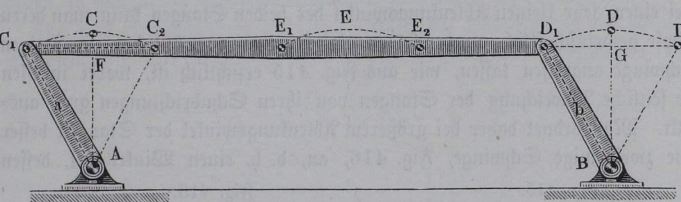
Schließlich kann bemerkt werden, daß diese sinnreiche und schöne Geradführung die **einzige bekannte** ist, welche die Ueberführung einer schwingenden Bewegung in eine **genau geradlinige ohne Anwendung von Coulissen lediglich durch Lenker** ermöglicht, und dadurch ein Problem in vollkommener Weise gelöst ist, welchem die bedeutendsten Ingenieure seit Watt ihre Bemühungen zugewandt haben.

§. 107. **Schwingen.** Wenn die Uebertragung von Kräften durch Stangen auf beträchtliche Entfernungen geschehen soll, so hat man die Stangen durch Unterstützungen oder Führungen in geeigneten Abständen zwischen ihren Endpunkten vor seitlichen Ausbiegungen zu sichern. Dies kann z. B. durch Walzen geschehen, in welchem Falle das Gestänge in seinen einzelnen Theilen zu einem starren Stücke verbunden ist; in solcher Art sind in der Regel die Pumpengestänge in Bergwerken ausgeführt. Statt dessen kann man aber auch das Gestänge aus einzelnen, an ihren Enden durch Bolzen drehbar an einander gefügten Stücken bestehen lassen und die Unterstützung der Vereinigungspunkte durch schwingende Hebel oder Böcke bewirken, welche letzteren den Namen **Schwingen** erhalten. Eine solche Anordnung nennt man wohl **Feldgestänge** oder **Streckengestänge**, je nachdem dasselbe über Tage, oder in den Strecken der Bergwerke angebracht ist. Feldgestänge finden in neuerer Zeit nur noch eine sehr beschränkte Anwendung, sie stammen aus einer Zeit, wo man zum Betriebe der Maschinen fast ausschließlich auf die Verwendung der Wasserräder angewiesen war, deren Aufstellung meist an eine ganz bestimmte Oertlichkeit gebunden ist. Seit der umfangreichen Verwendung der überall leicht aufstellbaren Dampfmaschinen haben die Feldgestänge ihre Bedeutung fast gänzlich verloren, besonders auch noch deswegen, weil man in solchen Fällen, wo die Umstände unbedingt die Uebertragung von Kräften auf größere Entfernungen erheischen, in der **Drahtseiltransmission** sowie in der Verwendung von stark **gepreßtem Wasser (Accumulatoren)** bequemere und weniger kraftzehrende Mittel zur Herstellung einer Ferntriebeinrichtung besitzt. Nur für den Bergwerksbetrieb dürften die Streckengestänge noch eine gewisse Bedeutung haben.

Die Schwingen sind einfache Träger oder Böcke, die an dem einen Ende mit einer Drehaxe versehen sind, um welche sie in festen Lagern pendeln können, während der am anderen Ende angebrachte Zapfen das Gestänge, resp. die Enden der beiden in diesem Punkte zusammenstoßenden Gestängtheile aufnimmt. Die Bewegungsebene der Schwingen ist fast immer eine verticale und unterscheidet man wohl **stehende** und **hängende** Schwingen, je nachdem die Schwingungsaxe unterhalb oder oberhalb des geführten Gestängpunktes angebracht ist. **Liegende** Schwingen, d. h. solche, welche mit einer verticalen Axe versehen sind, der zufolge sie in einer horizontalen Ebene schwingen, wendet man nur selten an, etwa nur in Fällen, wo das Gestänge einer Richtungsänderung in horizontaler Ebene unterworfen werden soll, in diesem Falle heißen diese Schwingen auch Wendeböcke.

Da der Kopf einer Schwinge sich in einem Kreisbogen bewegt, so wird eine durch zwei gleich lange Schwingen $AC$ und $BD$, Fig. 414, unterstützte

Fig. 414.




Stange $CD$ keiner eigentlichen Geradführung, sondern einer Parallelführung unterworfen sein, d. h. einer Bewegung, vermöge deren alle ihre verschiedenen Lagen $CD$, $C_1D_1$, $C_2D_2$ parallel zu einander sind. Hierbei bewegt sich offenbar jeder Punkt $E$ der Stange in einem Kreisbogen $E_1EE_2$, welcher mit den Bogen übereinstimmt, welche die Endpunkte $C$ und $D$ der Schwingen beschreiben. Die Pfeilhöhe $CF$ des Schwingungsbogens der Schwinge $AC$ von der Länge $a$ ist ausgedrückt durch $e = CF = a(1 - \cos\omega)$, wobei $\omega$ den jederseitigen Ausschlagswinkel $C_1AC$ der Schwinge aus ihrer normalen Lage bedeutet, in welcher die Schwinge senkrecht zur Stangenrichtung steht. Dieser Winkel $\omega$ ist unter Voraussetzung gleichen Ausschlags nach beiden Seiten aus dem Schube $s$ gegeben durch:

$$\sin\omega = \frac{s}{2a}.$$

Diese Pfeilhöhe $e$ stimmt auch überein mit der seitlichen Abweichung der Stange $CD$, d. h. mit demjenigen Abstande, welchen die äußersten Lagen $C_1D_1$ und $CD$ der Stange von einander haben. Wenn der eine Endpunkt, etwa $D$, der Stange in irgend einer Weise in einer geraden Linie geführt wird, wie der Fall häufig bei Pumpen vorkommt, deren Kolbenstange von einem schwingenden Hebel bewegt wird, so hört natürlich die Parallelführung auf, und man wird, um die Abweichung der Stange $CD$ von der Führungsgeraden des Punktes $D$ möglichst klein zu machen, die Anordnung so zu wählen haben, daß die Gerade, in welcher $D$ geführt wird, die Pfeilhöhe des Bogens $C_1C_2$ halbirt.

In allen Fällen ist es gut, die Länge $a$ der Schwingen nicht zu gering anzunehmen, weil der Ausschlagswinkel $\omega$ um so kleiner ausfällt, je größer

$a$ im Vergleich zu $s$ ist. Man pflegt daher wohl $a$ zwischen $2s$ und $3s$ zu wählen, demgemäß der Ausschlagswinkel $\omega$ zwischen $14^0\ 29'$ und $9^0\ 35'$ und die Pfeilhöhe zwischen 0,064 $s$ und 0,042 $s$ schwankt.

Die Schwingen gestatten, in sehr einfacher Weise die Richtung eines Gestänges zu ändern, und nennt man sie in diesem Falle **Bruchschwingen**, so lange der Ablenkungswinkel nur gering ist, dagegen **Gestängkreuze** (**Kunstkreuze**), wenn der Ablenkungswinkel einem Rechten nahe kommt. Bei einem sehr kleinen Ablenkungswinkel der beiden Stangen kann man deren Köpfe gemeinschaftlich an demselben Bolzen einer gewöhnlichen einarmigen Schwinge angreifen lassen, wie aus Fig. 415 ersichtlich ist, wobei indessen die seitliche Abweichung der Stangen von ihren Schubrichtungen groß ausfällt. Man ordnet daher bei größerem Ablenkungswinkel der Stangen besser eine zweiarmige Schwinge, Fig. 416, an, d. h. einen Winkelhebel, dessen

Fig. 415.

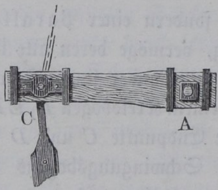
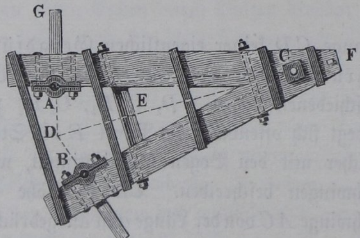



Fig. 416.




Arme in der Mittelstellung normal zu den Stangeneinrichtungen stehen, daher unter sich denselben Winkel einschließen, unter welchem die Stangen gegen einander geneigt sind.

Es seien $MG$ und $MK$, Fig. 417, die beiden Stangenrichtungen, welche den Winkel $OMK = \alpha$ mit einander bilden, und werde angenommen, daß sie an demselben Bolzen $M$ einer einarmigen Schwinge angreifen, deren Drehungspunkt $C$ so gelegt sei, daß die Schwinge in der mittleren Stellung den Winkel $GMK$ halbirt. Bezeichnet wieder $\omega$ den halben Ausschlagswinkel $ACM = BCM$ der Schwinge, und $a$ deren Länge $MC$, so hat man für den Hub $BD = AH = s$ der Stangen:

$$s = AB \cos ABD = 2\,a \sin\omega \cos\frac{\alpha}{2},$$

woraus man für einen gegebenen Hub $s$ und bei bestimmter Ablenkung $\alpha$ den halben Schwingungswinkel $\omega$ durch

$$\sin\omega = \frac{s}{2\,a\,\cos\frac{\alpha}{2}}$$

erhält. Die größte Seitenablenkung $f = EF = E_1F_1$ ist in diesem Falle gegeben durch

$$f = CE - CF = a\left[1 - \cos\left(\omega + \frac{\alpha}{2}\right)\right].$$

Würden die anderen Endpunkte der Stangen in geraden Linien geführt, so hätte man die Richtungen so zu legen, daß sie in die punktirten Linien fallen, so daß sie die Seitenabweichungen $EF$ bezw. $E_1F_1$ halbiren.

Für eine Bruchschwinge mit zwei Armen hat man folgende Verhältnisse. Es seien $MP$ und $MQ$, Fig. 418, die Richtungen der beiden Stangen, deren

Fig. 417.

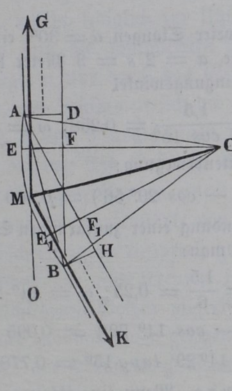
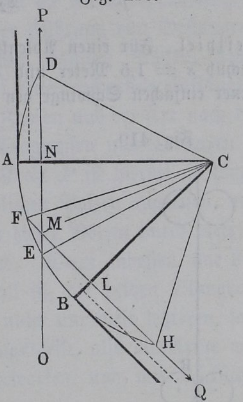



Fig. 418.




Winkel durch $MC$ halbirt werde. Fällt man von dem Drehpunkte $C$ der Schwinge die Normalen $CN$ und $CL$ auf die Stangen und betrachtet wieder diese Normalen als mittlere Stellungen der Arme, d. h. macht man $ND = NE = LF = LH = \frac{s}{2}$, so erhält man die äußersten Stellungen der Arme in $CD$, $CE$, $CF$ und $CH$. Es ist dann wieder

$$\sin\omega = \frac{s}{2a}$$

und die Seitenbewegung

$$f = AN = BL = a(1 - \cos\omega)$$

oder annähernd

$$f = \frac{s^2}{8a},$$

also unabhängig von dem Ablenkungswinkel $OMH = \alpha$ der Stangen.

Für den Abstand $MN = ML = d$ hat man

$$d = a \cos \omega \operatorname{tang} \frac{\alpha}{2}.$$

Wenn die beiden Arme ungleiche Längen $a$ und $b$ haben, so ist der Schub sowie die Seitenabweichung ebenfalls für beide Stangen verschieden, und zwar:

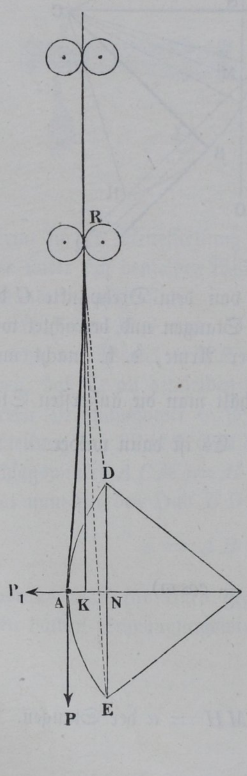
$$s_1 = 2\, a \sin \omega;\ \ s_2 = 2\, b \sin \omega$$

$$f_1 = a\,(1 - \cos \omega);\ \ f_2 = b\,(1 - \cos \omega),$$

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{a}{b}.$$

Beispiel. Für einen Ablenkungswinkel zweier Stangen $\alpha = 30^0$, einen Gestängschub $s = 1{,}5$ Meter und eine Armlänge $a = 2\,s = 3$ Meter hat man bei einer einfachen Schwinge den halben Schwingungswinkel

Fig. 419.




$$\sin \omega = \frac{1{,}5}{6 \cos 15^0} = 0{,}258;\ \omega = 14^0\ 56'$$

und die Seitenbewegung:

$$f = 3\,(1 - \cos 29^0\,56') = 0{,}400 \text{ Meter}.$$

Bei Anwendung einer zweiarmigen Schwinge dagegen hat man:

$$\sin \omega = \frac{1{,}5}{6} = 0{,}25;\ \omega = 14^0\ 29';$$

$$f = 3\,(1 - \cos 14^0\ 29') = 0{,}095 \text{ Meter},$$

$$d = 3 \cos 14^0\,29' \operatorname{tang} 15^0 = 0{,}778 \text{ Meter}.$$

Anmerkung. Wenn eine Stange an dem einen Ende mit einer Schwinge in Verbindung steht, während das andere Ende in einer geraden Linie geführt wird, so ist es wegen der Bogenbewegung des ersteren Endpunktes erforderlich, den anderen Endpunkt drehbar, also mittelst eines Gelenks mit dem gerade geführten Organ (Pumpenstange) zu verbinden, damit die Stange nur Schub- und Druckkräften in ihrer Axe und keinen biegenden Wirkungen ausgesetzt sei. Das letztere tritt dagegen ein, wenn die betreffende Stange mit dem gerade geführten Organe in starrer Weise verbunden ist, oder wenn die Stange selbst durch Geradführungen am anderen Ende verhindert ist, von der Richtung der geraden Linie abzuweichen. In diesem durch Fig. 419 veranschaulichten Falle wird die Stange $AR$ wegen der Abweichung $AK = \frac{f}{2}$ zu einer Biegung veranlaßt, indem außer der in $A$ auf Zug oder Druck wirkenden Kraft $P$ noch eine andere dazu senkrechte Biegungskraft $P_1$ zur Wirkung kommt. Das auf Biegung resp. auf Bruch wirkende Moment ist in diesem Falle für den gefährdeten Querschnitt in $R$ bestimmt durch

$$M = P_1 \,.\, \overline{KR} - P \,.\, \overline{AK} = P_1 l_1 - P\frac{f}{2},$$

und bestimmen sich die Abmessungen des Querschnitts in diesem Falle nach den in Th. I, §. 283 für die Biegung gespannter Balken entwickelten Regeln.

**Gestängkreuze (Winkelhebel).** Die Dimensionen der Gestängkreuze und Winkelhebel ermitteln sich aus den einwirkenden Kräften nach den bekannten Regeln der Festigkeit. Was zunächst die einfachen Schwingen anbetrifft, welche lediglich zur Unterstützung oder Führung von Gestängen dienen, so sind die sämmtlichen Theile derselben, nämlich Zapfen, Axe und Schwingarm nur durch das Gewicht des auf ihnen ruhenden Gestängtheiles belastet, und bestimmen sich die Stärken der Zapfen und der Axe nach den in den §§. 3 und 6 angegebenen Regeln für Tragzapfen und Tragaxen. Die Größe der von dem Gestänge übertragenen Kraft $P$ ist hierbei, so lange die beiden Stangenenden an einem gemeinschaftlichen Bolzen angreifen, nur insofern auf die Zapfenstärke von Einfluß, als dieser Bolzen durch diese Kraft auf Abscheerung in Anspruch genommen wird. Wenn indessen, wie bei den Bruchschwingen und Kreuzen immer der Fall ist, die beiden Stangenenden an verschiedenen Bolzen angreifen, so sind nicht nur diese letzteren, sondern auch alle zwischen ihnen gelegenen Verbindungstheile, also die Arme und die Drehaxe der Einwirkung dieser Kraft unterworfen, und mit Rücksicht auf dieselbe zu bestimmen. §. 108.

Seien $a$ und $b$ die Längen der Arme $AC$ und $BC$ eines Kreuzes oder Winkelhebels, Fig. 420 (a. f. S.), die einen Winkel $\beta$ mit einander einschließen, und seien $P$ und $Q$ die an $A$ und $B$ wirkenden Kräfte, so hat man unter Vernachlässigung der Eigengewichte sowie der Reibungswiderstände und sonstigen Nebenhindernisse

$$Pa = Qb$$

und den Axendruck

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2\,PQ\cos\beta} = P\sqrt{1 + \left(\frac{a}{b}\right)^2 + 2\frac{a}{b}\cos\beta}.$$

Aus $P$ und $Q$ bestimmen sich dann die Zapfendurchmesser nach der Art der Angriffsweise. Ist nämlich der Arm mit beiderseits hervorragenden Zapfen nach Fig. 421 versehen, an denen die Stange mit einer Gabel angreift, so daß jeder Zapfen $\frac{P}{2}$ zu übertragen hat, so folgt die Zapfenstärke $d$ aus