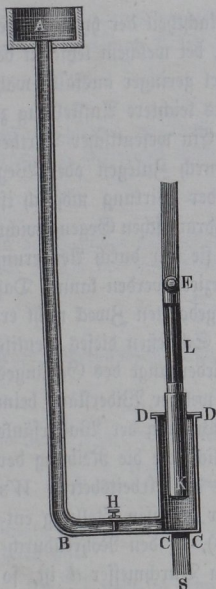


Hydraulisches Gegengewicht. Anstatt das Gestänge durch einen §. 183.
Balancier mit Gewichtsbelastung auszugleichen, kann man sich zu demselben
Zwecke auch des hydrostatischen Druckes bedienen, welchen eine Wassersäule
auf die Fläche eines in einem Cylinder beweglichen Kolbens ausübt, wie von
einer solchen Verwendung des Wasserdruckes bereits in Thl. II ein Beispiel
bei der Steuerungsvorrichtung der Wasserfäulenmaschinen angeführt worden
ist. Die Anordnung einer derartigen hydraulischen Ausgleichsvorrichtung
führt Fig. 733 vor Augen. Hier ist das Gestänge *ES* mit einem Plunger-

Fig. 733.



kolben *KL* fest verbunden, welcher, durch die
Stopfbüchse *D* wasserdicht in den Cylinder *DC*
tretend, auf seiner unteren Endfläche dem vertical
aufwärts gerichteten Drucke der in der Röhre *ABC*
eingeschlossenen Wassersäule ausgesetzt ist. Um
dabei die Nachteile einer einseitigen Druckwirkung
des Kolbens *K* gegen das Gestänge zu umgehen,
ist es gerathen, das Gestänge, wie in der Figur
angedeutet, zur Aufstellung des Cylinders in der
Gestängaxe entsprechend zu gabeln.

Bezeichnet bei dieser Anordnung $F = \pi \frac{d^2}{4}$

den Querschnitt des Plungers vom Durchmesser *d*
und *h* die Höhe des Wasserspiegels in Metern
über der Endfläche des Kolbens *K* in dessen mitt-
lerer Stellung, so ist der gegen den Kolben wir-
kende Auftrieb durch $P = 1000 Fh$ Kilogramm
gegeben. Bei der Bewegung des Kolbens treten
nun gewisse hydraulische Widerstände auf, wie die
Reibung des Wassers in der Röhre *AB* und dem
Regulirventil *H*, welche sich nach den in Thl. I,
Abschnitt VII angegebenen Regeln ermitteln lassen,
welche aber in den meisten Fällen bei der gerin-

gen Geschwindigkeit *v* des Kolbens und bei genügender Röhrenweite als un-
beträchtlich außer Acht gelassen werden dürfen. Viel erheblicher und daher
nicht zu vernachlässigen ist dagegen die Reibung des Kolbens in der Stopf-
büchse, und zwar kann man dieselbe nach dem in II über Kolbenreibung Ge-
sagten bei der Breite *b* und dem Reibungscoefficienten φ gleich $K = \varphi \pi d b h \gamma$
 $= 4 \varphi F \frac{b}{d} h \gamma$ setzen. Die Wirkung, mit welcher der Kolben den Ausgang
des Gestänges unterstützt, bestimmt sich daher zu

$$P_1 = P - K = \left(1 - 4\varphi \frac{b}{d}\right) Fh\gamma,$$

während beim Niedergange des Gestänges demselben durch den Kolben ein Widerstand oder Gegendruck

$$P_2 = P + K = \left(1 + 4\varphi \frac{b}{d}\right) Fh\gamma$$

entgegengesetzt wird. Hieraus ergibt sich, daß bei jedem doppelten Hube des Gestänges von der Größe s durch das Vorhandensein des Gegengewichtsapparates ein Arbeitsverlust

$$L = 4\varphi \frac{b}{d} Fh\gamma \cdot 2s$$

erwächst. Dieser Arbeitsverlust ist ein besonderer Nachtheil der hydraulischen Vorrichtung gegenüber dem Gegengewichtsbalancier, bei welchem letzteren der Widerstand der Zapfenreibung in allen Fällen viel geringer ausfällt, während das geringe Raumerforderniß und die meistens leichtere Aufstellung zu Gunsten der hydraulischen Ausgleichung sprechen. Ein wesentlicher Vortheil des Gewichtsbalanciers besteht ferner darin, daß durch Zulegen oder Wegnehmen von Gewichten eine einfache Regulirung der Wirkung möglich ist, während eine Veränderung der Wirkung bei dem hydraulischen Gegengewichte mit besonderen Schwierigkeiten verbunden ist, da sie nur durch Aenderung des Kolbendurchmessers d oder der Druckhöhe h erzielt werden kann. Daß man durch Stellung des Regulirventils H den vorgedachten Zweck nicht erreicht, ist leicht ersichtlich, da man durch theilweises Schließen dieses Ventils einen neuen Widerstand W einführt, welcher beim Niedergange des Gestänges durch dessen Ueberlast überwunden werden muß und welcher Widerstand beim darauf folgenden Aufgange von der unterstützenden Wirkung der Wassersäule abgeht. Es wird dieser Widerstand W daher ähnlich wie die Reibung der Kolbenstange bei jedem Aufgange und Niedergange den Arbeitsbetrag W s vernichten. Bezeichnet ξ den dem Ventile H in einer gewissen Stellung entsprechenden Widerstandscoefficienten (s. Thl. I, §. 470), d_1 den Röhrendurchmesser und v die Geschwindigkeit des Kolbens, dessen Durchmesser d ist, so entspricht dem Durchgange des Wassers durch das Ventil ein Verlust an Druckhöhe h_1

$$h_1 = \xi \left(\frac{d}{d_1}\right)^4 \frac{v^2}{2g},$$

und sonach beträgt der veranlaßte Arbeitsverlust für jeden einfachen Hub

$$L_1 = Fh_1\gamma s = \frac{\pi}{4} \xi \frac{d^6}{d_1^4} \frac{v^2}{2g} \gamma s.$$

Anmerkung. Zur Ausübung des hydrostatischen Druckes gegen den Kolben kann man sich anstatt der Wassersäule auch der comprimirtcn Luft bedienen, welche in einem mit dem Cylinder CD communicirenden Windkessel eingeschlossen ist, wenn man dafür sorgt, daß die unvermeidlichen Verluste an Luft durch

eine kleine Luftpumpe dem Windkessel stetig wieder ersetzt werden. Die Kraft, mit welcher die Luft dann auf den Kolben wirkt, ist hierbei allerdings veränderlich, doch hat man es durch ein entsprechend großes Volumen des Windkessels in der Hand, die Druckveränderungen der Luft beliebig herabzuziehen.

Bezeichnet V das Volumen des Windbehälters sammt Zuführungsrohr und p die Pressung der Luft im tiefsten Kolbenstande, so ist, unter F die Querschnittsfläche und s den ganzen Hub des Kolbens verstanden, die Spannung der Luft beim höchsten Kolbenstande unter Annahme des Mariotte'schen Gesetzes, d. h. unter Vernachlässigung der erzeugten und verschwundenen Wärmemengen

$$p_1 = \frac{V}{V + Fs} p.$$

Die von der Luft durch ihre Ausdehnung während der Aufwärtsbewegung des Kolbens verrichtete Arbeit beträgt (Thl. I, §. 415)

$$V p \log \text{nat} \frac{V + Fs}{V},$$

und da hierbei ein Theil Fp_0s zur Ueberwindung des äußeren Atmosphärendruckes p_0 verwendet wird, so muß die Arbeit

$$L = V p \log \text{nat} \frac{V + Fs}{V} - Fp_0s$$

an das Gestänge abgegeben werden. Man kann daher die durchschnittliche Kraft, mit welcher der Kolben auf das Gestänge wirkt, zu

$$P = \frac{L}{s} = \frac{Vp}{s} \log \text{nat} \frac{V + Fs}{V} - Fp_0$$

setzen. Berücksichtigt man noch die Kolbenreibung mit

$$4 \varphi \frac{b}{d} F (p - p_0),$$

so findet man die Einwirkung des Kolbens auf das Gestänge zu

$$P = \frac{Vp}{s} \log \text{nat} \frac{V + Fs}{V} - Fp_0 \mp 4 \varphi \frac{b}{d} F (p - p_0),$$

worin das Minuszeichen für den Aufstieg und das Pluszeichen für den Niedergang gilt.

Ist $\frac{Fs}{V}$ klein, so kann man

$$\log \text{nat} \frac{V + Fs}{V} = \frac{Fs}{V} - \frac{1}{2} \left(\frac{Fs}{V} \right)^2$$

setzen, und erhält dann

$$P = \left(1 \mp 4 \varphi \frac{b}{d} \right) F (p - p_0) - \frac{1}{2} \frac{Fs}{V} F p.$$

Beispiel. Für das im Beispiele §. 181 behandelte Kunstgestänge würde die Rechnung bei der Anwendung eines hydraulischen oder pneumatischen Gegengewichtes sich wie folgt gestalten:

Bei einer disponiblen Wassersäulenhöhe von 40 Meter berechnet sich die Größe F des Kolbenquerschnittes entsprechend einem Auftriebe von 18000 Kilogramm zu:

$$F = \frac{18000}{40 \cdot 1000} = 0,45 \text{ Quadratmeter,}$$

wozu ein Kolbendurchmesser

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,45}{3,14}} = 0,757 \text{ Meter}$$

gehört. Nimmt man $4 \varphi \frac{b}{d} = 0,1$ an, so ergibt sich die für jeden einfachen Hub durch die Kolbenreibung verloren gehende Arbeit zu

$$4 \varphi \frac{b}{d} F h \gamma s = 0,1 \cdot 18000 \cdot 1,5 = 2700 \text{ Meterkilogramm}$$

oder pro Secunde die Arbeit von

$$2700 \frac{10}{60} = 450 \text{ Meterkilogramm} = 6,0 \text{ Pferdekraft.}$$

Wendet man dagegen einen pneumatischen Ausgleichsapparat mit Luft von 10 Atmosphären Spannung an, und stellt die Bedingung, daß bei dem Kolbenaufgange die Spannung der Luft höchstens um $\frac{1}{8}$ ihres anfänglichen Werthes vermindert werde, so ergibt sich bei dem Hube $s = 1,5$ Meter die Kolbenfläche F aus

$$\frac{V}{V + F s} = \frac{7}{8} \text{ zu } F = \frac{V}{7s}.$$

Die Größe V des Windfessels findet sich, da $p_0 = 0,1 p = 10336$ Kilogramm pro Quadratmeter ist, aus

$$P = \frac{V p}{s} \log \text{nat} \frac{p}{p_1} - F p_0 = \frac{V p}{1,5} \left(\log \text{nat} \frac{8}{7} - \frac{0,1}{7} \right) = 0,0795 V p$$

zu

$$V = \frac{18000}{0,0795 \cdot 10 \cdot 10336} = 2,191 \text{ Cubikmeter.}$$

Hiernach ist die Größe der Kolbenfläche

$$F = \frac{V}{7 \cdot s} = \frac{2,191}{7 \cdot 1,5} = 0,209 \text{ Quadratmeter,}$$

daher der Kolbendurchmesser

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,209}{\pi}} = 0,516 \text{ Meter.}$$

Der Arbeitsverlust durch die Kolbenreibung beträgt somit für jeden einfachen Hub:

$$4 \varphi \frac{b}{d} F (p - p_0) s = 0,1 \cdot 0,209 \cdot 9 \cdot 10336 \cdot 1,5 = 2917 \text{ Meterkilogramm}$$

oder pro Secunde

$$\frac{10}{60} 2917 = 486 \text{ Meterkilogramm} = 6,5 \text{ Pferdekrafte.}$$

Aus der Vergleichung dieser Resultate mit denen in S. 181 ergibt sich, daß die Reibungswiderstände des Gewichtsbalanciers in dem vorliegenden Bei-

spiele etwa zwölfmal kleiner sind als die der hydraulischen und pneumatischen Apparate.

Kraftregenerator. Eine interessante Anordnung eines Gegengewichtes §. 184. ist von Bockholz für Wasserhaltungsmaschinen *) angegeben worden, um durch die Wirkung des Gegengewichtes das Öffnen der Druckventile in den Pumpen bei beginnendem Niedergange des Gestänges zu bewirken. Erfahrungsmäßig ist nämlich zu dem Öffnen eines durch eine Wassersäule in seinen Sitz gedrückten Ventils ein größerer Druck pro Flächeneinheit auf die untere Ventilfläche nöthig, als derjenige gegen die obere Fläche beträgt, weil die beiden diesen Druckkräften ausgesetzten Flächen wegen der nothwendigen Auflagerfläche des Ventils verschiedene Größen haben. Hierdurch wird zum Heben der Ventile ein gewisser specifischer Druck erfordert, welcher den specifischen Druck der Wassersäule auf die obere Ventilfläche um 10 bis 12 Procent und noch mehr übersteigen kann. Wenn man, wie dies meistens zu geschehen pflegt, diesen Ueberdruck durch eine vergrößerte Belastung des Gestänges, d. h. also durch eine Ueberwucht desselben über das Gewicht der zu hebenden Wassersäule herstellt, so ist damit der Uebelstand verbunden, daß nach Eröffnung der Ventile, wenn jener größere Druck nicht mehr nöthig ist, das Gestänge in Folge seiner Ueberwucht in beschleunigter Bewegung sinkt. Hierdurch werden Stößwirkungen gegen Ende des Niederganges veranlaßt, deren schädlichen Einfluß man dadurch zu beseitigen sucht, daß man die lebendige Kraft des Gestänges durch Einführung eines künstlichen Widerstandes vernichtet, z. B. dadurch, daß man dem vor dem Dampfkolben befindlichen Dampfe den Austritt durch Verengung des Austrittscanals erschwert. Damit geht die beim vorhergehenden Aufgange zum Heben der besagten Ueberwucht aufgewendete mechanische Arbeit nutzlos verloren, und es wiederholt sich dieser Verlust bei jedem Kolbenspiele von Neuem. Um diese Verluste ebensowohl wie die Stößwirkungen zu vermeiden, ist von Bockholz die Anbringung eines Gegengewichtes in der durch Fig. 734 (a. f. S.) veranschaulichten Weise vorgenommen worden. Hierbei ist das Gestänge *S* mit Hilfe des Gegengewichtsbalanciers *AD* durch das Gewicht *G* so weit abbalancirt, daß die Ueberwucht des Gestänges *S* gerade zur Hebung der Wassersäule und zur Ueberwindung der schädlichen Widerstände in den Nöhren genügt, eine besondere Ueberwucht zum Eröffnen der Steigventile dagegen nicht vorhanden ist. Zur Ueberwindung des Widerstandes, welchen diese Steigventile ihrem Öffnen entgegensetzen, wird vielmehr ein besonderes an dem Arme *CE* des Balanciers angebrachtes Gewicht *K* benutzt. Dieser Arm *CE*, welcher rechtwinkelig auf dem Balancier *ACD* steht, schwingt nämlich

*) S. u. A. Zeitschr. deutsch. Ing. Jahrg. 1872, S. 1; 1873, S. 1, 79, 141; 1874, S. 449.