Neuntes Kapitel.

Von den Pumpen.

Einleitung.

§. **415. Erklärung.** Unter den Wasserpumpen, welche hier vorzugsweise gemeint sind, versteht man jene hydraulische Maschinen, mittelst welchen das Wasser aus einem tiefer liegenden auf einen höher gelegenen Punct gehoben wird; je nachdem dieses nun mittelst eines auf und ab gehenden Kolbens, oder eines im Kreise herumlaufenden Flügels oder Schiebers bewirkt wird, hat man vorzüglich (ohne Rücksicht auf die noch übrigen mannigfaltigen Modificationen) Kolben- und Rotationspumpen. Die Kolbenpumpen, welche uns hier vorgugsweise beschäftigen, werden je nach der verschiedenen Wirkungsweise in Saug-, Druck- und vereinigte Saug- und Druckpumpen eingetheilt.

Wie man sieht, so unterscheiden sich die Pumpen, so wie alle Wasserhebmaschinen, unter denen wir nur die Pumpen als die wichtigsten und nützlichsten herausheben, von den früher behandelten hydraulischen Maschinen wesentlich dadurch, dafs bei den vorigen das Wasser als die bewegende Kraft, hier aber als die zu bewegende Last erscheint.

Saug- und Hebepumpe.

§. **416. Wesentliche Bestandtheile einer Saugpumpe.** Dazu gehören ein cylindrisch ausgebohrtes und, bei sorgfältiger Ausführung, ausgeschliffenes Rohr A (Fig. 258), das sogenannte Kolbenrohr oder der Stiefel, in welchem ein nach seiner Achse durchbrochener Cylinder oder Kegel a, der sogenannte Kolben, luft- und wasserdicht auf und abbewegt werden kann. Dieser Kolben besitzt auf seiner obern Grundfläche entweder blofs eine biegsame Lederscheibe, welche von der durch die Achse gehende Kolbenstange C zugleich in ihrem Mittelpuncte festgehalten wird, und sich rund herum vom Rande nach einwärts etwas aufbiegen läfst, oder zweckmäfsiger eine nach aufwärts sich öffnende Klappe oder ein Ventil n, das Kolbenventil, in welchem Falle die Kolbenstange mittelst eines Biegels c (Fig. 260) mit dem Kolben so verbunden wird, dafs sich dieses Ventil ungehindert öffnen und schliefsen kann. Mit dem Stiefel A steht ferner in der Regel ein engeres und in das Unterwasser (den Sumpf) reichendes Rohr D, das Saugrohr, in Verbindung, welches durch das ebenfalls aufwärts sich öffnende Saugventil *m* (auch Boden- oder Stöckelventil genannt) mit dem Stiefel in Communication steht oder davon abgesperrt ist, je nachdem dieses Ventil (welches ein Kegel-, Kugel- oder Klappenventil seyn kann) geöffnet oder geschlossen ist. Endlich wird noch bei diesen Pumpen unmittelbar über dem Kolbenrohr das Ausgufsrohr *B* angebracht.

Die Saug- und Hebepumpe, bei welcher das Wasser auf eine gröfsere Höhe gehoben wird, unterscheidet sich von der eben beschriebenen nur dadurch, dafs bei der erstgenannten auf das Kolbenrohr noch ein kürzeres oder längeres Rohr, das Aufsatz- oder Steigrohr, aufgesetzt, und in diesem erst der Ausgufs angebracht wird.

Da man aus Gründen, welche sogleich angegeben werden sollen, das Saugrohr nicht leicht länger als etwa 25 Fufs machen darf, so wird eine einfache Saugpumpe das Wasser auch nur bis ungefähr auf diese Höhe oder gegen 5 Klafter heben können. Saug- und Hebepumpen, mittelst welchen das Wasser sofort auf jede beliebige Höhe gehoben werden kann, heifsen hohe Sätze, und in manchen Fällen (besonders in Bergwerken), wo diese Höhe von 40 bis 50 Klafter beträgt, auch Kunstsätze.

Läfst man bei einer solchen Pumpe das Saugrohr weg und stellt das Kolbenrohr selbst in das Unterwasser, so erhält man eine ganz einfache Hebepumpe.

Für die gewöhnlichen Hauspumpen (Brunnen) besteht der Kolben aus einem cylindrischen oder schwach conischen, in Öl ausgekochten Buchen- oder sonstigem harten Holze, welcher parallel mit seiner Achse mehrfach durchbohrt ist und ganz bequem in den Stiefel hineingeht, während die auf seiner obern Grundfläche aufliegende Filz- oder Lederscheibe desto fester hineinpafst, und dadurch wenigstens im Anfange eine bedeutende Reibung erzeugt. Besser ist es diesen Kern, welcher auch bei sorgfältigerer Ausführung zweckmäfsiger aus Metall hergestellt wird, mit einer Lederkappe, wie in Fig. 260 dargestellt ist (die Stulp- oder Kappenliederung), zu versehen, weil dadurch die nöthige wasserdichte Bewegung des Kolbens ohne eine so bedeutende Reibung erzielt wird.

In der neuesten Zeit hat der französische Mechaniker *Letestu* die Kolben sehr sinnreich und mit dem besten Erfolg dadurch hergestellt, dafs er in einen ziemlich langen metallenen Trichter oder hohlen Kegel *a b* (Fig. 261), dessen Mantelfläche siebartig durchbohrt, dagegen die untere oder kleinere Basis geschlossen ist, eine eben so conisch geschnittene Lederkappe *n*, die ganz leicht oder lose, ohne genäht zu seyn, über einander gelegt und unten durch die durch den Conus gehende und in eine Schraube auslaufende Kolbenstange *c* festgehalten wird, einlegt, und dadurch, dafs dieser lederne Conus über den metallenen wenigstens um einen Finger breit vorspringt, eine Sturzliederung, dadurch aber, dafs sich die blofs über-einander gelegten (und übergreifenden) Ränder leicht über einander schieben, zugleich auch das Kolbenventil bildet.

Was die Ventile im Allgemeinen betrifft, so wendet man aufser den bereits erwähnten Klappen- am häufigsten noch das Kegelventil (Fig. 261. *a*) an, welches aus einem metallenen, abgestutzten Kegel *a* besteht, welcher in einem hohlen Kegel, dem sogenannten Ventilsitz *b*, luftdicht eingeschliffen ist, und mit dem an der kleinern Basis befestigten Stiele *c* in dem im Ventilsitz angebrachten Steg *n* seine Führung findet.

Bei der eben erwähnten *Letestu*'schen Pumpe besteht das Saug- oder Bodenventil eben so einfach als zweckmäfsig aus einer siebartig durchlöcherten runden Metallplatte *A* (Fig. 261), auf welche eine kleinere, blofs die Löcher bedeckende biegsame Lederscheibe *d* im Mittelpuncte durch eine leicht los zu machende Mutterschraube *o* befestigt, und so dem in der Richtung der Pfeile aufsteigenden Wasser der Durchgang gestattet, dagegen in der entgegengesetzten Richtung versperrt wird.

§. 417. Wirkungsart der Saugpumpe. Da der mittlere Druck unserer Atmosphäre mit einer Quecksilbersäule (im Barometer) von nahe 28 Zoll oder einer Wassersäule von beinahe 32 Fufs im Gleichgewichte steht, so wird das in dem oben offenen Gefäfse *A* (Fig. 269) befindliche Wasser, sobald das oben geschlossene Rohr *ic* luftleer gemacht wird, in diesem über das Niveau von *ab* um 32 Fufs in die Höhe steigen, und sich dadurch mit dem Luftdrucke ins Gleichgewicht stellen. Wird daher bei der Saugpumpe (Fig. 258) der anfänglich ganz unten am Bodenventil *m* aufsitzende Kolben *a* in die Höhe gezogen, demnach im Stiefel *A* ein luftleerer (oder verdünnter) Raum erzeugt, so dringt die durch die Atmosphäre im Saugrohr *D* zusammengeprefste Luft durch das Saugventil *m* in diesen luftleeren Raum unter den Kolben, um bei dem darauf folgenden Niedergang desselben (wobei sich dieses Ventil schliefst und daher diese im Raume *A* befindliche Luft zusammengeprefst wird) durch das Kolbenventil *n*, welches sich dadurch öffnet, über den Kolben zu treten und zu entweichen. So wie aber die Luft im Saugrohr verdünnt wird, so tritt auch das Wasser, in Folge des atmosphärischen Druckes auf die Oberfläche *N*, in das Saugrohr ein, und darin immer höher hinauf, so, dafs nach einigen Kolbenzügen anstatt Luft nunmehr das Wasser selbst zuerst in den Stiefel und dann eben so durch das Ventil *m* über den Kolben tritt, wenn nämlich der höchste Kolbenstand die vorhin genannte Höhe von 32 Fufs über den Unterwasserspiegel *N* nicht übersteigt.

Obschon die mit dem atmosphärischen Drucke im Gleichgewichte stehende Wassersäule nahe 32 Fufs hoch ist, so kann das Wasser bei den Pumpen durch die eben beschriebene Wirkungsweise (nämlich durch das sogenannte Ansaugen) diese Höhe doch niemals erreichen, weil erstens (schon wegen des sogenannten schädlichen Raumes zwischen dem Kolben- und Saugventil beim tiefsten Kolbenstand) niemals ein vollkommen luftleerer Raum erzeugt wird, und weil ferner durch den Druck der Atmosphäre (als wirkende Kraft) sowohl der Widerstand des Wassers in den Röhren überwunden, als auch die ruhende Wassermasse beschleunigt, und wenn man will, auch das Saugventil gehoben werden mufs; alle die diesen Widerständen entsprechenden Wassersäulenhöhen müssen daher von der erwähnten Höhe von 32 Fufs abgezogen werden, um jene Höhe zu erhalten, auf welche das Wasser angesaugt werden kann.

§. 418. Bestimmung der gröfsten Ansaughöhe. Ist $\mathfrak{H}$ die Höhe der mit dem atmosphärischen Drucke im Gleichgewichte stehenden Wassersäule (also im Mittel nahe $= 32$ F.), s der Kolbenhub und e die Höhe des schädlichen Raumes, d. i. der lichte Abstand der beiden Ventile beim tiefsten Kolbenstande; so hat die innere Luft die Elasticität der äufsern, und wird durch die Wassersäule $\mathfrak{H}$ gemessen. Beim höchsten Kolbenstande hat sich diese Luft von der Höhe e auf jene $s + e$ ausgedehnt, wodurch (wie wir im folgenden Abschnitte sehen werden) die Elasticität in demselben Verhältnifs vermindert, und daher durch die Wassersäule $\frac{e}{s+e}\,\mathfrak{H}$ gemessen wird. Ist nun nach mehreren Kolbenzügen das Wasser im Saugrohr bis auf die gröfste Höhe h, die es erreichen kann, gestiegen, so besitzt die zwischen der Oberfläche dieser Wassersäule und dem Saugventil im Saugrohr befindliche Luft eine Elasticität, welche durch die Wassersäule $\mathfrak{H} - h$ gemessen wird, und da auch beim letzten Kolbenhub noch die im Stiefel befindliche Luft die vorhin ausgedrückte Elasticität besitzt (indem bei jedem Kolbenniedergang die zurückgebliebene Luft zwischen den beiden Ventilen immer wieder bis auf die Dichte und Elasticität der äufsern zusammengedrückt wird), und diese, wenn das Gleichgewicht eingetreten ist, jener der noch im Saugrohr befindlichen Luft gleich seyn mufs, so hat man $\mathfrak{H} - h = \frac{e}{s+e}\,\mathfrak{H}$, und daraus:

$$h = \mathfrak{H}\left(1 - \frac{e}{s+e}\right) = \frac{\mathfrak{H}}{1 + \frac{e}{s}} \quad \ldots \text{(r}$$

Ist z. B. $e = \frac{1}{3} s$, so ist diese Ansaughöhe $h = \frac{3}{4}\mathfrak{H} = 24$ F.

§. 419. Betriebskraft der Saug- und Hebepumpen. Ist h die verticale Höhe vom Unterwasserspiegel bis zum

Ausgufsrohr, x die Höhe des Kolbens, bei einem beliebigen Stande desselben über diesem Unterwasserspiegel und wieder $\mathfrak{H}$ die Höhe der mit dem atmosphärischen Drucke im Gleichgewichte stehenden Wassersäule; so ist, wenn das Wasser bereits bis zum Ausgufsrohr gestiegen ist und, wie es immer seyn soll und vorausgesetzt werden mufs, das angesogene Wasser unmittelbar dem Kolben nachdringt und an diesen ansteht, die Höhe der auf dem Kolben ruhenden Wassersäule $= \mathfrak{H} + h - x$, dagegen die Höhe der Wassersäule, welche auf den Kolben von unten nach oben drückt $= \mathfrak{H} - x$, so dafs also noch von oben nach unten auf den Kolben eine Wassersäule drückt von der Höhe $\mathfrak{H} + h - x - (\mathfrak{H} - x) = h$, d. h. es ruht während des ganzen Kolbenspiels immerfort eine Wassersäule auf der Kolbenfläche, welche der Höhe h, auf die das Wasser gehoben werden soll, gleich ist.

Ist daher die in Quadratfufs ausgedrückte Kolbenfläche $= F$, die Höhe, auf welche das Wasser gehoben werden soll, in Fufsen $= h$, so wie das Gewicht von 1 Kubikfufs desselben wieder $= \gamma$; so ist die zum Aufziehen des Kolbens (ohne alle sonstigen Gewichte und Nebenhindernisse) erforderliche Kraft $P = \gamma F h$, und zwar in Pfunden, wenn γ in derselben Einheit ausgedrückt wird.

Aufser dieser statischen Belastung der Pumpe kommt noch die sogenannte dynamische hinzu, welche 1) in der Kolbenreibung, 2) der Adhäsion des Wassers in den Röhren, 3) in der Trägheit der immer von neuem zu bewegenden Wassersäule, und 4) in der Contraction des Wassers beim Durchgange durch die verschiedenen Öffnungen, so wie in dem Gewichte der Ventile, des Kolbens u. s. w. besteht. Im grofsen Durchschnitte kann man, da die Kolbengeschwindigkeit niemals bedeutend ist und immer innerhalb gewisser Grenzen bleiben mufs, den dynamischen Widerstand zu 10 bis 20 Procent des statischen annehmen, und sonach 1) $P = 1\frac{1}{10}\gamma P h$, oder bei minder vortheilhafter Ausführung 2) $P = 1\frac{1}{5} P h$ setzen.

Beim Niedergehen des Kolbens ist blofs die Kolbenreibung, welche bei einer zweckmäfsigen Liederung immer nur geringe ist, und jener Widerstand zu überwinden, welcher beim Durchdrängen des Wassers durch das Kolbenventil entsteht; dabei wirkt jedoch das Gewicht des Kolbens und Gestänges (mit Abschlag des Gewichtsverlustes im Wasser) zu Gunsten. Jedenfalls geht man sicher und rechnet für die zum Niederdrücken nöthige Kraft P' eher zu viel, wenn man diese dem vorhin erwähnten dynamischen Widerstande gleich, also:

$P' = \frac{1}{10} \gamma F h$, oder bei minder guter Ausführung $P' = \frac{1}{5} \gamma F h$ setzt.

§. **420.** Die oben angeführten Widerstände, welche zusammen den dynamischen Widerstand ausmachen, werden am eiufachsten dadurch in Rechnung gebracht, dafs man sich für jeden einzelnen eine Wassersäule von solcher Höhe auf dem Kolben ruhend denkt, dafs zu ihrer Aufwärtsbewegung dieselbe Arbeit oder Wirkung wie zur Überwindung dieses betreffenden Widerstandes erforderlich ist. Bezeichnet man nun diese Wassersäulen- oder Widerstandshöhen der Reihe nach, wie sie vorhin aufgezählt wurden, mit h', h'', h''' und h^{IV}; so hat man für die erste oder Kolbenreibung Folgendes zu bemerken.

Bei einer Kappenliederung, die ihrer Zweckmäfsigkeit wegen immer angewendet werden sollte, und daher hier vorausgesetzt wird, beträgt die reibende Fläche, wenn die Höhe des (immer nur ganz schmalen) Lederringes, in so weit diese dabei in Betracht kommt, $= b$ und der Durchmesser des Kolbens $= D$ ist, sofort $b D \pi$; davon wird jede Flächeneinheit mit der Kraft (§. 310) γh gegen die innere Wend des Kolbenrohrs angeprefst, so, dafs wenn f den betreffenden Reibungscoefficienten bezeichnet, sofort die zur Überwindung der Reibung nöthige Kraft $p = f b D \pi \,.\, \gamma h$ ist.

Soll nun aber das Heben einer über der Kolbenfläche $F = \frac{1}{4} D^2 \pi$ stehenden Wassersäule von der Höhe h' dieselbe Kraft erfordern, so mufs $\frac{1}{4} \gamma h' D^2 \pi = \gamma f D b h \pi$, also $h' = 4 f b \frac{h}{D}$, oder wenn man den unbestimmten Erfahrungscoefficienten $4 f b = k$ setzt, auch $h' = k \frac{h}{D}$ seyn.

Mehreren Versuchen zufolge kann man für gut polirte metallene Stiefel $k = \cdot 03$, für blofs gebohrte $k = \cdot 06$, für gut gebohrte hölzerne Stiefel $k = \cdot 1$, und für schlechte $k = \cdot 2$ setzen.

§. **421.** Ist ferner l die Länge und d der lichte Durchmesser des Saug-, so wie L die Länge und D der Durchmesser des Kolbenrohrs, c die mittlere Geschwindigkeit des Kolbens, folglich (wegen $c : c' = f : F = \frac{1}{4} d^2 \pi : \frac{1}{4} D^2 \pi$) $c' = \frac{D^2}{d^2} c$ jene des Wassers im Saugrohr; so ist nach §. 344 die Widerstandshöhe für die Adhäsion des Wassers im Kolbenrohr $= \cdot 03 \frac{L}{D} \frac{c^2}{2g}$, und für jene im Saugrohr

$= \cdot 03 \frac{l}{d} \frac{c'^2}{2g} = \cdot 03 \frac{l}{d} \frac{D^4}{d^4} \frac{c^2}{2g}$, also für beide zusammen:

$$h'' = \cdot 03 \frac{c^2}{2g} \left(\frac{L}{D} + \frac{l}{d} \frac{D^4}{d^4} \right).$$

Zur Beschleunigung der Wassermasse $M = \gamma f l$ im Saugrohr, wenn die Querschnittsfläche $\frac{1}{4} d^2 \pi = f$ gesetzt wird, von Null auf c' während eines Kolbenhubes $= s$, ist (§. 185) eine Arbeit

$$= M \frac{c'^2}{2g} = \gamma f l \frac{D^4}{d^4} \frac{c^2}{2g},$$

und eben so für die Masse $\gamma L F$ im Kolbenrohr die Arbeit $= \gamma L F \frac{c^2}{2g}$ nöthig. Zur Bewegung der äquivalenten Wassersäule $\gamma F h'''$ dagegen wird die Arbeit $\gamma F h''' s$ erfordert, so, dafs durch Gleichsetzung dieses Ausdruckes mit der Summe der beiden unmittelbar vorhergehenden sofort $h''' = \left(L + l \frac{D^2}{d^2} \right) \frac{c^2}{2gs}$ gefunden wird.

In allen jenen Fällen jedoch, in welchen der Kolben am Ende des Hubes dieselbe Geschwindigkeit wie am Anfange desselben hat, und die erlangte Geschwindigkeit dabei nur allmälig verliert, wird zur Beschleunigung der Massen (§. 187) keine Arbeit absorbirt, folglich fällt diese Widerstandshöhe h''' überall dort, wo eine Pumpe durch leblose Motoren und mittelst Krummzapfen betrieben wird, aus der Rechnung heraus.

§. 422. Was endlich die letzte, aus der Contraction entstehende Widerstandshöhe betrifft, so ist diese die unbedeutendste, wenn man dafür sorgt, dafs sich das Saugrohr am untern Ende, wo es im Sumpfe steht, etwas erweitert und die Öffnung des Saug- oder Stöckelventils nicht zu klein ist. Ist allgemein n der Contractionscoefficient für das in das Saugrohr eintretende Wasser, so ist die der Beschleunigung des Wassers entsprechende Widerstandshöhe, welche aus der Contraction entspringt, $= \left(\frac{c'}{n} \right)^2 : 2g = \frac{c^2}{2gn^2} \frac{D^4}{d^4}$ (weil das Wasser von der Geschwindigkeit Null auf jene $\frac{c'}{n}$ gebracht werden mufs).

Ist ferner f der Querschnitt des Saugrohrs und f' die Öffnung des Saugventils, so wie m der entsprechende Contractionscoefficient, so mufs das Wasser beim Durchgange durch diese Öffnung von der Geschwindigkeit c' auf jene $\frac{c' f}{m f'}$ gebracht werden, wozu (§. 346) eine Druckhöhe $= \frac{c^2}{2g} \frac{D^4}{d^4} \left[\frac{d^4 \pi^2}{16 m^2 f'^2} - 1 \right]$ nöthig ist; diese Widerstandshöhe mit der vorigen vereinigt, gibt daher:

$$h^{\text{IV}} = \frac{c^2}{2g}\left[\frac{D^4}{d^4}\left(\frac{1}{n^2} - 1\right) + \frac{D^4 \pi^2}{16 m^2 f'^2}\right].$$

Für den besondern Fall von $f' = f$ wird einfacher:

$$h^{\text{IV}} = \frac{c^2}{2g} \cdot \frac{D^4}{d^4}\left(\frac{1}{n^2} + \frac{1}{m^2} - 1\right).$$

§. 423. Zur Überwindung aller dieser Widerstände ist daher beim Aufziehen des Kolbens, wenn G das Gewicht desselben sammt Gestänge (mit Rücksicht auf den Gewichtsverlust im Wasser) bezeichnet, eine Kraft

$$P = \gamma F (h + h' + h'' + h''' + h^{\text{IV}}) + G$$

nothwendig.

§. 424. Um ferner auch die zum Niederdrücken des Kolbens nöthige Kraft P' zu finden, sey f der Querschnitt der Kolbenventilöffnung und m wieder der Contractionscoefficient, so muſs sich das Wasser mit einer Geschwindigkeit von $\frac{cF}{mf}$ durch diese Öffnung durchdrängen, wozu eine Widerstandshöhe $\mathfrak{H} = \frac{c^2}{2g} \frac{F^2}{m^2 f^2} = \frac{c^2}{2g} \frac{D^4}{m^2 d^4}$ nothwendig ist, so, daſs also $P' = \gamma F \mathfrak{H} - G$ ist; dabei ist die bei einer guten Kappenliederung ohnehin nur unerhebliche Kolbenreibung unberücksichtigt gelassen.

Da nun immer $P > P'$ ist, so gleicht man, wenn nicht etwa zwei Pumpen mittelst eines Balancier in der Art betrieben werden, daſs der eine Kolben steigt während der andere hinabgeht, diesen ungleichen Widerstand durch ein Gegengewicht aus.

Beispiel. Soll z. B. das Wasser auf eine Höhe von 5 Klafter mittelst einer solchen Saug- und Hebepumpe gehoben werden, bei welcher das Saugrohr 20 Fuſs lang und 6 Zoll weit, das Kolbenrohr 10 Fuſs lang und 9 Zoll weit ist, der Kolbenhub 3 Fuſs und die Hubzeit 6 Secunden, so wie das Gewicht des Kolbens sammt Gestänge (im obigen Sinne) 30 Pfund beträgt; so hat man $h = 30$, $l = 20$, $L = 10$, $d = \frac{1}{2}$, $D = \frac{3}{4}$, $s = 3$, $c = \frac{s}{t} = \frac{1}{2}$ und $G = 30$. Setzt man die sämmtlichen Contractionscoefficienten $= \cdot 8$, den Coefficienten für die Kolbenreibung $k = \cdot 06$ und den Durchmesser der beiden Ventilöffnungen (wie es seyn soll) ebenfalls $= d = \frac{1}{2}$; so findet man ganz einfach für die obigen Widerstandshöhen $h' = 2\cdot 4$, $h'' = \cdot 026$, $h''' = \cdot 074$ und (für den besondern Fall von $f' = f$) $h^{\text{IV}} = \cdot 0433$, folglich ist ihre Summe $= 2\cdot 543$ Fuſs, und diese Widerstandshöhe beträgt von der zu hebenden Wassersäule den $11\cdot 8^{\text{ten}}$ Theil oder nahe $8\frac{3}{5}$ Procent, und eben so viel beträgt demnach auch der dynamische von dem statischen Widerstand.

Es ist also $P = 56{\cdot}5 \times {\cdot}442 \times 32{\cdot}563 + 30 = 842{\cdot}7$ Pfund.

Will man noch die Hraft p hinzurechnen, welche zur Hebung des Saugventils nöthig ist, so wäre, wenn q dessen Gewicht ist, $p = q\frac{D^2}{d^2}$, im vorliegenden Beispiele also $= \frac{9}{4}q$, und wenn das Ventil 1 Pfund wiegt, so ist $p = 2\frac{1}{4}$ Pf.

Ferner ist für den Niedergang des Kolbens, wegen $\mathfrak{H} = {\cdot}032$ F., sofort $P' = 56{\cdot}5 \times {\cdot}442 \times {\cdot}032 - 30 = -29{\cdot}2$ Pfund, oder wenn auch für das Öffnen des Kolbenventils $2\frac{1}{4}$ Pfund nöthig wären, sofort $P' = -26{\cdot}95$ Pf., d. h. der Kolben würde durch die eigene Schwere mit einer Kraft von nahe 27 Pf. herabgetrieben, welches Übergewicht bei gehöriger Ausgleichung für die zu hebende Kraft benützt werden kann. Für den Fall, dafs die Widerstandshöhe h''' ausgelassen werden kann, fällt P um $1{\cdot}8$ Pfund geringer aus, was übrigens hier keine Berücksichtigung verdient.

§. 425. Die zu einer Auf- und Abbewegung des Kolbens nöthige Wirkung oder Arbeit ist, wenn s die Gröfse des Kolbenhubes und t die Zeit für einen Auf- oder Niedergang des Kolbens bezeichnet, sofort $W = Ps + P's = (P + P')s$, also die Arbeit per Secunde:

$$E = \frac{W}{2t} = (P + P')\frac{s}{2t} = \frac{c}{2}(P + P').$$

Im vorigen Beispiele ist $E = 204^{\text{F. Pf.}}$, während ohne die sogenannten dynamischen Hindernisse $E' = 187^{\text{F. Pf.}}$ seyn würde, so, dafs also E um $8\frac{1}{2}$ Procent gröfser als E' ist.

Was ferner die Leistung dieser Pumpe betrifft, so werden binnen 12 Secunden (die Zeit für einen Auf- und Niedergang des Kolbens) $\frac{4}{5}Fs = \frac{4}{5} \times {\cdot}442 \times 3 = 1{\cdot}06$ Kubikfufs, d. i. 60 Pfund Wasser auf eine Höhe von 30 Fufs gehoben; diefs gibt einen Nutzeffect per Secunde von $e = \frac{60 \times 30}{12} = 150^{\text{F. Pf.}}$; es ist daher $\frac{e}{E} = \frac{150}{203} = {\cdot}74$ oder der Nutzeffect beträgt 74 Procent.

Bei gewöhnlichen Pumpen mit hölzernem Stiefel und unzweckmäfsiger Kolbenliederung steigt der Nutzeffect selten über 60 Procent.

Anmerkung 1. Bei Beurtheilung des Nutzeffectes einer Wasserpumpe darf man übrigens nicht vergessen, dafs die auf jeden Kolbenhub, nämlich die während der Zeit von $2t$ Secunden geförderte Wassermenge keineswegs der theoretischen $M = Fs$ gleich kommt, sondern durch den Verlust, welcher durch das Zurücktreten des Wassers durch das Ventil und die Liederung Statt findet und von $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{5}$ beträgt, auf $\frac{11}{12}$ bis $\frac{4}{5}M$ reducirt wird.

Anmerkung 2. Da das Wasser der vorhandenen Hindernisse wegen nur mit einer gewissen Geschwindigkeit dem Kolben nachdringen kann, so läſst es sich gar wohl denken (wenn es auch nicht leicht vorkommen wird), daſs der Kolben so schnell aufwärts bewegt (vom Wasser losgerissen) wird, daſs das Wasser dem Kolben nicht schnell genug folgen, und daher auch gegen diesen keinen Druck ansüben kann; in diesem Falle ist nicht bloſs, wie oben (§. 419) erörtert, die auf dem Kolben ruhende Wassersäule von der Höhe h, sondern von der viel bedeutenderen $h' + H$, wo h' die im §. 420 angegebene Bedeutung hat.

Im obigen Beispiele würde sich (siehe die von uns gelieferte Abhandlung über »Pumpen« in *Prechtl's* technologischer Encyclopädie, Bd. 11, S. 249) der Kolben schon bei einer Geschwindigkeit von 5 Fuſs vom nachdringenden Wasser losreissen.

Druckpumpen.

§. 426. Erklärung. Die Druckpumpe besteht aus dem Stiefel oder Kolbenrohr A (Fig. 263), in welchem sich ein massiver (nicht durchbrochener) Kolben a luftdicht auf und ab bewegt, dem Knie- oder Gurgelrohr B, welches den Stiefel mit dem Steigrohr C verbindet, so wie endlich dem Saug- oder Stiefelventil m und dem Gurgelventil n.

Beim Aufziehen des Kolbens dringt das Wasser durch das Ventil m (und zwar hier ohne den Luftdruck, durch das eigene Gewicht des Wassers) in den Stiefel ein und wird beim Niedergehen des Kolbens, wobei sich das Ventil m schlieſst, während sich jenes n öffnet, in das Steigrohr getrieben, in welchem es durch die wiederholte Kolbenbewegung auf jede beliebige Höhe gehoben oder hinaufgedrückt werden kann. Auch hier wird das Kolbenrohr (wie bei der Saugpumpe das Saugrohr) nach unten etwas erweitert und siebartig durchlöchert, um das Eindringen von Schlamm und sonstigen Unreinigkeiten zu verhindern.

§. 427. Kolben und Ventile. Der Kolben einer Druckpumpe besteht entweder wie in a (Fig. 262) aus mehreren über einander gelegten Leder- oder Filzscheiben, welche mittelst zweier Metallplatten und einer durch die Achse gehenden Mutterschraube zusammengepreſst und festgehalten werden; oder besser, wie die Kolben bei Dampfmaschinen, aus zwei metallenen, gegen einander zu schraubenden Platten (wie in b, Fig. 262), zwischen welchen eine Packung von Hanf oder aufgedrehten Seilen eingelegt wird; oder auch (wie in c der erwähnten Fig. 262) aus einem doppelten Lederstulp (doppelte Kappenliederung), so wie auch endlich aus einem ganz einfachen, sehr genau in das Kolbenrohr eingeschliffenen Metallcylinder (Metallkolben). Sehr häufig wird auch der *Bramah*'sche Kolben, d. i. ein längerer massiver oder hohler Cylinder m (Fig. 264) von etwas kleinerem Durchmesser als das Kolbenrohr (in Lichten) hat angewendet, wobei die Liederung, wie in d angezeigt, im Kolbenrohr selbst (wie z. B. bei dem Kolben der hydrostatischen Presse, §. 307) angebracht ist, oder welcher wie bei z durch eine gewöhnliche Stopfbüchse k geht.

Aufser dem schon bei der Saugpumpe erwähnten Kegelventil oder jenem in Fig. 265 dargestellten, wendet man auch das Kugelventil, nämlich eine metallene Kugel an, welche in dem, ein hohles Kugelsegment bildenden Ventilsitz genau eingeschliffen ist.

Anmerkung. Bei der Bestimmung der Gröfse und Hubhöhe eines, z. B. des Kegelventils, geht man von der Ansicht aus, dafs die Ausflufsöffnung dem Querschnitt der Röhre gleich seyn soll, aus welcher das Wasser eindringt; ist daher d der innere Durchmesser des Rohres, also auch des Ventils, b die Hubhöhe des letztern, so soll $\frac{1}{4} d^2 \pi = b d \pi$, demnach $b = \frac{1}{4} d$ seyn. Da ferner das Wasser auch zwischen dem Umfang des Ventils und der Wand der Röhre, in welche das Wasser übertritt, seinen ungehinderten Durchgang finden soll, so mufs, wenn D der lichte Durchmesser dieser Röhre und δ jener der gröfseren Basis des Ventils ist, sofort $\frac{1}{4}(D^2 - \delta^2)\pi = \frac{1}{4} d^2 \pi$, also $D = \sqrt{(d^2 + \delta^2)}$ seyn; wäre $\delta = d$, so müfste also:

$$D = d\sqrt{2} = 1{\cdot}4\,d$$

seyn.

§. 428. Nöthige Betriebskraft. Sind D, F, L der Durchmesser, innere Querschnitt und die Länge des Kolbenrohrs, d, f, l dieselben Gröfsen für das Steigrohr, ist ferner h die Höhe der zu hebenden Wassersäule, vom mittleren Kolbenstand an gerechnet, s die Höhe eines Kolbenhubes und c dessen mittlere Geschwindigkeit; so findet man auf dieselbe Art, wie in den §§. 420 bis 424, dafs der Kolben beim Niedergange, wo er die Wassersäule h zu heben oder hinaufzudrücken, und aufserdem die Widerstandshöhen h', h'', h''' und h^{iv} für die Kolbenreibung, Adhäsion, Beschleunigung und Contraction des Wassers zu überwinden hat, eine Kraft

$$P = \gamma F(h + h' + h'' + h''' + h^{iv}) - G \quad . \; . \; . \; (1$$

erfordert, wenn wieder G das geltende Gewicht des Kolbens sammt Stange ist; dagegen zum Aufziehen des Kolbens eine Kraft

$$P' = \gamma F(\tfrac{1}{2} s + h'_1) + G$$

nothwendig ist, wobei h'_1 die Widerstandshöhe für die Kolbenreibung bezeichnet und jedenfalls bedeutend kleiner als h' ist.

Nach §. 420 ist $h' = k\frac{h}{D}$, wobei nach Umständen $k = {\cdot}03$ bis ${\cdot}1$ zu setzen ist; ferner ist, wenn man die Adhäsion und Beschleunigung des Wassers im Kolbenrohr, als hier zu unbedeutend vernachläfsigt, $h'' = \cdot 03\,\frac{c^2}{2g}\,\frac{l}{d}\,\frac{D^4}{d^4}$, $h''' = \frac{c^2}{2gs}\,l\,\frac{D^2}{d^2}$ und, wenn man die Ventilöffnungen ebenfalls $= f$ und die Contractionscoefficienten einander gleich annimmt und $= n$ setzt,

$$h^{\text{IV}} = \frac{c^2}{2g}\,\frac{D^4}{d^4}\left(\frac{2}{n^2} - 1\right),$$

dabei kann n von ·8 bis ·95 angenommen werden.

Aufser diesen, mit den bei Saug- und Hebepumpen vorkommenden analogen Widerständen, kommt hier noch einer zu berücksichtigen, welcher unter gewissen Umständen sehr beträchtlich seyn kann; da nämlich das Steig- oder Gurgelventil, es mag ein Kegel- oder Klappenventil seyn, gegen die zu hebende Wassersäule im Steigrohre hin eine etwas gröfsere Fläche als gegen die Seite des Druckkolbens besitzt, so entspringt aus diesem Flächenunterschiede eine neue Widerstandshöhe. Ist nämlich, bei Voraussetzung eines Kegelventils, f dessen kleinere, d. i. die Fläche der Ventilöffnung, und f' die gröfsere Fläche, auf welcher (mit nur unbedeutendem Abzug) die Wassersäule h ruht, so ist der Druck von dieser Seite her auf das Ventil $= \gamma f' h$, während er von der entgegengesetzten, d. i. von der Seite des Kolbens her, wenn h_1 die Höhe der Wassersäule ist, durch deren Druck auf die Fläche f die Wassersäule h gehoben wird, sofort $= \gamma f h_1$ ist; es mufs daher $\gamma f' h = \gamma f h_1$ oder $h_1 = \frac{f'}{f} h$ seyn. Wäre nun $f' = f$, so wäre auch $h_1 = h$, d. h. es wäre (ohne Rücksicht auf das hier verschwindende Ventilgewicht) blofs die Wassersäule im Steigrohre zu heben, was bereits berücksichtigt ist; allein die Differenz $h_1 - h = h\left(\frac{f'}{f} - 1\right)$ gibt die neue Widerstandshöhe h^{V}, welche also, wenn d der Durchmesser der Öffnung oder kleinern und δ jener der gröfsern Ventilfläche bezeichnet, den Werth erhält: $h^{\text{V}} = h\left(\frac{\delta^2}{d^2} - 1\right)$.

Eine ganz ähnliche Rechnung gilt für das Klappenventil, und es ist, wenn a der Abstand des Mittelpunctes des Druckes (§. 312) von dem Scharnier des Ventils und b der Abstand des Mittelpunctes der Öffnung von dieser Drehungsaxe ist, sofort $h^{\text{V}} = h\left(\frac{f'}{f}\,\frac{a}{b} - 1\right)$, weil die statischen Momente $\gamma f' h b$ und $\gamma f h_1 a$ einander gleich seyn müssen.

Beispiel. Soll z. B. das Wasser durch eine 200 Klafter lange und 3 Zoll weite Röhrenleitung auf eine Höhe von 25 Klafter mittelst eines einfachen Druckwerkes gehoben werden, bei welchem das Kolbenrohr 9 Zoll weit ist, der Kolbenhub 30 Zoll und die Zeit dafür 5 Secunden beträgt; so hat man, wenn das Gewicht des Kolbens sammt Gestänge mit 150 Pfund, der Reibungscoefficient k mit ·06, der Contractionscoefficient n mit ·8 und h'_1 mit 1 Fufs in Rechnung zu bringen ist, wegen $D = \frac{3}{4}$, $F = \cdot 442$, $s = 2\frac{1}{2}$, $l = 1200$,

$d = \frac{1}{4}$, $h = 150$, $G = 150$ und $c = \frac{s}{t} = \frac{2\cdot5}{5} = \cdot5$ sofort $h' = 12$, $h'' = 47\cdot03$, $h''' = 17\cdot42$ und $h^{IV} = \cdot69$; springt endlich das Steigventil um $\frac{1}{10}$ Zoll über den Rand der 3 Zoll weiten Ventilöffnung rund herum vor, so ist wegen $\delta = 3\cdot2$ und $d = 3$ noch $h^{V} = \cdot138\,h = 20\cdot7$.

Die Summe aller dieser Widerstandshöhen beträgt sonach 97·84 Fufs, folglich von der Förderungshöhe per 150 Fufs (hier wegen der langen und engen Röhrenleitung) nicht weniger als $65\,{}^{1}/_{5}$ Procent.

Nach der obigen Formel 1) wird also zum Niederdrücken des Kolbens eine Kraft von $P = \cdot442 \times 56\cdot5\,(150 + 97\cdot84) - 150 = 6039$ Pfund erfordert.

Ferner ist bei der erwähnten Annahme von $h'_1 = 1$ Fufs (was von der Art der Kolbenliederung abhängt) die zum Heben des Kolbens nöthige Kraft $P' = \cdot442 \times 56\cdot5\,(\frac{5}{4} + 1) + 150 = 206$ Pfund.

Sollte die Kraft zum Heben des Kolbens jener zum Niederdrücken gleich werden, so müfste man mit der Kolbenstange noch ein Gegengewicht von $\frac{1}{2}\,(6039 - 206) = 2916\frac{1}{2}$ Pfund verbinden, wodurch dann $P = P' = 3122\frac{1}{2}$ Pfund würde. Weit zweckmäfsiger wäre es jedoch, entweder eine doppelt wirkende Druckpumpe zu verwenden oder an einen gemeinschaftlichen Balancier wieder zwei Pumpen- oder Kolbenstangen so einzuhängen, dafs sie das Wasser abwechselnd in ein gemeinschaftliches Steigrohr treiben, weil dann aufser der entstehenden Gleichförmigkeit in der Betriebskraft auch die Wassersäule im Steigrohr fortwährend in Bewegung bleibt.

Die zum Betriebe dieser Pumpe nöthige Wirkung ist zusammen für einen Auf- und Niedergang des Kolbens oder für 10 Secunden $W = (P + P')\,s$, folglich der Effect für 1 Secunde $E = (6039 + 206)\,\frac{5}{20} = 1561\frac{1}{4}^{\text{F. Pf.}}$ oder etwas über $3\frac{1}{2}$ Pferdekräfte. Die in je 10 Secunden gehobene theoretische Wassermenge ist $M = \cdot442 \times \frac{5}{2} = 1\cdot105$, also die wirkliche in dieser Zeit $m = \frac{4}{5} \times 1\cdot105 = \cdot884$ Kubikfufs 150 Fufs hoch, was sofort per Secunde einen Nutzeffect von $e = \frac{\cdot884 \times 150 \times 56\cdot5}{10} = 749\cdot2^{\text{F. Pf.}}$ gibt, welcher von der nöthigen Betriebskraft blofs 48 Procent beträgt, was hier daher kommt, weil das Wasser auf einen Umweg von 1050 Fufs auf die Höhe von 150 Fufs gehoben wird. Kann man kein doppeltes Druckwerk anlegen, so läfst man das Gurgel- und Steigrohr (wie bei Feuerspritzen) in einen Windkessel A (Fig. 266) einmünden, damit durch die Elasticität der Luft, welche bei jedem Kolbenstofs etwas comprimirt und beim leeren Zurückgehen des Kolbens wieder ausgedehnt wird, ebenfalls ein continuirliches Ausströmen des Wassers Statt hat, dadurch wird ebenfalls die fortwährend auf Beschleunigung des Wassers im Steigrohr nöthige Kraft, welche im gegenwärtigen Beispiele, bei jedem Kolbenspiel nicht weniger als 434 Pfund beträgt, erspart.

Vereinigtes Saug- und Druckwerk.

§. 429. Da man das Kolbenrohr sehr selten unmittelbar in den Sumpf oder das Unterwasser stellt, indem sonst der häufig im Wasser befindliche Sand und die sonstigen specifisch schwerern Unreinigkeiten ebenfalls durch das Bodenventil in das Kolben-, und dann auch in das Steigrohr gelangen; so verbindet man das Kolbenrohr gerade so wie bei der Saug- und Hebepumpe in der Regel noch mit einem Saugrohre, wodurch ein sogenanntes Saug- und Druckwerk entsteht.

Auch hier bringt man, wenn man keine doppelt wirkende einfache Pumpe (wie eine solche in Fig. 259 dargestellt und ohne weitere Erläuterung verständlich ist) oder nicht zwei in gehöriger Wechselwirkung stehende Pumpen anbringen will oder kann, zur Ausgleichung der Bewegung des Wassers im Steigrohre einen Windkessel mit in Verbindung.

Die Berechnung eines solchen vereinten Saug- und Druckwerkes bietet jetzt, nach dem was vorausgegangen, keine Schwierigkeit mehr dar.

Beispiel. Bei der hier in Wien gebauten Kaiser-Ferdinands-Wasserleitung beträgt der lichte Durchmesser des Kolbenrohrs 18 Zoll, jener des 20 Fufs langen Saugrohres 2 Fufs, die Länge des 14 Zoll weiten Steigrohres 2300 Klafter, die vertical gemessene Höhe, auf welche das Wasser gehoben wird, 170 Fufs, der Kolbenhub einer jeden der beiden Pumpen 3 Fufs und die Hubzeit 2 Secunden, so wie endlich der sogenannte schädliche Raum 3 Zoll.

Man findet, wenn man die Formeln der §§. 420 bis 425 nur auf eine Pumpe gehörig anwendet, für die mittlere oder auf irgend eine Weise ausgeglichene Kraft, welche sowohl beim Hinaufziehen als Hinabdrücken des Kolbens nöthig ist, 24510 Pfund, wenn nämlich das im Steigrohre befindliche Wasser bei jedem Kolbendrucke von der Ruhe aus, und zwar mit der angenommenen Geschwindigkeit von $\frac{3}{2}$ Fufs per Secunde, in Bewegung gesetzt werden müfste; dagegen wenn durch irgend eine Vorkehrung das Wasser in dem 2300 Klafter langen Steigrohre immer in Bewegung bleibt, blofs 10719 Pfund, welches weniger als die Hälfte der vorigen Kraft ausmacht; die Widerstandshöhe (= 22·559) beträgt im letztern Falle ungefähr den vierten Theil von der hydrostatischen (= 85 F.).

Was die nöthige Arbeit oder Wirkung zum Betriebe eines dieser beiden Pumpwerke betrifft, so steigt diese im erstern Falle auf nahe $85\frac{1}{2}$, im letztern auf $37\frac{1}{2}$ Pferdekraft. Berechnet man dabei wieder die wirklich gehobene Wassermenge zu $\frac{4}{5}$ der theoretischen, so werden per Secunde $1\frac{6}{100}$ Kubikfufs auf 170 Fufs Höhe gehoben (was binnen 24 Stunden 51100 Eimer ausmacht), und damit stellt sich dann der Nutzeffect, bei der Betriebskraft von $37\frac{1}{2}$ Pferde (also im zweiten Falle), nahe auf 64 Procent der aufgewendeten Betriebskraft.

Da nun aber bei dem genannten Wasserhebwerke durch die Dampfmaschine gleichzeitig zwei Pumpen von derselben Gröfse und Wirkung, die mit einander in Verbindung stehen, betrieben werden, so ist die nöthige Betriebskraft $E = 2 \times 37\frac{1}{2} = 75$ Pferdekräfte und das binnen 24 Stunden auf 170 Fuſs Höhe gehobene Wasser $M = 2 \times 51100 = 102200$ Eimer. — In der Wirklichkeit werden von einer Niederdruck-Dampfmaschine (eine zweite dient als Reserve) von nominell 60 Pferdekräfte (welche indeſs gewiſs eine wirkliche Kraft von 75 Pferden besitzt) binnen 24 Stunden 100000 Eimer 175 Fuſs hoch gehoben. — Nach der vorigen Rechnung wird diese Maschine die Pumpen beim Anlassen, wo also die ganze im Steigrohre befindliche Wassermasse von der Ruhe aus in Bewegung gesetzt werden muſs, nicht wie im Beharrungsstande mit $1\frac{1}{2}$, sondern nicht ganz mit $\frac{2}{3}$ Fuſs Geschwindigkeit bewegen.

Feuerspritzen.

§. 430. Eine besondere und zugleich höchst wichtige practische Anwendung findet das Saug- und Druckwerk auf die Feuerspritzen, mittelst welchen bekanntlich bei Feuersbrünsten das Wasser oft auf eine bedeutende Höhe in einem kräftigen Strahle in das Feuer gespritzt oder geschleudert werden soll, um das Feuer zu löschen. Unter den vielen Arten und Formen ist in Fig. 267 eine der kräftigsten und bewährtesten Feuerspritzen dargestellt. In dem auf einem Wagengestelle ruhenden Kasten *NN* sind die beiden Stiefeln *A*, *A* auf eine solche Weise aufgeschraubt oder befestigt, daſs das in dem Kasten befindliche Wasser leicht durch das Boden- oder Saugventil *b* in diese eintreten kann; zugleich steht mit diesen Stiefeln der mit atmosphärischer Luft gefüllte Windkessel *B* so in Verbindung, daſs durch die schief liegenden Klappenventile *d*, *d*, die Communication abwechselnd damit hergestellt oder unterbrochen wird, je nachdem der mit seiner Stange *f* in dem um seinen Mittelpunct drehbaren (oder um die durch diesen Punct gehende horizontale Achse oscillirenden) Druckbaume *E* in *o* gelenkartig eingehängten Kolben *a* niedergedrückt oder aufgezogen wird. Da nun das Steig- oder Guſsrohr *C* (welches in einer durch die Zeichnung in Fig. 268 dargestellten Form ausläuft, und durch eine besondere Einrichtung am obern Theil alle nöthigen Bewegungen gestattet) in den oben luftdicht verschlossenen Windkessel einmündet, so wird, sobald diese hydraulische Maschine durch das Auf- und Abbewegen des hier aus Schmiedeisen angenommenen Heb- und Druckbaumes *E* (welchen man für gewöhnlich auch aus Holz herstellt), an dessen Endpuncten *g*, *g* Querbäume zum Angriffe der Arbeiter durchgehen, in Thätigkeit gesetzt wird, das Wasser abwechselnd durch die Ventile *b*, *b* angesaugt und durch jene *d*, *d* in den Windkessel und zugleich auch in das Steigrohr treten und durch die Ausguſsöffnung hinausgetrieben. Wird dagegen die Öffnung oder Mündung dabei während einiger Kolbenstöſse zu oder verschlossen gehalten, so wird auf jeden Kolbenstoſs die im obern Raume des Windkessels befindliche Luft immer mehr und dergestalt zusammengepreſst, daſs wenn die Guſsmündung geöffnet wird, durch diesen bedeutenden Druck das Wasser mit groſser Geschwindigkeit auf eine diesem Drucke entsprechende Höhe hinausgetrieben wird. Ist der Windkessel von hinreichender Gröſse und das Verhältniſs zwischen der Guſsmündung und der Gröſse, so wie der Geschwindigkeit des Kolbens ein richtiges, so wird sich auch diese anfängliche Pressung der Luft im Windkessel ziemlich unverändert erhalten und dadurch ein gleichförmiges Austreiben des Wassers, so lange die Spritze mit gleicher Kraft in Thätigkeit bleibt, bewirkt werden.

§. 431. In manchen Fällen wird der Spritzenkasten N nicht wie es gewöhnlich geschieht, continuirlich mittelst der Feuer- oder eigentlicher Wassereimer mit Wasser gespeist, sondern es werden die Saugventile mittelst eines ledernen oder hanfenen Schlauches unmittelbar mit der Wasserquelle (d. i. einem Flusse, Brunnen u. s. w.), die jedoch, §. 416, nur höchstens um 25 Fuſs tiefer liegen darf, in Verbindung gebracht, in welchem Falle die Spritze (jetzt Zubringer genannt) eigentlich in ein vereintes Saug- und Druckwerk übergeht; daſs eine solche Spritze jedoch in Beziehung auf den hinausgetriebenen Wasserstrahl bei der nämlichen Betriebskraft weit weniger als im erstern Falle leistet, leuchtet von selbst ein.

§. 432. Effect einer Feuerspritze. Bei Berechnung des Effectes einer Feuerspritze hat man auſser den bei den Druckwerken erwähnten Widerständen auch noch den Widerstand der Luft in Anschlag zu bringen, welche überhaupt jedem springenden Wasserstrahl entgegen wirkt. Nimmt man die Länge des Guſsrohres zu 3 Fuſs und den innern Durchmesser zu 2 Zoll an; so erhält man nach der Formel q') in §. 344 für die Widerstandshöhe $z = \cdot 03\, h \frac{l}{d} = \cdot 54\, h$, so, daſs also $h + z = 1 \cdot 54\, h$ wird, oder daſs, wenn c die Geschwindigkeit bezeichnet, mit welcher das Wasser aus dem Guſsrohre ausströmen würde, wenn keine Reibung oder Adhäsion vorhanden wäre, und c' die wirkliche oder effective Geschwindigkeit ist, sofort $c = 1 \cdot 24\, c'$ oder $c' = \cdot 8\, c$ gesetzt werden kann [sind also h und h' die zu c und c' gehörigen Geschwindigkeitshöhen, d. i. $h = \frac{c^2}{2g}$ und $h' = \frac{c'^2}{2g}$, so ist 1) $h = 1{\cdot}54\,h'$]. Wegen des Widerstandes der Luft erreicht jedoch der Wasserstrahl nicht, wie es sonst der Fall wäre, die Höhe h', sondern bleibt der Erfahrung zufolge so weit zurück, dafs man, wenn h'' die wirklich erreichte Höhe in Fufsen bezeichnet, annähernd 2) $h' = h'' + \frac{h''^2}{300}$ setzen kann, so, dafs wenn der Strahl z. B. eine Höhe von $h'' = 100$ Fufs erreichen soll, sofort die zu c' gehörige Höhe $h' = 133\frac{1}{3}$ Fufs, folglich c' selbst [aus der Gleichung $c' = \sqrt{(62 \times 133\frac{1}{3})}$] nahe 91 Fufs betragen mufs.

Ist nun D der lichte Durchmesser des Stiefels, d jener der Mündung des Gufsrohres, C die Geschwindigkeit des Kolbens und c' des ausströmenden Wassers; so hat man bei zwei einfach wirkenden Stiefeln die Gleichung $\frac{1}{4} D^2 \pi C = \frac{1}{4} d^2 \pi c'$ und daraus $d = D \sqrt{\frac{C}{c'}}$; dabei ist $c' = \sqrt{2 g h'}$, wo h' aus der obigen Gleichung 2) zu nehmen ist, in welcher h'' die in Fufsen ausgedrückte Strahlhöhe bezeichnet, welche mit der Spritze erreicht werden soll. Für das hier gewählte Beispiel von $h'' = 100$ und $C = 1$ Fufs, als beiläufige vortheilhafteste Geschwindigkeit, würde $d = {\cdot}105\,D$; ist daher wie bei der hier dargestellten Spritze $D = 7$ Zoll, so soll $d = {\cdot}735$ Zoll $= 8{\cdot}82$ Linien seyn.

Wäre dagegen das Wasser nur 50 Fufs hoch zu treiben, so würde $d = 10\frac{3}{4}$ Linien seyn müssen; aus diesem Grunde versieht man grofse Spritzen mit mehreren Ansatzröhren von verschiedenen Gufsmündungen, wovon die gröfsern bei geringern Strahlhöhen angewendet werden.

Um aber das Wasser auf die Höhe h' zu treiben, wozu es also mit der Geschwindigkeit c' (wobei $c' = \sqrt{2 g h'}$ ist) aus der Gufsmündung ausströmen, folglich im Anfange des Rohres selbst (um die Reibung darin zu überwinden) die Geschwindigkeit c (wozu, obige Gleichung 1 $h = 1{\cdot}54\,h'$ gehört) besitzen mufs; so wird dafür auf den Kolben ein Druck von $p = \frac{1}{4} D^2 \pi h.\, 56\frac{1}{2}$ Pfund nothwendig, wenn D und h in Fufsen ausgedrückt werden.

Die beiden Kolbenreibungen erfordern (da die Widerstandshöhe für den abwärts gehenden $= {\cdot}03 \frac{h}{D}$ und für den aufwärts gehenden $= {\cdot}01 \frac{h}{D}$ ist) eine Kraft $p' = \frac{1}{4} D^2 \pi \times {\cdot}04 \frac{h}{D} \times 56\frac{1}{2}$ Pfund.

Ist D' der Durchmesser einer Ventilöffnung und n der entsprechende Contractionscoefficient, so ist der zur Beschleunigung des Wassers gleich-

zeitig durch 2 Ventile nöthige Druck $p'' = \frac{1}{4} D^2 \pi \, 2 \frac{C^2}{2 g n^2} \frac{D^4}{D'^4} 56\frac{1}{2}$.
Es ist daher die ganze auf den Kolben nöthige Druckkraft $P = p + p' + p''$.

Ist nun der Druckbaum m Mal übersetzt, d. h. der Abstand des Punctes, in welchem die Kolbenstange eingehängt ist, von der Drehungsachse $= 1$, und jener des Querbaumes (deren immer zwei vorhanden sind), woran die Arbeiter wirken, von dieser Achse $= m$; sind ferner bei der Spritze N Arbeiter zur Bewegung derselben angestellt, und arbeitet oder drückt jeder mit q Pfunden; so muss $Nqm = P$, d. i.:

$$Nqm = \frac{1}{4} D^2 \pi . 56\frac{1}{2} \left(h + \cdot 04 \frac{h}{D} + \frac{C^2}{n^2 g} \frac{D^4}{D'^4} \right),$$

oder wenn man reducirt und zugleich $n = \cdot 8$ setzt:

$$Nqm = 44\cdot 4 \, D^2 \left(h + \cdot 04 \frac{h}{D} + \cdot 05 \, C^2 \frac{D^4}{D'^4} \right)$$

seyn.

Die Erfahrung zeigt, dass man bei der Annahme von $C = 1$ Fuss sehr zweckmässig $m = 5$, $q = 30$ Pfund und $\frac{D}{D'} = 2$ setzen kann, wodurch:

$$N = \cdot 296 \, D^2 \left(h + \cdot 04 \frac{h}{D} + \cdot 8 \right)$$

wird.

Beispiel. Soll nun z. B. eine Spritze für 20 Mann (Betriebskraft) gebaut werden, welche das Wasser auf eine Höhe von 100 Fuss treibt, in welchem Falle also nur noch die Wasserquantität, welche per Secunde oder Minute damit hinauf getrieben werden kann, unbekannt und zu bestimmen ist; so ist nach Obigem $h' = 133\frac{1}{3}$, also $h = 205$ Fuss, daher nach der vorigen Gleichung $20 = \cdot 296 \, D^2 \left(205 + \frac{8\cdot 2}{D} + \cdot 8 \right)$, woraus $D = \cdot 534$ Fuss oder 6·64 Zoll folgt, wofür man lieber volle 7 Zoll nehmen wird.

Die in jeder Secunde ausströmende Wassermenge ist bei diesem Durchmesser und für $C = 1$ Fuss $= \frac{1}{4} D^2 \pi . C = \cdot 267$ Kubikfuss; folglich per Minute sehr nahe 16 Kubikfuss oder (den Eimer zu 1·792 Kubikfuss gerechnet) nahe 9 Eimer.

Was endlich noch die Grösse des Windkessels betrifft, um damit die nöthige Gleichformigkeit im ausspringenden Wasserstrahl zu bewirken, so ist diese der Erfahrung zufolge für eine solche Spritze (welche mit 2 einfach- oder einem doppelt wirkenden Stiefel angenommen wird) hinlänglich, wenn der Inhalt desselben dem vierfachen Inhalte eines Stiefels gleich kommt. Der Windkessel muss dabei so stark seyn, dass wenn die Mündung des Gussrohres mittelst eines Hahnes z. B. geschlossen ist, alle Arbeiter, welche für die Spritze bestimmt sind, so lange pumpen können, als sie es im Stande sind, die Luft also im Windkessel so weit als es durch diese Kraft nur möglich ist, comprimirt werden kann, ohne dafs der Windkessel, welcher in der Regel aus geschmiedetem Kupfer hergestellt wird, dabei zerspringt oder Schaden leidet.

Ist daher a das Tragvermögen des Materiales, woraus der Windkessel verfertigt wird, D_1 dessen Durchmesser, wenn dessen Form cylindrisch angenommen wird, und δ die Wanddicke desselben, so ist mit Beibehaltung der bisherigen Bezeichnung $\left(\text{wegen, S. 243, } p = \frac{N q m}{\frac{1}{4} D^2 \pi}\right)$ sofort:

$$\delta = \frac{2 N m q D_1}{a \pi D^2}.$$

Nimmt man für geschmiedetes Kupfer $a = \frac{1}{4} \times 28000 = 7000$ Pfund und für das vorliegende Beispiel $D = 7$ und $D_1 = 11{\cdot}4$ Zoll, $N = 20$, $m = 5$ und $q = 30$; so wird $\delta = {\cdot}063$ Zoll oder $\frac{3}{4}$ Linien.