Theoretische Maschinenlehre

in 4 Bänden

Theorie der Getriebe und der mechanischen Messinstrumente

Grashof, Franz

Leipzig, 1883

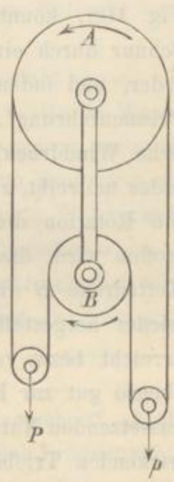
III. Accumulatoren

III. Accumulatoren.

§. 102. Beispiele von Gewichts- und Federaccumulatoren.

Allgemein bekannte Beispiele des Falles von beständig andauernder Ueberwindung eines nahe gleichförmigen Widerstandes durch eine Triebkraft, die nur kurze Zeit hindurch nach langen Intervallen wirksam ist, gewähren die üblichen Uhrwerke, wobei es sich in der That darum handelt, die beim Aufziehen der Uhr geleistete Arbeit einer gewissen Triebkraft (hier gewöhnlich einer Muskelkraft) so anzusammeln, dass sie zur Ueberwindung des Bewegungswiderstandes der Uhr bis zu wiederholtem Aufziehen disponibel bleibt. Soll dieser Zweck durch einen Gewichtsaccumulator und zwar mit der Nebenbedingung erreicht werden, dass auch während des Aufziehens die gleichmässige Wirkung der Triebkraft keine Unterbrechung erleidet, so kann es beispielsweise durch das in Fig. 108 skizzirte Rollengetriebe geschehen, bestehend ausser dem festgestellten Gliede (Uhrgestell) aus den um parallele horizontale Axen drehbaren Rollen A, B und einer ohne relative Gleitung darüber hin laufenden endlosen Schnur, in deren abwärts reichenden Schlingen vermittels kleiner loser Rollen einerseits ein grösseres Gewicht P, andererseits ein nur zur Anspannung (und event. zur Verhinderung des Gleitens) der Schnur dienendes kleines Gewicht p hängt. Das Aufziehen der Uhr geschieht durch Drehung der Rolle B im Sinne des beigesetzten Pfeiles, wodurch das Gewicht P gehoben wird unter entsprechendem Niedergange von p; durch den Ueberschuss der Arbeit des nach dem Aufziehen allmählig wieder sinkenden Gewichtes P über die Arbeit des entsprechend hinaufgehenden Gewichtes p kann dann, da B durch ein Gesperre an der Drehung im umgekehrten Sinne des Pfeiles verhindert ist, die Rolle A im Sinne des ihr eingeschriebenen Pfeiles entgegen einem Bewegungswiderstande gedreht werden. Bei einer Taschenuhr wird derselbe Zweck durch einen Federaccumulator erreicht, durch eine Spiralfeder nämlich, die in einem cylindrischen Gehäuse, dem Federhause, mit ihrem äusseren Ende an diesem, mit dem inneren dagegen an einer Welle befestigt ist,

Fig. 108.



um welche coaxial das Federhaus sich drehen kann, während die Welle selbst in Folge eines mit ihr verbundenen Gesperres nur in einem Sinne drehbar ist. Wird sie in diesem Sinne beim Aufziehen der Uhr gedreht, so wird dadurch die Windungszahl der Spiralfeder vergrössert, diese selbst stärker gespannt, und nimmt dann beim Ablaufen der Uhr diese Spannung nach und nach ab, indem das Federhaus sich langsam in demselben Sinne dreht, in welchem die mit ihm coaxiale Welle beim Aufziehen schnell gedreht wurde.

Handelt es sich um eine Maschine im engeren Sinne des Wortes, bei der nicht nur ein Bewegungswiderstand, sondern zugleich ein Nutzwiderstand, namentlich ein solcher von beträchtlicherer Grösse zu überwinden ist, so wäre ein Federaccumulator von der zuletzt beschriebenen Art kaum brauchbar. Ein Gewichtsaccumulator nach Art der Skizze, Fig. 108, könnte dagegen wohl anwendbar bleiben bei Ersetzung der Schnur durch eine Kette, der Rollen *A, B* durch entsprechende Kettenräder, und indem dann das vergrösserte Gewicht *P* durch eine verticale Prismenführung zwangläufig gemacht wird. So könnte z. B. der veränderliche Winddruck, indem er das Kettenrad *B* vermittels eines Windflügelrades umtreibt, zur Ueberwindung eines constanten Nutzwiderstandes gegen die Rotation des Kettenrades *A* dienen, falls gleichzeitig Vorsorge getroffen wird, dass die Kuppelung des Windflügelrades mit dem coaxialen Kettenrade *B* durch geeignete Hülfsmechanismen selbstthätig gelöst oder wieder hergestellt wird, wenn das Gewicht *P* seine höchste zulässige Lage erreicht bezw. verlässt. Ein Accumulator von solcher Art könnte auch ebenso gut zur Bewältigung eines veränderlichen oder gar zeitweilig ganz aussetzenden Nutzwiderstandes vermittels einer stetig oder gar gleichmässig wirkenden Triebkraft dienen. Wenn aber dabei in diesem oder jenem Falle das Gewicht *P* mit sehr beträchtlicher Masse, die Kette mit entsprechend grossen Dimensionen ausgeführt werden müsste, so wäre dem Accumulator mit Zugkraftorgan ein solcher mit Druckkraftorgan vorzuziehen, wie er in der That dann ausschliesslich Anwendung findet.

§. 103. Hydraulischer Accumulator.

Als Druckkraftorgan für einen Accumulator, der zur Ausgleichung grösserer Unterschiede der gleichzeitigen Arbeiten von Triebkräften und Widerständen bestimmt ist, dient allgemein Wasser, indem es dabei überhaupt zur Kraftübertragung benutzt wird als ein Körper, der ohne in Betracht kommenden Fehler als widerstandslos deformirbar bei unveränderlichem Volumen zu betrachten ist. Ein solcher gewöhnlich als Gewichtsregulator ausgeführter hydraulischer Accumulator besteht aus einem vertical stehenden, unten geschlossenen Hohlcylinder, in welchem ein oben stark belasteter langer cylindrischer Kolben, dessen Durchmesser etwas kleiner, als der innere Durchmesser des Hohlcylinders ist, durch eine Stopfbüchse bezw. Liederung am oberen Ende dieses Hohlcylinders wasserdichte Führung findet. Meistens liegen dabei die Verhältnisse so, dass ein mit fast gleichmässiger Stärke (d. h. mit nahe constanter Grösse pro Secunde) beständig disponibles Arbeitsvermögen, z. B. die nutzbare Arbeit einer Dampfmaschine oder einer anderen Kraftmaschine, zur Bewältigung von Widerständen benutzt werden soll, die mit Unterbrechungen nur zeitweilig längs gewissen Wegstrecken wirksam sind. Insbesondere für den einfachsten Fall einer abwechselungsweise ganz fehlenden und dann mit constanter Stärke zu leistenden Nutzarbeit werde die hier in Betracht kommende Aufgabe näher ausgesprochen wie folgt.

Die Nutzarbeit der treibenden Kraftmaschine, constant $= A_0$ pro Secunde, dient zum Betriebe einer Pumpe, durch welche beständig Wasser in den Accumulator gefördert wird und deren Wirkungsgrad $= \eta_0$ sei ohne Rücksicht auf die hydraulischen Widerstände in dem Saugrohre und dem zum Accumulator führenden Druckrohre. Der gesammte Widerstandscoefficient dieser Röhren sei $= \varsigma_0$ bei einem lichten Querschnitte $= q_0$. Der Accumulatorkolben sei so belastet, dass der Verticaldruck auf seine Endfläche einer Wassersäulenhöhe $= H$ entspricht, nämlich

$$H = \frac{K}{\gamma F},$$

unter γ das specifische Gewicht des Wassers, F den Querschnitt, K die Belastung sammt Eigengewicht des Kolbens verstanden. Das Product seines Querschnittes F und seiner Hubhöhe s, also das wirksame Volumen des Accumulators sei $= V$, die mittlere Höhe der unteren Endfläche dieses Kolbens über der freien Wasseroberfläche in dem Brunnen bezw. Behälter, aus dem die Pumpe das Wasser saugt, sei $= h_0$; die Reibung des Accumulatorkolbens $= \varrho K$. Jeweils auf eine Zeit $= t_0$, in welcher der Accumulator nur mit Wasser neu zu füllen ist ohne theilweisen Verbrauch desselben, folge ein Zeitintervall $= t$, während dessen zugleich pro Zeiteinheit die Arbeit A eines Nutzwiderstandes zu leisten ist. Dazu diene eine Wasserdruckmaschine (Wassersäulenmaschine), die vom Accumulator das Betriebswasser erhält und deren Wirkungsgrad $= \eta$ sei ohne Rücksicht auf die hydraulischen Bewegungswiderstände der Röhren, die vom Accumulator zu fraglicher Wasserdruckmaschine und von dieser zum Ausgusse führen, dessen mittlere Höhe über der unteren Endfläche des Accumulatorkolbens $= h$ sei. (Insbesondere wäre $h = -h_0$, wenn das Wasser behufs wiederholten Kreislaufes in den Saugbehälter der Pumpe zurücktreten sollte.) Der gesammte Widerstandscoefficient dieser zuletzt genannten Röhren sei $= \varsigma$ bei einem lichten Querschnitte $= q$.

Zu berechnen sind bei übrigens gegebenen Werthen der vorgenannten Grössen diejenigen von V und A_0, wobei die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers in der vom Brunnen bis zum Accumulator reichenden Röhrenleitung vom Querschnitte q_0 beständig, in der übrigen während der Zeitintervalle t constant gesetzt werden mag, vorbehaltlich passender Anbringung von ausgleichenden Windkesseln. Unter Anderem kann der Accumulatorkolben selbst zugleich als ein solcher Windkessel dienen, indem er als ein unten offener Hohlcylinder gebildet wird, worin, durch das Wasser abgesperrt, sich stark gepresste Luft befindet, vermittels welcher dann wie durch ein elastisches Kissen der im Accumulator herrschende hydraulische Druck auf den inneren Theil $= F_0$ der Kolbenfläche ($=$ Querschnitt des cylindrischen Hohlraumes des Kolbens) übertragen wird. Als Endfläche des Kolbens, von der aus die oben mit h_0 und h bezeichneten mittleren Höhen gerechnet wurden, ist dann der Querschnitt desselben zu betrachten, dessen Höhe über dem unteren Rande im Verhältnisse $F_0 : F$ kleiner, als die ganze Höhe der Kolbenhöhlung ist.

Von der durch die Kraftmaschine während der Füllungszeit t_0 des Accumulators geleisteten Arbeit $= A_0 t_0$ bleibt nun, nach Abzug des Verlustes durch die der Pumpe eigenthümlichen Bewegungswiderstände, ein Betrag $= \eta_0 A_0 t_0$ übrig, der in erster Reihe dazu dient, den belasteten Accumulatorkolben auf die Höhe s zu heben, entsprechend der Arbeit:

$$Ks = \gamma F H s = \gamma V H.$$

Dass dabei gleichzeitig das Wasservolumen V im Mittel um den Betrag h_0 zu heben ist $\left(\text{anfangs um } h_0 - \frac{s}{2}, \text{ zuletzt um } h_0 + \frac{s}{2}\right)$, hat in Bezug auf Arbeitsverbrauch dieselbe Wirkung wie Vergrösserung von H um diesen Betrag h_0. Ebenso können auch die hydraulischen Bewegungswiderstände in der Leitungsröhre vom Saugwasserbehälter bis zum Accumulator, wenn

$$u_0 = \frac{1}{q_0} \frac{V}{t_0}$$

die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Wassers in derselben bedeutet, durch Zuschlag der entsprechenden Widerstandshöhe $= \varsigma_0 \frac{u_0^2}{2g}$ zu H oder

h_0 berücksichtigt werden, und da endlich noch die Reibung des Accumulatorkolbens die Arbeit

$$\varrho K s = \varrho \gamma V H$$

in Anspruch nimmt, ergiebt sich die Gleichung:

$$\eta_0 A_0 t_0 = \gamma V\left(H + h_0 + \varsigma_0 \frac{u_0^2}{2g}\right) + \varrho \gamma V H$$

$$A_0 = \frac{\gamma}{\eta_0} \frac{V}{t_0}\left[(1+\varrho) H + h_0 + \frac{\varsigma_0}{2 g q_0^2}\left(\frac{V}{t_0}\right)^2\right].$$

Während der Umstand, dass die lebendige Kraft des in der Saugröhre (dem Röhrenstücke vom Saugwasserbehälter bis zur Pumpe) fliessenden Wassers bei seinem Eintritte in den Pumpencylinder als nutzbares Arbeitsvermögen theilweise verloren geht, durch den Wirkungsgrad η_0 der Pumpe mit berücksichtigt sein möge, kann der entsprechende Verlust, den die lebendige Kraft des in der Druckröhre (dem Röhrenstücke von der Pumpe bis zum Accumulator) fliessenden Wassers bei seinem Eintritt in den Accumulator erleidet, durch entsprechende Vergrösserung von ς_0, etwa durch Vergrösserung dieses Coefficienten um 1 berücksichtigt werden, wenn als sicherste Annahme auf vollständigen Verlust jener lebendigen Kraft gerechnet, von ihrer theilweisen Erhaltung als Compressionsarbeit von Luft in einem (z. B. nach obiger Andeutung) passend angebrachten Windkessel abgesehen wird. Um aber dem Coefficienten ς_0 die Bedeutung eines eigentlichen Widerstandscoefficienten zu erhalten, ist dann die Gleichung für A_0 vollständiger zu schreiben:

$$A_0 = \frac{\gamma}{\eta_0} \frac{V}{t_0}\left[(1+\varrho) H + h_0 + \frac{1+\varsigma_0}{2 g q_0^2}\left(\frac{V}{t_0}\right)^2\right] \ldots\ldots (1).$$

Wäre der Querschnitt der Saugröhre $= q_1$ verschieden von demjenigen $= q_0$ der Druckröhre, so wäre unter ς_0 in Gl. (1) der auf die letztere Röhre reducirte gesammte Widerstandscoefficient beider zu verstehen:

$$\varsigma_0 = \varsigma_1 \cdot \left(\frac{q_0}{q_1}\right)^2 + \varsigma_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2),$$

wenn ς_1 den betreffenden Coefficienten für die Saugröhre, ς_2 denselben für die Druckröhre allein bedeutet.

Die während der Zeit t zu leistende Nutzarbeit $= At$ erfordert eine auf die Wasserdruckmaschine zu übertragende grössere Arbeit $= \frac{A}{\eta} t$. Zu derselben ist nicht nur das im Accumulator während der vorhergegangenen Füllungszeit t_0 angesammelte Arbeitsvermögen $\gamma V H$ disponibel, sondern auch dasjenige $= \gamma X H$, welches wegen andauernder Wirkung der Pumpe während der Arbeitszeit t weiter hinzukommt, entsprechend dem in dieser Zeit von der Pumpe geförderten Wasservolumen X, das den Niedergang des Accumulatorkolbens entsprechend verlangsamt. Weil aber von diesem ganzen Arbeitsvermögen $= \gamma (V + X) H$ die Arbeiten in Abzug zu bringen sind, die durch die Erhebung des Wasservolumens $V + X$ auf die Höhe h und durch die hydraulischen Bewegungswiderstände gegen die Strömung dieses Wassers in der Leitungsröhre vom Accumulator bis zum Ausgusse mit der mittleren Geschwindigkeit

$$u = \frac{1}{q} \frac{V + X}{t}$$

verbraucht werden, sowie auch die lebendige Kraft $= \gamma (V + X) \frac{u^2}{2g}$, die dem im Accumulator fast bewegungslosen Wasser bei seinem Eintritt in die Leitungsröhre ertheilt werden muss, und die Reibungsarbeit des niedersinkenden Accumulatorkolbens $= \varrho \gamma V H$, so ergiebt sich analog dem Obigen die Gleichung:

$$\frac{A}{\eta} t = \gamma (V + X) \left[H - h - (1 + \varsigma) \frac{u^2}{2g} \right] - \varrho \gamma V H$$

$$A = \eta \gamma \frac{V + X}{t} \left[\left(1 - \frac{V}{V + X} \varrho \right) H - h - \frac{1 + \varsigma}{2 g q^2} \left(\frac{V + X}{t} \right)^2 \right] \; . \; . \; (3).$$

Wenn zwar auch die lebendige Kraft, die das Wasser in der Zuflussröhre, d. h. in dem vom Accumulator bis zur Wasserdruckmaschine reichenden Röhrenstücke besitzt, in dieser Maschine zum Theil verloren gehen mag, so dass dieselbe dann dem Wasser behufs seiner Bewegung in der Abflussröhre die entsprechende lebendige Kraft aufs Neue mittheilen muss, so ist doch dieser Umstand in ähnlicher Weise als durch den Wirkungsgrad η mit berücksichtigt zu betrachten, wie es oben hinsichtlich der Pumpe und ihres Wirkungsgrades η_0 bemerkt wurde. Desgleichen gilt auch hier, analog der Bedeutung obiger Gleichung (2), die Bemerkung, dass bei verschiedenen Querschnitten q und q'' der Zufluss- und Abflussröhre unter ς in Gl. (3) der auf erstere reducirte gesammte Widerstandscoefficient beider zu verstehen ist, also die Summe:

$$\varsigma = \varsigma' + \varsigma'' \left(\frac{q}{q''} \right)^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4),$$

wenn ς' und ς'' die diesen Röhren einzeln zukommenden Widerstandscoefficienten bedeuten.

Was das in Gl. (3) vorkommende Volumen X betrifft, so ist zu bemerken, dass, wenn die Pumpe während der Zeit t mit derselben Arbeitsstärke betrieben würde, wie vorher während der Zeit t_0, dieselbe einen etwas schnelleren Gang annehmen und somit ein Wasservolumen $X > \frac{t}{t_0} V$ in den Accumulator fördern müsste, weil in diesem jetzt bei niedergehendem Kolben wegen der Reibung desselben eine Druckhöhe $= (1 - \varrho) H$ herrscht, während sie vorher bei steigendem Kolben $= (1 + \varrho) H$ war. Mit Rücksicht hierauf entspräche vielmehr X der Gleichung:

$$A_0 = \frac{\gamma}{\eta_0} \frac{X}{t} \left[(1 - \varrho) H + h_0 + \frac{1 + \varsigma_0}{2 g q_0^2} \left(\frac{X}{t} \right)^2 \right] \ldots \ldots . (5),$$

erhalten aus Gl. (1) mit X statt V, t statt t_0 und $-\varrho$ statt ϱ. Durch die Gleichungen (1), (3) und (5) wären X, V und A_0 unter übrigens gegebenen Umständen bestimmt, und wäre dann der resultirende Wirkungsgrad der ganzen Anlage:

$$\eta' = \frac{A t}{A_0 (t_0 + t)} \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots . (6).$$

Uebrigens wird den obwaltenden Umständen meistens wohl die Annahme besser entsprechen, dass die **Geschwindigkeit**, nicht dass die **Arbeitsstärke der die Pumpe betreibenden Kraftmaschine in der Arbeitszeit t dieselbe sei wie in der Füllungszeit t_0 des Accumulators**, indem z. B. der Gang dieser Kraftmaschine durch einen Regulator von der unter IV. zu besprechenden Art möglichst gleichförmig erhalten wird. Ist das der Fall, so ist

$$X = \frac{t}{t_0} V, \quad \frac{V + X}{t} = \frac{t_0 + t}{t_0 t} V, \quad \frac{V}{V + X} = \frac{t_0}{t_0 + t},$$

also nach Gl. (3):

$$A = \eta \gamma \frac{t_0 + t}{t_0 t} V \left[\left(1 - \frac{t_0}{t_0 + t} \varrho \right) H - h - \frac{1 + \varsigma}{2 g q^2} \left(\frac{t_0 + t}{t_0 t} V \right)^2 \right] . . (7).$$

Durch diese Gleichung ist V bestimmt, dann A_0 durch Gl. (1). Ist jetzt A_1 die während der Zeit t zum Betriebe der Pumpe aufgewendete Arbeitsstärke, so ist nach den Gleichungen (5) und (1) mit

$$X = \frac{t}{t_0} V, \quad u_0 = \frac{1}{q_0} \frac{V}{t_0}, \quad u = \frac{1}{q} \frac{t_0 + t}{t_0 t} V \ldots \ldots (8)$$

$$A_1 = \frac{\gamma}{\eta_0} \frac{V}{t_0} \left[(1 - \varrho) H + h_0 + (1 + \varsigma_0) \frac{u_0^2}{2 g} \right]$$

und damit die in der ganzen Zeit $= t_0 + t$ aufgewendete Betriebsarbeit:

$$A_0 t_0 + A_1 t = \frac{\gamma V}{\eta_0}\left\{\begin{array}{l}(1+\varrho)H + h_0 + (1+\varsigma_0)\dfrac{u_0^{\,2}}{2g} \\ + \dfrac{t}{t_0}\left[(1-\varrho)H + h_0 + (1+\varsigma_0)\dfrac{u_0^{\,2}}{2g}\right]\end{array}\right\}$$

$$= \frac{\gamma V}{\eta_0}\frac{t_0+t}{t_0}\left[\left(1+\frac{t_0-t}{t_0+t}\varrho\right)H + h_0 + (1+\varsigma_0)\frac{u_0^{\,2}}{2g}\right],$$

also der resultirende Wirkungsgrad mit Rücksicht auf Gl. (7):

$$\eta' = \frac{At}{A_0 t_0 + A_1 t} = \eta_0 \eta \frac{\left(1-\dfrac{t_0}{t_0+t}\varrho\right)H - h - (1+\varsigma)\dfrac{u^2}{2g}}{\left(1+\dfrac{t_0-t}{t_0+t}\varrho\right)H + h_0 + (1+\varsigma_0)\dfrac{u_0^{\,2}}{2g}} \quad \ldots (9).$$

Sind V und A_0 bestimmt, so wird durch nachträgliche Aenderung von t auch eine solche von A bedingt oder umgekehrt, und es fragt sich, welchem Werthe von t unter übrigens gleich bleibenden Umständen das Maximum von A entspricht und wie gross dieses Maximum ist? Zur Beantwortung dieser Frage werde mit

$$x = \frac{t_0+t}{t_0 t} = \frac{1}{t_0} + \frac{1}{t}$$

der Ausdruck von A nach Gl. (7) geschrieben:

$$A = \eta\gamma V\left\{\left[x - \left(x - \frac{1}{t_0}\right)\varrho\right]H - xh - \frac{1+\varsigma}{2gq^2}x^3V^2\right\},$$

woraus mit $\alpha = (1-\varrho)H - h$ und $\beta = \dfrac{1+\varsigma}{2g}\left(\dfrac{V}{q}\right)^2$ . . . . (10)

folgt: $\quad A = \eta\gamma V\left(\dfrac{\varrho H}{t_0} + \alpha x - \beta x^3\right) = max$

für $\quad \alpha - 3\beta x^2 = 0,$

also $\quad x = \dfrac{1}{t_0} + \dfrac{1}{t} = \sqrt{\dfrac{\alpha}{3\beta}} = \dfrac{q}{V}\sqrt{\dfrac{2}{3}g\dfrac{(1-\varrho)H - h}{1+\varsigma}}$ . . . . (11).

Indem dann $\alpha - \beta x^2 = \dfrac{2}{3}\alpha + \dfrac{1}{3}(\alpha - 3\beta x^2) = \dfrac{2}{3}\alpha$

ist, ergiebt sich $A_{max} = \eta\gamma V\left(\dfrac{\varrho H}{t_0} + \dfrac{2}{3}\alpha x\right)$ . . . . (12).

Wenn übrigens die Vergrösserung von A, wie es meistens der Fall sein wird, mit Verkleinerung von t verbunden ist, so hat sie auch Verkleinerung des resultirenden Wirkungsgrades η' zur Folge, der nach Gl. (9) unter übrigens gleichen Umständen zugleich mit t zu- und abnimmt. —

Schliesslich ist zu bemerken, dass der hier besprochene hydraulische Accumulator anstatt als Gewichtsregulator auch als Federregulator ausgeführt werden könnte, insbesondere mit Luft als einem elastischen Körper, zu dessen Compression der zeitweilige Ueberschuss der Betriebsarbeit verwendet wird. Unter Beseitigung des belasteten Accumulatorkolbens wäre dann der ihn enthaltende Hohlcylinder durch ein oben geschlossenes Gefäss zu ersetzen, in welchem sich stark gepresste Luft über der Oberfläche des unten ein- und austretenden Wassers befindet. Die vorstehenden Gleichungen, in denen $\varrho = 0$ zu setzen und V als die gesammte Volumenänderung der abgesperrten Luft zu verstehen wäre, müssten dann namentlich mit Rücksicht auf die Veränderlichkeit der Wasserdruckhöhe H dieser Luft gewisse Aenderungen erleiden. Abgesehen von diesem letzteren möglicherweise störenden Umstande ist es indessen auch viel schwieriger, einen grossen Behälter luftdicht, als ihn wasserdicht herzustellen, besonders wenn es sich, wie hier, um Pressungen bis zu etwa 50 Atmosphären handelt, während zudem ein unvermeidlicher Mangel an Wärmedichtigkeit wegen theilweisen Verlustes der Luftcompressionswärme durch Leitung die hier fehlende Kolbenreibung reichlich aufwiegen kann, und ist deshalb die fragliche Ausführung des hydraulischen Accumulators als Federregulator in der That nicht üblich.

Wenn ferner statt einer Wasserdruckmaschine deren mehrere behufs Leistung verschiedener Nutzarbeiten durch das vom Accumulator kommende stark gepresste Wasser zu betreiben sind und die Arbeitszeiten t derselben nicht zusammenfallen, so kann dadurch die Aufgabe wesentlich complicirter werden und behufs ihrer rechnerischen Durchführung gewisse, den jeweiligen Umständen angepasste, vereinfachende Annahmen nöthig machen, hinsichtlich welcher indessen kaum eine allgemein gültige Regel aufzustellen ist.

Wenn endlich die Nutzarbeit der Wasserdruckmaschine, die im Vorhergehenden nicht näher charakterisirt und nur periodisch während je t Secunden als constant $= A$ pro Secunde vorausgesetzt wurde, insbesondere in periodischer Hebung einer Last bestände (hydraulischer Aufzug), so wäre die eine constante Hebungsgeschwindigkeit voraussetzende Annahme constanter Nutzarbeitsstärke A nicht ganz zulässig und würden dann wenigstens ausser den vorstehend erörterten, auf constante Mittelwerthe der betreffenden Grössen Bezug nehmenden Erwägungen noch verschiedene besondere Umstände in Betracht kommen, wie insbesondere das Aenderungsgesetz der (von Null an wachsenden und wieder bis Null abnehmenden) Geschwindigkeit jener Last bei ihrer Erhebung (wobei die vom Arbeitscylinder bis zum Ausgusse sich erstreckende Abflussröhre ausser Funktion ist), das Aenderungsgesetz der Geschwindigkeit des niedergehenden Förderkorbes (wobei als Leitungsröhre für das Wasser nur jene Abflussröhre in Funktion ist), die theilweise Ausgleichung des Eigengewichtes dieses Förderkorbes bezw. ihres Ersatzes durch andere zur Aufnahme der Nutzlast dienende Maschinentheile durch geeignete Gegengewichte, die Beziehung zwischen Last, Druckhöhe H im Accumulator, Querschnitt des Arbeitskolbens und dem (z. B. durch Kettengetriebe vermittelten) Geschwindigkeitsverhältnisse von Arbeitskolben und Förderkorb, sowie andere theils statische Verhältnisse, theils mechanische Massenwirkungen. Weil indessen solche Fragen mehr die Eigenthümlichkeiten einer gewissen Art von Arbeitsmaschinen, als die prinzipielle Wirksamkeit des Accumulators betreffen und deshalb in das Gebiet der im vierten Bande dieses Werkes zu besprechenden Aufgaben gehören, mag hier von ihrer Erörterung abgesehen werden.

§. 104. **Beispiel.**

Als Beispiel einer hydraulischen Accumulator-Anlage von der im vorigen Paragraph besprochenen Art werde angenommen für das Meter als Längeneinheit, die Secunde als Zeiteinheit und das Meterkilogramm als Arbeitseinheit:

$$A = 750; \quad t_0 = 600; \quad t = 120$$
$$H = 400; \quad h_0 = -10; \quad h = 10$$
$$\eta_0 = 0{,}85; \quad \eta = 0{,}8; \quad \varrho = 0{,}05.$$

Die für h_0 und h angenommenen Werthe entsprechen dem Falle, dass das Betriebswasser einem etwas höher, als der Accumulator, gelegenen Behälter entnommen werden und in denselben wieder zurückfliessen soll. Ist l_0 die Länge der Rohrleitung von diesem Behälter zur Pumpe und weiter zum Accumulator, l die Länge der Leitung von letzterem zur Wasserdruckmaschine und zurück zu jenem Behälter, so sei

$$l_0 = 200, \qquad l = 240.$$

Um die Durchmesser d_0 und d dieser Leitungsröhren passend anzunehmen, etwa so, dass die mittleren Wassergeschwindigkeiten u_0 und u in ihnen wenig von 1 Meter pro Secunde verschieden sind, werde aus Gl. (7) im vorigen Paragraph ein vorläufiger Näherungswerth von V abgeleitet mit Vernachlässigung des von u abhängigen letzten Gliedes auf der rechten Seite dieser Gleichung. Man findet V nahe $= 0{,}25$ Cubikmeter und damit sowie mit $u_0 = u = 1$ nach (8) daselbst:

$$q_0 = 0{,}000417, \text{ also } d_0 = 0{,}023$$
$$q = 0{,}0025, \quad \text{„} \quad d = 0{,}056.$$

Hiernach werde angenommen:

$$d_0 = 0{,}025, \text{ also } q_0 = 0{,}000491$$
$$d = 0{,}06, \quad \text{„} \quad q = 0{,}002827.$$

Wenn nun die Leitungswiderstandscoefficienten der fraglichen Röhren mit $\lambda_0 \frac{l_0}{d_0}$ und $\lambda \frac{l}{d}$ bezeichnet werden, so wäre nach Bd. I, §. 90 bei Voraussetzung vollkommen cylindrischer Röhren

$$\lambda_0 = 0{,}0269 \text{ entsprechend } \frac{1}{u_0 d_0} = \frac{1}{d_0} = 40$$
$$\lambda = 0{,}0250 \quad \text{„} \quad \frac{1}{u\,d} = \frac{1}{d} = 17.$$

Mit Rücksicht auf etwaige Unvollkommenheiten der cylindrischen Form werde indessen

$$\lambda_0 = 1{,}1 \,.\, 0{,}0269 = 0{,}0296 \text{ und } \lambda = 1{,}1 \,.\, 0{,}025 = 0{,}0275$$

angenommen. Die entsprechenden Werthe von

$$\lambda_0 \frac{l_0}{d_0} = 237 \text{ und } \lambda \frac{l}{d} = 110$$

sind so gross, dass die Coefficienten sonstiger Widerstände dieser Röhren, z. B. etwaiger Krümmungswiderstände derselben, nach Schätzung berücksichtigt werden können. Gemäss den obwaltenden Umständen in dieser Hinsicht ergebe sich:

$$1 + \varsigma_0 = 240 \text{ und } 1 + \varsigma = 115.$$

Durch Einsetzung der Zahlenwerthe erhält nun die das Volumen V bestimmende Gleichung (7) die Form:

$$750 = 8\, V \left(373{,}3 - 115\, \frac{u^2}{2g}\right) \text{ mit } u = 3{,}537\, V.$$

Entsprechend dem obigen Näherungswerthe $V = 0{,}25$ ist danach

$$u = 0{,}884 \text{ und } \frac{u^2}{2g} = 0{,}0398$$

und ergiebt sich damit der corrigirte Werth:

$$V = 0{,}254 \text{ Cubikmtr.}$$

entsprechend $u = 0{,}898;\ \frac{u^2}{2g} = 0{,}0411;\ (1 + \varsigma)\frac{u^2}{2g} = 4{,}7$

$$u_0 = 0{,}862;\ \frac{u_0^{\,2}}{2g} = 0{,}0379;\ (1 + \varsigma_0)\frac{u_0^{\,2}}{2g} = 9{,}1.$$

Aus Gl. (1) im vorigen Paragraph folgt dann

$$A_0 = 208,7 \text{ Meterkgr.} = \frac{A}{3,6}$$

und aus Gl. (9) der resultirende Wirkungsgrad:

$$\eta' = 0,894 \,.\, 0,85 \,.\, 0,8 = 0,608 \,. —$$

Mit Hülfe desselben Accumulators von $V = 0,254$ Cubikmtr. wirksamem Inhalte und derselben Pumpe, die, mit der Arbeitsstärke $A_0 = 208,7$ betrieben, in $t_0 = 600$ Secunden ihn ganz zu füllen vermag, ferner mit Hülfe desselben Systems von Leitungsröhren und einer Wasserdruckmaschine mit dem Wirkungsgrade $\eta = 0,8$ würde höchstens eine Nutzarbeitsstärke $= A_{max}$, die durch Gl. (12) im vorigen Paragraph bestimmt ist, während eines durch Gl. (11) daselbst bestimmten kürzern Zeitraumes t geleistet werden können. Aus dieser letzten Gleichung findet man hier:

$$x = 0,051055 = \frac{1}{600} + \frac{1}{t}, \text{ also } t = 20,25$$

und dann nach Gl. (12) mit

$$\alpha = (1 - \varrho)\, H - h = 370$$

$$A_{max} = 2566 = 12,3\, A_0$$

mit einem übrigens erheblich reducirten resultirenden Wirkungsgrade, der, weil jetzt nach Gl. (8) daselbst

$$u = x \frac{V}{q} = 4,587 \text{ und somit } (1 + \varsigma) \frac{u^2}{2g} = 123,3$$

wäre, nach Gl. (9) sich ergäbe zu $\eta' = 0,402$.

IV. Regulatoren für Kraftmaschinen.

§. 105. Uebersicht.

Nach §. 87 sind die hier in Rede stehenden Regulatoren als Mechanismen zu bezeichnen, die dazu dienen, den Gang einer Kraftmaschine und damit auch den davon abhängigen Gang einer jeden von ihr zu treibenden Arbeitsmaschine bei veränderlicher Grösse der Nutzarbeitsstärke (in der Zeiteinheit geleisteter Nutzarbeit) der Kraftmaschine oder bei veränderlichem Bedarfe der Arbeitsmaschinen an Betriebsarbeitsstärke (Betriebsarbeit in der Zeiteinheit) selbstthätig möglichst gleichförmig zu erhalten, und zwar durch entsprechende Aenderung der von der Kraftmaschine in der