Mitte D zwischen C und C_1 vereinigt denken. Dieses Gewicht $2\,G_1$ in D kann dann statisch durch ein im Abstande $AE = b$ angebrachtes Gewicht

Fig. 743.

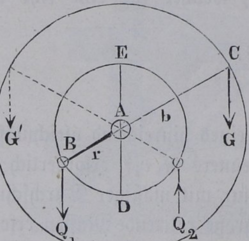
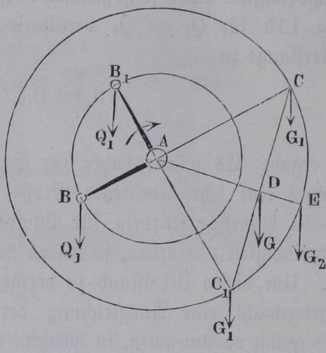


Fig. 744.



$$G = 2\,G_1 \frac{AD}{AE} = 2\,G_1 \sqrt{\frac{1}{2}} = G_1 \sqrt{2}$$

ersetzt werden, so daß man

$$G = \frac{r}{b} \sqrt{2} \left(G_0 + \frac{W_1 - W_2}{2} \right)$$

erhält.

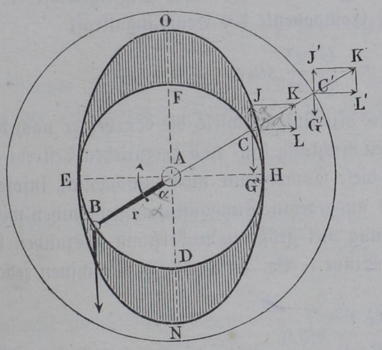
§. 187. **Trägheitskraft des Gegengewichtes.** In dem vorhergehenden Paragraphen war nur von den statischen Wirkungen des Gegengewichtes gesprochen und man kann die Größe desselben nach den angegebenen Regeln bestimmen, so lange die statischen Wirkungen im Vordergrunde stehen, d. h. so lange die Geschwindigkeiten des betreffenden Getriebes nur mäßige sind, wie dies meist bei den Pumpwerken der Fall ist. Bei schnellen Rotationsbewegungen, wie sie bei den meisten Dampfmaschinen üblich sind, treten jedoch die Trägheitskräfte des Gegengewichtes und der schwingenden Massen in den Vordergrund, wogegen die Gewichte der letzteren im Vergleiche zu den wirkenden Kräften meist als unbeträchtlich außer Acht gelassen werden können. In solchen Fällen dienen daher die Gegengewichte nicht dazu, um die Gewichte der schwingenden Massen, sondern um deren lebendige Kräfte auszugleichen. In wie weit dies geschehen kann, ergiebt sich aus den folgenden Betrachtungen.

Es ist bereits in §. 151 darauf aufmerksam gemacht worden, in welcher Weise die Trägheitskräfte der hin- und hergehenden Massen m_2 bei dem Kurbelgetriebe zur Wirkung kommen, und es wurde daselbst gezeigt, daß der auf Beschleunigung resp. Verzögerung der schwingenden Masse m_2 wirkende Druck bei sehr langer Lenkerstange durch

$$M = \cos\alpha \frac{m_2 v^2}{r}$$

sich ausdrückt, wenn v die durchschnittliche Geschwindigkeit der Kurbelwarze und α den Winkel bedeutet, um welchen die Kurbel aus einer Todtlage sich gedreht hat. Diese Kraft wechselt zwischen den Drehungswinkeln α gleich Null und 90^0 innerhalb der Grenzen $\frac{m_2 v^2}{r}$ und Null, und es wurde schon früher gezeigt, daß dieser Beschleunigungsdruck stets während der ersten Hälfte jedes einfachen Kolbenspieles hemmend, während der zweiten Hälfte fördernd auf die Bewegung der Kurbel wirkt, wobei es gleichgültig ist, ob der Antrieb von der Kurbel oder dem Kolben ausgeht. Es wird daher bei der in Fig. 745 dargestellten Kurbel in der unteren Hälfte HDE der Trägheitswiderstand M nach unten, in der oberen Hälfte EFH dagegen nach oben gerichtet sein, und es ist das Wachsen und Abnehmen des Beschleunigungsdruckes durch die schraffirten sichelförmigen Räume veranschaulicht, deren verticale Ordinaten den jeweiligen Beschleunigungsdruck M darstellen. Es ist ersichtlich, daß dieser veränderliche Massendruck auch den Druck an dem Kurbelzapfen B, sowie den Lagerdruck der Kurbelwelle A

Fig. 745.



veränderlich macht, indem die von dem Kolben ausgeübte Kraft P abwechselnd um die Beträge von M vergrößert oder verkleinert durch die Lenkerstange auf die Kurbel übertragen wird. So lange nun bei langsamer Bewegung diese Trägheitskräfte M geringe bleiben, ist dieser Umstand unerheblich. Setzt man indessen eine große Umdrehungsgeschwindigkeit v der Kurbel voraus, so wächst der Werth von M schnell, und es kann der Fall eintreten, daß der Beschleunigungsdruck M größer wird als die Kolbenkraft. In diesem Falle stellen sich außerhalb der todten Punkte an gewissen Stellen an der Kurbelwarze Wechsel in der Druckrichtung ein, welche einen unruhigen Gang hervorrufen; besonders gilt dies für Dampfmaschinen mit hoher Expansion und großer Geschwindigkeit. Um diese Unannehmlichkeit zu vermeiden, bringt man daher ein Gegengewicht an der Kurbelwelle diametral der Kurbel an. Denkt man sich in dem Kurbelkreise der Kurbelwarze B diametral gegenüber in C ein Gegengewicht G, also von der Masse $\frac{G}{g}$, angebracht, so äußert dasselbe eine Centrifugalkraft

$$CK = \frac{G}{g}\frac{v^2}{r},$$

dessen verticale Componente

$$CJ = \frac{G}{g}\frac{v^2}{r}\cos\alpha$$

dem Beschleunigungsdrucke

$$M = \frac{m_2\, v^2}{r}\cos\alpha$$

entgegengesetzt ist und mit ihm gleiche Größe hat, sobald $\frac{G}{g} = m_2$ gemacht ist, d. h. sobald das Gegengewicht gleich dem Gewichte der schwingenden Masse m_2 gewählt wird. Allerdings wird durch dieses Gegengewicht G die zu dem Stangenschube senkrechte Componente der Centrifugalkraft

$$CL = \frac{G}{g}\frac{v^2}{r}\sin\alpha$$

neu eingeführt, welche wegen ihres Richtungswechsels die Kurbelaxe nach dieser zum Stangenschube senkrechten Richtung hin- und herzuziehen bestrebt ist. Bei liegenden Maschinen ist diese Componente meist unschädlich, insofern sie bei denselben direct durch das ausgedehnte Fundament aufgenommen wird, welches nach der verticalen Richtung viel größeren Widerstand auszuüben befähigt ist als im horizontalen Sinne. Bei stehenden Maschinen jedoch würde diese Componente

$$\frac{G}{g}\frac{v^2}{r}\sin\alpha$$

wegen ihrer horizontalen Richtung für die Stabilität des hochgebauten Gestelles schädlicher sein, als selbst die durch die schwingende Masse m_2 hervorgerufenen Massendrucke, welche hier wegen ihrer verticalen Richtung von dem Gestelle in günstiger Weise aufgenommen werden. Aus diesem Grunde pflegt man bei stehenden Maschinen von der Anwendung eines Gegengewichtes meistens ganz abzusehen. Auch bei liegenden Maschinen nimmt man das Gegengewicht G in der Regel kleiner als das Gewicht der schwingenden Massen m_2 an, nach Radinger genügt für die gewöhnlichen Fälle eine Größe von G gleich 0,5 bis 0,8 $m_2 g$. Setzt man allgemein $G = \nu m_2 g$ voraus, wo ν kleiner ist als Eins, so verbleibt eine Wirkung der Trägheitskräfte gleich der Differenz

$$m_2 \frac{v^2}{r} \cos\alpha - \frac{G}{g} \frac{v^2}{r} \cos\alpha = (1 - \nu)\, m_2 \frac{v^2}{r} \cos\alpha,$$

welche durch die Kurbelwelle aufgenommen werden muß, während senkrecht zur Schubrichtung nur die Componente

$$\nu\, m_2 \frac{v^2}{r} \sin\alpha$$

verbleibt. Bringt man das Gegengewicht anstatt im Kurbelkreise, in C' an einem größeren Halbmesser $AC = b$ an, so hat man dasselbe, um die gleiche Centrifugalkraft zu erreichen, in einer Größe G' auszuführen, die sich durch

$$G' = \frac{r}{b} G$$

bestimmt.

In den vorstehenden Betrachtungen ist immer stillschweigend eine sehr große Länge der Kurbelstange vorausgesetzt. Da die letztere aber bei Dampfmaschinen nur eine geringe Länge l hat, so wird man zur näheren Bestimmung der Massendrucke aus §. 151 die genauere Formel

$$M = \left(\cos\alpha \mp \frac{r}{l} \cos 2\alpha\right) \frac{m_2 v^2}{r}$$

zu Grunde zu legen haben, so daß bei einem Gegengewichte $G = \nu m_2 g$ aus der Trägheit der Massen noch die Wirkungen übrig bleiben

$$W' = \left[(1 - \nu \cos\alpha) + \frac{r}{l} \cos 2\alpha\right] \frac{m_2 v^2}{r}$$

in der Richtung des Stangenschubes und

$$W'' = \nu \frac{m_2 v^2}{r} \sin\alpha$$

senkrecht zur Schubrichtung. Der Ausdruck für W' zeigt, daß es bei endlicher Länge l der Schubstange durch keinen Werth von ν möglich ist, die Kraft W' in allen Stellungen der Kurbel zu Null zu machen. Wollte man überhaupt die schwingenden Massen vollständig ausgleichen, so gäbe es kein anderes Mittel, als daß man der Kurbel diametral gegenüber eine andere gleiche und gleich schwere Kurbel anbrächte, deren Warze an einer mit der Kurbelstange gleichen Lenkerstange parallel der Kolbenbewegung ein Gewicht hin- und herführte, welches so schwer wäre wie die Kolbenstange nebst Kolben und Kreuzkopf der eigentlichen Kurbel. Es bedarf kaum der Bemerkung, daß man eine derartig umständliche Construction in der Praxis nicht zur Anwendung bringt.

Anmerkung. Von der Ausgleichung der Massen bei doppelten zu einander rechtwinkeligen Kurbeln wird bei den Locomotiven gehandelt werden.