Setzt man in der letzten Formel (4) $t = 20$, $b = 27{\cdot}2$, $h = 3{\cdot}1$, $L = 320$, $D = \frac{1}{3}$, $d = \frac{1}{6}$, $\alpha = {\cdot}00366$, $\varepsilon_1 = {\cdot}5$ und (wie oben bemerkt) $\varepsilon_2 = {\cdot}384$; so erhält man nach gehöriger Substitution und Reduction die Ausflussgeschwindigkeit:

$$c = 1900{\cdot}5 \sqrt{\frac{1{\cdot}0732 \; logv. \frac{30{\cdot}3}{27{\cdot}2}}{2{\cdot}91525}} = 249{\cdot}65 \text{ Fuss.}$$

Ferner ist die theoretische Ausflussmenge unter dem i n n e r n Druck:

$$V = \tfrac{1}{4} d^2 \pi \, . \, c = 5{\cdot}45 \text{ Kubikfuss,}$$

dagegen unter dem ä u s s e r n Druck:

$$V = 5{\cdot}45 \left(1 + \frac{3{\cdot}1}{27{\cdot}2}\right) = 6{\cdot}07 \text{ Kubikfuss.}$$

Hochofengebläse.

(§. 487.)

333. Zur Bestimmung der Arbeits- oder Wirkungsgrösse, welche bei einem Cylindergebläse erforderlich ist, um die in den Gebläscylinder von Aussen eintretende Luft in den Regulator zu drücken, der bereits mit einer höher gespannten Luft gefüllt ist, sei p die Spannung der äussern, p' jene der im Regulator enthaltenen Luft, F die Grösse der Kolbenfläche, s der ganze Kolbenlauf und s' jener Theil davon, welchen der Kolben zurücklegen muss, bis die im Cylinder befindliche Luft von der Spannung p auf die höhere p' zusammengedrückt ist, und von welchem Momente an erst diese comprimirte Luft in den Regulator hineingepresst wird. Dies vorausgesetzt, hat man zuerst für die zur Comprimirung der Luft nöthige Arbeit, wenn man dabei die Temperatur als c o n s t a n t voraussetzt, nach Relat. (9') in Nr. **312**, in welcher $p_2 = p$, $v_2 = Fs$ und $v_1 = F(s - s')$ zu setzen ist, und wegen (nach dem M a r i o t t e'schen Gesetz) $p'(s - s') = ps$, sofort: $w_1 = Fsp \; logn. \left(\frac{p'}{p}\right)$.

Ferner ist die Arbeit, um die auf p' comprimirte Luft während des Kolbenganges $s - s'$ in den Regulator zu drücken, offenbar: $w_2 = Fp'(s - s') = Fps$.

Endlich drückt die Atmosphäre auf die Gegenseite des Kolbens mit der Kraft Fp und verrichtet während des ganzen

Kolbenganges die Gegenarbeit $w_3 = Fps$. Es ist daher die gesuchte Arbeitsgrösse, um das Luftvolumen $Fs = V$ in den Regulator zu pressen, oder was dasselbe, von der Spannung p auf jene p' zu comprimiren, sofort $W = w_1 + w_2 - w_3$, d. i. wenn man für w_1, w_2, w_3 die Werthe setzt und reducirt:

$$W = Fsp\ logn.\left(\frac{p'}{p}\right) = Vp\ logn.\left(\frac{p'}{p}\right) \ldots (1).$$

Ist b der äussere Barometer-, so wie h der Manometerstand (in Quecksilbersäulen) am Regulator, folglich $\frac{p'}{p} = \frac{b+h}{b}$, so ist auch: $W = Vp\ logn.\left(\frac{b+h}{b}\right) = 2{\cdot}3026\, Vp\ logv.\left(\frac{b+h}{b}\right) \ldots (2)$.

Anmerkung. So wie diese Formel die Arbeit ausdrückt, welche (ohne Rücksicht auf die Nebenhindernisse) erforderlich ist, um das Luftvolumen V in den Regulator zu pressen, oder von der niederen Spannung p auf die höhere p' zu bringen; eben so gibt auch dieselbe Formel (2) die nöthige Arbeitsgrösse, wenn man umgekehrt durch ein gleiches Kolbenspiel die im Regulator enthaltene Luft von einer Spannung p', die geringer als die äussere p ist, in die Atmosphäre schaffen will; man darf dazu in der genannten Formel nur $b - h$ statt $b + h$ setzen, d. i. h negativ nehmen (indem jetzt, immer Quecksilber als Sperrflüssigkeit vorausgesetzt, sowohl die dem Drucke p' im Regulator entsprechende Barometersäule b' als auch noch die, gleichsam angesogene, Manometersäule h von der äussern Barometersäule b getragen wird, oder $b = b' + h$, d. i. $b' = b - h$ und daher $\frac{p'}{p} = \frac{b-h}{b}$ ist). Man hat nämlich in diesem Falle zur Herausschaffung des Luftvolumens $V = Fs$ aus dem Regulator in die Atmosphäre als nöthige Arbeit:

$$W = Vp'\ logn.\left(\frac{b-h}{b}\right) \ldots (3).$$

334. Die in der vorigen Nummer abgeleiteten Formeln gewähren für den practischen Gebrauch nur dann die nöthige Genauigkeit, wenn der ihrer Entwicklung zu Grunde liegenden Voraussetzung gemäss bei der Dichtigkeitsveränderung der Luft (Comprimirung oder Ausdehnung) die Wärme möglichst constant erhalten wird; wenn also die Differenz $p' - p$ nicht sehr gross, etwa noch unter $\frac{1}{20}p$ ist, und die Kolbenbewegung so langsam Statt findet, dass die Wärme, welche beim Comprimiren frei, bei der Ausdehnung gebunden wird, Zeit hat, sich mit jener der äussern Luft ins Gleichgewicht zu setzen.

Kann man dies nicht voraussetzen, so muss man dem Einflusse der Wärme auf die Dichtigkeitsänderung der Luft Rechnung tragen und die Grundformeln in Nr. **313**, nämlich jene (15) für das Ausdehnen und jene (15') für das Comprimiren der Luft anwenden.

So erhält man für die obige Aufgabe, das Luftvolumen $V = Fs$ von der Spannung p in den mit Luft von der höhern Spannung p' gefüllten Regulator mit Rücksicht auf die Temperaturveränderungen zu pressen, zuerst nach der erwähnten Relation (15') als Arbeitsgrösse, um die Luft, während der Kolben den Weg s' zurücklegt, von p auf p' zu comprimiren, wenn man wieder, wie oben, $p_2 = p$, $v_1 = F(s - s')$ und nach dem Mariotte'schen Gesetze $p'(s - s') = ps$ setzt, sofort:

$$w_1 = \frac{1}{\varkappa - 1} Fsp \left[\left(\frac{p}{p'}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}} - 1 \right].$$

Für die weitere Arbeit, die so comprimirte Luft während des Kolbenweges $s - s'$ in den Regulator zu drücken, hat man $w_2 = Fp'(s - s') = p'v_1$, oder wegen $p_2 = p_1 \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\varkappa} = p_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}} \frac{v_1}{v_2}$ (Nr. **313**, Relation (10) und (12')), d. i. $p = p' \frac{v_1}{v_2} \left(\frac{p}{p'}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}$ oder $p' = p \frac{v_2}{v_1} \left(\frac{p'}{p}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}$, sofort, wegen $v_2 = Fs$:

$$w_2 = p'v_1 = pFs \left(\frac{p'}{p}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}.$$

Endlich drückt wieder die Atmosphäre mit der Kraft Fp auf den Kolben und verrichtet die Arbeit $w_3 = Fps$, so, dass wieder wie oben die gesuchte Arbeit durch $W = w_1 + w_2 - w_3$, oder wenn man für w_1, w_2, w_3 die gefundenen Werthe setzt und gehörig reducirt, durch die Formel:

$$W = Vp \frac{\varkappa}{\varkappa - 1} \left[\left(\frac{p'}{p}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}} - 1 \right] \ldots (4)$$

ausgedrückt wird, wenn man wieder das Volumen $Fs = V$ setzt.

Es mag hier wiederholt werden, dass die Grösse $\varkappa = \frac{c}{c_1}$ das Verhältniss zwischen der specifischen Wärme c mit Ausdehnung zu jener c_1 ohne Ausdehnung bezeichnet, und für atmosphärische Luft bis auf Weiteres (Nr. **302**) $\varkappa = 1{\cdot}41$ gesetzt werden kann.

Anmerkung. Wird umgekehrt das Luftvolumen V' von der Spannung p' durch plötzliche Ausdehnung auf die geringere Spannung p zurückgeführt, so erhält man genau eben so (wobei jetzt statt der Relation (15') jene (15) in Nr. **313** anzuwenden ist) für die Arbeit, welche dasselbe verrichtet, den Ausdruck:

$$W' = V'p' \frac{\varkappa}{\varkappa - 1}\left[1 - \left(\frac{p}{p'}\right)^{\frac{\varkappa - 1}{\varkappa}}\right] \ldots (5).$$

Ist nun $V = Fs$ und $V' = F(s - s')$, so ist, wie man sich leicht überzeugt, und in Uebereinstimmung mit dem Clausius'schen Grundsatz (Nr. **303**) $W' = W$.

Wäre die specifische Wärme der Luft mit und ohne Ausdehnung gleich gross, nämlich $\varkappa = \frac{c}{c_1} = 1$, so würde die vorige Formel (4) den Werth von W in der Form $\frac{0}{0}$ geben. Bestimmt man aber den Werth dieser Bruchfunction nach der bekannten Regel mit Hilfe der Differentialrechnung (Comp. §. 685), so findet man ganz einfach für diesen Werth von $\varkappa = 1$:

$$W = Vp \, logn. \left(\frac{p'}{p}\right)$$

übereinstimmend mit dem Ausdrucke (1) in Nr. **333**, zum Beweise, dass dies mit der Annahme, es bleibe die Temperatur während der Ausdehnung oder Zusammendrückung der Luft ungeändert, im Einklange steht.

Für eine incompressible Flüssigkeit, wie z. B. Wasser, wäre in den vorhergehenden Formeln $v_2 = v_1$, mithin, da aus der Relation (10) in Nr. **313** $\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{\varkappa}}$ folgt, $\varkappa = \infty$ zu setzen. Mit diesem letztern Werth folgt aber aus der vorigen Relation (4):

$$W = Vp\left(\frac{p'}{p} - 1\right) = V(p' - p) \ldots (6),$$

wie dies auch sein soll.

Beispiel. Ein Cylindergebläs arbeitet mit zwei doppelt wirkenden Kolben von 4 Fuss Durchmesser, wovon jeder per Minute 10 Spiele mit 4 Fuss Kolbengang macht. Wenn nun dieses Gebläse bei einem äussern Luftdruck von 28 Zoll einen Wind von 33 Zoll Pressung erzeugt, so ist die Frage, wie gross der theoretische Arbeitsaufwand per Secunde ist?

In Folge dieser Bedingungen ist $F = \frac{1}{4}\pi \, . \, 16 = 12{\cdot}566$ Quadratfuss, $s = 4$ Fuss, folglich die per Secunde erzeugte Windmenge:

$$V = Fs = 2 \times 8 \times \tfrac{16}{60} \times 12{\cdot}566 = 33{\cdot}51 \text{ Kubikfuss.}$$

Ferner ist $b = 28$ und $h = 33 - 28 = 5$ Zoll $= \frac{5}{12}$ Fuss, so wie p als Druck der Atmosphäre auf den Quadratfuss gleich dem Gewichte einer Quecksilbersäule von 1 Fuss Querschnitt und $\frac{28}{12}$ Fuss Höhe, d. i. von $\frac{28}{12} = \frac{7}{3}$ Kubikfuss, also $p = \frac{7}{3} \times 13{\cdot}596 \times 56{\cdot}4 = 1789{\cdot}27$ Pfund.

Mit diesen Werthen erhält man aus der obigen Formel (2) der vorhergehenden Nummer:

$$W = 2{\cdot}3026 \times 33{\cdot}51 \times 1789{\cdot}27\ logv.\left(\tfrac{33}{28}\right) = 9851{\cdot}4 \text{ Fusspfund}$$

oder nahe 23 Pferdekräfte.

Führt man dagegen die Rechnung nach der Formel (4) durch und setzt dabei (Nr. **302**) $\varkappa = 1{\cdot}41$, so erhält man:

$$W = 33{\cdot}51 \times 1789{\cdot}27 \times \frac{1{\cdot}41}{{\cdot}41}\left[\left(\frac{33}{28}\right)^{\frac{{\cdot}41}{1{\cdot}41}} - 1\right] = 10089 \text{ Fusspfund}$$

oder nahe $23\frac{1}{2}$ Pferdekräfte.

Betrachtet man endlich die atmosphärische Luft als eine unzusammendrückbare Flüssigkeit (wie z. B. Wasser), rechnet also nach der Formel (6); so wird, wenn man einfacher $\frac{p' - p}{p} = \frac{h}{b}$ setzt:

$$W = 33{\cdot}51 \times 1789{\cdot}27 \times \tfrac{5}{28} = 10707 \text{ Fusspfund}$$

oder nahe 25 Pferdekräfte.

335. Zur Bestimmung des Querschnittes eines Gebläsecylinders oder eines Gebläsekastens muss man berücksichtigen, dass die ausgeblasene Luftmenge immer kleiner als die eingesogene ist. Man nimmt für gewöhnlich an, dass diese bei eisernen Cylindergebläsen $\frac{3}{4}$ und bei hölzernen Kastengebläsen $\frac{3}{5}$ von der eingesaugten Luftmenge beträgt.

Setzt man daher den gesuchten Querschnitt eines Cylinders oder eines Kastens $= A$, das Luftvolumen, welches ein Cylinder oder ein Kasten per 1 Secunde ausblasen soll, auf 0^0 reducirt $= B$, die Temperatur der eingesaugten Luft $= t$, so wie die Geschwindigkeit des Kolbens $= v$; so ist für ein einfach wirkendes Kastengebläse: $\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{5} vA(1 + {\cdot}004\,t)B$, und für ein doppelt wirkendes Cylindergebläse: $\frac{3}{4} vA = (1 + {\cdot}004\,t)B$, folglich ist der Querschnitt für einfach wirkende Kastengebläse:

$$A = 2 \cdot \tfrac{5}{3}(1 + {\cdot}004t)\frac{B}{v}$$

und für doppelt wirkende eiserne Cylindergebläse:

$$A = \tfrac{4}{3}(1 + {\cdot}004t)\frac{B}{v}.$$

Anmerkung. Was die übrigen wesentlichen Dimensionen betrifft, so nimmt man für den Querschnitt der Saugventile bei Kastengebläsen $\frac{1}{15}$ bis $\frac{1}{12}A$ und bei Cylindergebläsen $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{8}A$. Für den Querschnitt der Druckventile kann man $\frac{1}{22}$ bis $\frac{1}{20}A$ nehmen.

Für den Querschnitt der Windleitung nimmt man für kalte Luft $\frac{1}{20}$ von der Summe der Querschnitte sämmtlicher doppelt wirkender Cylinder oder $\frac{1}{10}$ von der Summe der Querschnitte sämmtlicher einfach wirkender Kasten. Für erhitzte Luft muss dieser Querschnitt, wenn T die

Temperatur der erhitzten Luft ist, noch im Verhältniss von 1 zu $(1+\cdot 004\,T)$ vergrössert werden.

Benützt man einen Regulator von unveränderlichem Volumen (§. 488), so soll dieser 40 bis 60 Mal so gross sein als das Luftvolumen, welches derselbe in jeder Secunde aufzunehmen und abzugeben hat. (Ueber die Summe der Querschnitte sämmtlicher Düsenöffnungen findet man u. A. eine Tabelle in Redtenbacher's: „Resultate für den Maschinenbau", S. 309.)

Die Geschwindigkeit des Kolbens beträgt im Durchschnitt bei kleinen hölzernen Kastengebläsen 2·4 bis 3·2 und bei grösseren eisernen Cylindergebläsen 2·8 bis 3·8 Fuss (per Secunde).

Den Kolbenschub nimmt man bei Cylindergebläsen gleich dem Durchmesser des Cylinders und bei Kastengebläsen gleich $\frac{3}{4}$ von der Weite des Kastens.

Was den Luftbedarf eines Hochofens betrifft, so kann man diesen nach dem grössten horizontalen Durchmesser oder Querschnitt des Ofens bestimmen, und zwar beträgt diese Luftmenge im Durchschnitt für jeden Quadratfuss dieses grössten Querschnittes per Minute:

für Holzkohlenöfen 32 bis 40 und
„ Coaksöfen ..... 20 Kubikfuss.

Endlich beträgt die Pressung der Luft in der Windleitung in Quecksilberhöhen ausgedrückt sofort:

für leichte Kohlen aus Tannenholz	$\frac{3}{4}$	bis	1	Zoll,
„ Kohlen aus harzigem Holz	1	„	2	„
„ Kohlen aus hartem Holz	$1\frac{1}{2}$	„	$2\frac{1}{3}$	„
„ leichte Coaks	3	„	5	„
„ dichte Coaks	5	„	7	„

Von der geradlinigen Bewegung geworfener oder fallender Körper in widerstehenden Mitteln.

(§. 492.)

336. Sei der fallende Körper in Beziehung auf eine verticale Achse symmetrisch, so, dass dessen Schwerpunct oder Mittelpunct der Masse in dieser Achse liegt; in diesem Falle wird sowohl die Schwerkraft g in der einen, so wie die Resultirende R aus den partiellen Widerständen auf diesen Körper in der entgegengesetzten Richtung nach dieser Achse wirken.

Ist M die Masse des Körpers, also Mg dessen Gewicht (oder die durch die Schwere erzeugte bewegende Kraft), so ist $Mg - R$ die nach der Richtung der Bewegung wirksame bewegende, folglich (§. 186):