

stattfindet, aus welcher letztern Relation auch noch

$$p' = \frac{M}{M'}(n + p) - n \dots (b)$$

folgt.

Ist nun  $P'$  der Druck des Dampfes im Cylinder, und zwar auf die Flächeneinheit des Kolbens,  $Q$  der von Seite der Last auf dieselbe Fläche entfallende, vom Kolben zu überwindende Widerstand,  $S$  das Volumen Wasser, welches im Kessel unter dem Drucke  $P$  in der Zeiteinheit in Dampf verwandelt wird,  $v$  das relative, folglich  $vS$  das absolute Volumen dieses Dampfes, welcher also in der Zeiteinheit erzeugt wird und die Spannung  $P$  besitzt, und zufolge der vorigen Relation (a) im Cylinder, wo er den im Allgemeinen geringern Druck  $P'$  annimmt, in das Vo-

lumen :

$$\left(\frac{n + P}{n + P'}\right) vS$$

übergeht, ferner  $V$  die mittlere Geschwindigkeit des Kolbens, so wie  $F$  dessen Fläche; so hat man nach den von Pambour zum Grunde gelegten (unangreifbaren) Sätzen, nach welchen sich, sobald in dem Gange der Maschine der Beharrungsstand eingetreten, 1. zwischen dem Dampfdruck auf den Kolben und dem von diesem letztern zu überwindenden Widerstande das dynamische Gleichgewicht bestehen, und 2. die verbrauchte der erzeugten Dampfmenge gleich sein muss, sofort die beiden Grundgleichungen :

$$P' = Q \dots (1) \quad \text{und} \quad FV = \frac{S}{n + P'} \dots (2),$$

aus denen sich noch ganz einfach die drei folgenden ergeben :

$$V = \frac{S}{F(n + Q)} \dots (3), \quad Q = \frac{S}{FV} - n \dots (4) \quad \text{und} \quad S = FV(n + Q) \dots (5).$$

Diese Relationen voraussetzend, können wir jetzt auf die einzelnen Systeme der Dampfmaschinen übergehen.

### Wolf'sche Maschine.

366. Es sei, um sogleich den allgemeinsten Fall zu behandeln, in dem Wolf'schen Systeme, welches in der neuesten Zeit wieder besondere Aufnahme findet,  $P$  der Dampfdruck (auf die Flächeneinheit) im Kessel,  $P'$  der Druck, welchen derselbe beim Eintritt in den kleinen Cylinder  $A$  (Fig. 169) vor der Absperrung annimmt,  $l$  der Kolbenlauf im kleinen,  $L$  jener im grossen

Cylinder  $B$ ,  $a$  der freie (lineare) Raum im erstern,  $A$  jener im grossen Cylinder,  $f$  die Fläche des kleinen,  $F$  jene des grossen Kolbens, so wie endlich  $l'$  der Weg, welchen der kleine Kolben bei offener Communication, d. h. bis zur Absperrung zurücklegt.

Um nun zuerst die Arbeit von Seite der Kraft während eines Ganges des kleinen Kolbens zu finden, so habe dieser bereits den Weg  $x > l'$  zurückgelegt, in welchem Augenblicke der Dampfdruck  $= z$  sein soll, und da man diesen Druck während des Weiterrückens des Kolbens um  $dx$  als constant ansehen kann, so ist die diesem Weg entsprechende Wirkung  $dw = fz dx$ , oder da nach der Relation (b) der vorigen Nr.  $z = \frac{l'+a}{x+a}(n+P') - n$  ist, auch:

$$dw = f(l'+a)(n+P') \frac{dx}{x+a} - fn dx.$$

Dieser Ausdruck von  $x = l'$  bis  $x = l$  integrirt, gibt zuerst die während der Expansion des Dampfes ausgeübte Wirkung oder Arbeit, und zwar wird

$$w = f(l'+a)(n+P') \log n. \left( \frac{l'+a}{l'+a} \right) - nf(l-l').$$

Da ferner  $w' = fP'l'$  die Arbeit des Kolbens vor der Absperrung ausdrückt, so hat man für die Arbeit während eines Laufes des kleinen Kolbens  $W_1 = w + w'$ , oder wenn man substituirt und reducirt:

$$W_1 = f(l'+a)(n+P') \left[ \frac{l'}{l'+a} + \log n. \frac{l'+a}{l'+a} \right] - nfl \dots (c).$$

**367.** Um ferner die Arbeitsgrösse des grossen Kolbens während seines Laufes  $L$  zu bestimmen, welcher in derselben Zeit Statt findet, in welcher der kleine Kolben den Weg  $l$  zurücklegt, wollen wir annehmen, dass beide Kolben eben herabgehen, und wieder jenen Zeitmoment betrachten, in welchem der kleine Kolben den Weg  $x > l'$ , also der grosse jenen  $\frac{L}{l}x$  (aus  $l:L = x:\frac{L}{l}x$ ), oder, wenn man Kürze halber  $\frac{L}{l} = s$  setzt, jenen  $sx$  zurückgelegt hat. In diesem Augenblicke nimmt der Dampf, welcher den Raum  $f(l'+a)$  einnahm und die Spannung  $P'$  besass, unter dem kleinen und über dem grossen Kolben zusammen genommen den Raum  $f(l+a-x) + F(sx+A) = (Fs-f)x + AF + (l+a)f = Bx + C$  ein, wenn man nämlich Kürze halber

den Coefficienten von  $x$ , d. i.  $F's - f = B$  und den constanten Theil  $AF + f(l + a) = C$  setzt. Ist nun die Spannkraft des Dampfes in diesem Augenblicke  $= y$ , so ist nach Relation (b) (Nr. 365):

$$y = \frac{f(l + a)}{Bx + C} (n + P') - n$$

als Druck des Dampfes auf den grossen Kolben, welcher während des Weges von  $dx$  des kleinen oder  $sdx$  des grossen Kolbens als constant angesehen werden kann, wodurch die entsprechende Wirkung

$$dw'' = Fy s dx = sf(l + a)(n + P') \frac{F dx}{Bx + C} - n F's dx$$

wird. Integriert man diesen Ausdruck von  $x = 0$  bis  $x = l$  (oder von  $sx = 0$  bis  $sx = L$ ), so erhält man als Wirkung oder Arbeit des grossen Kolbens während eines vollen Ganges (wenn man gleich für  $s$  den Werth  $\frac{L}{l}$  herstellt):

$$w'' = f(l + a)(n + P') \frac{FL}{Bl} \log n. \left( \frac{Bl + C}{C} \right) - n FL.$$

Die Gesamtwirkung beider Kolben ist also während eines Kolbenlaufes:

$$W = W_1 + w'' = w + w' + w'',$$

wobei die drei einzelnen Wirkungsgrössen die in dieser und der vorigen Nummer angegebenen Werthe besitzen.

**368.** Um nun auch die Arbeit von Seite der Last oder des Widerstandes auszudrücken, so muss zuerst bemerkt werden, dass der Dampf von der Spannkraft  $y$ , welcher auf den grossen Kolben als bewegende Kraft drückt, dem kleinen Kolben entgegenwirkt, so, dass man den vorigen Werth von  $y$  nur mit  $f dx$  multipliciren und von  $x = 0$  bis  $x = l$  integriren darf, um die betreffende Wirkungsgrösse während eines Kolbenganges zu erhalten; bezeichnet man diese mit  $w_1$ , so ist sofort:

$$w_1 = f(l + a)(n + P') \int_0^l \frac{f dx}{Bx + C} - n f \int_0^l dx,$$

d. i.

$$w_1 = f(l + a)(n + P') \frac{f}{B} \log n. \left( \frac{Bl + C}{C} \right) - n fl.$$

Ist  $p$  der mittlere Druck auf die Flächeneinheit des grösseren

Kolbens von Seite des Condensators her, so ist die betreffende Wirkungsgrösse während eines Kolbenganges:

$$w_2 = FpL.$$

Bezeichnet man ferner den nützlichen Widerstand oder die Nutzlast mit  $Q$  und den Weg, um welchen diese während eines Kolbenlaufes bewegt wird, durch  $h$ , so ist die diesfällige Wirkungsgrösse:

$$w_3 = Qh.$$

Zerlegt man die bei der leeren Maschine vorkommende Reibung in zwei Theile und bezeichnet die auf die Flächeneinheit des kleinen Kolbens entfallende durch  $k$ , so wie jene, welche auf die Flächeneinheit des grösseren Kolbens bezogen werden kann, durch  $K$ ; so ist der betreffende Reibungswiderstand während eines Kolbenganges:

$$w_4 = kfl + KFL.$$

Ist endlich  $\delta$  die auf die Einheit der Last  $Q$  bezogene ad-ditionelle Reibung, so entsteht von daher noch die Wirkungsgrösse:

$$w_5 = \delta Qh.$$

Die gesammte Arbeitsgrösse aller dieser Widerstände mit Einschluss der Nutzlast ist daher:

$$W' = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5$$

und da, sobald der Beharrungszustand oder das dynamische Gleichgewicht in der Maschine eingetreten,  $W = W'$  sein muss (Nr. 365, Relat. 1); so hat man nach gehöriger Substitution (mit der Herstellung der Werthe von  $B$  und  $C$ ) und einer einfachen Reduction, für die erste der beiden Hauptrelationen:

$$f(l+a)(n+P') \left[ \frac{l'}{l'+a} + \log n \cdot \left( \frac{l+a}{l'+a} \right) + \log n \cdot \frac{F(L+A)+fa}{f(l+a)+FA} \right] - \\ - nFL = (1+\delta)Qh + kfl + KFL + pFL \dots (I).$$

**369.** Um nun auch die zweite Hauptrelation (Nr. 365, Relat. 2) zu erhalten, sei  $S$  das in der Zeiteinheit effectiv verdampfte Wasservolumen im Kessel, also (Nr. 365, Relation ( $\alpha$ ))  $M = \frac{mS}{n+P'}$  das absolute Volumen des daraus erzeugten Dampfes unter dem Drucke  $P'$ , unter welchem er in den kleinen Cylinder eintritt; so ist, wenn man die mittlere Geschwindigkeit des kleinen Kolbens mit  $v$  bezeichnet, die in der Zeiteinheit verbrauchte

oder in den kleinen Cylinder tretende Dampfmenge (vom Drucke  $P'$ )  $= \frac{v}{l} f(l + a)$ , folglich diese zweite Hauptrelation:

$$\frac{mS}{n + P'} = \frac{v}{l} f(l + a) \dots (II).$$

**370.** Eliminirt man aus diesen beiden Relationen (I) und (II) den Druck  $P'$ , so erhält man für die mittlere Geschwindigkeit des kleinen Kolbens:

$$v = \frac{l}{L} \cdot \frac{S}{F} \frac{mN}{n + \frac{1}{FL} [(1 + \delta) Qh + kfl + KFL + pFL]} \dots (I),$$

wenn man nämlich der Kürze wegen das in der grossen Klammer stehende Trinom des Ausdrucks (I) mit  $N$  bezeichnet, d. i.

$$N = \frac{l'}{l' + a} + \log n \cdot \left( \frac{l + a}{l' + a} \right) + \log n \cdot \frac{F(L + A) + fa}{f(l + a) + FA} \dots (\alpha)$$

setzt.

Bezeichnet man ferner die Geschwindigkeit des grossen Kolbens mit  $v'$ , so wie jene der Nutzlast  $Q$  mit  $V$ ; so ist wegen  $v : v' : V = l : L : h$  sofort:

$$v' = \frac{L}{l} v \dots (2) \quad \text{und} \quad V = \frac{h}{l} v \dots (3),$$

wobei man für  $v$  den Werth aus der vorigen Gleichung (1) zu setzen hat.

**371.** Man erhält aus dieser letzten Relation (3), wenn man für  $v$  den Werth setzt, zugleich auch die für die Praxis wichtigen Werthe von  $Q$ ,  $S$  und  $E$ , wenn  $E$  den Nutzeffect der Maschine bezeichnet; es ist nämlich ganz einfach für den Fall einer beliebigen Nutzlast oder einer beliebigen Geschwindigkeit bei einem gegebenen Expansions- oder Absperungsverhältniss:

$$V = \frac{h}{L} \cdot \frac{S}{F} \frac{mN}{n + \frac{1}{FL} [(1 + \delta) Qh + kfl + KFL + pFL]} \dots (4),$$

$$Q = \frac{mSN}{(1 + \delta)V} - n \frac{FL}{(1 + \delta)h} - \frac{kfl + KFL + pFL}{(1 + \delta)h} \dots (5),$$

$$S = \frac{L}{h} \cdot \frac{FV}{mN} \left\{ n + \frac{1}{FL} [(1 + \delta) Qh + kfl + KFL + pFL] \right\} \dots (6),$$

$$E = QV = \frac{mSN}{1 + \delta} - V \left[ n \frac{FL}{(1 + \delta)h} + \frac{kfl + KFL + pFL}{(1 + \delta)h} \right] \dots (7),$$

wenn man nämlich den Ausdruck (5) mit  $V$  multiplicirt.

**372.** Dieser letztere Ausdruck zeigt wieder (wie in §. 548, Anmerk.), dass der Nutzeffect am grössten wird, wenn  $V$  seinen kleinsten Werth erreicht, und dies findet zufolge der obigen Relationen (3) (Nr. **370**) und (II) (Nr. **369**) für den grössten Werth von  $P'$ , d. i. für  $P' = P$  Statt. Bezeichnet man daher die betreffenden Werthe von  $V$  und  $Q$  in diesem Falle mit  $V'$  und  $Q'$ , so hat man für das Maximum des Nutzeffectes, bei einem gegebenen Expansionsverhältniss:

$$V' = \frac{h}{l} \cdot \frac{l}{l' + a} \cdot \frac{S}{f} \cdot \frac{m}{n + P} \dots (8)$$

(nämlich aus den beiden genannten Relationen 3 und II),

$$Q' = \frac{mSN}{(1 + \delta)V'} - n \frac{FL}{(1 + \delta)h} - \frac{kfl + KFL + pFL}{(1 + \delta)h} \dots (9)$$

(aus der Relation 5),

$$S = \frac{l}{h} \cdot \frac{l' + a}{l} \cdot \frac{fV'}{m} (n + P) \dots (10)$$

(aus der Relat. 8) und

$$E_{max.} = Q'V' \dots (11).$$

**373.** Nimmt man endlich das Expansions- oder Absperrungsverhältniss nicht als gegeben an und sucht jenes Verhältniss  $\frac{l'}{l}$ , bei welchem das absolute Maximum des Nutzeffectes eintritt; so erhält man nach der bekannten Regel, aus der vorigen Gleichung (11), wenn man für  $Q'$  und  $V'$  die Werthe setzt, nach einer einfachen Reduction:

$$\frac{dE}{dl'} = 0 = -l' + \frac{nFL + kfl + KFL + pFL}{f(n + P)}$$

und daraus:

$$\frac{l'}{l} = \frac{FL}{fl} \cdot \frac{n + \frac{1}{FL}(kfl + KFL + pFL)}{n + P} \dots (12)$$

für das gesuchte Absperrungsverhältniss, welches in der That einem Maximum entspricht, indem dafür der zweite Differenzialquotient negativ ausfällt.

Anmerkung. Die diesem absoluten Maximum entsprechende Nutzlast ist übrigens keineswegs die grösste nützliche Last, welche die Maschine überwinden kann; denn sucht man aus der Gleichung (9) (mit Substituierung der Werthe von  $N$  und  $V'$ ) den Differenzialquotienten von  $Q'$  in Beziehung auf  $l'$ , so erhält man ganz einfach:

$$\frac{dQ'}{d'l} = 0 = \log n. \left( \frac{l+a}{l'+a} \right)$$

also

$$\frac{l+a}{l'+a} = 1, \text{ d. i. } l' = l,$$

d. h. die Maschine muss (wie dies auch a priori erhellet), um die grösstmögliche Nutzlast bewegen oder überwinden zu können, ohne Expansion arbeiten (wobei jedoch der Dampfverbrauch in einem grösseren Verhältniss als der Nutzeffect zunimmt).

Die vorige Relation (12) findet übrigens, wie sich von selbst versteht, in jenem Falle keine Anwendung, in welchem der Dampf im kleinen Cylinder ohne Expansion arbeitet, weil dann  $l' = l$  ist.

**374.** Um die bisher entwickelten Formeln practisch anwendbar zu machen, müssen noch die constanten Grössen  $k, K, \delta, p, a, A, m, n$  bestimmt oder angegeben werden.

Was zuerst die Reibung der Maschine betrifft, so können wir die von Pambour bei den Watt'schen doppelt wirkenden Condensationsmaschinen gemachten Erfahrungen auch hier benützen und anwenden. Nach diesen Erfahrungen beträgt die Reibung bei solchen Maschinen von mittlerer Grösse, nämlich bei einem Cylinderdurchmesser von 33 Zoll oder 2.75 Fuss, wenn sie leer gehen oder unbelastet sind, im Mittel .75 Pfund auf den Quadratzoll oder  $144 \times .75$  Pfd. auf den Quadratfuss der Kolbenfläche bezogen, nach englischem Mass und Gewicht, und wächst im umgekehrten Verhältnisse mit dem Durchmesser des Cylinders, so, dass wenn bei einer ähnlichen Maschine der Cylinderdurchmesser in Fussen genommen =  $d$  ist, sofort auf englisches Mass bezogen, die auf jeden Quadratfuss der Kolbenfläche entfallende Reibung nahe durch  $\frac{300}{d}$  Pfund ausgedrückt werden kann. Auf das Wiener Mass und Gewicht bezogen kann man dafür in runder Zahl  $\frac{260}{d}$  setzen. (Der genaue Werth ist etwas kleiner und zwar =  $\frac{252}{d}$ .)

Nimmt man daher zur grösseren Sicherheit an, dass bei den Woolf'schen Maschinen jeder der beiden Cylinder nahe dieselben Theile zu bewegen habe, wie bei den Watt'schen Maschinen der eine Cylinder; so kann man nach diesen Bemerkungen

$$k = \frac{260}{d} \text{ und } K = \frac{260}{D}$$

setzen, wenn  $d$  und  $D$  die in Fussen ausgedrückten Durchmesser

des kleinen und grossen Kolbens, folglich  $k$  und  $K$  die in Pfunden ausgedrückten Reibungen der Maschine, auf jeden Quadratfuss der beiden Kolbenflächen bezogen, bezeichnen.

Was ferner die additionelle Reibung der belasteten Maschine betrifft, so kann man auch hier (wie in §. 551)  $\delta = \cdot 14$  setzen.

Den von Pambour von Seite des Condensators herrührenden und auf den Quadratfuss der Kolbenfläche bezogenen mittleren Widerstand von  $4 \times 144$  Pfund kann man, auf das Wiener Mass und Gewicht bezogen, in runder Zahl zu 500 Pfund annehmen, also  $p = 500$  setzen.

Eben so setzt man auch hier (wie in §. 551)  $a = \cdot 05 l$  und  $A = \cdot 05 L$ , so wie endlich, da man es mit Condensationsmaschinen zu thun hat (Nr. 359, Relat. (b)):

$$m = 3568525 \text{ und } n = 214.$$

Schliesslich kann man sich zur numerischen Berechnung der in dem Ausdrucke  $N$  (in Nr. 370) vorkommenden Grösse

$$\frac{l'}{l'+a} + \log n \cdot \left( \frac{l+a}{l'+a} \right)$$

der im Compendium auf S. 583 und 584 angegebenen Tabelle, in welcher  $l$  und  $L$  mit  $l'$  und  $l$  zu vertauschen sind, bedienen, sonst muss man  $\log n \cdot \left( \frac{l+a}{l'+a} \right) = 2 \cdot 302585 \log v \cdot \left( \frac{l+a}{l'+a} \right)$  mit Hilfe einer gewöhnlichen Logarithmentafel berechnen.

**375.** Zur Erläuterung der obigen Formeln mögen die nachstehenden Beispiele dienen.

Beispiel 1. Es habe bei einer Woolf'schen Maschine der kleine Cylinder einen Durchmesser von 2 und einen Kolbenlauf von 6 Fuss, der grosse Cylinder einen Durchmesser von  $3\frac{1}{2}$  und einen Kolbenlauf von 8 Fuss, der Dampf trete in den kleinen Cylinder, ohne darin expandirt zu werden, mit einem Drucke von 22·42 Pfund auf den Quadratzoll, d. i. von nahe  $1\frac{1}{2}$  Atmosphären, das per Minute effective in Dampf verwandelte Wasservolumen betrage 1 Kubikfuss, so wie der Weg, welchen die Nutzlast während eines Kolbenlaufes zurücklegt, 2 Fuss; so hat man  $d = 2$ , also  $f = \frac{1}{2} \pi d^2 = 3 \cdot 1416$ ,  $D = \frac{10}{3}$ , also  $F = 8 \cdot 7266$ ,  $l = 6$ ,  $L = 8$  (folglich der Inhalt des grossen Cylinders, wie gewöhnlich nahe 4, hier nämlich 3·7 Mal so gross als der kleine),  $l' = l = 6$ ,  $P = 22 \cdot 42 \times 144 = 3228$ ,  $S = 1$  und  $h = 2$ ; ferner ist  $a = \cdot 05 l = \cdot 30$ ,



$A = \cdot 05 L = \cdot 40$ ,  $k = \frac{260}{d} = 130$ ,  $K = \frac{260}{D} = 78$  und wie bereits bemerkt,  $m = 3568525$ ,  $n = 214$ ,  $p = 500$ ,  $\delta = \cdot 14$ .

Mit diesen Werthen folgt zuerst aus der Relation ( $\alpha$ ) in Nr. **370**  $N = 2\cdot 1120$ , und damit für den grössten Effect dieser Maschine aus den Relationen (8), (9) und (11) in Nr. **372**:

$V' = 104\cdot 765$  Fuss per Min.,  $Q' = 37774\cdot 76$  Pf. und

$E_{max.} = 3957474\cdot 54$  Fussfund per Min.

oder auf die Secunde bezogen, und wenn  $N_{Pf.}$  die Anzahl der Pferdekräfte bezeichnet, auch:

$V' = 1\cdot 746$  F. und  $E_{max.} = 65957\cdot 91^{F. Pf.}$  oder  $N_{Pf.} = \frac{E}{430} = 153\cdot 39$ .

Aus den Relationen (3) und (2) in Nr. **370** folgt auch noch für die Geschwindigkeit des kleinen Kolbens:

$$v = \frac{l}{h} V' = 3 \times 1\cdot 746 = 5\cdot 238$$

und für jene des grösseren:

$$v' = \frac{L}{l} v = \frac{4}{3} \times 5\cdot 238 = 6\cdot 984$$

Fuss per Secunde, so dass also die Maschine per Minute  $50\cdot 64$  einfache Kolbengänge macht.

Anmerkung. Wird dasselbe Beispiel nach der ältern Theorie gerechnet, so erhält man zuerst nach der Formel ( $r$ ) in Nr. **358** für die Wirkung während eines Kolbenganges  $W = 105608\cdot 2^{F. Pf.}$  und da per Secunde  $\frac{50\cdot 64}{60}$  solcher Kolbengänge Statt finden, so ist der Effect per Secunde:

$$E = \frac{50\cdot 64}{60} \times 105608\cdot 2 = 89133\cdot 4^{F. Pf.}$$

Es müsste also dieser Werth mit dem Coefficienten  $\cdot 74$  multiplicirt werden, um die vorige Zahl  $65238$  der Pambour'schen Theorie zu erhalten.

Beispiel 2. Berechnet man das vorige Beispiel nochmals, mit der einzigen Aenderung, dass die Communication des Dampfzutrittes in den kleinen Cylinder nach dem halben Kolbenshub unterbrochen oder abgesperrt wird; so hat man mit Beibehaltung aller übrigen Werthe  $l' = 3$ , also  $\frac{l'}{l} = \frac{1}{2}$  zu setzen, womit man  $N = 2\cdot 7153$  und damit  $V' = 200\cdot 006$ ,  $Q' = 17171\cdot 517$  und

$E_{max.} = 3434407\cdot 05$  oder  $N_{Pf.} = 133\cdot 12$  erhält.

Beispiel 3. Sucht man zur Erreichung des absoluten Maximums zuerst nach der Relation (12) (Nr. **373**) das gün-

stigste Expansions- oder Absperrungsverhältniss, so erhält man dafür  $\frac{l'}{l} = \cdot 8900$ , also  $l' = \cdot 8900 \times 6 = 5\cdot 3399$  und damit  $N = 2\cdot 2172$ ,  $V' = 117\cdot 027$ ,  $Q' = 33980\cdot 28$  und  $E_{max.} = 3976617\cdot 43$  oder in Pferdekraften  $N_{Pf.} = 154\cdot 13$ .

Anmerkung. Da man bei der Berechnung von Dampfmaschinen zur Zeiteinheit die Minute nimmt, so heisst in der Praxis der Effect eines Pferdes in einer Minute auch Pferdekraft per Minute und wird bei den Engländern mit 33000 Pfd. 1 Fuss hoch, bei den Franzosen (davon etwas verschieden und nahe um  $1\frac{1}{4}$  Procent kleiner) mit 4500 Kilogramme 1 Meter hoch, und in Oesterreich (nahe mit der englischen Annahme übereinstimmend) zu 25800 Pfund 1 Fuss hoch gerechnet. Unter dem Ausdrucke Pferdekraft per Stunde, wie er manchmal in den Werkstätten gebraucht wird, versteht man den vorigen Effect 60 Mal genommen.

Werden nun in dieser Zeiteinheit, d. i. per Minute  $R$  Pfunde Brennstoff consumirt, so ist der Nutzeffect für 1 Pfund verbrauchten Brennstoffes:

$$E' = \frac{Q V^{F. Pf.}}{R},$$

so wie der Nutzeffect für 1 Kubikfuss effective verdampften Wassers:

$$E'' = \frac{Q V^{F. Pf.}}{S}$$

Endlich beträgt das zur Erzeugung eines Nutzeffectes von 1 Pferdekraft nöthige Brennstoffquantum  $\frac{25800}{QV}$  Pfunde.

In den drei vorigen Beispielen verhalten sich die Nutzeffecte, welche sich durch die effective Verdampfung von 1 Kubikfuss Wasser ergeben, beziehungsweise nahe wie die Zahlen

$$396 : 343 : 398,$$

während sich die Grösse der Nutzlast, welche dabei überwunden werden kann, wie

$$378 : 172 : 340$$

und die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Nutzlast bewegt, nahe wie die Zahlen

$$105 : 200 : 117$$

verhält, indem diese Geschwindigkeit per Secunde beziehungsweise nahe 1\cdot 75, 3\cdot 33 und 1\cdot 95 Fuss beträgt.

Die Dimensionen der Hauptbestandtheile der Woolf'schen Maschinen mit zwei Cylindern und vierfacher Expansion findet man sämmtlich, in Theilen des Durchmessers  $D$  des grossen Cylinders ausgedrückt, in Redtenbacher's: „Resultate für den Maschinenbau.“

Beispiel 4. Wäre endlich mit denselben im 1. Beispiele gegebenen Grössen, mit Ausnahme, dass  $l' = \frac{1}{4} l = 1\cdot 5$  sein soll, die Grösse  $V' = 60$  (Geschwindigkeit der Nutzlast per Minute) gegeben und dafür  $S$ ,  $Q'$  und  $E$  zu suchen; so fände man aus den Relationen (9), (10) und (11) in Nr. 372 zuerst aus (10):

$S = \cdot 1636$  Kubikfuss (zu verdampfendes Wasservolumen per Minute) und damit dann  $Q' = 5429\cdot 97$  Pfund und  $E = 325798\cdot 4^{F. Pf.}$  per Minute oder  $N_{Pfd.} = \frac{E}{25800} = 12\frac{3}{5}$  Pferdekraft.

Der aus der Verdampfung von 1 Kubikfuss Wasser hervorgehende Nutzeffect wäre also bei dieser zu weit getriebenen Expansion (welche hier beinahe das 15fache beträgt, während sie nach dem 3. Beispiel für den absolut grössten Effect nur das  $4\frac{1}{2}$ fache ausmacht)  $= \frac{Q'V'}{S} = \frac{325798\cdot 4}{\cdot 1636} = 1991067\cdot 8^{F. Pf.} = 77$  Pferdekraft, also nahe um die Hälfte kleiner als für das absolute Maximum, wobei der Expansionscoefficient  $\cdot 8900$  ist, während er hier nur mit  $\cdot 25$  angenommen wurde.

Hieraus geht klar hervor, dass man den Effect einer solchen Maschine bedeutend und ganz unverhältnissmässig herabsetzt, wenn man die Expansion des Dampfes zu weit treiben will und sich zu sehr von dem richtigen, dem absoluten Maximum entsprechenden Verhältniss entfernt.

### Watt'sche Maschine, doppelt wirkend.

**376.** Für die doppelt wirkende Watt'sche Dampfmaschine erhält man die entsprechenden Formeln ganz einfach aus jenen der Woolf'schen Maschine (Nr. **370** bis **373**), wenn man  $f = F$ ,  $h = l = L$ ,  $a = A$  und  $k = K$  setzt, wodurch eigentlich die beiden Cylinder in einen einzigen übergehen. Um dies wenigstens für eine Formel nachzuweisen, wollen wir auf diese Weise die Formel (2) in §. 545 für die mittlere Kolbengeschwindigkeit  $v$  entwickeln.

Nach der Relation (3) in Nr. **370** wird unter der gemachten Voraussetzung  $v = V$ , folglich nach der Formel (4) in Nr. **371**:

$$v = \frac{S}{F'} \cdot \frac{mN}{n + (1 + \delta) \frac{Q}{F} + 2k + p} \dots (k),$$

wobei nach Relat. ( $\alpha$ ) in Nr. **370**  $N = \frac{v'}{v' + a} + \log n \cdot \frac{l + a}{v' + a}$  ist.

Um nun diese Formel mit der genannten (2) in §. 545 in Uebereinstimmung zu bringen, muss man sich erinnern, dass dort das relative Dampfvolument durch die Formel (§. 541)

$$\mu = \frac{1}{n + mp} \text{ dargestellt ist, welche hier auf die Form } \frac{m}{n + p}$$