zeigen, wie sich die Vermehrung der Geschwindigkeit durch kurze Ansatzröhrchen unter *geringen* Druckhöhen darstellt.

Versuch 30. Es wurde das *conische* messigne Mundstück No. 2 von 0,5''' und 0,8''' Durchmesser auf den Glockenapparat Fig. 4 geschraubt, die *weite* Oeffnung nach *außen* gekehrt.

Barometerft. 27 Zoll 7,9 Lin.; Thermomft. + 16½° R.

$H = 5$ Zoll		Zeit des Ausströmens
$h = 2,3$		= 58 Secunden
$M = 114,97$ Cubikzoll nach der Rechnung		
$M' = 78,6$ Cubikzoll nach der Beobachtung		
$A = 0,6863$		

Versuch 31, die *weite* Oeffnung des Mundstücks nach *innen* gekehrt, sonst alles wie zuvor.

$H = 4$ Zoll		Zeit des Ausströmens
$h = 1,3$		= 75 Secunden
$M = 124,3$ Cubikzoll nach der Rechnung		
$M' = 78,6$ Cubikzoll nach der Beobachtung		
$A = 0,6319$		

Versuch 32, Glockenapparat, Mundstück No. 4, des Mundstücks Oeffnung von 1,3''' und 0,556''' Durchmesser, die *enge* Oeffnung nach *außen* gekehrt, übrigens wie im Versuche 30.

$H = 4$ Zoll		Zeit des Ausströmens
$h = 1,3$		= 68 Secunden

$$\begin{aligned} M &= 129,6 \text{ Cubikzoll nach der Rechnung} \\ M' &= 78,5 \text{ Cubikzoll nach der Beobachtung} \\ A &= 0,6666 \end{aligned}$$

Versuch 33, das vorige Mundstück, die *weite* Seite nach *aussen* gekehret, übrigens wie zuvor.

$$\begin{array}{l|l} H = 5 \text{ Zoll} & \text{Zeit des Ausströmens} \\ h = 2,3 & = 42 \text{ Sekunden} \\ M = 95,68 \text{ Cubikzoll nach der Rechnung} \\ M' = 78,6 \text{ Cubikzoll nach der Beobachtung} \\ A = 0,8218 \end{array}$$

Versuch 34, Mundstück No. 5, 1,06''' 0,5654''' Durchmesser, die *enge* Oefnung nach *aussen* gekehret.

$$\begin{array}{l|l} H = 4 \text{ Zoll} & \text{Zeit des Ausströmens} \\ h = 1,3 & = 61 \text{ Sekunden} \\ M = 128 \text{ Cubikzoll nach der Rechnung} \\ M' = 78,6 \text{ Cubikzoll nach der Beobachtung} \\ A = 0,6119 \end{array}$$

Versuch 35, Glocken-Apparat, ein *cylindrisches* Röhrchen von Glas 0,6 Zoll lang und 0,634 Linien im Durchmesser;

Barometerst. 27 Zoll 8 Lin.; Thermomst. $+ 15^{\circ}$ R.

$$\begin{array}{l|l} H = 5 \text{ Zoll} & \text{Zeit des Ausströmens} \\ h = 2,3 & = 44 \text{ Sekunden} \\ M = 139,7 \text{ Cubikzoll nach der Rechnung} \\ M' = 78,6 \text{ Cubikzoll nach der Beobachtung} \\ A = 0,5628 \end{array}$$

Versuch 36. Das vorige Mundstück auf 0,3 Zoll verkürzet.

$$\begin{array}{l|l} H = 5 \text{ Zoll} & \text{Zeit des Ausströmens} \\ h = 2,3 & = 46\frac{1}{2} \text{ Sekunden} \end{array}$$

$M = 128,5$ Cubikzoll nach der Rechnung

$M' = 78,6$ Cubikzoll nach der Beobachtung

$A = 0,6115$

Vergleicht man die mit einerlei Mundstücke angestellten Versuche, nämlich

Versuch 30 und 16

31 und 15

32 und 20

33 und 19

Versuch 34 und 21

35 und 28

36 und 29

so ergibt sich, daß bei *geringen* Druckhöhen von wenigen Zollen die Beschleunigung des ausströmenden Gases durch kurze Ansatzröhrchen durchweg geringer ausfiel, als bei einer Druckhöhe von einigen Fußsen. Dagegen hatten wir gefunden, daß beim Ausströmen des Gas durch Oeffnungen in sehr dünnen Platten, die Geschwindigkeit des Luftstromes bey größeren und kleineren Druckhöhen genau in gleichem Verhältnisse zu der zur Druckhöhe gehorigen absoluten Geschwindigkeit stand. Der physische Grund dieser Erscheinung liegt ohne Zweifel darin, daß die Vermehrung der Geschwindigkeit des Gasstroms während des Durchganges durch ein kurzes Ansatzröhrchen nur dann statt finden kann, wenn überhaupt die beschleunigende Kraft eine gewisse Gröfse hat, um nicht ganz oder zum Theil durch den Widerstand der Röhrenwand aufgezehret zu werden. Der Widerstand der Röhrenwand hängt von der Glätte der Röhrenwand und der Adhäsionskraft der Luft gegen dieselbe ab. So fand ich bei einem unter einer Druckhöhe von 3,65 Zoll angestellten Versuche die Geschwindigkeit des Gasstromes im Verhältniß von 56 : 61 vermehret, nachdem das kurze

cylindrische Ansatzröhrchen inwendig geöhlet und nachher wieder abgetrocknet worden war.

FÜNFTER ABSCHNITT.

Von der Verminderung der Geschwindigkeit, welche der Gasstrom bei seinem Durchgang durch längere cylindrische Röhren erleidet.

15.

Um die Gesetze des Widerstandes, welchen längere Röhren dem Gasstrom entgegenstellen, durch Versuche aufzufinden, nahm ich cylindrische Glasröhren von der Weite, wie man sie zur Verfertigung von Thermometern und Barometern braucht. Diese Röhren küttete ich in eine messingne Fassung, um sie an dem Hahne des Cylinder-Gebläses anschrauben zu können, liefs dann zu verschiedenen Malen den Gasstrom unter gleichen Druckhöhen durchblasen, verkürzte aber zwischen jedem Versuche die Länge der Röhre um eine gleiche Gröfse, bis die Röhre zuletzt nur die Länge einer kurzen Ansatzröhre von 1 Zoll hatte. Die aus den einzelnen Versuchen berechneten Werthe des Coefficienten A gaben dann die Abnahmen an Geschwindigkeit bei zunehmender Länge der Röhrenleitung zu erkennen. Ich setze der Kürze wegen bloß die aus den einzelnen Versuchen gefundenen Werthe von A her, um weitere Folgen daraus zu ziehen.

Versuch 37, mit einer Glasröhre von 0,75 Linien im Durchmesser, die allmählig abgekürzt wurde:

	Länge der Röhre		Mittel
1)	37 Zoll	$A = 0,2167$ $= 0,2199$	$\left. \vphantom{\begin{matrix} A = 0,2167 \\ = 0,2199 \end{matrix}} \right\} 0,2183$
2)	28 Zoll	$A = 0,2420$ $= 0,2354$	$\left. \vphantom{\begin{matrix} A = 0,2420 \\ = 0,2354 \end{matrix}} \right\} 0,2386$
3)	19 Zoll	$A = 0,2760$ $= 0,2754$	$\left. \vphantom{\begin{matrix} A = 0,2760 \\ = 0,2754 \end{matrix}} \right\} 0,2757$
4)	10 Zoll	$A = 0,3603$ $= 0,3638$	$\left. \vphantom{\begin{matrix} A = 0,3603 \\ = 0,3638 \end{matrix}} \right\} 0,3620$
5)	1 Zoll	$A = 0,5600$	

Verfuch 38, mit einer Glasröhre von 0,64 Linien im Durchmesser.

	Länge der Röhre		Mittel
1)	21 Zoll	$A = 0,2409$ $= 0,2354$	$\left. \vphantom{\begin{matrix} A = 0,2409 \\ = 0,2354 \end{matrix}} \right\} 0,2380$
2)	17 Zoll	$A = 0,2673$ $= 0,2686$	$\left. \vphantom{\begin{matrix} A = 0,2673 \\ = 0,2686 \end{matrix}} \right\} 0,2680$
3)	13 Zoll	$A = 0,3098$ $= 0,3065$	$\left. \vphantom{\begin{matrix} A = 0,3098 \\ = 0,3065 \end{matrix}} \right\} 0,3082$
4)	9 Zoll	$A = 0,3632$	
5)	5 Zoll	$A = 0,4321$	
6)	1 Zoll	$A = 0,6065$	

Verfuch 39, mit einer Glasröhre von 0,452 Linien Durchmesser.

	Länge der Röhre	
1)	9,6 Zoll	$A = 0,2210$
2)	6,6 Zoll	$A = 0,2782$
3)	3,6 Zoll	$A = 0,3438$
4)	0,6 Zoll	$A = 0,5823$

Versuch 40, mit einer Glasröhre 0,21 Linien im Durchmesser.

	Länge der Röhre	
1)	9,6 Zoll	$A = 0,1670$
2)	6,6 Zoll	$A = 0,1976$
3)	3,6 Zoll	$A = 0,3090$
4)	0,6 Zoll	$A = 0,6041$

Bei Zusammenhalten der Versuche 37 bis 40 erhellet sogleich, daß die Verminderung der Geschwindigkeiten in einem geringeren Verhältnisse als die Längen der Röhrenleitungen zunehmen, und es kann die Betrachtung, daß der Widerstand eine Function der Geschwindigkeit seyn müsse, welche bei zunehmender Länge der Röhrenleitung immer kleiner wird, auf die Vermuthung leiten, die Verminderungen der Geschwindigkeiten mögen den Logarithmen der Längen der Röhrenleitungen proportional seyn. Uebrigens muß der Widerstand der Röhrenleitung auch von dem Durchmesser der Röhre abhängig seyn, und von dem Werth des Coefficienten A , welcher die Geschwindigkeit bestimmt, mit der die Luft durch ein kurzes Ansatzröhrchen von derselben Beschaffenheit, wie die Einmündung der Röhre ist, strömt.

Einige Proben gaben folgendes *Gesetz*, als zu den Versuchen passend an. Es bezeichne A den Coefficienten

ten für ein kurzes Ansatzröhrchen, dessen Länge in Zollen ausgedrückt $= b$ sey; ferner r die Verminderung dieses Coefficienten durch den Widerstand der Röhre; l die Länge der Röhre, durch welche die Luft ausströmt in Zollen, und d den Durchmesser derselben in Linien, alt französisches Maaß; endlich sey α ein Zahlen - Coefficient: so ist

$$r = \alpha \sqrt{\left(\frac{A}{d}\right)} \cdot \log \frac{l}{b}$$

und wenn A' den Coefficienten des Widerstandes für die ganze Länge der Röhrenführung bezeichnet, ist

$$A' = A - \alpha \sqrt{\left(\frac{A}{d}\right)} \cdot \log \frac{l}{b}$$

Um zu prüfen, wie dieser Ausdruck zu den vorstehenden Versuchen passe, berechne man aus dem ersten und letzten Werthe von A eines jeden Versuchs

$$\alpha = \frac{A - A'}{\sqrt{\left(\frac{A}{d}\right)} \cdot \log \frac{l}{b}}$$

und dann die übrigen Werthe von A' . Dieses giebt die folgenden Werthe:

für Versuch 37	für Versuch 38
$\alpha = 0,2522$	$\alpha = 0,2863$
1) $A' = 0,2183$	1) $A' = 0,2380$
2) $A' = 0,2446$	2) $A' = 0,2636$
3) $A' = 0,2813$	3) $A' = 0,2945$
4) $A' = 0,3421$	4) $A' = 0,3405$
5) $A' = 0,56$	5) $A' = 0,4117$
	6) $A' = 0,6065$

für Versuch 39		für Versuch 40	
$\alpha = 0,2641$		$\alpha = 0,2141$	
1)	$A' = 0,2210$	1)	$A' = 0,1670$
2)	$A' = 0,2700$	2)	$A' = 0,2262$
3)	$A' = 0,3488$	3)	$A' = 0,3216$
4)	$A' = 0,5823$	4)	$A' = 0,6041$

In Versuch 40 fällt der Coefficient α bedeutend geringer aus, als in den übrigen. Lassen wir ihn, als zu einem sehr engen Haarröhrchen gehörig, vorerst außer Acht, so weichen die übrigen Werthe von α nicht so sehr von einander ab, daß wir nicht den mittlern Werth von $\alpha = 0,2675$, als eine beständige GröÙe annehmen dürften. Dieses verwandelt unsern Ausdruck von A' in

$$A' = A - 0,2675 \sqrt{\left(\frac{A}{d}\right)} \cdot \log \frac{l}{b}$$

oder wenn man $b = 1$ Zoll setzt, in den einfacheren

$$A' = A - 0,2675 \sqrt{\left(\frac{A}{d}\right)} \cdot \log l$$

Hier entsteht nun die Frage, welcher Werth ist für A zu schreiben? Diese Frage beantworte ich aus den voranstehenden Versuchen dahin: wenn der Durchmesser der *cylindrischen* Röhre unter 1 par. Linie, oder nicht viel darüber beträgt, so nehme man $A = 0,6$; bei weiteren Röhren kann der Werth von A auf 0,66 wachsen; und wenn die Röhre eine *conisch* sich erweiternde Einmündung hat, so kann der Werth von A selbst auf 1,0 und darüber zunehmen, wie bereits aus den vorangeführten Versuchen über kurze Ansatzröhrchen bekannt ist.

Die nächst folgenden Versuche mögen zur weiteren Prüfung des aufgestellten Gesetzes dienen.

Versuch 41. Es wurde eine Glasröhre von 0,83 Linien Durchmesser und 31,8 Zoll Länge genommen, Ein doppelter Versuch gab

$$\left. \begin{array}{l} A' = 0,2482 \\ \quad = 0,2502 \end{array} \right\} \text{Mittel } 0,2492$$

Nachdem die Röhre bis auf einen Zoll abgesehnitten worden war, fand sich $A = 0,599$

Berechnet man A' nach der Formel $0,6 - 0,2675 \sqrt{\frac{0,6}{0,83}} \cdot \log 31,8$, so findet man 0,2577, sehr wenig abweichend von dem Resultat des Versuchs.

Versuch 42. Es wurde eine Glasröhre von 70,5 Zoll Länge und 1 Linie Durchmesser an das Cylindergebläse gebracht. Die Röhre hatte eine doppelte Biegung unter rechten Winkeln, jedoch waren die Biegungen nicht scharfwinklicht, sondern durch Bögen von 90 Graden herumgeführt. Die Einmündungsöffnung der Röhre betrug nur 0,93 Linien, wegen der Zusammenziehung des Glases durch den eingeschnittenen Rand der Öffnung. Ein doppelter Versuch gab bei dieser Röhre

$$\left. \begin{array}{l} A' = 0,1980 \\ \quad = 0,2017 \end{array} \right\}$$

Berechnet man den Werth von A' nach der Formel, so erhält man dafür 0,1952 nahe genug übereinstimmend mit dem Versuche. Wir geben indessen die oben aufgestellte Formel von A' für nichts anderes, als eine den Versuchen angepaßte an.

Wäre das Gesetz allgemein gültig, so würde daraus folgen, daß

bei einem Durchmesser von $\frac{1}{2}$; 1 ; 0,1 Linien
eine Röhrenlänge von 1,60 ; 7,87 ; 8,238 Zollen

alle Geschwindigkeit vernichten würde. Diese Folge ist aber schwerlich in ihrer ganzen Allgemeinheit richtig. Denn wenn auch alle Geschwindigkeit unter einer bestimmten Druckhöhe durch eine gewisse Länge der Röhre vernichtet werden sollte, so wird dies doch gewiß nicht für bedeutend größere Druckhöhen der Fall seyn. Auch haben wir bereits aus den vorstehenden Versuchen gesehen, daß der Zahlenwerth des Coefficienten α veränderlich ist, und besonders für sehr enge Haarröhrchen kleiner ausfällt; und daraus müssen wir schließen, daß die widerstehende Kraft der Röhrenwand nicht genau in dem verkehrten Verhältnisse des Durchmessers, und folglich der Verlust an Geschwindigkeit auch nicht genau der Größe $\sqrt{\frac{1}{d}}$ proportional sey.

Noch will ich folgenden Versuch anführen, welcher den Einfluß der *conischen* Mündungen auf die Geschwindigkeit des Gasstroms auch bei längeren als bloß kurzen Ansatzröhrchen beweist.

Versuch 43. Das in Versuch 22 und 23 gebrauchte Mundstück befand sich, che es auf die Länge von 1,5 und 0,6 Zoll verkürzt worden war, an einer 25,5 Zoll langen Röhre, deren dem Mundstück entgegengesetzte Oeffnung 0,84 Linien betrug. Der Durchmesser der Röhre war, wie wir aus jenen Versuchen wissen, in der Nähe des conischen Mundstückes 0,69

Linien; die ganze Röhre war also *conisch*. Der Versuch über die Geschwindigkeit, womit die Luft durch die ganze Röhre strömte, gab $A' = 0,6985$.

Berechnet man den Widerstand der Röhre nach unserer Formel, und setzet dabei nach Versuch 22 und 23 $A = 1,13$ für die Länge von 1 Zoll, und nimmt für d den mittleren Durchmesser der conischen Röhre $= 0,765$ Linien, so findet man $A' = 0,6739$. Der Versuch gab einen nur wenig größern Werth, der wohl von der conischen Gestalt der Röhre abgeleitet werden kann.

SECHSTER ABSCHNITT.

Prüfung der Gesetze des Ausströmens gasartiger Flüssigkeiten an dem Newman'schen Condensations-Gebläse.

15.

Es lag mir nun daran, die aufgefundenen Bewegungs Gesetze der aus engen Oeffnungen strömenden gasartigen Flüssigkeiten, auch unter stärkeren Verdichtungen zu prüfen, und dazu bot sich mir kein schicklicherer Apparat dar, als das Newman'sche Gasgebläse. Es findet sich zwar bei diesem Instrument kein Condensations-Messer, und der Grad der Verdichtung muß aus der Zahl der Kolbenstöße, dem Raum der Luftpumpe, und dem innern Raume des Windkastens berechnet werden. Dennoch glaube ich, daß die Art, wie die Versuche angestellt worden, keinen Zweifel über die daraus gezogenen Folgen lassen.

Vorerst bitte ich den geneigten Leser auf die §. 5 und 6 entwickelte Theorie dieses Gebläses zurückzusehen.

Um dieselbe durch Versuche zu prüfen nahm ich die gehörigen *Ausmessungen* an dem mir zu Gebote stehenden Exemplar des Newman'schen Condensations-Gebläses vor. Ich fand an demselben den körperlichen Raum des Windkastens = 41 pariser Cubikzolle, den Raum der Condensations-Pumpe = 2,27 Cubikzolle. Nennet man nach §. 5 jenen Raum = 1, so ist dieser = $\frac{1}{18}$, also daß p der, §. 6 gegebenen Formel = 18. Das Hahnstück, woran das kupferne Ausblase-Röhrchen geschraubt ist, bildet ein Röhrchen von 5 Zoll Länge und 0,7 Linien Durchmesser. Das kupferne Ausblase-Röhrchen selbst ist 1,2 Zoll lang, und hat 0,53 Linien im Durchmesser; jedoch beträgt der Durchmesser der Einmündung dieses Röhrchens nur 0,26 Linien, vermuthlich weil durch das Einschrauben des Röhrchens in das messingne Hahnstück sich das Ende so viel zusammen gepresst hat.

Die Art, wie ich die *Versuche* anstellte, war folgende: Ich gab, nachdem ich das Barometer und Thermometer beobachtet hatte, eine bestimmte Anzahl von Stößen mit der Condensations-Pumpe, wartete darauf bis die durch die Verdichtung der Luft erzeugte Temperatur-Erhöhung sich wieder verloren hatte, und öffnete: (den Secundenzeiger in der Hand) den Hahn. In dem Augenblicke, wenn der Gasstrom ausgeblasen hatte, wurde der Zeiger eingehalten und die verfloßene Zeit beobachtet. Das letzte Moment des Blasens genau zu bestimmen hat einige Schwierigkeit, weil man den zuletzt sehr sanft blasenden Luftstrom nicht mehr hören, sondern nur mit der Lippe oder der Zungenspitze fühlen kann. Es wurden daher meh-

rere Versuche kurz hinter einander angestellt, und die mittlern Resultate aufgezeichnet. Das Nachstehende sind solche mittlere Resultate.

		Zahl der Stöße mit der Conden- sations - Pumpe	Zeit, des Ausströmens	
			beobach- tete Secunden	berech- nete Secunden
<i>Versuch 44</i> Barometerft. 27" 8,7''' Thermomft. + 22° R.	No. 1)	5	18,5	18,1
	2)	10	24,5	24,69
	3)	15	29,5	29,5
	4)	20	32	32,9
	5)	25	35½	35,89
	6)	30	36	38,24
<i>Versuch 45</i> Barometerft. 27" 9''' Thermomft. + 24° R.	No. 1)	6	20	18,93
	2)	12	25	25,7
	3)	24	35	34
	4)	36	39½	39½

Die Zahlen der letzten Reihe sind nach der zu Ende des §. 6 angegebenen Proportion berechnet worden, indem man für t eine durch die Beobachtungen gegebene Zeit (bei Versuch 44 No. 3, bei Versuch 45 No. 4) als bekannt zum Grund legte. Die Abweichungen der berechneten Zeiten von den beobachteten, fallen innerhalb der Grenzen der Genauigkeit der Beobachtungen. Es werden sonach die §. 5 und 6 gemachten Voraussetzungen durch die Beobachtungen gerechtfertigt.

Ich berechnete nun auch nach der in §. 6 angegebenen Gleichung für t , und nach den bekannten Dimensionen des Windkastens und des Bläserohres,

die Dauer der Ausströmungs-Zeiten nach der Theorie, ohne Rücksicht auf den Widerstand, und fand so:

aus Versuch 44, No. 3,	$t = 11,89''$
die Beobachtung hatte gegeben	$t' = 29,5''$
also war in diesem Fall der	
Coefficient des Widerstandes	$= \frac{11,89}{29,5} = 0,40$
aus Versuch 44, No. 6,	$t = 13,16''$
die Beobachtung gab	$t' = 36''$
also Coefficient des Widerstandes	$= 0,366$
aus Versuch 45, No. 4,	$t = 16,66''$
die Beobachtung gab	$t' = 39,5''$
also Coefficient des Widerstandes	$= 0,42$

Um den Widerstand, welchen die Form des Ausblase-Rohres hervorbrachte, nach meiner oben angegebenen Formel in Rechnung zu ziehen, betrachte ich das kupferne Ausblase-Röhrchen nebst dem Hahnstück als eine Röhre von 4,2 Zoll Länge und von 0,5 Linien im mittleren Durchmesser. Damit giebt die Formel $A' = 0,6 - 0,2675 \sqrt{\frac{0,6}{0,5}} \cdot \log 4,2 = 0,4174$; ein von dem mittleren Werthe der Beobachtungen sehr wenig abweichendes Resultat. Also zeigt sich die aufgestellte Theorie auch für größere Geschwindigkeiten und Druckhöhen passend.

16.

Prüfung der aufgestellten Bewegungsgesetze elastischer Flüssigkeiten bei andern Gasarten als der atmosphärischen Luft.

Die Frage, ob dieselben Gesetze der Bewegung auch für andere Gasarten als die atmosphärische Luft gelten, bot sich sehr natürlich dar. Ob sie gleich aus

blos theoretischen Gründen bejahend zu beantworten wäre, da die chemische Beschaffenheit der Gasarten nur in so fern auf ihre mechanischen Eigenschaften Einfluß haben kann, als sie die Dichte und Spannkraft ändert; so versäumte ich es doch nicht, einige Versuche besonders zur Beantwortung dieser Frage anzustellen.

Versuch 46. Es wurde *entzündliches Gas* aus Schwefelsäure und Eisenfeile bereitet, und das specifische Gewicht desselben gegen die atmosphärische Luft, bei gleicher Spannkraft und Temperatur, = 0,271 gefunden. Nachdem das Cylinder-Gebläse mit diesem Gase angefüllt worden war, strömten bei einem Stande des Barometers auf 27" 7''' und des Thermometers auf + 8° R., und unter einer Druckhöhe von 30,9 bis 27,86 Zollen, in 30 Secunden durch die Oeffnung in der dünnen Platte No. 2 an Gas 119,3 Kubikzoll aus. Berechnet man mit dem für diese Oeffnung in Versuch 9 gefundenen Coefficienten des Widerstandes und der angegebenen Dichte des Gases, die ausgeströmte Gasmenge, so erhält man 114 Kubikzoll.

Versuch 47. Der vorige Versuch wurde mit *entzündlichem Gas* wiederholt, dessen specif. Gewicht sich zur atmosphärischen Luft wie 0,2594 : 1 verhielt. Man ließ kurz hinter einander unter gleichen Druckhöhen die atmosphärische Luft und das entzündliche Gas durch dieselbe Oeffnung strömen. Die Menge der ausgeströmten atmosphärischen Luft betrug in 60 Secunden 204,1 Kubikzoll, die Menge des entzündlichen Gases in derselben Zeit 400,35 Kubikzoll. Da bei diesen Versuchen alles bis auf die Dichte der beiden Gasarten einerlei war, so müssen der Theorie nach die

ausgeströmten Mengen in dem verkehrten Verhältnisse der Quadratwurzeln aus den Dichten stehen. Dieses giebt $\sqrt{0,2594} : \sqrt{1} = 204,1 : 400,7$, völlig übereinstimmend mit dem Versuche.

Versuch 48. Auf ganz ähnliche Weise wie in Versuch 47, wurde ein vergleichender Versuch mit atmosphärischer Luft und *kohlensaurem Gas* angestellt. Der Versuch gab das Verhältniß der ausgeströmten Gasmenge 47 : 40. Nimmt man das specifische Gewicht des kohlensäuren Gases, das bei dem Versuche nicht unmittelbar bestimmt worden ist, = 1,5 an, so giebt das Verhältniß $\sqrt{1,5} : \sqrt{1} = 47 : 38,4$. Die Abweichung von dem Versuche kann sehr wohl dem Umstande zugeschrieben werden, daß das aus Schwefelsäure und Kreide gewonnene kohlensäure Gas nicht ganz rein war.

Wir sind daher berechtigt auch den Satz, als durch die Beobachtung gerechtfertigt anzusehen, *daß für alle Gasarten einerlei Bewegungs-Gesetze gelten*. Diesem zu Folge müssen die Geschwindigkeiten verschiedener Gasarten bei gleichen Druckhöhen und sonst gleichen Umständen, im verkehrten Verhältnisse der Quadrat - Wurzeln aus den Dichten der Gasarten stehen.

So weit reichen bis jetzt meine über diesen Gegenstand angestellten Versuche. Ob ich gleich gerne eingestehle, daß sie noch weiter hätten geführt und vervollständigt werden können, auch besonders bedauere, durch die eingeschränkte Größe meiner Apparate verhindert worden zu seyn, die Gesetze des Widerstandes bei weitem Röhren-Leitungen zu prüfen;

so schmeichle ich mir demungeachtet hierin unsere physikalischen Kenntnisse weiter geführt, und dem verständigen Techniker Mittel an die Hand gegeben zu haben, um die Einrichtung der Gebläse und Gasleitungen darnach zu vervollkommen. Aus diesem Grunde stelle ich die erhaltenen Resultate nochmals kurz zusammen.

SIEBENTER ABSCHNITT.

R e s u l t a t e.

1) Wenn gasartige Flüssigkeiten von einer bestimmten Spannung, welche man sich als das Gewicht einer Luftsäule von gleicher Dichte mit dem Gas denken kann, durch enge Oeffnungen ausströmen, so folgen sie im Ganzen genommen denselben Gesetzen, als die aus engen Oeffnungen, unter bestimmten Druckhöhen strömenden tropfbaren Flüssigkeiten.

2) Die in bestimmten Zeiten ausströmenden *Gasmengen* stehen im zusammengesetzten Verhältnisse der Geschwindigkeiten und der GröÙe der Oeffnungen.

3) Die *Geschwindigkeiten* sind im Verhältnisse der Quadrat-Wurzeln der Höhen derjenigen Luftsäulen, deren Gewicht bei gleicher Dichte, dem Ueberschusse der Spannkraft der eingeschlossenen Gase über den Druck der Atmosphäre gleich ist. Daher stehen die Geschwindigkeiten bei Gasarten von verschiedener Dichte und gleichen Spannkraften, im verkehrten Verhältnisse der Quadrat-Wurzeln aus den Dichten.

4) Die absolute GröÙe der Geschwindigkeiten hängt von der Form und Beschaffenheit der Oeffnungen ab.

a) Bei engen *Oeffnungen in einer dünnen Platte* beträgt sie 0.52 der Geschwindigkeit, welche ein schwerer Körper durch den Fall von einer Höhe erreichen würde, die der Höhe (H) einer Luftsäule gleich kommt, welche von der Dichte des eingeschlossenen Gases ist, und deren Gewicht den Ueberschuß der Spannkraft des eingeschlossenen Gases über den Druck der Atmosphäre darstellt.

b) Die Geschwindigkeit des ausströmenden Gases wächst im dem Verhältniß von 0.52 : 0.60, wenn man statt der Oeffnung in einer dünnen Platte eine *kurze cylindrische Ansatzröhre* wählet, deren Länge höchstens 1 Zoll pariser Maafs beträgt.

c) Die Geschwindigkeit wächst bei übrigens gleichen Umständen in einem noch größeren Verhältnisse, wenn man statt der kurzen cylindrischen eine *conische Ansatzröhre* wählet, und ändert sich mit der Gestalt der conischen Röhre. Die größte Geschwindigkeit erhält man, wenn das conische Ansatz-Röhrchen sich nach außen erweitert, das Verhältniß seiner Durchmesser $= 1 : 2$ und die Länge des Röhrchens das Fünf- bis Zehn-Fache des kleinen Durchmessers ist. Dann ist die Geschwindigkeit durch den Ausdruck $1,15 \cdot 2 \sqrt{(g.H)}$ gegeben, wo g die Fallhöhe in einer Secunde, und H die Höhe der unter a bezeichneten Luftsäule darstellen.

5) Wenn die Röhre, wodurch das Gas strömet, die Länge von 1 Zoll überschreitet, so fängt der *Widerstand der Röhrenleitung* an die Geschwindigkeit des ausströmenden Gases zu vermindern. Die Gröfse dieser Verminderung ist eine zusammengesetzte Fun-

ction von der Geschwindigkeit, womit das Gas durch ein kurzes Ansatz-Röhrchen von der Gestalt der Einmündung der Röhrenleitung strömen würde, von der Röhrenleitung, und von ihrem Durchmesser.

Nennt man A den Zahlen - Coefficient, welcher zur Geschwindigkeit durch das kurze Ansatzröhrchen gehört, und A' den zur ganzen Röhrenleitung gehörigen Coefficienten, so drückt die Formel

$$A' = A - 0,2675 \sqrt{\frac{A}{d}} \cdot \log \left(\frac{l}{b} \right)$$

den Coefficienten aus, und

$$A' = 2 \sqrt{(g H)}$$

die wirkliche Geschwindigkeit des durch die Röhrenleitung strömenden Gases.

★ ★

Der folgende Aufsatz enthält die Beschreibung eines hydrostatischen Knallgas - Gebläses, welches sich als eine technische Anwendung der vorstehenden Untersuchungen zuerst darbot: