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 Entwickelungen 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:

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

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

$$D = 2{\cdot}828 \sqrt{\frac{M}{m \pi v}} \ldots (2).$$

Was dabei den Erfahrungscoefficienten 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 $m = {\cdot}97$; für etwas weniger vollkommene Pumpen ist $m = {\cdot}9$ und für gewöhnliche $m = {\cdot}8$ zu setzen.

Als mittlere Kolbengeschwindigkeit nimmt man für sorgfältig ausgeführte Pumpen $v = {\cdot}6$ bis ${\cdot}9$ und bei unvollkommener Ausführung $v = {\cdot}8$ bis $1{\cdot}1$ Fuss.

Anmerkung. Eine wesentliche Bedingung einer guten Pumpe liegt schon deshalb in einem langsamen Kolbengange, weil es dadurch leichter möglich wird, die Bewegung von der Ruhe aus nur allmälig beginnen und eben so wieder aufhören zu lassen, und da an dieser Bewegung sowohl die zu hebende Wassersäule, als auch die Ventile Theil nehmen, so geht weder lebendige Kraft, noch auch durch die Ventile Wasser verloren, weil sich diese, bevor der Kolben vollständig zur Ruhe kommt und seine Bewegung (eine sogenannte Sinusversus-Bewegung) wechselt, schon ganz nahe an ihren Sitzen befinden und dann augenblicklich schliessen, wie dies z. B. bei der oben erwähnten Juncker'schen Pumpe (welche unter einem Drucke von nahe 23 Atmosphären arbeitet) wirklich der Fall ist. Dazu ist jedoch eine besonders gute Liederung des Kolbens erforderlich, weil dieser sonst um so mehr Wasser durchlässt oder verliert, je langsamer er sich bewegt. Aus diesem Grunde gibt man dem Kolben bei einer unvollkommenen Herstellung der Pumpe eine grössere Geschwindigkeit als bei einer vollkommenen Ausführung.

Aus demselben Grunde ist auch (damit das Kolbenspiel nicht zu oft wechseln darf) ein langer Kolbenschub vortheilhafter als ein kurzer. Dort, wo die Anlagskosten, wie z. B. bei den Bergwerkspumpen, weniger in Anschlag kommen, um den zu einem langen Hub kostspieligeren Bewegungs-Mechanismus herzustellen, nimmt man den Kolbenhub $\lambda = 3$, 4, ja selbst bis $5D$, während man für gewöhnliche Pumpen $\lambda = 2D$ und für sehr compendiöse wohl auch nur $\lambda = D$ setzt.

284. Bezeichnet man die Höhe der Wassersäule, welche dem Reibungswiderstande des Wassers in den Röhren entspricht, wieder durch z, so ist (Nr. **215**, Relat. 2):

$$z = \frac{4l}{d}(\alpha u + \beta u^2) \ldots (3)$$

und dabei $\alpha = \cdot 0000188$, $\beta = \cdot 0001083$.

Um nun den zum Betriebe eines Pumpwerkes nöthigen Effect einfach auszudrücken, kann man drei Kategorien annehmen und setzen:

für sehr vollkommene Pumpwerke $E_n = 1{\cdot}1\gamma M(h+z) \ldots (4)$,
für gute Pumpwerke . . . . . . $E_n = 1{\cdot}2\gamma M(h+z) \ldots (5)$,
für gewöhnliche Pumpwerke . . . $E_n = 1{\cdot}25\gamma M(h+z) \ldots (6)$.

Es bezeichnet nämlich E_n den Nutzeffect in Fusspfund, welchen der Motor entwickeln oder besitzen muss, um das Pumpwerk zu betreiben; dabei muss natürlich auch h und z in Fussen und M in Kubikfuss ausgedrückt und $\gamma = 56{\cdot}5$ gesetzt werden.

Anmerkung. Für gewöhnliche Pumpen ist die Röhrenlänge l, folglich auch der Röhrenwiderstand so gering, dass man die Widerstandshöhe z vernachlässigen oder als Null ansehen kann.

Den lichten Durchmesser der Ventile, so wie der Saug- und Steigröhre nimmt man in der Regel $= \frac{1}{2} D$, dadurch wird die Geschwindigkeit des Wassers in diesen Röhren 4 Mal so gross als im Kolbenrohr oder $u = 4v$, folglich (nach der obigen Annahme für v) von $2\frac{1}{2}$ bis $4\frac{1}{2}$ Fuss.

Beispiel. Es soll für eine Fabrik ein Pumpwerk angeordnet werden, welches per Secunde eine Wassermenge von 1 Kubikfuss auf eine Höhe von 30 Fuss fördert; dabei soll dasselbe durch ein Wasserrad betrieben werden, wofür ein Gefäll von 16 Fuss disponibel ist.

Wählt man hierzu ein Pumpwerk von zwei einfach wirkenden Cylindern und setzt, um ganz sicher zu gehen, die Wassermenge, welche die Pumpe liefert, um $\frac{1}{5}$ kleiner als das vom Kolben zurückgelegte Volumen, so ist $\frac{D^2 \pi}{4} v = (1 + \frac{1}{5}) M$ und daraus wegen $M = 1$ und wenn man auch $v = 1$ nimmt, sofort $D = 1{\cdot}24$ Fuss. Für den Durchmesser der Saug- und Steigröhren nehmen wir $d = \frac{1}{2} D = {\cdot}62$ Fuss, und eben so weit machen wir auch die Ventile im lichten Durchmesser. Der Nutzeffect E_n, welchen das Wasserrad für den Betrieb dieser Pumpe besitzen muss, kann nach der obigen Formel (5) ausgedrückt werden, so, dass man hat:

$$E_n = 1{\cdot}2 \gamma M (h + z).$$

Nun ist wegen $u = 4v = 4$ nach der Relation (3) die Widerstandshöhe $z = 193{\cdot}5 \times {\cdot}00181 = {\cdot}34$. Mit diesem und den übrigen Werthen ist nun, wenn man substituirt:

$$E_n = 1{\cdot}2 \times 56{\cdot}5 \times 1 \times 30{\cdot}34 = 2057^{F.\ Pf.} = \frac{2057}{430} = 4{\cdot}8,$$

d. i. sehr nahe 5 Pferdekräfte.

Wählen wir nun zum Betriebe dieser Pumpe bei dem vorhandenen Gefälle von 16 Fuss ein oberschlächtiges Wasserrad, und suchen nach dem Grundsatze, dass, wenn der Receptor oder aufnehmende Theil (§. 303) seine vortheilhafteste Geschwindigkeit besitzt, auch das Werkzeug oder der arbeitende Theil die zweckmässigste Geschwindigkeit annehmen soll, den geometrischen Zusammenhang oder Bewegungs-Mechanismus am einfachsten herzustellen, indem wir vorläufig nur versuchsweise die Umfangsgeschwindigkeit des Wasserrades nach Nr. **265** (Anmerk.) $v = 4{\cdot}8$, folglich die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser in das Rad eintritt, $V = 2v = 9{\cdot}6$ Fuss setzen. Nach derselben Nr. ist dann der Halbmesser des Rades:

$$R = \frac{1}{2}\left(h - \frac{V^2}{2g}\right) = \frac{1}{2} \times (16 - 1{\cdot}487) = 7{\cdot}25 \text{ Fuss.}$$

Die Anzahl der Umdrehungen des Rades per Minute ist:

$$n = \frac{60}{2\pi} \frac{v}{R} = 9{\cdot}548 \times \frac{4{\cdot}8}{7{\cdot}25} = 6{\cdot}32.$$

Ist nun λ der noch zu bestimmende Kolbenschub bei der Pumpe und v die Kolbengeschwindigkeit, so ist

$$2 n \lambda = 60 v \quad \text{oder} \quad \lambda = \frac{30 v}{n},$$

also für $v = 1$ und $n = 6{\cdot}32$ sofort $\lambda = 4{\cdot}75$ Fuss; ein Kolbenschub, welcher uns nicht ganz convenirt, da er zu gross ist.

Nehmen wir daher, um eine grössere Umdrehungszahl n zu erhalten, die Umfangsgeschwindigkeit des Rades $v = 6$, also $V = 12$ Fuss, so wird $R = \frac{1}{2}(16 - 2{\cdot}322) = 6{\cdot}84$ Fuss und $n = 8{\cdot}36$, folglich der Kolbenschub $\lambda = \frac{30}{8{\cdot}36} = 3{\cdot}6$ Fuss.

Da uns aber auch dieser Kolbenschub für die Fabrikspumpe noch zu gross ist, und wir annehmen, dass an Aufschlagwasser kein Mangel sei, so wollen wir lieber, anstatt von der Kolbengeschwindigkeit per 1 Fuss abzugehen, oder den einfachen Bewegungs-Mechanismus einer mit der Radachse verbundenen Kurbel oder excentrischen Scheibe aufzugeben, von der vortheilhaftesten Umfangsgeschwindigkeit des Rades in etwas absehen und diese zu 7·5 Fuss annehmen. Dadurch wird, wie vorhin gerechnet:

$$R = 6{\cdot}185, \quad n = 11{\cdot}6 \quad \text{und} \quad \lambda = 2{\cdot}6 \text{ Fuss},$$

was eine ganz angemessene Grösse ist.

Rechnet man den Nutzeffect des Wasserrades hier blos zu 60 Procent, so muss der absolute Effect desselben sein:

$$E_a = \frac{E_n}{{\cdot}60} = \frac{2057}{{\cdot}6} = 3428^{F.\ Pf.} = \frac{3428}{430} = 8 \text{ Pferdekräfte.}$$

Die per Secunde nöthige Wassermenge Q findet man aus der Relation $\gamma Q \times 16 = 3428$, und zwar folgt daraus $Q = 3{\cdot}8$ Kubikfuss.

Die Dimensionen des Rades sind nach Nr. **265**, Anmerkung, $\frac{b}{a} = 2{\cdot}25\sqrt[3]{8} = 4{\cdot}5$, und wenn man den Füllungscoefficienten $m = \frac{1}{3}$ setzt, nahe genug $a = {\cdot}6$ und $b = 2{\cdot}6$ Fuss.

Da die Rechnung die Anzahl der Zellen $\frac{2R\pi}{{\cdot}6 + {\cdot}7a} = 38$ gibt, so kann man, je nachdem man ein System von 4, 6 oder 8 Radarmen wählt, dafür die Zahl 36 oder 40 nehmen.