Widerstandes gegen einen äufsern Druck zu jenem gegen das Zerreifsen bei einem innern Drucke, bei eisernen Röhren ein günstigeres als bei kupfernen Röhren ist. Aus diesem Grunde wurden auch in neuerer Zeit in England, selbst bei den Locomotivkesseln die kupfernen Röhren durch eiserne, gezogene (und geschweifste) Röhren ersetzt, welche noch den Vorzug besitzen, dafs sie selbst glühend werden können, ohne deshalb unbrauchbar zu werden.

Die Messingröhren der Locomotivkessel von 2 Zoll Durchmesser und 12 Fufs Länge erweisen sich bei einer Wanddicke von $1\frac{1}{4}$ bis 1·4 Linie hinreichend stark, um einem Drucke von 13 bis 14 Atmosphären widerstehen zu können.

Theorie der Dampfmaschinen.

a) *Ältere Theorie.*

(§. 505)

277. Nach dieser Theorie wird angenommen, dafs der Dampf, von seinem Eintritte in die Maschine angefangen bis zu seinem Austritte oder bis zu seiner Condensirung, fortwährend jene Temperatur beibehält, welche er im Kessel bei seiner Erzeugung besitzt, so, dafs sich also während seiner ganzen Bewegung das *Mariotte*'sche Gesetz in aller Strenge auf ihn anwenden läfst.

Diefs vorausgesetzt, sey bei einer oscillirenden Maschine F die Gröfse der Kolbenfläche, L die Länge des Kolbenschubes; l die Länge jenes Theiles davon, welcher bei einer Expansionsmaschine (§ 490) bei offener Communication mit dem Kessel zurückgelegt wird, p der Druck des Dampfes auf die Flächeneinheit im Kessel, p' der Druck desselben nachdem der Kolben seinen Lauf vollendet hat und q der auf die Flächeneinheit bezogene Gegendruck auf den Kolben von Seite des Condensators oder der atmosphärischen Luft; so ist die theoretische Arbeitsgröfse oder Wirkung des Dampfkolbens während des Weges l bei offener Communication $w = pFl$. Hat der Kolben einen Weg $x > l$ zurückgelegt, so sey in diesem Augenblicke der Dampfdruck auf die Einheit der Kolbenfläche $= z$ (also $< p$), so ist nach dem *Mariotte*'schen Gesetze $p : z = x : l$ und daraus $z = p\frac{l}{x}$. Da man aber diesen Druck während des darauf folgenden unendlich wenigen Fortrückens um $\mathrm{d}x$ als constant anzusehen hat, so ist die entsprechende Wirkungsgröfse $\mathrm{d}w' = z\,\mathrm{d}x = p\,l\frac{\mathrm{d}x}{x}$, folglich die Wirkung des Dampfkolbens von dem Augenblicke der Absperrung des Dampfes bis zum vollendeten Kolbenlauf:

$$w' = p\,l\,F \int_l^L \frac{dx}{x} = p\,l\,F\,logn.\frac{L}{l}\,.$$

Die theoretische Gesammtwirkung der Maschine ist daher während eines Kolbenganges, wenn der Gegendruck q dabei constant ist:

$$W = w + w' - q\,F\,L$$

oder wenn man substituirt und zugleich für L den Werth $L = \frac{p}{p'}\,l$ aus der Proportion $p : p' = L : l$ setzt:

$$W = p\,l\,F\left(1 + logn.\frac{L}{l} - \frac{q}{p'}\right)\ .\ .\quad (1)$$

wobei man auch $logn.\frac{p}{p'}$ statt $logn.\frac{L}{l}$ setzen kann.

Kommen nun auf die Minute n solcher Kolbengänge, d. h. tritt das Dampfvolumen $F\,l$ von der Spannung p per Minute n Mal in den Cylinder, so ist die Wirkung per Secunde oder der theoretische Effect in Fufspfund, wenn der Fufs und das Pfund als Einheiten zum Grunde gelegt werden, $E = \frac{n.\,W}{60}$, oder in Pferdekräfte, wenn man ihre Anzahl durch N bezeichnet, $N = \frac{E}{430}$, d. i.

$$N = \frac{n\,p\,l\,F}{60 \times 430}\left(1 + logn\ \frac{L}{l} - \frac{q}{p'}\right)\ .\ .\quad (2)$$

(vergl. §. 505, Relat 1.)

Bei n_1 Kolbenspiele per Minute, welche Zahl mit der Umdrehungszahl des Schwungrades zusammenfällt, ist wegen $n = 2\,n_1$ auch, wenn man Kürze halber den eingeklammerten Theil der Formel (2) mit K bezeichnet:

$$N = \frac{n_1\,p\,l\,F}{30 \times 430}\,K = \frac{p\,\mathfrak{W}}{430}\,K = \frac{p\,F\,v}{430}\,K\ .\ .\quad (3)$$

wobei $\mathfrak{W}$ das per Secunde in den Cylinder tretende Dampfvolumen (von dem Verluste dabei abgesehen) und v die mittlere Kolbengeschwindigkeit bezeichnet.

278. Wird die Expansion des Dampfes wie bei dem *Woolf*'schen System, dadurch bewirkt, dafs der Dampf aus dem Kessel mit voller Kraft in einen engeren Cylinder A (Fig. 169) und von da, nachdem er hier seine Wirkung vollendet, in einen weiteren Cylinder B tritt und sich hier expandirt, von wo der Dampf gewöhnlich dann in den Condensator abzieht; so sey, um die Wirkung einer solchen Maschine immer noch nach der erwähnten Theorie zu entwickeln, f die Kolbenfläche und l der

Kolbengang für den kleinern, F und L dasselbe für den weitern Cylinder, p der Druck des Dampfes auf die Flächeneinheit des kleinen Kolbens, p' der Druck des expandirten Dampfes am Ende des Kolbenlaufes im grofsen Cylinder, so wie endlich q der auf den grofsen Kolben Statt findende Gegendruck (von Seite des Condensators). Diefs vorausgesetzt, habe beim Hinabgehen beider Kolben der kleinere bereits den Weg x, also der gröfsere, wenn $L = ml$ ist (was von der Anordnung der Maschine abhängt), jenen mx zurückgelegt; so ist in diesem Augenblicke der Druck auf den grofsen Kolben (gleich dem Gegendruck auf den kleinern) gleich z gesetzt, nach dem *Mariotte*'schen Gesetze:

$$z : p = fl : [f(l - x) + F.mx], \text{ folglich } z = \frac{pfl}{fl + (mF - f)x}$$

Während dem Fortrücken des kleinen Kolbens um den Weg dx, ist dessen Arbeitsgröfse $= f(p - z)dx$, so wie jene des grofsen Kolbens, dessen gleichzeitiger Weg $m\,dx$ ist, $= F(z - q)\,m\,dx$, folglich hat man für die Gesammtwirkung beider Kolben:

$$dw = (fp - mFq)\,dx + (mF - f)\,z\,dx$$

oder wenn man für z den vorigen Werth setzt und innerhalb der Grenzen von $x = 0$ bis $x = l$ integrirt, für die Wirkung während eines Kolbenschubes:

$$W = (fp - mFq)\int_0^l dx + pfl(mF - f)\int_0^l \frac{dx}{fl + (mF - f)x}$$

d. i. $$W = (fp - mFq)\,l + \frac{pfl(mF - f)}{mF - f}\,logn.\left[\frac{fl + (mF - f)\,l}{fl}\right]$$

oder wenn man reducirt und für ml den Werth L setzt:

$$W = pfl\left(1 + logn.\frac{FL}{fl}\right) - qFL \quad . \; . \quad (r)$$

oder, da aus der Proportion $p : p' = FL : fl$ sofort $FL = \frac{p}{p'}fl$ folgt, endlich $$W = pfl\left(1 + logn.\frac{FL}{fl} - \frac{q}{p'}\right)$$

Behält man die Bezeichnung der vorigen Nr. bei, so ist der theoretische Effect per Secunde:

$$(4) \; . \; . \; 430\,N = \frac{n_1\,pfl}{30}\left(1 + logn.\frac{FL}{fl} - \frac{q}{p'}\right) \text{ Fufspfund.}$$

Auch ist noch, wenn man das in der Klammer stehende Trinom mit M bezeichnet:

$$430\,N = p\mathfrak{V}M = pfvM \; . \; . \quad (5)$$

wobei v die Geschwindigkeit des kleineren Kolbens ist.

Anmerkung. Da man in diesen Formeln statt dem Quotienten $\frac{FL}{fl}$ und in den obigen (2) und (3) der vorigen Nr. statt jenem $\frac{L}{l}$ den gleichgeltenden Werth $\frac{p}{p'}$ setzen kann; so folgt, daſs diese Formeln, wie es auch seyn soll, identisch sind.

b) *Pambour'sche Theorie.*

(§. 513.)

279. Da nach *Pambour*'s Beobachtungen und Versuchen, der Dampf in der Maschine während seiner Wirkung beständig im Maximum seiner Dichtigkeit sich befindet, d. h. in jedem Stadium genau jene Temperatur besitzt, welche seiner eben Statt findenden Spannkraft zukömmt; so gilt von diesem auch fortwährend die obige Formel (e) in Nr. **270**, (Anmerk. 2) für das relative Volumen $\mu = \frac{m}{n+p}$, wobei m und n die dort angegebenen Werthe besitzen und p den Dampfdruck auf den Quadratfuſs bezeichnet.

Wird nun ein gewisses Volumen Wasser $= S$ in Dampf von dem Drucke $= p$ verwandelt, dessen absolutes Volumen $= M$ ist, so folgt:

$$\mu = \frac{M}{S} = \frac{m}{n+p} \quad . \; . \quad (1)$$

Wird dagegen dasselbe Wasservolumen in Dampf von der Spannkraft p' verwandelt und ist dessen Volumen $= M'$, so hat man eben so:

$$\mu' = \frac{M'}{S} = \frac{m}{n+p'},$$

folglich ist (durch Verbindung dieser beiden Relationen):

$$M = \frac{n+p'}{n+p} M' \quad . \; . \quad (a) \quad \text{oder} \quad p = \frac{M'}{M}(n+p') - n \quad . \; . \quad (b)$$

Geht also der Dampf während seiner Wirkung in der Maschine aus einem bekannten Volumen M' in das ebenfalls bekannte Volumen M über, so verwandelt sich die gegebene Spannkraft p' in jene p, welche durch die vorige Relation (b) gegeben ist oder bestimmt wird.

Woolf'sche Maschine.

280. Es sey nun, um sogleich den allgemeinsten Fall zu behandeln, in dem *Woolf*'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 grofsen Cylinder B, a der freie (lineare) Raum im erstern, A jener im grofsen Cylinder, f die Fläche des kleinen, F jene des grofsen 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 noch $= z$ seyn soll, und da man diesen Druck während dem Weiterrücken des Kolbens um dx als constant ansehen kann, so ist die diesem Weg entsprechende Wirkung $dw = fz\,dx$ oder da nach der Relat. (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

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

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:

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

281. Um ferner die Arbeitsgröfse des grofsen 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, dafs beide Kolben eben herabgehen, und wieder jenen Zeitmoment betrachten, in welchem der kleine Kolben den Weg $x > l'$, also der grofse 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' besafs, unter dem kleinen und über dem grofsen Kolben zusammengenommen 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 Coeffizienten von x:

d. i. $Fs - f = B$ und den constanten Theil $AF + f(l + a) = C$ setzt. Ist nun die Spannkraft des Dampfes in diesem Augenblicke $= y$, so ist nach Relat. (b) Nr. **279**:

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

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

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

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

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

Die Gesammtwirkung beider Kolben ist also während eines Kolbenlaufes:

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

wobei die drei einzelnen Wirkungsgröfsen die in dieser und der vorigen Nr. angegebenen Werthe besitzen.

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

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

d. i. $$w_1 = f(l' + a)(n + P')\frac{f}{B}\,logn.\left(\frac{Bl + C}{C}\right) - nfl.$$

Ist p der mittlere Druck auf die Flächeneinheit des gröfseren Kolbens von Seite des Condensators her, so ist die betreffende Wirkungsgröfse 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 dießfällige Wirkungsgröfse

$$w_3 = Q\,h$$

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 gröfsern Kolbens bezogen werden kann, durch K; so ist der betreffende Reibungswiderstand während eines Kolbenganges

$$w_4 = k\,f\,l + K\,F\,L.$$

Ist endlich δ die auf die Einheit der Last Q bezogene additionelle Reibung, so entsteht von daher noch die Wirkungsgröfse

$$w_5 = \delta\,Q\,h.$$

Die gesammte Arbeitsgröfse aller dieser Widerstände, mit Einschlufs 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, $W = W'$ seyn mufs (§. 514, 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:

$$f(l'+a)\,(n+P')\left[\frac{l'}{l'+a} + logn.\left(\frac{l+a}{l'+a}\right) + logn.\,\frac{F(L+A)+fa}{f(l+a)+FA}\right]$$
$$-\,n\,F\,L = (1+\delta)\,Q\,h + k\,f\,l + K\,F\,L + p\,F\,L \;.\;. \quad (I)$$

283. Um nun auch die zweite Hauptrelation (§. 514, Relat. 2) zu erhalten, sey S das in der Zeiteinheit effectiv verdampfte Wasservolumen im Kessel, also (Nr **279**, Relat. 1) $M = \frac{m\,S}{n+P'}$ 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:

$$\frac{m\,S}{n+P'} = \frac{v}{l}\,f(l'+a) \;.\;. \quad (II)$$

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

$$v = \frac{l}{L} \cdot \frac{S}{F} \frac{m N}{n + \frac{1}{FL}\left[(1+\delta)\,Q h + kfl + KFL + pFL\right]} \quad . \; . \; (1)$$

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

$$N = \frac{l'}{l'+a} + logn. \left(\frac{l+a}{l'+a}\right) + logn. \frac{F(L+A)+fa}{f(l+a)+FA} \quad . \; . \; (\alpha)$$

setzt.

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

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

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

285. 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 Absperrungsverhältnifs:

$$V = \frac{h}{L} \cdot \frac{S}{F} \frac{m N}{n + \frac{1}{FL}\left[(1+\delta)\,Q h + kfl + KFL + pFL\right]} \quad . \; . \; (4)$$

$$Q = \frac{m S N}{(1+\delta)\,V} - n \frac{FL}{(1+\delta)\,h} - \frac{kfl + KFL + pFL}{(1+\delta)\,h} \quad . \; . \; (5)$$

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

$$E = Q V = \frac{m S N}{1+\delta} - V \left[n \frac{FL}{(1+\delta)\,h} + \frac{kfl + KFL + pFL}{(1+\delta)\,h} \right] . \; . \; (7)$$

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

286. Dieser letztere Ausdruck zeigt wieder (wie in §. 521, Anmerk.), dafs der Nutzeffect am gröfsten wird, wenn V seinen kleinsten Werth erreicht, und diefs findet zufolge der obigen Relationen (3) (Nr. **284**) und (II) (Nr. **283**) für den gröfsten 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 Expansionsverhältnifs:

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

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

$$Q' = \frac{m S N}{(1 + \delta) V'} - n \frac{F L}{(1 + \delta) h} - \frac{k f l + K F L + p F L}{(1 + \delta) h} \;.\;.\; \quad (9)$$

(aus der Relation 5):

$$S = \frac{l}{h} \cdot \frac{l' \quad a}{l} \cdot \frac{f V'}{m} (n + P) \;.\;.\; \quad (10)$$

(aus der Relat. 8):

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

287. Nimmt man endlich das Expansions- oder Absperrungsverhältnifs nicht als gegeben an und sucht jenes Verhältnifs $\frac{l'}{l}$ 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:

$$\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}l'} = 0 = -l' + \frac{n F L + k f l + K F L + p F L}{f(n + P)}$$

und daraus:

$$\frac{l'}{l} = \frac{F L}{f l} \cdot \frac{n + \frac{1}{F L}(k f l + K F L + p F L)}{n + P} \;.\;.\; \quad (12)$$

für das gesuchte Absperrungsverhältnifs, 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 gröfste nützliche Last, welche die Maschine überwinden kann; denn sucht man aus der Gleichung (9) (mit Substituirung der Werthe von N und V') den Differenzialquotienten von Q' in Beziehung auf l', so erhält man ganz einfach:

$$\frac{\mathrm{d}Q'}{\mathrm{d}l'} = 0 = \textit{logn.} \left(\frac{l + a}{l' + a}\right)$$

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

d. h. die Maschine mufs (wie diefs auch à priori erhellet), um die gröfstmögliche Nutzlast bewegen oder überwinden zu können, ohne Expansion arbeiten (wobei jedoch der Dampfverbrauch in einem gröfseren Verhältnifs 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.

288. Um die bisher entwickelten Formeln p r a c t i s c h anwendbar zu machen, müssen noch die constanten Grössen k, K, δ, p, a, A, m, n bestimmt oder angegeben werden.

Was zuerst die R e i b u n g 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 $144 \times \cdot 75$ Pf. 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, als 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 belasten Maschine betrifft, so kann man auch hier (wie in §. 525) $\delta = \cdot 14$ setzen.

Den von *Pambour* von Seite des Condensators herrührenden und auf den Quadratfuss der Kolbenfläche bezogenen mittleren Widerstand von 4×144 Pf., kann man auf das W Mass und Gewicht bezogen, in runder Zahl zu 500 Pfund annehmen, also

$$p = 500 \text{ setzen.}$$

Eben so setzt man auch hier (wie in §. 525) $a = \cdot 05\, l$ und

$A = \cdot 05\, L$, so wie endlich, da man es mit Condensationsmaschinen zu thun hat (Nr. **270**, Anmerk. 2):

$$m = 3571490 \text{ und } n = 218.$$

Schlüfslich kann man sich zur numerischen Berechnung der in dem Ausdrucke N (in Nr. **284**) vorkommenden Gröfse

$$\frac{l'}{l' + a} + logn \left(\frac{l + a}{l' + a}\right)$$

der im Compendium auf S. 498 und 499 angegebenen Tabelle, in welcher l und L mit l' und l zu vertauschen sind, bedienen, widrigenfalls $logn. \left(\frac{l+a}{l'+a}\right) = 2 \cdot 302585\, log\, v. \left(\frac{l+a}{l'+a}\right)$ mit Hilfe einer gewöhnlichen Logarithmentafel berechnet werden mufs.

289. 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 Fufs, der grofse Cylinder einen Durchmesser von $3\frac{1}{3}$ und einen Kolbenlauf von 8 Fufs, 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 $1\frac{3}{4}$ Atmosphären, das per Minute effective in Dampf verwandelte Wasservolumen betrage 1 Kubikfufs, so wie der Weg, welchen die Nutzlast während eines Kolbenlaufes zurücklegt 2 Fufs; so hat man $d = 2$, also $f = \frac{1}{4} \pi d^2 = 3 \cdot 1416$, $D = \frac{10}{3}$, also $F = 8 \cdot 7266$, $l = 6$, $L = 8$ (folglich der Inhalt des grofsen Cylinders, wie gewöhnlich nahe 4, hier nämlich 3·7 Mal so grofs 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 $m = 3571490$, $n = 218$, $p = 500$, $\delta = \cdot 14$.

Mit diesen Werthen folgt zuerst aus der Relation (α) in Nr. **284**, $N = 2 \cdot 1120$ und damit für den gröfsten Effect dieser Maschine, aus den Relationen (8), (9) und (11) in Nr. **286**:

$$V' = 101 \cdot 272 \text{ Fufs per Min.}, \quad Q' = 38651 \cdot 24 \text{ Pf. und}$$
$$E_{max.} = 3914288 \cdot 37 \text{ Fufspfund per Min.}$$

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

$$V' = 1 \cdot 688 \text{ F. und } E_{max.} = 65238 \cdot 14^{\text{ F. Pf.}} \text{ oder } N_{Pf.} = \frac{E}{430} = 151 \cdot 7.$$

Aus den Relationen (3) und (2) in Nr. **284** folgt auch noch für die Geschwindigkeit des kleinen Kolbens $v = \frac{l}{h} V' = 3 \times 1{\cdot}688 = 5{\cdot}064$ und für jene des gröfseren $v' = \frac{L}{l} v = \frac{4}{3} \times 5\ 064 = 6\ 752$ Fufs per Sec., so, dafs also die Maschine per Minute 50·64 einfache Kolbengänge macht.

Anmerkung. Wird dasselbe Beispiel nach der ältern Theorie gerechnet, so erhält man zuerst nach der Formel (r) in Nr. 278 für die Wirkung während eines Kolbenganges $W = 105608{\cdot}2^{\text{F. Pf.}}$ und da per Secunde $\frac{50{\cdot}64}{60}$ solcher Kolbengänge Statt finden, so ist der Effect per Secunde

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

Es müfste also dieser Werth mit dem Coeffizienten ·732 multiplicirt werden, um die vorige Zahl 65238 der *Pamb.* Theorie zu erhalten.

Beispiel 2. Berechnet man das vorige Beispiel nochmals mit der einzigen Änderung, dafs die Communication des Dampfzutrittes in den kleinen Cylinder nach dem halben Kolbenschub 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

$$V' = 193{\cdot}337,\quad Q' = 18468{\cdot}874 \text{ und } E_{\text{max.}} = 35\ 0716{\cdot}6$$

oder $N_{\text{Pf.}} = 138{\cdot}4$ erhält.

Beispiel 3. Sucht man zur Erreichung des absoluten Maximums zuerst nach der Relation (12) (Nr. **287**) das günstigste Expansions- oder Absperrungsverhältnifs, so erhält man dafür $\frac{l'}{l} = {\cdot}8306$, also $l' = {\cdot}8306 \times 6 = 4{\cdot}9836$ und damit $N = 2{\cdot}2787$, $V' = 120{\cdot}74$, $Q' = 32777{\cdot}78$ und $E_{\text{max}} = 3957589{\cdot}16$ oder in Pferdekräften $N_{\text{Pf.}} = 153{\cdot}4$.

Anmerkung. Da man bei der Berechnung von Dampfmaschinen, zur Zeiteinheit die Minute nimmt, so heifst in der Praxis der Effect eines Pferdes in einer Minute auch Pferdekraft per Minute und wird bei den Engländern mit 33000 Pf. 1 Fufs hoch, bei den Franzosen (davon etwas verschieden und nahe um $1\frac{1}{4}$ Procent kleiner) mit 4500 Kilogramme 1 Meter hoch, und in Österreich (nahe mit der englischen Annahme übereinstimmend) zu 25800 Pfund 1 Fufs 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:

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

so wie der Nutzeffect für 1 Kubikfuſs effective verdampften Wassers:

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

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

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

$$151{\cdot}7 : 138{\cdot}4 : 153{\cdot}4,$$

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

$$386{\cdot}5 : 184{\cdot}7 : 327{\cdot}8$$

und die Geschwindigkeit, mit welcher sich der kleine Kolben bewegt, wie die Zahlen

$$101{\cdot}3 : 193{\cdot}3 : 120{\cdot}7$$

verhält, indem diese Geschwindigkeit per Secunde beziehungsweise, nahe 5, $6\frac{1}{2}$ und 6 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 auf S. 227 u. f.

Beispiel 4. Wäre endlich mit denselben im 1. Beispiele gegebenen Gröſsen, mit Ausnahme, daſs $l' = \frac{1}{4}\,l = 1{\cdot}5$ seyn 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. **286** zuerst aus (10):

$S = {\cdot}168$ Kubikfuſs (zu verdampfendes Wasservolumen per Minute) und damit dann $Q' = 3982{\cdot}54$ Pfund und $E = 238952{\cdot}4^{\text{F. Pf.}}$ per Minute oder $N_{\text{Pf}} = \frac{E}{25800} = 9\frac{1}{4}$ 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) $= \frac{Q'\,V'}{S} = \frac{238952{\cdot}4}{{\cdot}168} = 1422335{\cdot}7^{\text{F. Pf.}} = 55{\cdot}1$ Pferdekraft, also um mehr als $2\frac{3}{4}$ Mal kleiner als für das absolute Maximum, wobei der Expansionscoeffizient ${\cdot}8306$ ist, während er hier nur mit ${\cdot}25$ angenommen wurde.

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

Watt'sche Maschine, doppelt wirkend.

290. Für die doppelt wirkende *Watt*'sche Dampfmaschine erhält man die entsprechenden Formeln ganz einfach aus jenen der *Woolf*'schen Maschine (Nr. **285** bis **287**), wenn man $f = F$, $h = l = L$, $a = A$ und $k = K$ setzt, wodurch eigentlich die beiden Cylinder in einen einzigen übergehen. Um diefs wenigstens für eine Formel nachzuweisen, wollen wir auf diese Weise die Formel (2) in §. 518 für die mittlere Kolbengeschwindigkeit v entwickeln.

Nach der Relation (3) in Nr. **284** wird unter der gemachten Voraussetzung $v = V$, folglich nach der Formel (4) in Nr. **285**:

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

wobei nach Relat. (α) in Nr. **284**, $N = \frac{l'}{l'+a} + logn.\frac{l+a}{l'+a}$ ist

Um nun diese Formel mit der genannten (2) in §. 518 in Übereinstimmung zu bringen, mufs man sich erinnern, dafs dort das relative Dampfvolumen durch die Formel (§. 515) $\mu = \frac{1}{n + mp}$ dargestellt ist, welche hier auf die Form $\frac{m}{n+p}$ (Nr. **279**) gebracht wurde, so, dafs man also in der vorigen Formel (k) statt m und n setzen mufs $\frac{1}{m}$ und $\frac{n}{m}$. Ferner ist, wie leicht zu sehen $N = k$, $\delta = \alpha$, $\frac{Q}{F} = q$ und $2k = f$, mit welchen Werthen diese Formel die Form

$$v = \frac{S}{F} \cdot \frac{k}{n + m[(1+\alpha)q + f + p]}$$

erhält, welche sofort genau mit jener (2) in §. 518 übereinstimmt

Ganz auf dieselbe Weise folgen auch die übrigen Formeln der §§. 516 bis 522 aus den obigen Formeln in Nr. **285** bis **287**.

291. Setzt man mit Beibehaltung der übrigen hier gewählten Bezeichnung die Kolbenfläche $= F$, den Kolbenlauf bei offener Communication $= l$, den ganzen Kolbengang $= L$, die auf die Flächeneinheit des Kolbens entfallende Nutzlast $\frac{Q}{F} = q$, die auf dieselbe Flächeneinheit bezogene Reibung der unbelasteten Maschine $= f + \delta q$; so hat man im gegenwärtigen Falle

$$N = \frac{l}{l+a} + logn. \left(\frac{L+a}{l+a}\right) \; . \; . \quad (a)$$

gesetzt, für den allgemeinen Fall:

$$v = \frac{S}{F} \cdot \frac{mN}{n + (1+\delta)q + f + p} \; . \; . \quad (1)$$

$$Q = Fq = \frac{mNS}{(1+\delta)v} - \frac{F}{1+\delta}(n+f+p) \; . \; . \quad (2)$$

$$S = Fv \frac{n + (1+\delta)q + f + p}{mN} \; . \; . \quad (3)$$

$$E = Qv = \frac{mNS}{1+\delta} - \frac{Fv}{1+\delta}(n+f+p) = \frac{mqNS}{n+(1+\delta)q+f+p} \quad (4)$$

Für den größten Nutzeffect, bei einem gegebenen Expansionsverhältniß $\frac{l}{L}$:

$$v' = \frac{mS}{F(n+P)} \cdot \frac{L}{l+a} \; . \; . \quad (5)$$

$$Q' = \frac{mNS}{(1+\delta)v'} - \frac{F}{1+\delta}(n+f+p) \; . \; . \quad (6)$$

$$E_{\text{max.}} = Q'v' \; . \; . \quad (7)$$

Endlich ist für das absolute Maximum des Nutzeffectes:

$$\frac{l}{L} = \frac{n+f+p}{n+P} = \frac{\frac{m}{n+P}}{\frac{m}{n+(p+f)}} \; . \; . \quad (8)$$

woraus sofort folgt, daß das vortheilhafteste Expansions- oder Absperrungsverhältniß, nichts anders als das Verhältniß zwischen den relativen Dampfvolumina unter dem Drucke P und $p+f$ ist.

Für den practischen Gebrauch dieser Formeln ist auch hier, wenn D den Kolbendurchmesser in Fußen ausgedrückt bezeichnet: $p = 500$, $f = \frac{260}{D}$, $\delta = \cdot 14$, $a = \cdot 05L$, $m = 3378378$ und $n = 143$, oder wenn man die neuern *Pambour*'schen Coeffizienten vorzieht (was übrigens wenig Unterschied gibt) $m = 3571490$, $n = 218$.

Die absolute Dampfspannung P im Kessel beträgt gewöhnlich nur $1\frac{1}{8}$ bis $1\frac{1}{4}$ Atmosphäre, so, daß also ohne Expansion gearbeitet, folglich $l = L$ wird.

Hochdruckmaschine.

292. Für Hochdruckmaschinen ohne Expansion und Condensation, gelten wieder die vorigen Formeln mit der Vereinfachung, welche aus der Relation $l = L$ hervorgeht, dabei setzt man $p = 1845$, $f = \frac{260}{D}$, $\delta = \cdot 14$, $a = \cdot 05 L$ und (Nr. **270**, Anmerk. 2) $m = 3787520$, $n = 540$.

Der Dampf wird im Kessel gewöhnlich unter einem absoluten Druck von 3 *bis* 4 Atmosphären entwickelt.

Die hierher gehörigen Formeln sind nämlich, da für $l = L$ in der Relation (α) die logarithmische Gröſse wegfällt und $N = \frac{L}{L+a}$ wird, für den allgemeinen Fall:

$$v = \frac{S}{F} \cdot \frac{L}{L+a} \cdot \frac{m}{n + (1+\delta) q + p + f} \quad . \; . \quad (1)$$

$$Q = F q = \frac{L}{L+a} \cdot \frac{m S}{(1+\delta) v} - \frac{F}{1+\delta}(n + p + f) \quad . \; . \quad (2)$$

$$S = \frac{L+a}{L} \cdot \frac{F v}{m} \left[n + (1+\delta) q + p + f\right] \quad . \; . \quad (3)$$

$$E = Q v = F q v \quad . \; . \quad (4)$$

für den gröſsten Nutzeffect:

$$v' = \frac{L}{L+a} \cdot \frac{m S}{F(n+P)} \quad . \; . \quad (5)$$

$$Q' = F q' = \frac{F}{1+\delta}(P - p - f) \quad . \; . \quad (6)$$

$$S = \frac{L+a}{L} \cdot \frac{n+P}{m} \cdot F v' \quad . \; . \quad (7)$$

$$E_{\text{max.}} = Q' v' = F q' v' \quad . \; . \quad (8)$$

Cornwall Maschine, doppelt wirkend.

293. Da die *Cornwall* Maschinen, wenn sie doppelt wirkend sind, mit Expansion und Condensation arbeiten, wobei die absolute Dampfspannung im Kessel von 3 bis 4 Atmosphären beträgt; so gelten dafür wieder die obigen Formeln in Nr. **291**, nur setzt man für die practische Anwendung derselben, da (weil bei diesen Maschinen ein sehr gutes Vacuum erzeugt wird) die Luftpumpe doppelt so groſs ist und die Dampf-Abzugscanäle nicht bloſs wie bei den *Watt*'schen Maschinen $\frac{1}{25}$, sondern $\frac{1}{16}$ des Inhaltes des Dampfcylinders betragen, also ein geringerer Gegendruck auf den Kolben entsteht, in runder Zahl $p = 160$, dagegen

wieder $f = \frac{260}{D}$, $\delta = \cdot 14$, $a = \cdot 05\, L$, $m = 3571490$ und $n = 218$.
Wenn ferner bei den übrigen stationären Maschinen in Folge des Wassers, welches im liquiden Zustande mit dem Dampfe in den Cylinder mit gerissen wird, das effective verdampfte Wasservolumen S beiläufig nur 95, d. i. 95 Procent von dem im Kessel beobachteten Bruttovolumen S' beträgt, so kann bei diesen *Cornwall*'schen Maschinen, vermöge der hohen Temperatur, welche der Cylinder fortwährend behält, indem er von dem Dampf (in einem Gehäuse oder Mantel) umhüllt wird, ohne Fehler $S = S'$ gesetzt werden. Alle diese genannten und noch mehrere andere Verbesserungen sind Ursache von der aufserordentlichen Leistungsfähigkeit dieser *Cornwall*'schen Dampfmaschinen, welche in dieser Beziehung einen sehr vortheilhaften Ruf erlangt haben.

Da nun diese Maschinen im Allgemeinen mit einem Dampfdrucke von 40 bis 50 engl. Pfund auf den Quadratzoll arbeiten, ihre mittlere Reibung zu $\frac{3}{4}$ und der Gegendruck von Seite des Condensators zu $1\frac{1}{4}$ Pf. auf den Quadratzoll angenommen, also $p + f = 2$ gesetzt werden kann; so folgt für das vortheilhafteste Expansionsverhältnifs, nach der Relat. (8) in Nr. **291** (für eine Dampfspannung von 45 Pf. engl.)

$$\frac{l}{L} = \frac{n + p + f}{n + P} = \frac{218 + 1\,74 \times 144}{218 + 40 \times 144} = \cdot 08.$$

In der Praxis würde jedoch durch einen so kleinen Werth von l der Gang der Maschine zu ungleichförmig, und man begnügt sich für l von $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}\, L$ herabzugehen.

Evans Maschine.

294. Die sogenannten *Evans* Maschinen, sind doppelt wirkende Hochdruckmaschinen mit Expansion, jedoch ohne Condensation. Es gelten daher auch für diese Maschinen dieselben Formeln wie für die doppelt wirkenden *Cornwall* Maschinen, nur mit dem Unterschiede, dafs hier P gröfser genommen wird, indem bei den *Evans* Maschinen die Dampfspannung im Kessel gewöhnlich von 3 bis 8 Atmosphären beträgt, und dafs ferner p den atmosphärischen Druck bezeichnet.

Dem zu Folge kann man für diese Maschinen setzen:

$$f = \frac{260}{D},\ \delta = \cdot 14,\ a = \cdot 05\, L,\ p = 1845,\ m = 3787520,\ n = 540$$

wobei, wie hier durchaus der W. Fufs und das W. Pfund als Einheiten zum Grunde liegen.

Für das **vortheilhafteste Absperrungsverhältnifs**, hat man nach der erwähnten Relation (8):

$$\frac{l}{L} = \frac{2385 + f}{540 + P} \quad . \; . \quad (x)$$

so, dafs für eine Dampfspannung von 120 Pf. auf den englischen Quadratzoll, bei dem mittlern Werthe von f sofort $\frac{l}{L} = \cdot 18$, dagegen für eine absolute Spannung von beiläufig 55 Pf. $\frac{l}{L} = \cdot 35$ würde.

Für gewöhnlich nimmt man bei diesen Maschinen dieses Verhältnifs von $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{3}$ an.

Beispiel 1. ***Pambour*** berechnet zur Anwendung der hierher gehörigen Formeln eine solche, in Brighton zum Betriebe einer Wasserförderungsmaschine für die dortige Wasserleitung bestehende Dampfmaschine. Die Angaben sind nach englischem Mafs und Gewicht folgende:

Durchmesser des Cylinders $= 16\frac{1}{2}$ Zoll, Kolbenlauf $= 3$ Fufs, Expansionsverhältnifs (oder Coeffizient) $= \cdot 517$, Brutto-Verdampfung $= \cdot 317$ Kubikfufs Wasser per Minute, also effective Verdampfung (zu 95 % angenommen) $= \cdot 301$ Kubikfufs, Kohlenverbrauch in derselben Zeit $= 2 \cdot 845$ Pfund.

Obschon ferner die Dampfspannung im Kessel zufällig nicht angegeben, so läfst sich diese dennoch aus dem Gange der Rechnung ermitteln, wornach sie sich zu 7874·24 Pfund auf den englischen Quadratfufs oder zu 3·72 Atmosphären über den Luftdruck herausstellt.

Sucht man nun, bei dem gegebenen Expansionsverhältnifs, die dem gröfsten Effect entsprechende Kolbengeschwindigkeit und die derselben entsprechende Nutzlast; so erhält man nach ***Pambour's*** Rechnung, wegen $D = 1 \cdot 375$, $F = 1 \cdot 4849$, $L = 3$, $\frac{l}{L} = \cdot 517$, $S = \cdot 95\, S' = \cdot 95 \times \cdot 317 = \cdot 301$, $P = 11433 \cdot 4$, $R = 2 \cdot 845$, $p = 2118$, $a = \cdot 05\, L$, $\delta = \cdot 14$, $f = \frac{300}{D}$, $m = 4348000$ und $n = 620$ sofort für diese dem Maximum des Nutzeffectes entsprechende Geschwindigkeit nach der Formel (5) Nr. **292**) $v' = 183$ Fufs per Minute.

Sucht man ferner zu dieser, so wie auch der Vergleichung wegen zugleich für die Geschwindigkeiten von 250 und 200 Fufs die übrigen Gröfsen, so wird

			Max. des Nutzeffectes
v	$= 250$ . . .	200 . . .	183
$Q = Fq$ . .	$= 3144$ . . .	4892 . . .	5711

			Max. des Nutzeffectes
$\frac{q}{144}$	$=14{\cdot}70$	$22{\cdot}88$	$26{\cdot}71$
S	$={\cdot}301$	${\cdot}301$	${\cdot}301$
$E_{\text{F.Pf.}}$	$=786000$	978410	1045100
$E_{\text{Pf.kr.}}$	$=23{\cdot}82$	$29{\cdot}65$	$31{\cdot}67$
$\frac{Qv}{R}$ [1]	$=276280$	343910	367350
$\frac{Qv}{S}$ [2]	$=2612800$	3252450	3474200
$\frac{33000\,R}{Qv}$ [3]	$={\cdot}120$	${\cdot}096$	${\cdot}090$
$\frac{33000\,S}{Qv}$ [4]	$={\cdot}013$	${\cdot}010$	${\cdot}009$
$\frac{Qv}{33000\,R}$ [5]	$=8{\cdot}37$	$10{\cdot}42$	$11{\cdot}13$
$\frac{Qv}{33000\,S}$ [6]	$=79$	99	105

Da man ferner nach der Formel (8) für das absolute Maximum das Expansionsverhältnifs $\frac{l}{L}={\cdot}35$ findet, so hat man mit Beibehaltung der übrigen Werthe, also auch von $S={\cdot}301$, sofort:

$$v''=259,\ Q''=4340,\ \frac{q''}{144}=20{\cdot}30,\ E''=1125000,\ E_{\text{Pf.kr.}}=34{\cdot}09$$

$$\frac{Qv}{R}=395410,\ \frac{Qv}{S}=3739600.$$

Obschon man also durch die weiter getriebene Expansion von ·35 ungefähr 2 Pferdekräfte gewinnen kann, so erhält man dennoch bei dem ersten Verhältnifs von ·517 eine gröfsere Gleichförmigkeit im Gange der Maschine, welche in vielen Fällen bedingt seyn kann, so, dafs man auf diese geringe Ersparung lieber verzichtet.

Pambour berechnet dasselbe Beispiel noch für den Fall, in welchem die Maschine nicht mit voller Kraft zu arbeiten hat, also das Feuer gemäfsigt und die Brutto-Dampferzeugung bis auf ·243 Kubikfufs per

---

1) Nutzeffect von 1 Pfund Brennstoff in Fufspfund (per Minute).
2) Nutzeffect aus 1 Kubikfufs Wasser.
3) Brennstoffmenge in Pfunden, welche den Effect von 1 Pferd hervorbringt.
4) Wassermenge in Kubikfufs, welche den Effect von 1 Pferd erzeugt.
5) Nutzeffect in Pferdekräfte, welche durch 1 Pfund Brennstoff erzeugt wird
6) Nutzeffect in Pferdekräfte, welche durch ein Kubikfufs Wasser (verdampft) erzeugt wird.

Minute vermindert wird, daher $S = \cdot 231$ gesetzt werden kann. *Pambour* erhält dafür (bei $\frac{l}{L} = \cdot 517$):

			Max. des Nutzeffectes
v	$= 250$	200	$140\cdot 5$
$Q = F q$	$= 1527$	2870	5711
$\frac{q}{144}$	$= 7\cdot 14$	$13\cdot 42$	$26\cdot 71$
S	$= \cdot 231$	$\cdot 231$	$\cdot 231$
E	$= 381750$	574000	802660
$E_{\text{Pf.kr.}}$	$= 11\cdot 57$	$17\cdot 40$	$24\cdot 32$
$\frac{Q v}{R}$	$= 164160$	246840	345170

Beispiel 2. Zur Übung sey noch auf das Wiener Mafs und Gewicht bezogen, für eine ganz ähnliche Maschine, wobei der Durchmesser des Dampfcylinders etwas kleiner (statt 1·325 nur 1·113 Fufs), dagegen die absolute Dampfspannung etwas gröfser (statt 6859·2 sofort 9939·6 Pfund per Quadratfufs), alles Übrige jedoch gleich ist, sofort $D = 1\cdot 113$, also $F = \cdot 9728$, $L = 2\cdot 893$, $l = \cdot 517\, L$, $S = \cdot 2698$ $P = 9959\cdot 59$, $R = 2\cdot 304$, $p = 1845$, $a = \cdot 05\, L$, $S = \cdot 14$, $f = \frac{260}{D}$ $m = 3787520$, $n = 540$. Mit diesen Werthen erhält man aus den obigen betreffenden Formeln (wegen $N = 1\cdot 5278$):

			Max. des Nutzeffectes
v	$= 241$	$192\cdot 85$	$176\cdot 45$
$Q = F q$	$= 3448$	$4866\cdot 78$	$5526\cdot 81$
$\frac{q}{144}$	$= 24\cdot 61$	$34\cdot 74$	$39\cdot 45$
S	$= \cdot 2698$	$\cdot 2698$	$\cdot 2698$
$E_{\text{F.Pf.}}$	$= 830968$	$938558\cdot 5$	$975205\cdot 6$
$E_{\text{Pf kr.}}$	$= 32\cdot 21$	$36\cdot 37$	$37\cdot 80$
$\frac{Q v}{R}$ *)	$= 360663$	407360	423266
$\frac{Q v}{S}$	$= 3079941$	3478719	3614550
$\frac{25800\, R}{Q v}$	$= \cdot 0715$	$\cdot 0633$	$\cdot 0608$

*) Von hier an hat man nämlich der Reihe nach: Nutzeffect in F. Pf. für 1 Pfund Brennstoff, Nutzeffect in F. Pf. für 1 Kubikfufs verdampftes Wasser, consumirten Brennstoff für 1 Pferdekraft, verdampftes Wasservolumen für 1 Pferdekraft, Arbeit in Pferdekräfte für 1 Pfund Brennstoff, Arbeit in Pferdekräfte für ein Kubikfufs verdampftes Wasser.

		Max des Nutzeffectes	
$\dfrac{25800\,S}{Q\,v}$ . .	$= \cdot 0083$ . . .	$\cdot 00742$ . .	$\cdot 00713$
$\dfrac{Q\,v}{25800\,R}$ . .	$= 13 \cdot 98$ . . .	$15 \cdot 78$ . .	$16 \cdot 40$
$\dfrac{Q\,v}{25800\,S}$ . .	$= 119 \cdot 4$ . . .	$134 \cdot 8$ . .	$140 \cdot 0$

Da man ferner nach der obigen Relatoin (x) für das vortheilhafteste Absperrungsverhältnifs sehr nahe $\frac{l}{L} = \cdot 25$ findet, so hat man noch für das absolute Maximum (wegen $N = 2 \cdot 0861$):

$v' = 333 \cdot 488$ Fufs,

$Q' = 3372 \cdot 68$ Pfund,

$E' = 1124748 \cdot 3$ Fufspfund,

$E_{\text{Pf.kr.}} = 43 \cdot 6$ Pferdekräfte,

$\frac{q}{144} = 24 \cdot 07$ Pfund,

$S = \cdot 2698$ Kubikfufs per Minute,

$\frac{Q'\,v'}{R} = 488172$ Fufspf. für 1 Pf. Brennmaterial,

$\frac{Q'\,v'}{S} = 4169193$ Fufspf. für 1 Kubikfufs Wasser,

$\frac{25800\,R}{Q'\,v'} = \cdot 0528$ Pf. Brennstoff für 1 Pferdekraft,

$\frac{25800\,S}{Q'\,v'} = \cdot 00619$ Kubikf. Wasser für 1 Pferdekraft,

$\frac{Q'\,v'}{25800\,R} = 18 \cdot 92$ Pferdekräfte für 1 Pf. Brennstoff,

$\frac{Q'\,v'}{25800\,S} = 161 \cdot 58$ „ für 1 Kubikfufs Wasser.

Für das Absperrungsverhältnifs von $\frac{l}{L} = \cdot 35$ erhält man $(N = 1 \cdot 8402)$ $v = 250 \cdot 1$, $Q = 4361$, $E = 1090675$, $E_{\text{Pf.kr.}} = 42 \cdot 27$, $\frac{q}{144} = 31 \cdot 13$, $S = \cdot 2698$, $\frac{Q\,v}{R} = 473783$, $\frac{Q\,v}{S} = 4042531$ u. s. w.

Nimmt man endlich an, dafs die Maschine nicht die volle Nutzlast zu überwinden habe, der Maschinenwärter also, um dieselbe nicht schneller wie gewöhnlich gehen zu lassen, das Feuer mäfsigt und dadurch z. B. das Kohlenconsumo R auf $1 \cdot 883$ Pfund und die Verdampfung S bis auf $\cdot 2075$ Kubikf. per Min. reducirt; so erhält man bei dem obigen Werthe von $\frac{l}{L} = \cdot 517$ sofort $v = 135 \cdot 71$, $Q = 5526 \cdot 78$, $E = 750017$,

$E_{\text{Pf kr.}} = 29$, $\frac{q}{\cdot 44} = 39\cdot 45$, $S = \cdot 2075$, $\frac{Qv}{R} = 398310$,
$\frac{Qv}{S} = 3614541$ u. s w.

Dabei wird jedoch immer vorausgesetzt, daſs kein Dampf, sey es durch die Schieber, Kolben, Sicherheitsventile u. s. w. entweicht oder verloren gehe.

Watt'sche Maschine, einfach wirkend.

295. Bei den *Watt*'schen einfach wirkenden Maschinen, welche (Niederdruckmaschinen mit Expansion und Condensation) zum Betriebe von Wasserpumpen verwendet werden, wirkt der Dampf bloſs während des Niedergehens des Dampf- oder Aufsteigens des Pumpenkolbens. Sobald der Dampfkolben seinen tiefsten Stand erreicht hat, schlieſst sich jenes Ventil, durch welches der Dampf in den Condensator abzieht, während sich das sogenannte Gleichgewichts-Ventil öffnet und eine Communication zwischen dem Raume über und unter dem Kolben herstellt, wodurch beim darauf folgenden Aufsteigen des Kolbens der über demselben befindliche Dampf, da er unter denselben treten kann, weiter keinen Widerstand leistet, oder das Gleichgewicht zwischen dem Dampfdruck über und unter dem Kolben sehr nahe hergestellt ist.

Dieses Aufsteigen des Dampfkolbens wird durch das Gewicht des am andern Ende des Balanciers angebrachten Gestänges der Pumpe oder durch das sogenannte Gegengewicht bewirkt, welches stets auf eine zweckmäſsige Weise regulirt seyn muſs.

Bei Berechnung des Effectes dieser Maschine muſs man berücksichtigen, daſs während des Niederganges des Dampfkolbens die Nutzlast, d. i. das Wasser und zugleich auch das Gegengewicht, welches während dieser Periode als Last erscheint, gehoben wird, daſs dagegen beim Aufsteigen des Kolbens, wobei keine Nutzleistung Statt findet, dieses Gegengewicht als die bewegende Kraft auftritt und (gerade so, wie es auch bei einem Schwungrad der Fall ist) jene Arbeitsgröſse, welche zum Heben des Gewichtes verwendet wurde, wieder zurückerstattet.

Anmerkung. Da diese Maschinen nicht zu den Kurbelmaschinen gehören (oder nicht rotativ sind) und daher kein Schwungrad besitzen, so muſs die Regulirung, sowohl hinsichtlich der Länge des Kolbenlaufes, als auch rücksichtlich der Anzahl der Kolbengänge per Minute durch anderweitige Mittel bewerkstelligt werden. In ersterer Beziehung wendet man das Regulirungs-Ventil, in letzterer dagegen den sogenannten Cataract, nämlich einen, durch einen Wasserstrahl in Bewegung gesetzten kleinen Apparat (öfter auch eine kleine Druckpumpe) an, welcher, nachdem der Dampfkolben einen Lauf vollendet und seinen höchsten oder tiefsten Stand eingenommen hat, nicht unmittelbar wieder, sondern erst nach Verlauf einer gewissen und im Voraus nach Umständen bestimmten Zeit auf eine Auslösung und dadurch mittelbar beziehungsweise auf die Bewegung des Einströmungshahnes und des Gleichgewichtsventils wirkt, wodurch der Dampf neuerdings über oder unter den Kolben tritt und eine neue Oscillation einleitet.

Eine genaue und detaillirte Beschreibung dieser verschiedenen Apparate und Vorrichtungen findet man u. A. in *Pambour's théorie des machines à vapeur.*

296. Es sey nun, um zuerst die Wirkung oder Arbeitsgröfse des Dampfes während des Niedergehens des Kolbens auszudrücken, wieder P der Druck, unter welchem der Dampf im Kessel erzeugt wird, P' der unbekannte mittlere Druck des Dampfes im Cylinder auf die Flächeneinheit (also hier auf den Quadratfufs) bezogen, F die Kolbenfläche, L die Länge des Kolbenlaufes, l jener Theil davon, welcher bei offener Communication mit dem Kessel zurückgelegt wird (bevor die Expansion des Dampfes beginnt), und a der freie Raum zu jeder Seite des Cylinders (welcher vom Kolben nicht durchlaufen wird); so hat man nach der Relation (c) in Nr. **280** für die Wirkung des Dampfes während des Kolbenniederganges:

$$W_1 = F(l+a)(n+P')\left[\frac{l}{l+a} + \log n.\frac{L+a}{l+a}\right] - nFL$$

Um ferner auch den Widerstand auszudrücken, so sey q die auf die Einheit der Kolbenfläche bezogene, und auf die Geschwindigkeit des Kolbens reducirte Nutzlast (von Seite der Saug- und Heb- oder Druckpumpe), q' eben so die von dem Gegengewicht herrührende Last, p der Dampfdruck von Seite des Condensators (ebenfalls auf die Flächeneinheit bezogen) und $f + \delta(q + q')$ die Reibung der mit dem Widerstande $q + q'$ belasteten Maschine, so, dafs also f die auf die Einheit der Kolbenfläche bezogene Reibung der leeren oder unbelasteten Maschine (wofür jedoch nicht blofs die eigene Reibung der Maschine, sondern zugleich auch alle, keinen Theil des Nutzeffectes ausmachenden Widerstände gehören, welche durch die Bewegung der Luft- und Warmwasserpumpe u. s. w. entstehen) und δ die Zunahme bezeichnet, welche die Reibung für jede Einheit der Last, wohin u. A. auch das Gegengewicht gehört, erhält.

Diefs vorausgesetzt, erhält man für die Arbeitsgröfse aller dieser Widerstände während eines Kolben-Niederganges, den Ausdruck:

$$[(1+\delta)(q+q')+p+f]\,FL$$

und da dieser für das dynamische Gleichgewicht dem vorigen Werthe W_1 gleich seyn mufs, so hat man, wenn man wieder Kürze halber

$$N = \frac{l}{l+a} + logn \cdot \frac{L+a}{l+a} \,.\,.\quad (d)$$

setzt und gleich die Gröfse $n+P'$ bestimmt, für den Niedergang des Dampfkolbens:

$$n+P' = \frac{L}{l+a} \cdot \frac{1}{N}\,[n+(1+\delta)(q+q')+p+f] \,.\,.\quad (A)$$

297. Beim Aufwärtsgehen des Dampfkolbens bildet das erwähnte Gegengewicht die bewegende Kraft, während die zu überwindende Last aus den Reibungen der Maschine, dem Widerstande, welchen die Förderungspumpe beim Niedergange ihres Kolbens und jenem Widerstande zusammengesetzt ist, welchen der über dem Dampfkolben befindliche Dampf von dem Augenblicke an bildet, als das Gleichgewichtsventil geschlossen, dieser Dampf also (zur allmähligen Verzögerung der aufsteigenden Bewegung und Vermeidung eines Stofses) comprimirt wird.

Setzt man daher, da im Allgemeinen die Reibung der unbelasteten Maschine beim Aufwärtsgehen des Kolbens eine andere als beim Niedergange desselben seyn wird, diese Reibung (alles wieder auf die Einheit der Kolbenfläche bezogen) $= f'$ und den Widerstand der Förderungspumpe bei diesem Gange $= q''$; so ist FLq' die Arbeitsgröfse des Gegengewichtes und $FL(f'+q'')$ jene der Maschinenreibung und des Widerstandes von Seite der Förderungspumpe während des genannten Kolbenganges.

Um ferner auch den Widerstand des nach Absperrung des Gleichgewichtsventils über dem Kolben befindlichen Dampfes zu bestimmen, bemerke man zuerst, dafs so lange dieses Ventil geöffnet ist, der Dampf über und unter dem Kolben (beinahe ganz gleich) eine Spannung p' besitzt, welche einem Dampfe zukömmt, der (beim vorhergegangenen Kolbenlaufe) von dem Volumen $F(l+a)$ auf jenes $F(L+2a)$ ausgedehnt oder expandirt wurde, so dafs also nach der Relation (*b*) in Nr. **279** sofort

$$p' = (n+P')\,\frac{l+a}{L+2a} - n \,.\,.\quad (i) \quad \text{ist.}$$

Nehmen wir nun an, das Gleichgewichtsventil werde in dem Augenblicke geschlossen, in welchem der aufwärtssteigende Kolben den Weg l' zurückgelegt hat und betrachten wir den Kolben in jenem Momente, in welchem er bereits den Weg $\lambda > l'$ zurückgelegt; so wird, wenn in diesem Augenblicke der über dem Kolben befindliche, etwas comprimirte Dampf die Spannung p_1, dagegen jener unter dem Kolben befindliche, etwas mehr expandirte Dampf jene p_2 besitzt, bei dem Weiterrücken des Kolbens um $d\lambda$, die Arbeitsgröfse dieses Widerstandes $=(p_1 - p_2) F d\lambda$, oder da, wenn man den Raum unterhalb des Kolbens betrachtet, dem Raume $F(l' + a)$ die Dampfspannung p', dagegen dem Raume $F(\lambda + a)$ jene p_2, ferner, wenn man den Raum oberhalb des Kolbens berücksichtiget, dem Raume $F(L - l' + a)$ die Spannung p' und dem Raume $F(L - \lambda + a)$ jene p_1 zukömmt, folglich nach der vorhin genannten Relation (b):

$$p_2 = (n + p')\frac{l' + a}{\lambda + a} - n \text{ und } p_1 = (n + p')\frac{L - l' + a}{L - \lambda + a} - n$$

ist, auch

$$= F(n + p')\left[\frac{L - l' + a}{L - \lambda + a} - \frac{l' + a}{\lambda + a}\right] d\lambda$$

oder wenn man für p' den Werth aus der vorigen Relation (i) setzt

$$= F(n + P')\frac{l + a}{L + 2a}\left[(L - l' + a)\frac{d\lambda}{L - \lambda + a} - (l' + a)\frac{d\lambda}{\lambda + a}\right].$$

Integrirt man nun diesen Ausdruck innerhalb der Grenzen von $\lambda = l'$ bis $\lambda = L$, so erhält man für die gesuchte Arbeitsgröfse dieses betreffenden Widerstandes, wenn man Kürze halber

$$\frac{(L - l' + a)}{L + 2a} \, logn. \left(\frac{L - l' + a}{a}\right) - \frac{(l' + a)}{L + 2a} \, logn. \left(\frac{L + a}{l' + a}\right) = N' \quad (e)$$

setzt, ganz einfach den Ausdruck

$$N' F L (n + P')\frac{l + a}{L},$$

welcher sofort, wie es seyn soll, für $l' = L$ gleich Null wird. Es ist daher wieder für das dynamische Gleichgewicht und zwar beim Aufwärtsgehen des Dampfkolbens:

$$F L q' = F L (f' + q'') + N' F L (n + P')\frac{l + a}{L}$$

oder auch

$$n + P' = \frac{L}{l + a} \cdot \frac{1}{N'}(q' - f' - q'') \;.\; . \; (B)$$

Anmerkung. Wie man sieht, so bilden diese beiden Relationen (A) und (B) die erste der beiden *Pambour*'schen Hauptbedingungen, so dafs also nur noch die zweite, nämlich die Gleichheit zwischen dem erzeugten und consumirten Dampfvolumen auszudrücken ist.

298. Um nun auch jene Relation zu finden, welche die Gleichheit zwischen dem erzeugten und verbrauchten Dampf ausdrückt, bemerke man, dafs in dem Augenblicke (nämlich beim Beginne des Niederganges des Dampfkolbens) als der Dampf in den Condensator abzieht, dieser die Spannung p' besitzt, welche durch die obige Relation (i) gegeben ist. Ferner ist das Volumen des Dampfes, welcher bei jedem Niedergange (also bei jeder vollständigen Oscillation) des Dampfkolbens condensirt wird $= F(l' + a)$, so, dafs, wenn per Minute n' Oscillationen oder Kolbenniedergänge Statt finden, das per Minute consumirte Dampfvolumen $= n' F(l' + a)$ ist.

Ist nun V die mittlere Kolbengeschwindigkeit oder der Weg per Minute, so ist $V = 2n'L$, oder wenn man, wie es bei dieser Gattung von Maschinen üblich ist, blofs den Weg v in Rechnung bringt, welchen der Kolben beschreibt während er den Nutzeffect hervorbringt, wodurch $v = n'L$, also $n' = \frac{v}{L}$ wird; so erhält man für das Volumen des per Minute in den Cylinder strömenden Dampfes, diesen unter der Spannung p' gemessen, den Ausdruck

$$Fv\frac{l' + a}{L} \quad . \quad . \quad (k)$$

Ist nun von der andern Seite S das Wasservolumen, welches im Kessel per Minute unter dem Drucke P verdampft, folglich (Relat. 1, Nr. **279**) $\frac{mS}{n + P}$ das diesem Drucke P entsprechende Dampfvolumen; so geht dieses bei dem Übergange aus dem Drucke P in jenen p', in das Volumen

$$\frac{mS}{n + P} \cdot \frac{n + P}{n + p'} = \frac{mS}{n + p'}$$

über. Setzt man daher diesen Ausdruck dem vorigen (k) gleich und substituirt unter einem für $n + p'$ den Werth aus der Relation (i) in Nr. **297**, so erhält man für die noch fehlende Hauptrelation:

$$n + P' = m\frac{S}{Fv} \cdot \frac{L}{l + a} \cdot \frac{l' + a}{L + 2a} \quad . \quad . \quad (C)$$

299. Eliminirt man aus den Relationen (A) und (C), dann (B) und (C) die unbekannte Spannung P' (was bei dieser Form der genannten Relationen ganz einfach ist), so erhält man:

$$\frac{1}{N}\left[n + (1 + \delta)(q + q') + p + f\right] = m\frac{S}{Fv} \cdot \frac{L + 2a}{l' + a}$$

und

$$\frac{1}{N'}(q' - q'' - f') = m\frac{S}{Fv} \cdot \frac{L + 2a}{l' + a}$$

Setzt man ferner den Werth von q' aus der letztern dieser beiden Gleichungen in die erstere, so erhält man aus der entstehenden Gleichung, je nachdem man sie in Beziehung auf v, Q und S auflöst, und wenn man noch $q + q'' = r$ und $Fr = Q$ setzt, die zur Auflösung der verschiedenen Probleme nöthigen Relationen:

$$v = m\frac{S}{F} \cdot \frac{L+2a}{l'+a} \cdot \frac{N-(1+\delta)N'}{(1+\delta)r+n+p+f+(1+\delta)f'} \;.\;.\; (1)$$

$$Q = Fr = m\frac{S}{v} \cdot \frac{L+2a}{l'+a}\left(\frac{N}{1+\delta} - N'\right) - \frac{F}{1+\delta}[n+p+f+(1+\delta)f'] \; (2)$$

$$S = \frac{Fv}{m} \cdot \frac{l'+a}{L+2a} \cdot \frac{(1+\delta)r+n+p+f+(1+\delta)f'}{N-(1+\delta)N'} \;.\;.\; (3)$$

$$E = Qv = Frv \;.\;.\; (4)$$

wobei N und N' die in Nr. **296** (Relat. d) und Nr. **297** (Relat. e) angegebenen Werthe besitzen.

Anmerkung. Da in den gewöhnlichen Fällen die Gröfse l' nicht im Voraus gegeben ist, sondern von dem Gegengewicht q' abhängt, so kann man, um l' als Function von q' auszudrücken, aus den obigen Relationen (A) und (B), ferner auch aus jenen (B) und (C) die Gröfse P' eliminiren, wodurch man erhält:

$$N' = N \frac{q'-q''-f}{(1+\delta)(r+q'-q'')+n+p+f}$$

und

$$N'\frac{L+2a}{l'+a} = \frac{Fv}{mS}(q'-q''-f')$$

Pambour stellt zur leichtern Berechnung des Quotienten von $\frac{l'}{L}$ aus diesen beiden Gleichungen, wenn nebst deren Gegengewicht q' in der erstern die Belastung r und in der letztern die Geschwindigkeit v gegeben ist, eigene Tabellen auf. Eben so erhält man aus den von ihm im Voraus berechneten Tabellen für gegebene Werthe von $\frac{l}{L}$ und $\frac{l'}{L}$ unmittelbar die obigen Gröfsen N und N', so wie umgekehrt die erstern Quotienten, wenn diese letzteren Gröfsen gegeben sind.

300. Da man von den in den vorigen Formeln (1) bis (4) vorkommenden Gröfsen bei derselben Maschine jene v oder r, $\frac{l}{L}$ und q', damit also auch $\frac{l'}{L}$ verändern kann; so läfst sich 1[stens] die Belastung oder Geschwindigkeit bestimmen, für welche bei einem gegebenen Gegengewicht q' und einer gegebenen Absperrung l, 2[tens] das Gegengewicht finden, für welches bei gegebener Absperrung, und 3[tens] das

Absperrungsverhältnifs $\frac{l}{L}$ bestimmen, bei welchem der Effect der Maschine am gröfsten ist.

Ohne hier in weitere Auseinandersetzungen eingehen zu können, so findet man auf eine ähnliche Weise wie bei den früher behandelten Maschinen, dafs bei einem gegebenen Werthe von q' und $\frac{l}{L}$ der Nutzeffect am gröfsten wird, wenn die Nutzlast r am gröfsten (vergl. Relat. 4 und 1), folglich (Relat. A) wenn $P'=P$ ist; dadurch wird in diesem Falle:

$$v'=m\frac{L+2a}{l'+a}\cdot\frac{L}{l+a}\cdot\frac{S}{F}\cdot\frac{1}{n+P}\ \ldots\ (5)$$

und

$$Q'=Fr'=F\frac{l+a}{L}\left(\frac{N}{1+\delta}-N'\right)(n+P)-\frac{F}{1+\delta}\left[n+p+f+(1+\delta)f'\right]\ \ldots\ (6)$$

Was ferner die Bestimmung des **vortheilhaftesten Gegengewichtes** q' betrifft, so hängt dieses Gewicht, wie bereits bemerkt, von dem Werthe von l' ab, so, dafs man jenen Werth von l' suchen mufs, für welchen der Nutzeffect E am gröfsten wird.

Multiplicirt man daher die beiden vorigen Gleichungen (5) und (6) miteinander, setzt dann für N' den Werth aus Nr. **297**, sucht den Differenzialquotienten $\frac{d.Q'v'}{dl'}$ und setzt diesen gleich Null; so erhält man daraus für das Maximum von E:

$$\mathit{logn.}\left(\frac{L-l'+a}{a}\right)=\frac{N}{1+\delta}-\frac{1}{1+\delta}\cdot\frac{L}{l+a}\cdot\frac{n+p+f+(1+\delta)f'}{n+P}.\ (7)$$

so, dafs also durch diese Relation für einen gegebenen Werth von $\frac{l}{L}$ der vortheilhafteste Moment für das **Schliefsen** des Gleichgewichtsventils beim Aufsteigen des Dampfkolbens und mit diesem Werthe von l', sofort auch das dem gröfsten Nutzeffect entsprechende Gegengewicht aus der Relation (B) (Nr. **297**), in welcher man nur P statt P' zu setzen hat, gegeben ist, und zwar hat man:

$$q'=\frac{l+a}{L}N'(n+P)+f'+q''\ \ldots\ (8)$$

Was endlich das **vortheilhafteste Absperrungsverhältnifs** betrifft, wobei das **absolute** Maximum des Nutzeffectes eintritt, so findet man, wenn man sich zur Vereinfachung der Entwicklung erlaubt $l'=L$ zu setzen, wodurch $N'=0$ wird:

$$\frac{l}{L}=\frac{n+p+f+(1+\delta)f'}{n+P} \ . \ . \ (9)$$

Anmerkung. Was den Gang der Rechnung betrifft, so mufs man, um das absolute Maximum des Nutzeffectes zu erhalten, zuerst aus dieser Relat. (9) die Absperrung l suchen, damit aus (7) den Werth l'' bestimmen, mit l und l' aus (8) das Gegengewicht q' berechnen und endlich aus (6) die Belastung Q bestimmen. Kämen durch diese Berechnungen für die Absperrung, die Belastung und das Gegengewicht Werthe zum Vorschein, welche für die Praxis nicht ganz geeignet erscheinen (so fällt z. B. das Absperrungsverhältnifs $\frac{l}{L}$ in der Regel immer zu klein aus), so würde man sich mit solchen Werthen begnügen müssen, welche von diesen berechneten so wenig als möglich abweichen.

301. Was endlich die numerischen Werthe der verschiedenen Coeffizienten bei dieser Maschine betrifft, so kann man nach *Pambour* annehmen:

$$p=500, \ f=\frac{210}{D}, \ f'=\frac{300}{D}, \ \delta=\cdot 14, \ a=\cdot 1\,L, \ m=3571490$$
$$\text{und } n=218.$$

Da die absolute Dampfspannung im Kessel von 15 bis 18 Pfund auf den englischen Quadratzoll beträgt, so kann man als Mittelwerth setzen

$$P=14\cdot 5\times 144=2088.$$

Auch ist, wie bei den früheren Maschinen, $S=\cdot 95\,S'$ zu nehmen.

Beispiel 1. Nach *Pambour*'s Angabe besteht zu *Old-ford* in *East London Waterworks* eine Maschine von diesem Systeme, wovon die Dimensionen und Daten nach englischem Mafs in folgendem bestehen:

Durchmesser des Cylinders 60 Zoll, oder Fläche des Kolbens nach Abschlag der Kolbenstange 19·507 Quadratf., Kolbengang 7·91 F., Lauf bei offener Communication 5 F., Kolbengang beim Aufsteigen bis zum Absperren des Gleichgewichtsventil 7·91 F. (der Kolben wird durch die neue Dampfzuströmung aufgehalten), freier Raum zu beiden Seiten des Cylinders $\frac{1}{10}$ des Kolbenganges, absolute Dampfspannung im Kessel 17·70 Pf. auf den Quadratzoll oder 2549 Pf. auf den Quadratf., absoluter Druck im Condensator ·49 Pf. auf den Quadratzoll oder im Cylinder 1·57 Pf., folglich beträgt dieser Druck 226 Pf. auf den Quadratfufs. Verdampftes Wasser in $58\frac{1}{2}$ Stunden 182·307 Pf. was nach Abzug des condensirten Wassers in dem Mantel des Cylinders eine Brutto-Verdampfung von ·813, oder wenn man davon $\frac{1}{20}$ für das mechanisch mitgerissene Wasser abzieht, eine effective Verdampfung von 772 Kubikfufs per Minute gibt. Die Consumtion der Kohlen erster Qualität, wovon 1 Pfund 8·301 Pfund Wasser verdampfte, betrug 6·257 Pf. per Minute. Das Gegengewicht beträgt, auf den Quadratzoll der Kolbenfläche reducirt 2·120 Pfund, oder auf den Quadratfufs 305 Pfund. Der Widerstand der Pumpe beträgt beim Niedergang derselben, also beim Aufsteigen des Dampfkolbens ·25 Pfund per Quadratzoll, also 360 Pf. per Quadratfufs der Kolbenfläche. Die Reibung der leeren Maschine (jedoch mit Inbegriff der Kaltwasser- zu ·104 und Warmwasserpumpe zu ·019 Pf.) beträgt auf den Quadratzoll ·606, also auf den Quadratfufs der Kolbenfläche 87 Pfund beim Herabgehen und, wenn man für die Luftpumpe per Quadratzoll 1·388 Pf. hinzufügt, 269 Pfund beim Hinaufgehen des Dampfkolbens. Endlich machte diese Maschine während der Beobachtungszeit von $58\frac{1}{2}$ Stunden 39901 einfache Kolbengänge, was eine mittlere Kolbengeschwindigkeit von 89·92 Fufs per Minute gibt. Die in dieser Zeit gehobene Wassermenge, welche noch durch directe Messungen verificirt wurde, bildete eine Nutzlast von 9·235 Pf auf den Quadratzoll der Kolbenfläche.

Mit diesen Werthen erhält man auf das Wiener Mafs reducirt:

$$D = 4{\cdot}821,\ F = 18{\cdot}135,\ L = 7{\cdot}627,\ \frac{l}{L} = {\cdot}63,\ \frac{l'}{L} = 1,\ a = {\cdot}1\,L,$$
$$P = 2220{\cdot}3,\ p = 196{\cdot}87,\ S = {\cdot}692,\ R = 5{\cdot}0674,\ q' = 265{\cdot}684,$$
$$q'' = 31{\cdot}359,\ f = 75{\cdot}784,\ f' = 234{\cdot}323,\ \delta = {\cdot}14,\ r = q + q'',$$
$$m = 3571490,\ n = 218 \text{ und } v = 86{\cdot}78.$$

Mit diesen Werthen folgt zuerst (Nr. **296**, Relat. *d*) $N = 1{\cdot}27298$ und (Nr. **297**, Relat. *e*) $N' = 0$, folglich ist (Nr. **299**, Formel 2):

$$Q = F\,r = 22636{\cdot}7^{\text{F. Pf.}} \text{ und } E = Q\,v = 1964413^{\text{F. Pf.}}$$

oder $$E_1 = \frac{1964413}{25800} = 76 \text{ Pferdekräfte.*)}$$

Ferner folgt noch:

$$r = 1248{\cdot}24,\ q = 1216{\cdot}88,\ \frac{r}{144} = 8{\cdot}669,\ \frac{q'}{144} = 1{\cdot}845,$$
$$\frac{Q\,v}{S} = 2839000,\ \frac{Q\,v}{R} = 387690,\ \frac{25800\,R}{Q\,v} = {\cdot}0666,\ \frac{25800\,S}{Q\,v} = {\cdot}00909,$$
$$\frac{Q\,v}{25800\,R} = 15,\ \frac{Q\,v}{25800\,S} = 110,$$

so wie sich endlich der K o h l e n v e r b r a u c h auf die sehr niedrige Ziffer von 4 Pfund per Stunde und Pferdekraft dabei herausstellt.

---

*) *Pambour* findet für dieses Beispiel in Folge eines Rechnungsfehlers statt 76 nur 74 Pferdekräfte und zwar soll statt der von ihm für Q angegebenen Zahl oder Nutzlast 27143 jene 27967 stehen.

Beispiel 2. Nimmt man bei derselben Maschine verschiedene, so wie auch nach Formel (9) in Nr. **300** jenes Absperrungs - oder Expansionsverhältnifs an, welches dem absoluten Maximum zukömmt, sucht dann zu jedem dieser Werthe von $\frac{l}{L}$ nach Gleich. (7) den vortheilhaftesten Absperrungsmoment des Gleichgewichtsventil, hieraufnach der Formel (8) das entsprechende Gegenwicht q' und endlich zufolge der Gleichungen (5) und (6) die diesen Werthen entsprechende vortheilhafteste Geschwindigkeit und Nutzlast; so erhält man nach den Berechnungen von ***Pambour*** auf das Wiener Mafs reducirt:

				Max. des Nutzeffectes
$\frac{l}{L}$	=	·63	·50	·29
$\frac{l'}{L}$	=	·88	·87	·85
$\frac{q'}{144}$	=	2·448	2·473	2·477
v'	=	91·33	112·72	176·77
$Q' = F r'$	=	24221·5	21617	15082
$\frac{r'}{144}$	=	8·621	7·694	5·368
S	=	·692	·692	·692
E	=	2056672	2265469	2478764
E_1	=	80	88	96

Anmerkung. Obschon durch eine frühere Absperrung, wie diese Werthe zeigen, der Nutzeffect von 76 auf 96 Pferdekräfte gesteigert werden kann, so ist es doch möglich, dafs 1) der Gang der Maschine dadurch zu irregulär wird, 2) die Nutzlast, gegenüber der vielleicht schon bestandenen Pumpen zu klein und 3) die Geschwindigkeit des Kolbens zu grofs und für die Conservirung der Maschine nachtheilig wird, so, dafs man sich bestimmt finden kann, die im ersten Beispiele angegebene Anordnung, wenn auch auf Kosten des Nutzeffectes, vor jener den Vorzug zu geben, welche dem Maximum des Nutzeffectes entspricht. Gleichwohl mufs man für jede Maschine jene Bedingungen kennen lernen, für welche der Nutzeffect ein Maximum wird, um sich diesen wenigstens so weit wie möglich zu nähern.

Wir haben diese hier in Rede stehende, in dem berühmten Etablissement von *Boulton* und *Watt* ausgeführte Maschine schon bei unserer ersten Anwesenheit in England (J. 1839) in Thätigkeit gesehen und ihre Leistung beobachtet. Nach den darüber erhaltenen und genommenen Notizen, hat der Piston oder Kolben der Wasserpumpe 33 engl. Zoll im Durchmesser, er saugt beim Niedergehen und hebt oder prefst beim Aufwärtsgehen das zu hebende Wasser in einen mit dem Hauptleitungsrohr communicirenden Windkessel, von beiläufig 6 Fufs Durchmesser und 8 Fufs Höhe, von wo es dann nachhaltiger und gleichförmiger in die verschiedenen Leitungs- und Vertheilungsröhren getrieben wird.

Der Balancier schlägt an jedem der beiden Enden, im Falle der Dampfzuflufs zu grofs ist, auf zwei elastische Polster, wovon einer mit einer Glocke in Verbindung steht, um den Maschinenwärter aufmerksam zu machen, dafs dieser Zuflufs zu mäfsigen sey. Eine über zwei Rollen laufende Schnur ohne Ende bietet dem Wärter, er mag sich bei der Maschine unten oder in einer höhern Etage befinden, ein einfaches Mittel dar, den Steuerungs- oder Dampfzuflufs-Hahn augenblicklich und jederzeit nach Bedürfnifs zu reguliren.

Aufserdem war auf dem Balancier noch der *Watt*'sche Hubzähler angebracht (ein in einem Kästchen eingeschlossenes Uhrwerk, dessen liegendes Pendel, durch die Oscillationen des Balancier in vollkommen damit übereinstimmende Schwingungen versetzt, das Zählwerk in Thätigkeit bringt), um den Kohlenverbrauch gegen die Leistung der Maschine genau ermitteln zu können.

Cornwall Maschine von einfacher Wirkung.

302. Was endlich die *Cornwall* Maschine von einfacher Wirkung anbelangt, so weicht sie von der eben erörterten einfach wirkenden *Watt*'schen Maschine nur darin ab, dafs sie 1stens eine Hochdruckmaschine ist, bei welcher die Dampfspannung im Kessel von 2 bis 5 Atmosphären beträgt, 2tens dafs die Expansion dabei viel weiter getrieben und häufig schon bei $\frac{1}{10}$ des ganzen Kolbenlaufes abgesperrt wird, und dafs 3tens die Arbeit, d. i. die Hebung der Wassersäule, nicht während des Niederganges des Dampfkolbens, sondern während des Niedergehens des Gegengewichtes Statt findet.

Während nämlich der Dampf aus dem Kessel in den obern Theil des Cylinders, also über den Kolben zugelassen wird, steht der untere Theil desselben mit dem Condensator in Verbindung, in welchen der bereits gewirkte Dampf abzieht. Nachdem der abwärts gehende Kolben, in welcher Periode das Pumpengestänge sammt dem Gegengewichte gehoben wird, einen gewissen Weg zurückgelegt hat, wird der Dampfzuflufs abgesperrt, so, dafs der Kolben seinen Lauf nur durch das Beharrungsvermögen und die Expansionskraft des Dampfes vollendet und dabei seine Geschwindigkeit allmählig bis auf Null herabgebracht wird. Um jedoch dabei jedem Stofse des Kolbens gegen den Cylinderboden vorzubeugen, stöfst der Balancier auf dieser Seite mittelst eines Querstückes auf elastische Polster.

Sobald der Kolben seinen Lauf vollendet hat, wird das Abzugsventil in den Condensator geschlossen, dagegen das Gleichgewichtsventil geöffnet, wodurch der Dampf aus dem obern Raum des Cylinders in den untern strömen und so das Gleichgewicht zwischen dem Drucke gegen beide Kolbenflächen herstellen kann. Von diesem Momente an sinkt das gehobene Gegengewicht herab, bringt den Kolben an die Decke des Cylinders und übt zugleich den Nutzeffect aus. Bevor der Kolben noch ganz oben angelangt ist, wird das Gleichgewichtsventil geschlossen, dadurch der noch über dem Kolben befindliche Dampf comprimirt und so der erstere allmählig zum Stillstand gebracht, wozu auch noch im Brunnen selbst eine Haltvorrichtung gegen die Haupt-Pumpenstange zur Vorsicht angebracht ist.

Von da an beginnt, durch das Öffnen des Dampf-Zuströmungsventils, der Kolbenlauf nach abwärts von neuem.

Bei den vormals angewendeten Pumpen hatte die unterste die Einrichtung einer Hebepumpe und wirkte während des Niederganges des Dampfkolbens, während die übrigen die Hauptlast bildenden Druckpumpen, wie bereits bemerkt, während des Aufsteigens des Dampfkolbens arbeiteten. In der neuern Zeit wendet man jedoch auch doppelt wirkende Druckpumpen an, welche den grofsen Vortheil gewähren, dafs die Leitungsröhren unter übrigens gleichen Umständen, enger oder von einem geringeren Durchmesser seyn können.

Anmerkung. Wir haben eine solche doppelt wirkende Druckpumpe in Fig. 170 dargestellt, deren Wirkungsart aus dem blofsen Anblicke der Figur erhellet. Beim Niedergehen des Druckkolbens *K* schliefsen sich nämlich die beiden Ventile *a'*, *b*, während sich jene beiden *a*, *b'* öffnen; das unter dem Kolben befindliche Wasser wird durch das Gurgelrohr *C* in das Steigrohr *E* gedrückt, während gleichzeitig das Wasser durch das Saugrohr *A* angesaugt und in den Pumpenkörper oder Stiefel *F* über den Kolben tritt. Beim Aufziehen des Kolbens öffnen sich die Ventile *a'*, *b*, während sich jene *a*, *b'* schliefsen; das über dem Kolben befindliche Wasser wird in das Steigrohr *E* getrieben und gleichzeitig durch das Saugrohr *B* das Wasser angesaugt und in den Stiefel *F* unter den Kolben gebracht, u. s. w. fort.

Die hier angedeuteten Ventile sind nach der Angabe von *Harvey* und *Wert* mit doppeltem Sitz und zwar von ungleicher Gröfse, so, dafs sich der beim Öffnen oder Schliefsen äufsernde Druck nur nach ihrer Differenz richtet und daher beliebig regulirt werden kann, so wie diese Ventile auch noch den Vortheil besitzen, dafs sie sich ohne Stofs schliefsen, und dem Wasser augenblicklich den Zugang oder Abflufs gestatten oder denselben verhindern.

Ein solches Ventil, welches auch seiner Ähnlichkeit mit einer Krone wegen, Kronventil genannt wird und in Fig. 170, *a* im geschlossenen, in Fig. 170, *b* im offenen Zustande im gröfsern Mafsstab dargestellt ist, besteht aus einem unbeweglichen Theil *abcd* und einem beweglichen Theil *efgh*. Der erstere bildet einen oben geschlossenen Cylinder, welcher am Umfange durchbrochen oder mit Öffnungen (Fenstern) versehen ist, durch welche das Wasser (oder bei Dampfventilen der Dampf) von aufsen nach innen treten kann; der bewegliche Theil oder das eigentliche Ventil ist an seinem Umfange ohne Durchbrechung, dagegen an der obern Basis der Fläche offen. Ist dieses Ventil wie in Fig. 170, *a* geschlossen, so ist jeder Zuflufs des Wassers (oder Dampfes) abgesperrt, wird dieses dagegen, wie in Fig. 170, *b*, ganz oder selbst nur zu einem ganz kleinen Theil gehoben, so wird dem Wasser (oder Dampf) sogleich ein beträchtlicher Durchgang geöffnet, indem die Seitenöffnungen augenblicklich, theils über, theils unter dem Halse *gh* gänzlich frei werden. Ein weiterer Vortheil dieses Ventiles besteht darin, dafs der Druck des Wassers (oder Dampfes) nur auf jene beiden schmalen Ränder oder Flächen, welche die ringförmigen Ventilsitze *ab* und *cd* bilden, Statt findet, dieses also sehr leicht, ohne merkliche Kraftanstrengung bewegt werden kann.

303. Behält man dieselbe Bezeichnung wie bei der *Watt*'schen Maschine in Nr. **296**, nach welcher D den Durchmesser des Cylinders, F die Kolbenfläche, L den ganzen Kolbenlauf, l jenen Theil davon, welcher bei offener Communication abwärts zurückgelegt wird, l' jenen Theil, welcher beim Aufwärtsgehen bis zum Absperren des Gleichgewichtsventil durchlaufen wird, q die auf die Flächeneinheit und Geschwindigkeit des Dampfkolbens reducirte Last der Hebepumpe, welche beim Niedergehen des Dampfkolbens das Wasser in das Reservoir für die Druckpumpe hebt, q' das eben so reducirte Gegengewicht, p den Dampfdruck von Seite des Condensators, f die (immer auf die Einheit der Kolbenfläche reducirte) Reibung der leeren Maschine bei diesem Kolbengang, $\delta(q+q')$ die Zunahme der Reibung wegen des Gegengewichtes q' und der Last q, welche von der Hebepumpe und überhaupt allen zum Nutzeffect beitragenden Pumpen herrührt, f' die Reibung der leeren Maschine beim Aufwärtsgehen des Dampfkolbens (mit Inbegriff des von der Luft- und Kaltwasserpumpe u. s. w. herrührenden Widerstands), q'' die Haupt-Nutzlast der Druckpumpe, bei diesem Kolbengange auf die Flächeneinheit und Geschwindigkeit des Dampfkolbens reducirt (welche Last keine additionelle Reibung zu f' erzeugt, weil dieser Widerstand q'' unmittelbar, ohne Vermittlung der Maschine von dem Gegengewicht in Bewegung gesetzt wird), a den freien Raum zu beiden Seiten des Cylinders, P den Druck des Dampfes auf die Flächeneinheit im Kessel und P' jenen beim Eintritt in den Cylinder, v die mittlere Kolbengeschwindigkeit, nach der Anzahl der die Nutzleistung erzeugenden Kolbengänge gemessen und endlich S die effective Wasserverdampfung im Kessel bezeichnet; so hat man genau wie bei der *Watt*'schen Maschine, für den Niedergang des Dampfkolbens (Nr. **296**):

$$n + P' = \frac{L}{l+a} \cdot \frac{1}{N} \left[(1+\delta)(q+q') + n + p + f \right] \;.\;. (A)$$

wobei $N = \frac{l}{l+a} + logn. \frac{L+a}{l+a}$ ist;

dagegen für das Aufwärtsgehen desselben (Nr. **297**):

$$n + P' = \frac{L}{l+a} \cdot \frac{1}{N'} (q' - q'' - f') \;.\;. (B)$$

wobei $N' = \frac{L - l' + a}{L + 2a} logn. \left(\frac{L - l' + a}{a} \right) - \frac{l' + a}{L + 2a} logn. \left(\frac{L + a}{l' + a} \right)$ ist;

so wie endlich als Bedingung, dafs die erzeugte Dampfmenge der verbrauchten gleich ist (Nr. **298**):

$$n + P' = m \frac{S}{Fv} \cdot \frac{L}{l+a} \cdot \frac{L+2a}{l'+a} \;.\;. (C)$$

durch dasselbe wie in Nr. **299** und Nr. **300** angewendete Verfahren, erhält man aus diesen Relationen (A), (B), (C), wenn wieder $q + q'' = r$ und $Fr = Q$ gesetzt wird, genau die in diesen beiden Nrn. aufgestellten Formeln (1) bis (9), welche wir also hier nicht wieder ansetzen, mit alleiniger Ausnahme der Formel (8), welche dort aus der Relation (B), hier aber aus jener (A) erhalten wird, wenn man P statt P' setzt. Man erhält nämlich dadurch:

$$q' = \frac{\frac{N}{L}(n+P)(l+a) - (n+p+f)}{1+\delta} - q \;.\;. \quad (8)$$

so, dafs also das dem absoluten Maximum, also auch dem durch die Relation (9) (Nr. **300**) ausgedrückten Absperrungsverhältnifs $\frac{l}{L}$ entsprechende Gegengewicht q' hier als eine Function dieses Verhältnisses $\frac{l}{L}$, dort dagegen als eine Function des Verhältnisses $\frac{l'}{L}$ erscheint, was damit zusammenhängt, dafs bei der *Cornwall* Maschine der Dampfkolben während seines Niederganges nicht auf die variable Last der Maschine wirkt, so, dafs für den Fall des Maximum des Nutzeffectes, d. i. von $P' = P$ die Relation (A) aufser q' und $\frac{l}{L}$ keine unbestimmte Gröfse enthält, dagegen bei der *Watt*'schen Maschine gerade umgekehrt der Kolben beim Hinaufgehen ohne Nutzlast arbeitet und es dann die Relation (*B*) ist, welche die beiden unbestimmten Gröfsen q' und $\frac{l'}{L}$ enthält, wovon die eine als Function der andern ausgedrückt werden kann.

304. Für die practische Anwendung der hierher gehörigen Formeln kann man nach *Pambour*, auf das W. Mafs reducirt, setzen:

$f = \frac{270}{D}$, $f' = \frac{150}{D}$, $\delta = \cdot 07$, $p = 95$ (für gute Maschinen), $a = \cdot 05 L$, $S = S'$, $m = 3571490$ und $n = 218$. Der Werth von P kann bei diesen Maschinen von 3700 bis 9000 variiren.

Beispiel. Bei einer neuerlich in den Wasserwerken zu *Old-ford* (*East-London Waterworks*) nach diesem Systeme aufgestellten Maschine, worüber der leitende Ingenieur *Th. Wicksteed* eine Reihe von sehr genauen Versuchen und Beobachtungen veröffentlichte (*An experimental inquiry concerning the Cornish and Boulton and Watt pumping engines. Weale, London*, 1841), findet Folgendes Statt.

Nach englischem Mafs hat der Cylinder einen Durchmesser von 80 Zoll, die Kolbenfläche nach Abschlag der Kolbenstange 34·858□F., der Kolbenlauf 10 Fufs, der freie Raum zu beiden Seiten beträgt ·05 dieses Laufes, das Absperrungsverhältnifs betrug in den 5 Experimenten der Reihe nach ·603, ·477, ·397, ·352, ·313 $\left(= \frac{l}{L}\right)$, der bis zum Verschlusse des Gleichgewichtsventils zurückgelegte Weg des Kolbens berechnet sich (da nämlich hier dieses Ventil allmählig verengt und dann erst geschlossen, also auch der Dampf über dem Kolben nur allmählig comprimirt wird, so mufs der Punct, wo man sich das Ventil plötzlich geschlossen denken kann, aus der Relation $\frac{F(L + a - l')}{Fa} = \frac{p'}{p}$, wobei p den Dampfdruck, im Moment als die freie Communication durch das Gleichgewichtsventil gehemmt und p' den Dampfdruck über dem Kolben nach Vollendung seines Laufes bezeichnet, berechnet werden) zu 9·85 oder es ist $l' = \cdot 985 L$ *)), die absolute Dampfspannung im Kessel betrug

*) Bei dieser Maschine betrug nämlich der ursprüngliche Dampfdruck über dem Kolben, vor jeder Comprimirung 6·7 Pf. auf den Quadratzoll, dagegen nach vollendetem Kolbenlauf (in dem freien Raum ·05 L) 8·7 Pf., also ist näherungsweise $6{\cdot}7 : 8{\cdot}7 = {\cdot}05 L : x = {\cdot}065 L$; da nun auch $x = L + a - l' = L + {\cdot}05 L - l' = 1{\cdot}05 L - l'$ ist, so folgt $l' = {\cdot}985 L$.

beziehungsweise 30·45, 34·7, 42·7, 45·7, 51·7 Pfund auf den Quadratzoll, die Verdampfung des Wassers per Minute eben so ·72770, ·76330, ·62454, ·61514, ·61160 Kubikfufs, der Kohlenverbrauch (einer sehr guten Qualität, wovon 1 Pfund 9·493 Pf. Wasser verdampfen kann) stellte sich beziehungsweise zu 4·791, 5·025, 4·112, 4·050, 4·026 Pfund per Minute, der Gegendruck von Seite des Condensators betrug ·730 Pf. auf den Zoll.

Ferner gab die Hebpumpe, welche während des Niederganges des Dampfkolbens wirkt und das Wasser in das Reservoir der Druckpumpe hebt, ·821 Pf. auf den Quadratzoll der Kolbenfläche reducirt, die während des Aufsteigens des Dampfkolbens wirksame Druckpumpe gab eben so reducirt 10 259 Pf., so, dafs also die gesammte Last des während einer Oscillation gehobenen Wassers 11·090 Pf. auf den Quadratzoll beträgt; das Gegengewicht eben so reducirt gab 11·037 Pf. auf den Quadratzoll; die Reibung der leeren Maschinen betrug ohne ihre Pumpen ·185 Pfund auf den Quadratzoll der Kolbenfläche reducirt, dazu für die Warmwasserpumpe, welche beim Aufsteigen des Dampfkolbens wirkt, ·001 Pf., gibt für das Aufsteigen die Reibung von ·186 Pf.; dagegen für die beim Niedergehen des Kolbens wirksame Kaltwasserpumpe ·037 und für die Luftpumpe ·117 Pf. hinzugefügt, gibt für die gesammte Reibung während dieses Kolbenganges 339 Pf. auf den Quadratzoll der Dampfkolbenfläche.

Pambour findet nun mit diesen Werthen in den 5 genannten Versuchen (wobei noch aufserdem nach englischem Mafs $m = 4100000$ und $n = 250$ ist) nach der obigen Formel (1) in Nr. **299** für die Geschwindigkeit der Maschine beziehungsweise 58·59, 69·92, 62·28, 65·02, 67·84 Fufs per Minute, während die directen Versuche folgende Werthe gegeben haben: 60·35, 73·81, 62·95, 64·23, 69·87, woraus eine sehr befriedigende Übereinstimmung der Rechnung mit den Versuchen hervorgeht.

Anmerkung 1. *Pambour* berechnet noch für eine mittlere Dampfspannung im Kessel von 50 Pf. auf den Quadratzoll, für eine Verdampfung von ·66846 Kubikfufs Wasser und einem Kohlenverbrauch von 4·401 Pfund per Minute, die Geschwindigkeit, den Effect u. s. w. dieser Maschine, bei verschiedenen Absperrungsverhältnissen und zwar bei den, diesen Verhältnissen entsprechenden vortheilhaftesten Gegengewichten, Absperrungen des Gleichgewichtsventiles und Belastungen des Dampfkolbens.

Da nun für diesen Fall, auf das Wiener Mafs bezogen, $D = 6·428$, $F = 32·407$, $L = 9·642$, $a = ·05\,L$, $p = 92$, $P = 6271·85$, $R = 3·564$, $S = ·59924$, $q = 102·98$, $q' = 1384·44$, $q'' = 1288·12$, $r = q + q'' = 1391·10$, $f = 42·523$, $f' = 23·331$ ist, so hat man (mit den vorigen

Werthen von m, n, δ und da beziehungsweise $N = 1{\cdot}955$, $2{\cdot}235$ und $2{\cdot}613$, Compend. S. 498, so wie $N' = {\cdot}2300$, ${\cdot}3390$ und ${\cdot}4979$ wird):

			Max. des Nutzeffectes
$\frac{l}{L}$ . . . =	·30	·20	·10
$\frac{q'}{144}$ . . . =	25·83	20·53	13·50
$\frac{l'}{L}$ . . . =	·78	·72	·65
v' . . . =	38·47	57·79	106·62
$Q' = F r'$. =	106167·7	80570	49887·5
$\frac{r'}{144}$ . . . =	22·70	17·26	10·69
S . . . =	·59924	·59924	·59924
E . . . =	4073548	4655821	5319205
$E_{\text{Pf.kr.}}$ . . =	158	180	206
$\frac{Q' v'}{R}$ . . =	1142971	130635	149250
$\frac{Q' v'}{S}$ . . =	6797900	7769560	8876600
$\frac{25800\,R}{Q' v'}$. =	·0226	·0198	·0173
$\frac{25800\,S}{Q' v'}$. =	·0038	·0033	·0029
$\frac{Q' v'}{25800\,R}$. =	44·30	50·63	57·85
$\frac{Q' v'}{25800\,S}$. =	263·41	301·06	343·96

Da man endlich für das **absolute Maximum** aus der Relation (9) in Nr. 300 $\frac{l}{L} = {\cdot}0581$ findet, so erhält man noch für dieses Expansions- oder Absperrungsverhältnifs (wegen $N = 2{\cdot}8109$ und $N' = {\cdot}54005$):

$\frac{l}{L}$ . . . $= {\cdot}0581$

$\frac{q''}{144}$ . . . $= 9{\cdot}795$ Pfund,

$\frac{l'}{L}$ . . . $= {\cdot}6317$,

v'' . . . $= 151\ 94$ Fufs per Minute,

$Q'' = F r''$ $= 36013{\cdot}2$ Pfund,

$\frac{r''}{144}$ . . . $= 7{\cdot}717$ Pfund,

S . . . . $= {\cdot}5992\ 4$ Kubikfufs per Minute,

E . . . . $= 5471774$ Fufspfund,

$E_{\text{Pf.kr.}}$ . . $= 216$ Pferdekräfte u. s. w.

Da jedoch, wie bereits bemerkt, die Maschine bei dieser sehr weit getriebenen Expansion des Dampfes einen zu ungleichförmigen Gang erhielte, so leistet man lieber auf das absolute Maximum im Nutzeffect Verzicht und sperrt den Dampf gewöhnlich schon bei $\frac{1}{3}$ seines Laufes ab.

Anmerkung 2. Bei dem bereits in Nr. 301 erwähnten Besuche der *East-London Compagnie* gehörenden Wasserwerke, haben wir auch die hier in Rede stehende von *Harve* in *Cornwall* gelieferte Dampfmaschine sammt dem Pumpwerk besichtiget und hierüber folgende Daten erhalten. Die Maschine kann nominell von 30 bis 200 Pferdekräfte arbeiten. Die Condensation ist dabei so vollkommen, dafs das Vacuum einen Barometerstand von 28 bis 29 Zoll zeigt, während das äufsere Barometer nur 30 (englische) Zoll hoch steht. Das mit dem Pumpengestänge verbundene Gegengewicht aus Gufseisen hat nahe 500 W. Centner und besitzt die Form einer Tonne. Der Dampf wird beiläufig nach $\frac{1}{3}$ des Kolbenganges abgesperrt. Die Maschine arbeitete damals etwas schneller, indem der Kolben per Minute etwas über 8 Doppelgänge machte; der Dampfkolben stieg nämlich nach unserer Beobachtung während 4 Secunden, stand eine Secunde lang still, ging in $1\frac{1}{2}$ Secunde herab und ruhte etwas über $1\frac{1}{2}$ Secunde, worauf das Kolbenspiel von neuem anfing.

Der Kolben des vereinten Saug- und Druckwerkes hat einen Durchmesser von 40 (engl.) Zollen bei einer Hubhöhe von 9 Fufs. Der Kolben treibt das Wasser bei seinem Niedergange in ein aufser dem Maschinenhaus stehendes 125 Fufs hohes Rohr bis auf eine Höhe von 110 Fufs, und zwar liefert die Pumpe bei jedem solchen Niedergange nahe 40 W. Eimer Wasser, was bei 8 Kolbenspielen per Minute 320 Eimer, also stündlich über 19000 Eimer beträgt und wenn dabei die Leistung der Dampfmaschine in runder Zahl zu 200 Pferdekräfte gerechnet wird, einen Nutzeffect von 62 bis 63 Procent gibt.

Dieses genannte, mit dem Hauptleitungsrohr (von 3 Fufs Durchmesser) in Verbindung stehende Steigrohr ist unten 5, oben $3\frac{1}{2}$ Fufs weit und am untern Theile aus dicken, mit ringförmigen Rippen verstärkten 8 Fufs hohen oder langen gufseisernen Röhrenstücken zusammengesetzt, während es am obern Ende in Röhrenstücken aus Eisenblech ausläuft. Befestigt ist dieses colossale Rohr besonders durch Ketten, welche von der Spitze herab in eine weite kreisförmige Basis auslaufen.

Neben diesem Steigrohr, welche das Wasser in die Vertheilungsrohre (deren Durchmesser allmählig von 36 auf 24, 18, 12 und zuletzt 3 Zoll abnehmen) und auf die obern Puncte der Gebäude der Stadt leitet, läuft noch ein 4zölliges Rohr bis auf eine Höhe von 90 Fufs, welches mit den vorhandenen 4 Dampfkesseln in Verbindung steht und diese speiset; es kann sonach der Dampf im Kessel keine höhere als die dieser Wassersäulenhöhe entsprechende Spannung annehmen. Die Dampfmaschine ist sammt dem Pumpwerk äufserst solid und elegant ausgeführt und der Gang ist dabei, trotz der grofsen in Bewegung gesetzten Massen, aufserordentlich sanft und ruhig.

Atmosphärische Maschine.

305. Von den sogenannten atmosphärischen Maschinen wollen wir, da sie unserm Zwecke ferner liegen, nur so viel bemerken, dafs sie zu den Niederdruckmaschinen mit Expansion und Condensation gehören, wobei die Dampfspannung im Kessel den Druck der Atmosphäre gewöhnlich um 1 bis $1\frac{1}{2}$ Pfund auf den Quadratzoll übersteigt. Der Dampf tritt aus dem Kessel in den oben offenen Cylinder unter den Kolben, wodurch dieser mit Hilfe des am entgegengesetzten Ende des Balancier aufser dem Pumpengestänge noch angebrachten Gegengewichtes gehoben wird; nachdem der eingetretene Dampf (häufig im Cylinder selbst) condensirt worden, wird der Dampfkolben durch den atmosphärischen Druck herabgetrieben und dabei die Nutzwirkung ausgeübt, d. i. die Wassersäule (sammt dem Gegengewicht) gehoben.

Anmerkung. Denkt man sich die obere Kolbenfläche auf jeden Quadratfufs mit einem Gewichte von 1845 Pf. belastet, so läfst sich diese Maschine als eine *Watt*'sche Dampfmaschine von einfacher Wirkung ansehen und eben so behandeln. (Man findet übrigens die ausführliche Entwicklung der atmosphärischen Dampfmaschinen, in dem bereits angezogenen *Pambour*'schen Werke, im 13. Kapitel.)

Locomotiv Maschine.

306. Um schlüfslich auch noch die Locomotive zu erwähnen, so darf man, wenn man dabei keine Expansion oder frühere Absperrung der Communication mit dem Kessel voraussetzt, diese also als Hochdruckmaschinen ohne Expansion und ohne Condensation ansieht, nur jene geringen Veränderungen in den Formeln von Nr. **292** anbringen, welche durch die Natur dieser Maschinen bedingt werden.

Bezeichnet man nämlich, während v die Kolbengeschwindigkeit bleibt, die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Locomotiv fortbewegt, mit V und den Durchmesser der Treibräder mit $\mathfrak{D}$, so kann man den auf die Flächeneinheit und Geschwindigkeit des Kolbens reducirten Widerstand von Seite des Blasrohrs durch $p' V$ und den Widerstand der Luft direct durch $u V^2$, folglich wieder auf die Einheit der Kolbenfläche bezogen (wegen $u V^2 : F x = 2 L : \pi \mathfrak{D}$) durch $\frac{\pi \mathfrak{D}}{2 L} \cdot \frac{u V^2}{F}$ ausdrücken.

Man mufs daher in den genannten Formeln $q + \frac{\pi \mathfrak{D}}{2 L} \cdot \frac{u V^2}{F}$ statt q, und $p + p' V$ statt p setzen.

oder $u = \cdot 0^6 347\, F$, folglich ist auf das Wiener Mafs und Gewicht reducirt $u = \cdot 0^6 32516\, F$.

Was den Werth von S betrifft, so nimmt *Pambour*, da durch die besondern Umstände sehr viel Wasser mechanisch mitgerissen wird, die effective Verdampfung nur mit 76 Procent der Bruttoverdampfung in Rechnung und setzt also $S = \cdot 76\, S'$.

Endlich ist wieder $a = \cdot 05\, L$, $\delta = \cdot 14$, $p = 1845$, $m = 3787520$ und $n = 540$.

308. Da man die Dimensionen der Locomotive auch bei uns häufig nach englischem Mafs ausdrückt, so setzen wir die practischen Formeln, um die Reduction auf das Wiener Mafs zu ersparen, auch noch nach diesem Mafse an. Diese sind, mit Beibehaltung der vorigen Bezeichnung nach *Pambour*, folgende.

Für den allgemeinen Fall.

Geschwindigkeit der Maschine in (engl.) Fufsen per Minute:

$$V = \frac{4348000\, S}{1197\, K + \cdot 668\, \frac{FL}{\mathfrak{D}}\, (2738 + f) + \cdot 191\, \frac{FL}{\mathfrak{D}}\, V + \cdot 0^6 415\, S\, V^2\, {}^{*})}$$

Zugkraft oder Nutzlast der Maschine in (engl.) Pfunden:

$$K = 3632500\, \frac{S}{V} - \cdot 558\, \frac{FL}{\mathfrak{D}}\, (2738 + f) - \cdot 160\, \frac{FL}{\mathfrak{D}}\, V - \cdot 0^6 347\, S\, V^2$$

Effective Wasserverdampfung in (engl.) Kubikfufs per Minute:

$$S = \frac{V}{4348000}\left[1 \cdot 197 K + \cdot 668\, \frac{FL}{\mathfrak{D}}\, (2738 + f) + 191\, \frac{FL}{\mathfrak{D}}\, V + \cdot 0^6 415\, S V^2\right]$$

Nutzeffect in Pfunden 1 Fufs hoch per Minute:

$E = K V$, detto in Pferdekräften $E_{\text{Pf.kr.}} = \frac{K V}{33000}$.

Nutzeffect von 1 Pf. Brennmateriale in Fufspfund $= \frac{K V}{R}$,

„ „ 1 Kubikfufs verdampftes Wasser in Fufspfund $= \frac{K V}{S}$

Brennmaterial in Pfunden, welches 1 Pferdekraft erzeugt $= \frac{33000\, R}{K V}$

Verdampftes Wasser in Kubikf., „ „ „ $= \frac{33000\, S}{K V}$

Für das Maximum des Nutzeffectes:

$$V' = \frac{\mathfrak{D}}{L} \cdot \frac{S}{F} \cdot \frac{6504600}{620 + P}$$

*) $\cdot 0^6 415$ steht Kürze halber statt $\cdot 000000415$.

$$K' = \cdot 558 \frac{FL}{\mathfrak{D}}(P - 2118 - f) - \cdot 160 \frac{L}{\mathfrak{D}} F V' - \cdot 0^6 347\, S V'^2$$

$$S = F V' \frac{L}{\mathfrak{D}} \cdot \frac{620 + P}{6504600}$$

$$E_{\text{max.}} = K' V'.$$

309. Beispiel. Bei einer Locomotive fanden nach englischem Mafs folgende Dimensionen Statt:

2 Cylinder von 12 Zoll Durchmesser gibt $F = 1\cdot57$ Quadratfufs.

Kolbenlauf 16 Zoll, also $L = 1\cdot33$ Fufs.

Dampfdruck im Kessel 65 Pf. auf den Quadratzoll, also $P = 65 \times 144$.

Brutto-Verdampfung 50 Kubikf. per Stunde, gibt $S = \cdot 633$ per Min.

Brennstoffverbrauch per Min. $9\frac{3}{4}$ Pfund, gibt $R = 9\cdot75$.

Reibung der Maschine, 3·62 Pf. auf den Quadratzoll der Kolbenfläche, gibt $f = 3\cdot62 \times 144$.

Endlich hatte die Maschine 5schühige Räder, so, dafs also noch $\mathfrak{D} = 5$ ist.

Mit diesen Daten findet man nun aus den letztern Formeln, wenn man die Rechnung nicht blofs für die dem Maximum des Nutzeffectes entsprechende Geschwindigkeit, sondern auch noch für eine Kolbengeschwindigkeit von 250 und 300 (engl.) Fufs (was einer Traingeschwindigkeit von 1473 und 1768 Fufs per Minute entspricht) durchführt, folgende Resultate:

			Max. des Effectes
V	= 1768	1473	986
K	= 247	512	1328
S	= ·633	·633	·633
E	= 436190	753500	1309300
$E_{\text{Pf.kr.}}$	= 13	23	40
$\frac{KV}{R}$	= 44740	77280	134290
$\frac{KV}{S}$	= 689100	1190400	2068400
$\frac{33000\,R}{KV}$	= ·74	·43	·25
$\frac{33000\,S}{KV}$	= ·048	·028	·016

Anmerkung. Will man die Geschwindigkeit in Meilen per Stunde und die Nutzlast in Tonnen ausdrücken, so mufs man die Geschwindigkeiten mit dem Factor $\frac{60}{5280}$ multipliciren und die für die Zugkraft gefundenen Zahlen durch 6 dividiren, weil zur Fortbewegung einer Last von 1 Tonne auf der horizontalen Eisenbahn im Mittel eine Kraft von 6 Pfund erforderlich ist. Die 3 obigen Fälle geben also:

Geschwindigkeit .	= 20·11 .	16·76 .	11·22	Meilen per St.
Bruttolast . . .	= 41 . .	85 . .	221	Tonnen.

In dieser Last ist natürlich auch der Tender sammt Wasser und Brennmateriale mit begriffen.

Nach französischen Angaben verursacht die an der Locomotive angehängte Last per Tonne (à 1000 Kilogr.) mit Einschlufs des Luftwiderstandes (bei einer Geschwindigkeit von 10 bis 12 Meter per Sec.), einen Widerstand von 5 Kilogramm. Dagegen beträgt der Widerstand der Locomotive selbst auf jede Tonne ihres Gewichtes (mit Einschlufs der Reibung der Maschinentheile) das Doppelte, d. i. 10 Kilogr.

Der Reibungscoeffizient der Räder auf den Schienen ist im Falle die Schienen trocken und staubig sind $\frac{1}{5}$, wenn die Schienen etwas feucht sind $\frac{1}{10}$ und wenn die Schienen nafs oder beschneit sind $\frac{1}{15}$.

Der Gegendruck auf die Kolbenflächen beträgt in der Regel $1\frac{1}{4}$ Atmosphäre oder 12500 Kilogr. auf den Quadratmeter.

Bezeichnet endlich Q die gröfste Last (in Tonnen), welche eine Locomotive auf einer Eisenbahn noch fortschaffen kann, ohne dafs ein Gleiten der Treibräder eintritt, q die Last, welche auf den Treibrädern ruht, α den Neigungswinkel der Bahn und f den Reibungscoeffizient für die Räder auf den Schienen; so ist

$$Q = \frac{1000\,fq - q\,(10 + 1000\,Sin\,\alpha)}{5 + 1000\,Sin\,\alpha} \quad . \; . \quad (\alpha)$$

oder, wenn man die Steigung der Bahn durch den Bruch $\frac{1}{n}$ ausdrückt, wegen $Sin\,\alpha = \frac{1}{n}$, auch

$$Q = \frac{1000\,fq - q\left(10 + \frac{1000}{n}\right)}{5 + \frac{1000}{n}} = \frac{200\,fnq - 2\,q\,(n + 100)}{n + 200}$$

denn es ist nach den vorigen Angaben, wie leicht zu sehen,

$$5\,Q + \frac{1000}{n}\,Q + 10\,q + \frac{1000}{n}\,q = 1000\,fq.$$

Es ist übrigens leicht zu sehen, dafs die vorige Formel (α) ohne Änderung auch für das Wiener Gewicht gilt, wenn man Q und q in Centner ausdrückt.

Dimensionen der verschiedenen Bestandtheile der Dampfmaschinen.

310. Da alle zu einem und demselben Systeme gehörigen Dampfmaschinen, bei welchen auch dieselbe Dampfspannung Statt findet, einander geometrisch ähnlich gemacht werden können; so lassen sich auch nach den aus bestconstruirten Maschinen abgeleiteten Erfahrungen, mit Rücksicht auf die Lehren der Festigkeit der Materialien sehr leicht bewährte Regeln für die nöthigen Dimensionen der verschiedenen Bestandtheile dieser Maschinen ableiten. Am zweckmäſsigsten ist es, wenn man dabei, nach dem von Professor *Redtenbacher* bei der Construction der Maschinentheile überhaupt sehr gut durchgeführten Systeme, die Dimension eines Hauptbestandtheils zur Einheit nimmt und die Dimensionen aller übrigen Bestandtheile, so weit dieſs möglich, in dieser Einheit ausdrückt. Bei den Dampfmaschinen bietet sich hierzu am einfachsten und natürlichsten der Durchmesser des Dampfcylinders dar und wir geben sonach, wenigstens für einige Systeme von Dampfmaschinen, nach *Redtenbacher*'s Angaben die nachstehenden Werthe.

Für die *Watt*'schen Niederdruckmaschinen.

311. Hat die Maschine N Pferdekräfte, so kann man setzen:

Spannung des Dampfes im Cylinder per 1 Quadratfuſs 1488 Pf. *)

Durchmesser des Dampfcylinders in Fuſsen $D = \cdot 348\,(1 + \sqrt{N})$

Geschwindigkeit des Kolbens in Fuſsen . $v = 1\cdot 455 + 1\cdot 494\sqrt{D}$

Länge des Kolbenschubes in Fuſsen . . . $L = \frac{1}{7}(19 - 1\cdot 581\,D)\,D$

Anzahl der Umdrehungen der Kurbel per 1 Min. . . . $n = 30 . \frac{v}{L}$

Durchmesser des Dampfrohres . . . . $= \cdot 2\,D$

Querschnitt der Dampfcanäle . . . . $= \frac{1}{30}F$

Ist dabei	$\frac{B}{H}$ **)	$= 3$	4	5	6
so setzt man	B	$= \cdot 283\,D$	$\cdot 331\,D$	$360\,D$	$\cdot 400\,D$
und	H	$= \cdot 094\,D$	$\cdot 083\,D$	$\cdot 072\,D$	$\cdot 066\,D$

Durchmesser der Kolbenstange . . . . $= \cdot 1\,D$

Wird ferner D in Zollen ausgedrückt, so ist

Wanddicke des Dampfcylinders in Zollen . $\delta = 2\left(\cdot 38 + \frac{D}{100}\right)$

Metalldicke der Flantschen . . . . $= \frac{5}{4}\,\delta$

Ausladung der Flantschen . . . . $= 2\,\delta$

Anzahl der Deckelschrauben . . . . $= 3 + \frac{D}{2\cdot 7}$

Durchmesser der Schraubenbolzen . . . . $= \cdot 8\,\delta$

---

*) d. i. nahe $\frac{4}{5}$ Atmosphären.

**) B bezeichnet nämlich die Breite und H die Höhe eines Canales.

Höhe der Metalldichtung des Kolbens . . . . $= 2\,\delta$
" " Hanfdichtung " " . . . . $= 4\,\delta$
Durchmesser der Luftpumpe . . . . $= \frac{2}{3} D$
Kolbenschub derselben . . . . $= \frac{1}{2} L$
Höhe der Ventilöffnungen der Luftpumpe . . . . $= \cdot 15\,D$
Breite " " " " . . . . $= \cdot 55\,D$
Durchmesser der Kolbenstange an den Enden . . . . $= \cdot 07\,D$
" " " in der Mitte . . . . $= \cdot 10\,D$
Volumen des Condensators gleich jenem der Luftpumpe.
Durchmesser des Einspritzrohres . . . . $= \cdot 08\,D$
Volumen, welches der Kolben der Warmwasserpumpe beschreibt . . . . $= \cdot 004\,L \frac{D^2 \pi}{4}$

Ist der Kolbenschub der Warmwasserpumpe	$= \frac{1}{2} L$	$\frac{1}{3} L$	$\frac{1}{4} L$
so ist der Durchmesser dieser Wasserpumpe	$= \cdot 087\,D$	$\cdot 107\,D$	$\cdot 123\,D$
Durchm. der Kolbenstange an beiden Enden	$= \cdot 03\,D$	$\cdot 032\,D$	$\cdot 037\,D$
" " " in der Mitte .	$= \cdot 04\,D$	$\cdot 045\,D$	$\cdot 052\,D$

Volumen, welches der Kolben der Kaltwasserpumpe beschreibt . . . . $= \frac{1}{20} L \frac{D^2 \pi}{4}$
Kolbenschub . . . . $= \frac{1}{2} L$
Durchmesser dieser Pumpe . . . . $= \cdot 316\,D$
Durchmesser der Kolbenstange . . . . $= \cdot 05\,D$
Länge des Balancier . . . . $= 3\,L$
Höhe desselben in der Mitte . . . . $= \cdot 8\,D$
" " an den Enden . . . . $= \cdot 3\,D$
Dicke der Höhennerve . . . . $= \cdot 05\,D$
Breite der obern Nerve . . . . $= \cdot 10\,D$
Höhe " " " . . . . $= \cdot 05\,D$
Durchmesser der angegossenen Endzapfen . . . . . . $= \cdot 18\,D$
" der Zapfen an der Hülse . . . . . . $= \cdot 10\,D$
Entfernung der Mittel dieser Zapfen . . . . $= \cdot 5\,D$
Durchmesser der Zapfen für die Luftpumpe . . . . . $= \cdot 07\,D$
Entfernung der Mittel dieser Zapfen . . . . $= \cdot 5\,D$
Durchmesser der Zapfen für die Warmwasserpumpe . . . $= \cdot 04\,D$
" " " " " Kaltwasserpumpe . . . . $= \cdot 06\,D$
Durchmesser der Zapfen der Achse des Balancier . . . $= \cdot 18\,D$
Entfernung der Mittel dieser Zapfen . . . . $= 1\cdot 4\,D$
Länge der Triebstange . . . . $= 3\,L$

Höhe der Nerve in der Mitte . . . . $= \frac{1}{5} L$
Dicke einer Nerve . . . . $= \frac{1}{35} L$
Halbmesser der Kurbel . . . . $= \frac{1}{2} L$
Durchmesser des Kurbelzapfens . . . . $= \cdot 15\, D$

Durchmesser der Kurbelwelle . . . $= \cdot 30\, D = \cdot 633 \sqrt[3]{\frac{N}{n}}$ Fuſs

Halbmesser des Schwungrades . . . . $= 3 \cdot 5\, D$
Radiale Dimension des Ringes . . . . $= \cdot 49\, D$
Dicke des Schwungringes . . . . $= \cdot 24\, D$
Anzahl der Arme . . . . $= 2\,(1 + 1 \cdot 1\, D)$ (D in Fuſsen)
Höhe der Arme . . . . $= \cdot 24\, D$
Durchmesser der Achse des Regulators . . . . . $= \cdot 08\, D$
„ der Schwungkugeln . . . . $= \cdot 3\, D$
Länge eines Pendelarmes . . . . $l = D$

Anzahl der Umdrehungen des Regulators per 1 Min. $= \frac{30}{\pi} \sqrt{\left(\frac{g}{l \, Cos\, \alpha}\right)}$

wobei in der Regel $\alpha = 30^0$ zu nehmen ist.

Durchmesser der guſseisernen Säulen unter dem Gebälk $= 2\, D$
Höhe des guſseisernen Quergebälkes . . . . $= \cdot 36\, D$
Höhe der Quadersätze unter dem Cylinder und unter den Säulen . . . . $= 4 \cdot 6\, D$
Breite dieser Quadersätze . . . . $= 1 \cdot 4\, D$
Breite des Maschinenraumes . . . . $= 4 \cdot 6\, D$
Länge „ „ . . . . $= 13 \cdot 5\, D$

Für die Hochdruckmaschine, ohne Expansion und ohne Condensation.

312. Dampfspannung im Cylinder auf 1 Quadratfuſs 6245 Pf.*)
Durchmesser des Dampfcylinders in Fuſsen $D = \cdot 1424 + \cdot 1759 \sqrt{N}$
Geschwindigkeit des Kolbens in F. . . . $v = \cdot 538\,(1 + 5 \cdot 62 \sqrt{D})$

Länge des Kolbenschubes in F. . . . . . $L = \frac{D}{3 \cdot 164}\,(8 \cdot 858 - D)$

Umdrehungszahl der Kurbel per Min. . . . . $n = 30\, \frac{v}{l}$

Durchmesser des Dampfrohrs . . . . $= \cdot 2\, D$
Querschnitt der Dampfcanäle . . . . $= \frac{1}{30} F$

*) d. i. nahe $3\frac{2}{5}$ Atmosphären.

$\frac{B}{H}$	= 3	4	5	6
Breite B	= $\cdot 283\,D$	$\cdot 331\,D$	$\cdot 360\,D$	$\cdot 400\,D$
Höhe H	= $\cdot 094\,D$	$\cdot 083\,D$	$\cdot 072\,D$	$\cdot 066\,D$

Durchmesser der Kolbenstange . . . . $= \cdot 18\,D$
Metalldicke des Cylinders u. s. w. wie vorhin.

Volumen, welches die Kaltwasserpumpe beschreibt $= \cdot 015 \frac{\pi}{4} D^2 L$

Kolbenschub	$= \frac{L}{2}$	$\frac{L}{3}$	$\frac{L}{4}$
Durchmesser des Kolbens	$= \cdot 16\,D$	$\cdot 20\,D$	$\cdot 23\,D$

Länge des Balancier (wenn ein solcher vorhanden) . $= 3\,L$
Höhe „ „ in der Mitte . . . . . . $= 1{\cdot}31\,D$
„ „ „ an den Enden . . . . . . $= \cdot 49\,D$
Dicke der Höhennerve . . . . $= \cdot 082\,D$
Breite der obern Nerve . . . . $= \cdot 16\,D$
Höhe „ „ „ . . . . $= \cdot 082\,D$
Durchmesser der angegossenen Endzapfen . . . . . . $= \cdot 28\,D$
„ der Zapfen an der Hülse . . . . $= \cdot 2\,D$
„ „ „ an der Achse des Balancier . $= \cdot 28\,D$
Länge der Triebstange . . . . $= 3\,L$
Höhe der Nerve in der Mitte (wenn von Gufseisen) . . $= \frac{1}{5}\,L$
Dicke dieser Nerve . . . . $= \frac{1}{35}\,L$
Halbmesser der Kurbel . . . . $= \frac{1}{2}\,L$
Durchmesser des Kurbelzapfens . . . . $= \cdot 23\,D$

Durchmesser der Kurbelwelle . . $= \cdot 47\,D = \cdot 633 \sqrt[3]{\frac{N}{n}}$ Fuſs

Halbmesser des Schwungrades . . . . $= 4{\cdot}6\,D$
Radiale Dimension des Schwungrades . . . . $= \cdot 65\,D$
Dicke des Schwungringes . . . . $= \cdot 32\,D$
Anzahl der Arme . . . . $= 2(1 + 1{\cdot}46\,D)$
Höhe der Arme . . . . $= \cdot 37\,D$

Watt'sche Schiffsmaschine.

Cylinder.

Dampfspannung im Cylinder per 1 Qudratfuſs $= 1488$ Pf.
Durchmesser eines Dampfcylinders . . . $D = \cdot 348\,(1 + \sqrt{N})$ Fuſs

Länge des Kolbenschubes	$L = 1{\cdot}1\,D$
Querschnitt der Dampfcanäle	$= \frac{1}{30}$ bis $\frac{1}{20}\,F$
Breite „ „	$= {\cdot}36\,D$
Höhe „ „	$= {\cdot}07\,D$
Durchmesser der Kolbenstange	$= {\cdot}10\,D$

Luftpumpe.

Durchmesser der Luftpumpe	$= {\cdot}57\,D$
Kolbenschub „ „	$= \frac{1}{2}L = {\cdot}55\,D$
Ventilöffnungen Höhe	$= {\cdot}13\,D$
Ventilöffnungen Breite	$= {\cdot}50\,D$
Durchmesser der Kolbenstange	$= {\cdot}06\,D$

Speispumpen.

Durchmesser einer Speispumpe	$= {\cdot}11\,D$
Kolbenschub	$= \frac{1}{2}L = {\cdot}55\,D$

Traversen für den Dampfcylinder und die Treibstange.

Länge der Traverse	$= 1{\cdot}55\,D$
Durchmesser der Zapfen an der Traverse	$= {\cdot}10\,D$
Höhe der Traverse in der Mitte	$= {\cdot}27\,D$
Dicke der Traverse	$= {\cdot}09\,D$

Traverse für die Luftpumpe.

Länge der Traverse	$= 1{\cdot}55\,D$
Durchmesser der Zapfen	$= {\cdot}06\,D$
Höhe der Traverse in der Mitte	$= {\cdot}19\,D$
Dicke „ „ „ „ „	$= {\cdot}06\,D$
Metalldicke der Hülse	$= {\cdot}03\,D$

Treibstangen.

Länge der Hängstangen	$= 2{\cdot}20\,D$
Durchmesser in der Mitte	$= {\cdot}10\,D$
Länge der Treibstangen	$= 2{\cdot}60\,D$
Durchmesser in der Mitte	$= {\cdot}14\,D$

Die Balanciers.

Länge eines Balancier	$= 3 \cdot 14\, L = 3 \cdot 50\, D$
Höhe in der Mitte	$= \cdot 65\, D$
Dicke der Nerve	$= \cdot 04\, D$
Durchmesser des Drehungszapfens	$= \cdot 19\, D$

Die Kurbel.

Durchmesser des Kurbelzapfens	$= \cdot 14\, D$
„ der Kurbelwelle	$= \cdot 22\, D$
Halbmesser der Kurbel	$= \cdot 55\, D$