

merkliche Aenderung im Nutzeffecte entsteht. So fand eine im *Aspach-le-pont* zur Prüfung einer von André Köchlin & Comp. verfertigten Jonval'schen Turbine zusammengesetzte Kommission, dass der von 72 bis 83 Procent betragende Nutzeffect derselbe blieb, obgleich die Geschwindigkeit des Rades von 90 bis auf 168 Umdrehungen per Minute stieg, während der Wasserverbrauch nur um circa  $\frac{1}{10}$  Procent zunahm. (*Bulletin de la Soc. industr. de Mulhouse*, 1844, Nr. 58.)

3) Mit dem unten angebrachten Schieber oder der Schütze ist es nicht möglich, grössere oder kleinere Wasserquantitäten gleich gut nutzbringend zu machen.

4) Die Anzahl der Umdrehungen der leer laufenden Turbine ist bei ganz aufgezogener Schütze doppelt so gross, als die vortheilhafteste Anzahl der Umdrehungen im belasteten Zustande.

5) Die Turbine erreicht ihren grössten Nutzeffect nur dann, wenn ihr die Wassermenge, wofür sie construirt ist, auf eine ruhige und constante Weise zugeführt wird.

Ausser dem grossen Vortheile, dass bei der Jonval'schen Turbine der Wasserbau, und da die Trockenlegung sehr leicht, die Ueberwachung und Instandhaltung derselben weit einfacher und weniger kostspielig als bei der Fourneyron'schen Turbine ist, bietet sie gegen diese letztere noch folgende wesentliche Vortheile dar.

Erstlich wird bei dieser das zuströmende Wasser aus seiner Richtung nur ein Mal, und zwar blos um beiläufig 60 Grad abgelenkt, während diess bei der Fourneyron'schen Turbine zwei Mal, und jedes Mal um nahe 90 Grad geschieht. Ferner kann der Halbmesser und die Umdrehungszahl bei dieser Turbine innerhalb viel weiterer Grenzen variiren als bei der Fourneyron'schen.

Dagegen steht die Jonval'sche Turbine der Fourneyron'schen darin nach, dass nicht alle Punkte der obern horizontalen Radschaufelkanten (wie es im Gegentheil mit den Punkten der innern verticalen Schaufelkanten bei der Fourneyron'schen Turbine der Fall ist) einerlei Geschwindigkeit, sondern die von der Achse entfernten eine grössere, die näher liegenden eine kleinere Geschwindigkeit besitzen, was zur Folge hat, dass das Wasser nicht nach der ganzen Breite der Schaufeln völlig ohne Stoss in das Rad eintreten kann. Ferner, dass aus demselben Grunde die äussern Wassertheilchen eine grössere, die mehr gegen die Achse zu liegenden aber eine kleinere Fliehkraft besitzen, wodurch in denselben ein gewisses Drängen und eine Art Störung entsteht; beide diese Nachtheile lassen sich jedoch dadurch fast ganz unschädlich machen, dass man die Kranzbreite  $R' - R''$  so klein als möglich nimmt.

## Wassersäulenmaschine.

(§. 439.)

280. Wir wählen hier als ein weiteres Beispiel dieser sehr nützlichen Kraftmaschine zur Hebung der Grubenwasser in Berg-

werken, die von dem *Ingénieur des mines* Herrn Juncker in den Bergwerken von Huelgoat in der Bretagne, nach Reichenbach's Princip sehr schön und vollkommen ausgeführte, einfach wirkende Wassersäulenmaschine, welche in ihren wesentlichsten Bestandtheilen in den Figuren 161, 161. *a* und 161. *b* dargestellt ist.

Der oben offene Treibcylinder *Y* (Fig. 161), in welchem sich der Treibkolben *P* auf und ab bewegt, communicirt mit dem nebenstehenden Steuercylinder *HH'* durch das Rohr *T*, so wie dieser letztere Cylinder durch das Rohr *O* mit dem Einfalls- und durch jenes *S* mit dem Abflussrohr. Der nach der Zeichnung eben im Niedergehen begriffene und genau auf halbem Wege befindliche Steuerkolben *R* ist durch seine Stange *E* mit einem etwas grösseren Gegenkolben *J* verbunden, so, dass also beide Kolben zusammen durch das Kraftwasser immer aufwärts getrieben werden, so lange nicht eine neue nach abwärts wirkende Hilfskraft hinzutritt. Diese neue Kraft wird aber dadurch erzeugt, dass man das Kraftwasser durch das Rohr *a<sub>3</sub>a* (welches in Fig. 161. *a* in einem grösseren Massstabe gezeichnet ist), den Cylinder *ie* und die Oeffnung *o* über den Kolben *J*, und zwar nur über einen schmalen, ringförmigen Theil *w* desselben, welcher durch das Aufsetzen des hohlen Cylinders *K* entsteht, treten lässt, welches, nachdem es gewirkt, wieder durch den schmalen Canal *o*, den kleinen Cylinder *ie* und die Röhre *ee<sub>2</sub>e<sub>3</sub>* abfliessen und in das Abzugsrohr *S* gelangen kann.

Das abwechselnde Zulassen und Absperren des Kraftwassers in und von dem ringförmigen Raume *w*, wird durch eine Hilfssteuerung bewirkt, welche der Hauptsteuerung vollkommen ähnlich ist; auch diese besteht aus einer gleichen Kolbenverbindung, nämlich dem eigentlichen Steuerkolben *r*, dem Gegenkolben *i* und dem durch eine Stopfbüchse *nn* gehenden cylinderischen Kolben *k*, welcher über dem Kolben *i* einen sehr schmalen, ringförmigen Raum lässt, in welchem das Kraftwasser durch das enge Rohr *u* treten und dadurch den nöthigen geringen (kaum 50 Pfund betragenden) Gegendruck bilden kann, welcher zur Ausgleichung jenes Druckes nothwendig ist, den der untere Kolben *r* nach aufwärts durch die bis zum (um 14 Meter höher liegenden) Abflusscanal reichende Wassersäule erleidet.

Um endlich dieses letztere Kolbensystem, dessen Bewegung nur eine äusserst geringe Kraft erfordert, rechtzeitig zu steuern,

indem diese Steuerung gleichsam die Seele der Maschine bildet, so ist dieses System an den um  $v'$  drehbaren Hebel  $v't$  aufgehängt, und dieser durch das bewegliche Verbindungsglied  $t'$  mit dem um  $s'$  drehbaren Hebel  $ss'$ , der in ein Cirkelstück 1,2 ausläuft, verbunden, (Diese Art der Verbindung wurde durch den engen disponiblen Raum zwischen dem Treib- und Steuercylinder bedingt.) Ausserdem ist in dem Treibkolben  $P$  bei  $f$  eine runde Stange  $dd$  vertical befestigt, welche oben bei  $g$  durch eine Führung geht und gegen den Steuercylinder zu eine flache Leiste  $e'e'$  trägt, die gerade so dick als das genannte Cirkelstück ist, und während der ganzen Bewegung des Kolbens  $P$  diesen in derselben verticalen Ebene liegenden Kreisbogen 1,2 tangirt. An den zwei entgegengesetzten flachen Seiten dieser Leiste sind zwei Kämme oder Hebköpfe 3 und 4 mittelst Schrauben befestigt, deren Entfernung 3,4 man leicht verändern kann, indem die Leiste  $e'e'$  zu diesem Ende der Länge nach mit einer Reihe von passenden Löchern versehen ist. Da endlich auch an den beiden entgegengesetzten flachen Seiten des genannten Sectors 1,2 zwei Ansätze oder Däumlinge 1 und 2 befestigt sind, welche mit den erwähnten Ansätzen 3 und 4 correspondiren, so ergreift beim Aufwärtsgen des Treibkolbens der Ansatz 3 seinen correspondirenden 1 und hebt die kleinen Kolben  $r, i, k$  so lange, bis der Hebkopf 3 den Ansatz 1 (durch die Bewegung des Sectors 1,2) auslässt, worauf der Sector, also auch das genannte Kolbensystem, ruhig stehen bleibt, während der Treibkolben seinen Lauf aufwärts vollendet. Bei dem darauf folgenden Niedergehen des Treibkolbens geht der Hebkopf 3 vor seinem correspondirenden Ansatz 1 ruhig vorbei, während bald darauf der Kamm 4 seinen correspondirenden Ansatz 2 ergreift und den Sector sammt dem kleinen Kolbensysteme wieder in die vorige, hier gezeichnete Lage herabführt.

Das Spiel der Maschine ist nun leicht einzusehen. In der gegenwärtigen, in der Zeichnung dargestellten Stellung der einzelnen Theile, in welcher der Steuerkolben  $R$  (nebst seiner Verbindung) noch im Hinabgehen in dem Raume  $b'e'$  begriffen ist, fängt das Kraftwasser von  $O$  her (durch die eigenthümliche conische Form des Kolbens, welcher auch noch mit passenden Einkerbungen versehen ist (Fig. 161. *b*) bereits zu wirken und den Treibkolben  $P$  zu heben an. Sobald der Kolben so hoch gestiegen ist, dass durch den eben erwähnten Mechanismus das kleine Kolbensystem

$r, i, k$  der Hilfssteuerung gehoben wird, so fängt auch, weil dadurch die Communication zwischen dem ringförmigen Raume  $w$  und dem Abflussrohr  $S$  (durch den schmalen Canal  $o$  und das Rohr  $ee_1e_2e_3$ ) frei geworden ist und das Druckwasser aus diesem Raume  $w$  abfließen kann, das Kolbensystem  $R, J, K$  der Hauptsteuerung zu steigen an, und zwar ist in dem Augenblicke, als der Treibkolben bei verzögerter Geschwindigkeit seinen höchsten Stand erreicht hat, der Steuerungskolben  $R$  bereits auf jene Höhe gekommen, bei welcher die bei  $x_1$  auslaufenden Einkerbungen des Kolbens über  $b'$  hinaufgekommen sind und dadurch schon eine beginnende Communication zwischen dem untern Theile des Treibcylinders und dem Ausflussrohre  $S$  durch die Röhre  $T$  entsteht, die sich allmählig immer mehr vergrößert und endlich wenn  $x_2$  nach  $b$ , der Kolben  $R$  nämlich in den Raum  $bc$  gekommen ist, vollkommen herstellt; dadurch fängt nun auch, durch das Gewicht des mit der Treibkolbenstange  $X$  verbundenen Pumpen-Gestänges, der Treibkolben zu sinken an, wobei das unter demselben befindliche, bereits gewirkte oder sogenannte todte Wasser, durch die offene Communication  $YT$  in das Abflussrohr  $S$  fließt. Hat bei diesem Herabgehen des Treibkolbens der vorhin erwähnte Kamm 4, das Kolbensystem  $r, i, k$  der Hilfssteuerung wieder (in die durch die Zeichnung dargestellte Lage) herabgezogen, so tritt das Kraftwasser aus dem Steuerungscylinder durch das Rohr  $a_3 a_2 a$  und den schmalen Canal  $o$  über den Gegenkolben  $J$  in den ringförmigen Raum  $w$  und treibt den Steuerkolben  $R$  nach abwärts, welcher in dem Augenblicke als der Treibkolben (ebenfalls nachdem seine Geschwindigkeit nur allmählig bis Null abgenommen) seinen niedrigsten Stand erreicht, die in der Zeichnung angedeutete Stellung angenommen hat, so, dass auch schon in dieser Stellung durch die conische Form des Steuerungskolbens und dessen von  $x''$  bis  $x'$  reichenden Einkerbungen bewirkt, das Kraftwasser allmählig, und wie der Kolben  $R$  weiter herabgeht, immer mehr zu wirken anfängt und den Kolben  $P$  mit wachsender Kraft wieder in die Höhe treibt.

Anmerkung. Durch die bereits erwähnte conische Form, in welcher der Steuerkolben  $R$  (welcher in Fig. 161.  $b$  in einem etwas grösseren Massstabe dargestellt ist) an den beiden Grundflächen ausläuft, so wie den daselbst angebrachten 8 Einkerbungen, gelang es dem Genie eines Reichensbach, eine der grössten Schwierigkeiten, welche sich bei der Bewegung einer gänzlich unelastischen Flüssigkeit ergibt und sowohl in höchst nach-

theiligen Stössen und Erschütterungen, als in Verlusten an lebendiger Kraft, durch die plötzlichen Geschwindigkeitsänderungen der steigenden und fallenden Wassersäulen besteht, vollkommen zu besiegen, indem dadurch der Treibkolben, folglich auch die Wassersäulen im Fall- und Steigrohr von der Ruhe aus nur allmählig auf die normale Geschwindigkeit (welche übrigens niemals mehr als 6 Fuss betragen soll) und gegen Ende des Laufes eben so wieder allmählig zur Ruhe gebracht werden.

Ausser den bereits ersichtlich gemachten Vorzügen der Kolbensteuerung (gegen eine Hahnsteuerung, welche immer mit einer bedeutenden Reibung und Abnützung verbunden), ist noch darauf aufmerksam zu machen, dass der Maschinenwärter die letzte Regulirung der Treibkolben-Geschwindigkeit ganz einfach durch die Handhabung der beiden Hähne  $a_1$  und  $e$ , welche den, in und von dem ringförmigen Raume  $w$  zu- und abfliessenden Wasserstrahl regulirt, bewirken, ja selbst den Gang der Maschine in jedem Augenblicke sistiren und wieder herstellen kann. Denn ist z. B. der Steuerungskolben  $R$  bei seinem Aufsteigen in die gezeichnete Stellung gekommen, so braucht man nur den Hahn  $e$  zu schliessen, um die Maschine augenblicklich zum Stillstande zu bringen; sie wird dagegen sogleich wieder durch das Oeffnen dieses Hahnes in Bewegung gesetzt. Ein ähnliches Resultat erhält man während des Herabgehens dieses Kolbens  $R$ , wobei man jedoch den Hahn  $a_1$  schliessen und im zweiten Falle öffnen muss.

**281.** Bei dem Umstande, dass das projectirte, mit der Kolbenstange  $X$  verbundene, 230 Meter lange Gestänge der Pumpe, welches in einer doppelten Kette (ähnlich jenen bei den Kettenbrücken) besteht, ein Gewicht von 16,000 Kilogramm besitzt, musste zur Herbeiführung eines regelmässigen Ganges dieses bedeutende Gewicht auf irgend eine Weise balancirt werden. Anstatt der sonst üblichen Mittel wurde hier ein sogenannter hydraulischer Balancier in Anwendung gebracht, welcher ganz einfach in einer zweiten Röhrentour, d. i. in einer verticalen Wassersäule besteht, welche mit dem Abflussrohre  $S$  communicirt, so, dass also das unter dem Treibkolben befindliche todte Wasser beim Herabgehen desselben nicht frei abfliessen kann, sondern diese dem Gewichte des Gestänges entsprechende Wassersäule, welche sonach als Moderator wirkt, heben muss.

Damit jedoch die eben genannte, als Hemmung oder zur Ausgleichung dienende Wassersäule keinen Effectverlust herbeiführe, und wie es bei sonstigen Gegengewichten der Fall, beim Aufsteigen des Treibkolbens durch ihr Gewicht wieder ersetzen und die Druckhöhe des Kraftwassers vermehren könne, wurde die Wassersäulenmaschine nicht auf die Höhe des Abflusscanals,

sondern um die Höhe der genannten, den hydraulischen Balancier bildenden Wassersäule tiefer gestellt, wodurch also auch das Gefälle um dieselbe Höhe vermehrt wurde.

*Anmerkung.* Ohne hier in die letzten Details dieser Maschine, welcher noch eine ganz gleiche Schwester- oder Zwillingmaschine zur Seite steht, einzugehen, die man in der grössten Ausführlichkeit im 8. Band (J. 1835) der *Annales des mines* findet, wollen wir hier nur Folgendes bemerken.

Obschon man den Kolbengang durch Veränderung der Distanz der beiden erwähnten Hebköpfe 3 und 4 auf der Leiste *éé* reguliren kann, so geschieht diese Regulirung, besonders in Beziehung auf die Geschwindigkeit des Kolbenlaufes, doch noch zweckmässiger durch zwei Drosselklappen *V* und *V'*, wovon die eine im Zuleitungsrohr *O*, die andere im Ausflussrohr *S* angebracht und jede so eingerichtet ist, dass sie sich von Aussen durch einen einfachen Mechanismus beliebig um ihre verticale Achse drehen lässt, um das betreffende Rohr mehr oder weniger zu schliessen; geschieht diess mit der Klappe *V*, so wird die Geschwindigkeit des Treibkolbens *P* beim Aufwärtsgehen, dagegen mittelst der Klappe *V'* beim Abwärtsgehen vermindert. Man bediente sich in der That dieses Mittels und verringerte durch die Klappe *V* die Zuleitung des Kraftwassers bedeutend, weil die Maschine für den Fall berechnet ist, dass die Pumpe in eine Tiefe von 230 Meter unter den Abflusscanal zu stehen kommt, während bis dahin, als diese Maschine beschrieben worden, die Pumpe erst in einer Tiefe von 170 Meter aufgestellt werden konnte.

Die zweite Bemerkung betrifft die bei dieser Maschine angebrachten Vorrichtungen, um zu verhindern, dass das Steuerkolbensystem *R, J, K* am Ende seines Laufes keinen nachtheiligen Stoss erzeugt. Zu diesem Ende stösst der durch die Stopfbüchse *N, N* gehende hohle Kolben *K* mit seiner obern Grundfläche gegen eine aus zwei Theilen bestehende blecherne Büchse *u, u'*, wovon sich der untere mit Pantoffelholz *u''* ausgefüllte Theil *u'* in den obern an einer eisernen Querstange befestigten Theil *u* hineinschiebt und dadurch einen elastischen Polster bildet. Bei der Abwärtsbewegung dagegen tritt der an der verlängerten Kolbenstange angebrachte Knopf oder Wulst *α* in das mit Wasser gefüllte Gefäss *β* und indem dieses daraus nur schwer entweichen kann, bildet es ein solches Hinderniss, dass die Abwärtsbewegung des Kolbens ohne Stoss vernichtet wird.

Schliesslich wollen wir noch bemerken, dass die den hydraulischen Balancier bildende Wassersäule von 14 M. Höhe auf den Treibkolben von  $8177\text{ m}^2$  Fläche statt  $16000\text{ k}$ . (als Gewicht des Gestänges) nur einen Druck von  $11400\text{ k}$ . hervorbringt, dass man jedoch wegen der schlechten Beschaffenheit des Gesteins im Schachte, die Maschine nicht tiefer als um diese 14 Meter herabsetzen und gehörig befestigen konnte, und dass dieses Gewicht für den Anfang, als nämlich die Pumpe nur in einer Tiefe von  $170\text{ m}$ . arbeitete, also das Gestänge noch nicht ganz  $12000\text{ k}$ . wog, eine ganz gute Ausgleichung oder Verzögerung in dem herabgehenden Gestänge bewirkte.

Was endlich die Hauptdimensionen dieser Maschine anbelangt, so hat der Treibkolben einen Durchmesser von  $1\cdot0287^m$ , und bei einem Lauf von  $2\cdot3^m$  eine Geschwindigkeit beim Aufwärtsgehen (im belasteten Zustande) von  $\cdot3$  und beim Abwärtsgehen (im leeren Zustande) von  $\cdot7^m$ , so dass eine Pulsation, d. i. ein Auf- und Abgang, binnen  $10\cdot9$  Secunden vollendet ist, oder per Minute nahe  $5\frac{1}{2}$  solche Pulsationen Statt finden. Die Durchmesser der drei Steuerkolben  $R, J, K$  sind der Reihe nach  $\cdot369, \cdot404, \cdot322$  Meter und wiegen zusammen  $390^k$ .

Der kleine Cylinder  $ei$  hat im lichten Durchmesser  $\cdot05^m$ . Die Fallröhren haben (da man schon vorhandene Röhren benützen wollte) eine innere Weite von nur  $\cdot38^m$ . Der Kolben der Pumpe hat einen Durchmesser von  $\cdot45^m$  und denselben Hub wie der Treibkolben. Die Saug- und unteren Steigröhren haben eine lichte Weite von  $\cdot275^m$ , die obere Tour dieser Steigröhren hat dieselbe Weite wie die Fallröhren. In Bezug auf die Wanddicke bilden sie 5 Reihen und zwar von unten nach oben, nach der abnehmenden Progression der Zahlen 56, 48, 40, 32, 24. Die Fallröhren haben eine Wanddicke von  $\cdot027^m$ .

Das wirksame Gefälle beträgt, da dieses vom obern Reservoir bis zum Abflusscanal zu rechnen ist, 60 Meter. Endlich erfordert jeder Hub des Treibkolbens, deren per Minute nahe  $5\frac{1}{2}$  Statt finden,  $1\cdot88$  Cubikmeter Kraftwasser, was per Secunde  $\cdot173^c.m.$  ausmacht, so wie noch ausserdem jeder Kolbenhub  $\cdot33^c.m.$  Einspritzwasser für den ringförmigen Raum  $w$  ober dem Kolben  $J$  erfordert, was per Secunde nahe  $\cdot03^c.m.$  beträgt.

Die Maschine, so wie die Pumpe wurde dafür berechnet und construiert, um per Minute ein Wasserquantum von  $1\cdot792$  Cubikmeter 230 Meter hoch zu heben.

**282.** Um nun auch, ohne in eine unnütze weitläufige Theorie einzugehen, diese Wassersäulenmaschine zu berechnen, sei  $H$  die Gefällshöhe vom Wasserspiegel des Reservoirs bis zum mittlern Stand des Treibkolbens gemessen,  $\mathfrak{S}$  die Höhe, auf welche das Grubenwasser gehoben werden soll,  $h'$  die Höhe des Wasserspiegels im Reservoir über dem Abzugscanal und  $h$  die Höhe dieses Canals über dem Steuerungskolben  $R$  bei seinem mittlern Stande. Ferner sei  $D$  der Durchmesser und  $F$  die Querschnittsfläche des Treibkolbens,  $D'$  und  $F'$  der Durchmesser und die Fläche des Pumpenkolbens,  $d, d', d''$  und  $f, f', f''$  seien der Reihe nach die Durchmesser und Querschnittsflächen der Steuerungskolben  $R, J, K$ ;  $Q$  das per Secunde nöthige Kraft- oder Aufschlagwasser,  $q$  das per Secunde zu hebende Grubenwasser,  $v$  die mittlere Geschwindigkeit des Treib- und Pumpenkolbens beim Aufwärtsgehen,  $v'$  jene beim Niedergehen,  $p$  das Gewicht eines laufenden Fusses des Gestänges, so wie endlich  $\gamma$  das Gewicht

eines Kubikfuss Wassers, wenn nämlich alle Dimensionen in Fussen und die Gewichte in Pfunden ausgedrückt werden, so finden sofort folgende Relationen Statt.

Beim Aufgange des Treibkolbens, wenn man die in der Pumpe, so wie in den Fall- und Steigröhren Statt findenden hydraulischen Widerstände zu  $\frac{1}{5}$  oder 20 Procent des statischen Druckes annimmt (§. 446):

$$\gamma F H \left(1 - \frac{1}{5}\right) = \gamma F' \mathfrak{S} \left(1 + \frac{1}{5}\right) + (\mathfrak{S} - h) p \dots (a);$$

beim Niedergange dieses Kolbens, wobei das todte unterm Kolben befindliche Wasser wieder auf die Höhe  $h$  gehoben wird:

$$\gamma F h \left(1 + \frac{1}{5}\right) = (\mathfrak{S} - h) p \dots (b).$$

Aus dieser Relation (b) folgt:

$$F = \frac{5}{6} \frac{p (\mathfrak{S} - h)}{\gamma} \dots (1)$$

und wenn man diesen Werth für  $F$  in die Relation (a) substituirt und reducirt:

$$\frac{2}{3} p H \frac{\mathfrak{S} - h}{h} = \frac{5}{6} \gamma F' \mathfrak{S} + (\mathfrak{S} - h) p \dots (2).$$

Dabei ist noch, wie leicht zu sehen:

$$h + h' = H \dots (3) \text{ und } D = 1.128 \sqrt{F} \dots (4).$$

Bezeichnet man ferner noch den Reibungswiderstand der drei Steuerungskolben  $R, J, K$  mit  $R$  und ihr Gewicht mit  $G$ , so ist, beim Hinaufgehen dieser Kolben:

$$\gamma f h + \gamma f' H = \gamma f H + \gamma (f' - f'') h + R + G \dots (c)$$

und beim Niedergange derselben:

$$\gamma (f' - f'') H + \gamma f H + G = \gamma f' H + \gamma f h + R \dots (d).$$

Aus dieser letztern Relation erhält man:

$$f'' = \frac{G - R}{\gamma H} + f \left(1 - \frac{h}{H}\right) \dots (5)$$

und wenn man diesen Werth in (c) substituirt und dann  $f'$  bestimmt:

$$f' = \frac{G + R}{\gamma (H - h)} - \frac{(G - R) h}{\gamma (H - h) H} + f \left(1 - \frac{h}{H}\right) \dots (6);$$

dabei wird  $f$ , d. i. der Querschnitt des Steuerungskolbens  $R$ , willkürlich angenommen.

Die Durchmesser dieser Kolben sind:

$$d = 1.128 \sqrt{f}, \quad d' = 1.128 \sqrt{f'}, \quad d'' = 1.128 \sqrt{f''} \dots (7).$$

Endlich ist, auf die Pumpe übergehend, wie man leicht findet:

$$F' = \frac{v + v'}{v v'} q \text{ und } D' = 1.128 \sqrt{F'},$$

oder wenn man substituirt:

$$D' = 1.128 \sqrt{\left(\frac{v+v'}{vv'} q\right)} \dots (8).$$

Beispiel. Es sei, um uns wenigstens annähernd an die bei der Huelgoatschen Maschine vorkommenden Zahlen zu halten, die per Secunde auf die Höhe von 730 Fuss zu hebende Wassermenge = 1 Kubikfuss, die Höhe des Wasser-Reservoirs über dem Ausflusscanal (als wirksame Gefällshöhe) = 190 Fuss, die mittlere Geschwindigkeit des Treib- und Pumpenkolbens beim Aufwärtssteigen 1 und beim leeren Niedergehen 2 Fuss, ferner das Gewicht der drei Steuerungskolben  $R, J, K$  600, so wie ihr Reibungswiderstand, schätzungsweise angenommen, 400 Pfund, und endlich wiege der laufende Fuss des Pumpengestänges 40 Pfund; so ist  $q = 1$ ,  $\xi = 730$ ,  $h' = 190$ ,  $v = 1$ ,  $v' = 2$ ,  $G = 600$ ,  $R = 400$ ,  $p = 40$  und  $\gamma = 56.5$  zu setzen.

Aus den Relationen (2) und (3) folgt  $h = 42$  und damit aus (1) und (4)  $D = 3\frac{1}{3}$  und  $F = 8.7$ , so wie aus (3)  $H = 232$ .

Nimmt man  $f = \frac{1}{4} F = 1.243$ , so wird  $d = 1.25$  und aus den Relationen (6) und (5)  $f' = 1.1078$  und  $f'' = 1.0196$ , folglich nach (7)  $d' = 1.19$  und  $d'' = 1.14$ .

Ferner erhält man aus (8)  $D' = 1.4$ , so, dass also  $F' = 1.54$  wird.

Da der Kolbenhub auf 7.28 Fuss regulirt ist, so braucht derselbe zum Aufsteigen 7.28 und zum Niedergehen 3.64, folglich zu einem Auf- und Abgang 10.92 Secunden, so, dass also per Minute nahe  $5\frac{1}{2}$  Kolbenhübe Statt finden. Mit diesen Werthen ist die per Minute gehobene theoretische Wassermenge =  $1.54 \times 7.28 \times 5.5 = 61.7$  Kubikfuss, folglich, da nach den von Juncker an der dortigen Pumpe vorgenommenen Versuchen, die wirkliche Wassermenge nur um  $\frac{1}{30}$  oder  $3\frac{1}{3}$  Procent geringer als die theoretische ist, die wirkliche Wassermenge =  $61.7 - 2.05 = 59.65$  Kubikfuss, so, dass der Abgang auf die verlangte Zahl 60 leicht durch die oben erwähnte Regulirung in der Kolbengeschwindigkeit ersetzt werden kann.

Die per Secunde consumirte Wassermenge beträgt für den Treibkolben nahe 5.8 und für den ringförmigen Raum  $w$  über dem Gegenkolben  $J, G$ , also zusammen 6.4 Kubikfuss. Die absolute Wirkungsgrösse des Kraftwassers ist daher  $E_a = 6.4 \times 190 \times 56.5 = 68704 \text{ F. Pf.}$ , während der Nutzeffect  $E_n = 1 \times 730 \times 56.5 = 41245 \text{ F. Pf.}$ , nämlich 60 Procent von dieser dynamischen Kraft beträgt.

Anmerkung. In der Wirklichkeit ist, wie bereits oben angeführt,  $D = 3.254$ ,  $D' = 1.423$ ,  $d = 1.167$ ,  $d' = 1.277$  und  $d'' = 1.018$ , so, dass also dabei in der That der Gegenkolben  $J$  so, als ob die 42 Fuss hohe Wassersäule (die dort 44 Fuss beträgt), welche den hydraulischen Balancier bildet, nicht vorhanden wäre, etwas grösser als der Steuerungskolben  $R$  ist, während hier in diesem Beispiele das Gegentheil Statt findet.

Schliesslich ersieht man aus den obigen Relationen (5) und (6) leicht, dass eine Aenderung in der Annahme der Reibung  $R$ , selbst von 400 auf 200 oder 600 fast gar keinen merkbaren Einfluss auf die Bestimmung der

Kolbendurchmesser  $d'$ ,  $d''$  hat, so, dass man also in dieser Annahme nichts weniger als sehr rigoros sein darf.

## Pumpen.

(§. 442.)

**283.** Nachdem wir die detaillirten Entwicklungen über die verschiedenen Pumpensysteme bereits im Compendium von §. 445 bis 456 im Wesentlichen gegeben haben, so sollen hier nur ganz kurz die Resultate derselben, wie sie sich für den practischen Gebrauch am besten eignen, angeführt und übersichtlich zusammengestellt werden.

Bezeichnet  $h$  die Höhe, auf welche das Wasser durch das Pumpwerk gehoben,  $M$  die Wassermenge in Kubikfuss, welche per Secunde gefördert werden soll,  $D$  den Durchmesser des Kolbens,  $v$  dessen mittlere Geschwindigkeit,  $l$  die gesammte Länge der Röhren, welche das Wasser durchläuft,  $d$  den Durchmesser derselben,  $u$  die Geschwindigkeit des Wassers in den Röhren,  $m$  einen Erfahrungskoefficienten, welcher von der mehr oder weniger vollkommenen Ausführung der Pumpe abhängt, und endlich  $E_n$  den Nutzeffect, welchen die Pumpe entwickeln oder besitzen muss; so ist für einen doppelt wirkenden, oder zwei einfach wirkende Pumpencylinder  $M = m \frac{D^2 \pi}{4} v$  und daraus:

$$D = 2 \sqrt{\frac{M}{m \pi v}} \dots (1).$$

Eben so folgt für einen bloss einfach wirkenden Cylinder aus  $2M = m \frac{D^2 \pi}{4} v$  sofort:

$$D = 2.828 \sqrt{\frac{M}{m \pi v}} \dots (2).$$

Was dabei den Erfahrungskoefficienten  $m$  betrifft, so ist dieser für sehr vollkommen ausgeführte Pumpen, wie z. B. bei den Reichenbach'schen in Baiern und der Juncker'schen in dem Bergwerk von Huelgoat (siehe das vorige Beispiel), beinahe gleich 1, nämlich  $m = .97$ ; für etwas weniger vollkommene Pumpen ist  $m = .9$  und für gewöhnliche  $m = .8$  zu setzen.

Als mittlere Kolbengeschwindigkeit nimmt man für sorgfältig ausgeführte Pumpen  $v = .6$  bis  $.9$  und bei unvollkommener Ausführung  $v = .8$  bis  $1.1$  Fuss.