Zweites Kapitel.

Von der Bewegung der Luft in Röhrenleitungen.

§. **454.** Steht mit einem Luftbehälter, in welchem die Luft (durch irgend ein Mittel) beständig in gleicher Spannung erhalten wird, eine cylindrische Röhrenleitung, die in ein conisches Ansatzstück oder in eine Düse ausläuft, in Verbindung, so wird die Luft durch dieses Rohr und die Düsenöffnung in einem continuirlichen Strome ausfliefsen. So wie nun bei einer Wasserleitung, so wird auch hier die Luft durch Adhäsion an den Röhrenwänden einen Widerstand erleiden, welcher wie dort (§. 343) der Länge und dem innern Umfange der Röhre direct, dagegen dem Querschnitte derselben umgekehrt, so wie endlich auch noch dem Quadrate der Geschwindigkeit gerade proportional ist (indem man hier das Glied mit der ersten Potenz der Geschwindigkeit ohne Weiteres auslassen kann, weil sich die Luft immer schneller als das Wasser bewegt).

Ist H die Manometerhöhe am Luftbehälter, h jene eines unmittelbar vor der Ausflufsöffnung und zwar noch vor dem verengten Querschnitte angebrachten und mit dem erstern mit gleicher Flüssigkeit gefüllten Manometers, so wie b die Barometerhöhe der äufsern Luft; so stellt $H - h$ die Widerstandshöhe zur Überwindung der genannten Hindernisse in der Windleitung dar.

Ist ferner L die Länge, D der lichte Durchmesser der Röhrenleitung, d jener der Ausflufsöffnung, v die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft aus dieser verengten Öffnung austritt, v' die mittlere in der Röhre Statt findende Geschwindigkeit und ω jene am Ende der Röhre, unmittelbar vor dem conischen Ansatze; so ist nach der vorigen Bemerkung $H - h = n\frac{L D v'^2}{D^2} = n\frac{L v'^2}{D}$, wobei n ein Erfahrungscoefficient ist.

§. **455.** Da der Druck, folglich auch die Dichte der Luft in der Röhre von der Ein- gegen die Ausmündung hin allmählig abnimmt, so mufs dafür die Geschwindigkeit in demselben Verhältnifs zunehmen, so, dafs wenn man als einfachste Hypothese diese Abnahme der Röhrenlänge proportional setzt, wodurch sonach die Geschwindigkeit der Luft in arithmetischer Progression zunimmt, so findet die mittlere Geschwindigkeit in der halben Röhrenlänge Statt, an welcher Stelle der

Druck durch die Manometerhöhe $\frac{1}{2}(b+H+b+h)=b+\frac{1}{2}(H+h)$ gemessen wird. Da nun die Geschwindigkeit im umgekehrten Verhältnisse mit der Dichte, also auch des Druckes steht, der Druck aber an der Ausflufsöffnung durch $b+h$ gemessen wird, so ist

$u : v' = b + \frac{1}{2}(H+h) : b + h$, und daraus $v' = u\frac{b+h}{b+H'}$,

wenn man Kürze halber $\frac{1}{2}(H+h) = H'$ setzt; oder da α) $u = m\frac{d^2}{D^2}v$ ist, wenn m den dem Ansatzrohre entsprechenden Contractionscoefficienten bezeichnet, auch

$$v' = \frac{m\,d^2}{D^2}\,\frac{b+h}{b+H'}\,v\ .\ .\ .\ (a$$

Da ferner unter übrigens gleichen Umständen v^2 mit h proportional ist, also $v^2 = n'h$ gesetzt werden kann, wenn n' wieder einen constanten Erfahrungscoefficienten bezeichnet; so ist

$$v'^2 = n'm^2\,\frac{d^4}{D^4}\left(\frac{b+h}{b+H'}\right)^2 h$$

und daher die obige Widerstandshöhe, da den gemachten Beobachtungen zufolge der veränderliche Factor $nn'm^2\left(\frac{b+h}{b+H'}\right)^2$ in so enge Grenzen eingeschlossen ist, dafs man dafür ohne Fehler einen constanten Mittelwerth, welchen wir mit k bezeichnen wollen, setzen kann:

$$H - h = k\,L\,\frac{d^4}{D^5}\,h\ .\ .\ .\ (b$$

Anmerkung. Da der Coefficient k ohnehin nur durch die Erfahrung gefunden wird, so kann dabei auch zugleich jener Einflufs mit berücksichtigt werden, welcher aus der Störung, den der Luftstrom bei seinem Eintritte aus dem Behälter in die Röhrenleitung erleidet, hervorgeht, weil man sonst im zweiten Theile dieser letztern Gleichung noch die der Contraction entsprechende Widerstandshöhe $m^2\frac{d^4}{D^4}\left(\frac{1}{m'^2} - 1\right)h$, wo m' den neuen Contractionscoefficienten bezeichnet, hinzufügen müfste.

Auch sollte streng genommen das am Ende der Röhrenleitung angenommene Manometer an einem Behälter angebracht seyn, in welchem das cylindrische Rohr einmündet, und aus welchem dann erst die Luft durch das conische Ansatzrohr ausströmt, während doch in der Anwendung dieses Manometer auf die Röhre selbst unmittelbar vor dem Ansatzstücke angebracht wird; dieses Manometer zeigt daher nicht die obige in Rechnung gebrachte Höhe h, sondern die etwas kleinere $h - h'$, wo $h' = m^2\frac{d^4}{D^4}h$ die der unmittelbar unter dem Manometer Statt findenden Geschwindigkeit des Luftstromes zugehörige Höhe ist. (Denn da diese Geschwindigkeit

$= u$ ist, so ist $h' = \frac{u^2}{2g}$, und wenn δ die Dichte der Luft, Δ jene der manometrischen Flüssigkeit bezeichnet, so ist diese Höhe in einer eben solchen Flüssigkeitssäule ausgedrückt:

$$h' = \frac{u^2}{2g}\frac{\delta}{\Delta} = \frac{v^2}{2g}m^2\frac{d^4}{D^4}\frac{\delta}{\Delta} = m^2\frac{d^4}{D^4}h,$$

(wegen der obigen Gleichung α) und weil $v = \sqrt{2gh\frac{\Delta}{\delta}}$ ist.) Da aber d nicht leicht über $\frac{1}{2}D$ genommen wird, so ist dieser Unterschied so gering, dafs man ohne Weiters h statt $h - h'$ nehmen kann, und zwar um so mehr, als bei der Bestimmung des Erfahrungscoefficienten k dieser Einflufs ebenfalls (wenigstens zum Theile) mit berücksichtigt wird.

§. 456. Da man aus sehr vielen Versuchen (besonders den *Aubuisson*'schen) den erwähnten Coefficienten $k = \cdot 0238$ gefunden hat, so wird aus der obigen Gleichung b) die Widerstandshöhe

$$H - h = \cdot 0238\, L\frac{d^4}{D^5}h \ldots (f$$

und daraus

$$h = \frac{H}{1 + \cdot 0238\frac{L d^4}{D^5}} = \frac{42\, H D^5}{L d^4 + 42\, D^5}.$$

Setzt man diesen Werth für h in die Formel 1) des §. 449, in welcher h dieselbe Bedeutung wie hier hat (wenn man nämlich auch hier ein Quecksilbermanometer voraussetzt), so erhält man für die Geschwindigkeit der ausströmenden Luft, wenn man bemerkt, dafs man den dort vorkommenden Contractionscoefficienten $m = 1$ setzen kann, indem auch dieser schon in dem Coefficienten 42 des vorigen Ausdruckes mit enthalten ist, sofort

$$v = 8101\sqrt{\frac{T}{b+h}}\sqrt{\left[\frac{H D^5}{L d^4 + 42\, D^5}\right]},$$

und daher für die per Secunde ausfliefsende Luftmenge ($M = av = \frac{1}{4}d^2\pi v$):

$$M = 6362\sqrt{\frac{T}{b+h}}\sqrt{\left\{\frac{H D^5}{L + 42\frac{D^5}{d^4}}\right\}} \ldots (1$$

Dabei bezieht sich diese Luftmenge auf den Druck (einer Quecksilbersäule von der Höhe) $b + h$; soll dieser auf einen andern Druck b' reducirt werden, so findet man die diesem Drucke entsprechende Luftmenge $M' = M\frac{b+h}{b'}$. Will man die Ausflufsmenge in Pfunden ausgedrückt haben, so mufs man den in (1 gefundenen Werth von M noch mit $\cdot 03042 \frac{b+h}{T}$ multipliciren.

Streng genommen ist der Factor $\frac{T}{b+h}$ veränderlich, und es sollte dabei h ebenfalls aus der obigen Formel erst berechnet werden; da jedoch für die gewöhnlich vorkommenden Fälle dieser Factor nur zwischen ·405 und ·443 variirt, so kann man dafür den Mittelwerth ·424 annehmen, und sonach für die am meisten vorkommenden Fälle genau genug:

$$M = 4142\cdot 6 \sqrt{\left\{\frac{H D^5}{L + 42 \frac{D^5}{d^4}}\right\}} \ldots (1'$$

setzen.

§. **457.** Läuft die Windleitung, ohne mit einem verengten Ansatzrohr versehen zu seyn, frei aus, so darf man in der vorigen Formel nur $d = D$ setzen, und nach den Versuchen von *Girard* den obigen Coefficienten 6362 nur mit ·989 multipliciren, wodurch man erhält:

$$M = 6292 \sqrt{\frac{T}{b+h}} \sqrt{\left[\frac{H D^5}{L + 42 D}\right]} \ldots (2$$

oder bei dem vorhin erwähnten Werthe von $\sqrt{\frac{T}{b+h}} = \cdot 424$ für sehr viele Fälle genau genug:

$$M = 4097 \sqrt{\left[\frac{H D^5}{L + 42 D}\right]} \ldots (2'$$

Vergleicht man bei einerlei Druck, Länge und Durchmesser der Röhrenleitung die in derselben Zeit ausfliefsende Luft- und Wassermenge; so hat man nach §. 345, Formel 6) für die per Secunde ausfliefsende Wassermenge, wenn H' die drückende Wassersäule ist:

$$m = 36\cdot 86 \sqrt{\left[\frac{H' D^5}{L + 35\cdot 5 D}\right]},$$

oder wenn man H' auf eine Quecksilbersäule H reducirt, wodurch $H' = 13\cdot 597 H$ wird, so ist auch:

$$m = 135\cdot 6 \sqrt{\left[\frac{H D^5}{L + 35\cdot 5 D}\right]},$$

folglich, da bei langen Leitungen $L + 42 D$ und $L + 35\cdot 5 D$ als gleichgeltend angenommen werden kann:

$$M : m = 6292 \sqrt{\frac{T}{b+h}} : 135\cdot 6,$$

oder wenn man als mittlere Werthe $T = 1\cdot 05$ und $b + h = 2\cdot 45$ setzt:

$$M : m = 4119 : 135\cdot 6 = 30\cdot 4 : 1,$$

d. h. unter übrigens gleichen Umständen und einerlei Druck gibt eine Röhrenleitung nahe $30\frac{1}{2}$ Mal so viel Luft als Wasser.

§. **458.** Für irgend ein anderes Gas, dessen specifisches Gewicht gegen jenes der atmosphärischen Luft $= u$ ist, erhält man wieder die Ausflufsmenge M'' aus der Formel $M'' = \frac{M}{\sqrt{u}}$, wobei M die Ausflufsmenge für die atmosphärische Luft bezeichnet, und sofort aus der vorigen Gleichung 1) oder 2) zu finden ist.

Man vermeidet auch hier, wie bei Wasserleitungen, plötzliche und starke Biegungen, indem diese den Widerstand bedeutend vermehren. Nach *Aubuisson* wächst dieser im quadratischen Verhältnisse der Geschwindigkeit und des Sinus des Neigungswinkels. Eben so erzeugen auch Zusammenziehungen oder Verengungen im Rohre einen ganz ähnlichen Widerstand wie beim Wasser.

Beispiele. 1. Aus einem mit Leuchtgas gefüllten Gasometer strömt durch eine 400 Fufs lange und $^3/_5$ Zoll im lichten Durchmesser haltende Röhrenleitung das Gas mit einem Drucke aus, welcher nicht mehr als 1·284 Zoll Wassersäule beträgt; es soll nun die per Minute ausfliefsende Gasmenge bestimmt werden, wenn das specifische Gewicht des Gases $= \cdot 559$ ist, der Barometerstand 2·38 Fufs und die Temperatur 19° C. beträgt.

Setzt man in der obigen Formel 2), §. 457, $D = \cdot 05$, $L = 400$, H (welche Höhe auf eine Quecksilbersäule reducirt werden mufs) $= \frac{\cdot 107}{13 \cdot 59} = \cdot 008$, $b = 2 \cdot 38$ und h (welche Gröfse man hier ohne Fehler $= H$ setzen kann) $= \cdot 008$, $t = 19$, also $T = 1 + \cdot 004\, t = 1 \cdot 076$; so erhält man für atmosphärische Luft per Secunde $M = \cdot 01053$, daher für das hier angenommene Leuchtgas $M' = \frac{M}{\sqrt{u}} = \frac{\cdot 01053}{\sqrt{\cdot 559}} = \cdot 014$ oder per Minute ·84 Kubikfufs.

Nach den Beobachtungen war die wirklich ausgeflossene Gasmenge ungefähr um $^1/_{20}$ geringer als die berechnete.

Benützt man die obige einfachere Formel 2′), so findet man $M' = \cdot 01366$, also per Minute nahe ·82 Kubikfufs.

2. Mit einem Gebläse, bei welchem das Quecksilbermanometer 2·1 Zoll Druck anzeigt, steht eine 172 Klafter lange, $4^1/_2$ Zoll im lichten Durchmesser haltende Windleitung in Verbindung; wie grofs mufs die am Ende dieser Leitung anzubringende Düsenöffnung seyn, damit per Secunde $3^1/_2$ Kubikfufs Luft ausströme, wenn der mittlere Barometerstand des betreffenden Ortes zu 27·6 Zoll und die mittlere Temperatur zu 8° R. angenommen werden kann?

Bestimmt man aus der obigen Gleichung 1) d^4, so wird, wenn man Kürze halber $\frac{T}{b+h} = A$ setzt:

$$d^4 = \frac{42\, M^2\, D^5}{(6362)^2\, A\, H\, D^5 - L\, M^2}.$$

Setzt man jetzt in diesen Ausdruck $L = 1032$, $M = 3 \cdot 5$, $D = \cdot 375$,

$H = {}^{\cdot}175$, $b = 2{\cdot}3$ und hypothetisch $h = {}^{\cdot}1$, wodurch $b + h = 2{\cdot}4$ wird, ferner $t = 10$ (indem 8^0 R $= 10^0$ C.), also $T = 1{\cdot}04$; so findet man $A = {}^{\cdot}433333$, $d^4 = {}^{\cdot}0003779$, also, wenn man die vierte Wurzel auszieht, $d = {}^{\cdot}1394$ F. $= 1{\cdot}673$ Zoll.

Es würde übrigens so gut wie keinen Unterschied gemacht haben, wenn man anstatt des vorigen genauen Werthes von A den im §. 456 angegebenen genäherten Werth von ·424 gesetzt hätte.

Drittes Kapitel.

Von den Gebläsen.

§. 459. Erklärung. Unter Gebläsen versteht man jene Apparate oder Maschinen, mittelst welchen die atmosphärische Luft unter einem bestimmten Drucke und mit einer gewissen Geschwindigkeit in einem beständigen Windstrome in das Feuer einer Schmiedesse, eines Frischfeuers, Cupolofens, Hochofens u. s. w. geleitet oder geblasen wird.

Von den mehr oder weniger im Gebrauche befindlichen Gebläsen können die nachstehenden angeführt werden.

1. Die großen ledernen Blasbälge, welche jedoch, um einen nur einigermaßen gleichförmigen Windstrom zu geben, wenn nicht dreifach, doch wenigstens doppelt seyn müssen. In Fig. 274 ist ein dreifacher dargestellt, wobei durch die zwischen den beiden festen Scheidewänden ab, ef liegende bewegliche Scheidewand cd (an welcher zugleich die bewegende Kraft wirkt) die beiden Abtheilungen A und B, so wie durch ef und den beweglichen Deckel gh der Windraum oder eine Art Regulator gebildet werden. Von den angezeigten 4 Klapenventilen stellt jenes m die Communication zwischen der äußern Luft und der Abtheilung A, jenes i die Verbindung zwischen den Abtheilungen A und B, jenes n die Communication zwischen B und C, so wie endlich das Ventil o, da dessen Öffnung noch mit einem durch die mittlere Abtheilung B führenden Schlauche versehen ist, die Communication zwischen den Abtheilungen A und C her.

   Beim Hinaufziehen der um ein Scharnier c drehbaren Scheidewand cd öffnen sich die Klappen m und n, indem sich der Raum A mit Luft füllt, während die in B befindliche Luft in den Regulator C überströmt; dabei sind die beiden übrigen Ventile i und o geschlossen. Beim Herabgehen dieser Wand cd dagegen schließen sich die Klappen oder Ventile m und n, während sich jetzt die beiden andern i und o öffnen, indem die Luft aus der Abtheilung A zum Theil in jene B und den Regulator C tritt; ist dabei der Deckel gh mit Gewichten beschwert, so wird die Luft aus dem letztern beständig, und zwar durch die Düse l ausgeblasen.