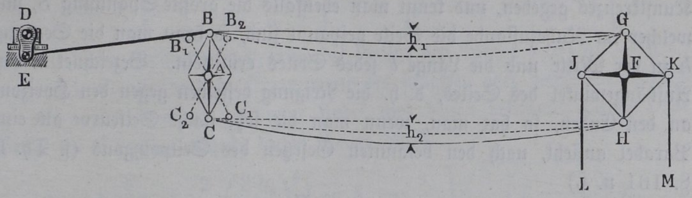
L_2 schneidet, sonst aber beliebig angenommen werden kann und dann die beiden Rollen in den Ebenen von L und L_1, sowie von L und L_2 anzuordnen. Die Willkürlichkeit in der Annahme von L gestattet dabei eine unendliche Verschiedenheit der Anordnungen. Wählt man dabei die Richtung L so, daß sie mit dem kürzesten Abstande zwischen L_1 und L_2 zusammenfällt, so nimmt zwar das Seilstück zwischen den beiden Leitrollen die geringste Länge an, doch ist damit nicht gesagt, daß diese Anordnung die beste sei. Da nämlich hierbei an jeder Rolle das Seil gerade um einen rechten Winkel abgelenkt wird und der Zapfendruck $R = 2 P \sin \frac{\alpha}{2}$ beträgt, wenn α den Ablenkungswinkel und P die in beiden Seilenden annähernd gleiche Spannung bedeutet, so erkennt man, daß der Zapfendruck, daher die Zapfenreibung bei dieser Anordnung größer ausfällt, als wenn die Richtung L so gewählt wird, daß die Rollen nur in spitzen Winkeln umspannt werden. In den Fällen der Anwendung wird indessen die Rücksicht auf möglichst geringe Zapfenreibung meistens vor derjenigen, welche auf bequeme und sichere Aufstellung der Leitrollen zu nehmen ist, in den Hintergrund treten.

§. 123. **Seilgestänge.** Trotzdem die Seile und Ketten als reine Zugkraftorgane im Allgemeinen die Uebertragung von Bewegungen nur in dem einen Sinne ihrer Längsrichtung zu übertragen vermögen, kann man unter Umständen dennoch die Seile durch eine Vereinigung zweier derselben geeignet machen, auch hin- und hergehende Bewegungen zu vermitteln, sie also als Ersatz der Stangen verwenden. Man nennt derartige Einrichtungen wohl *Seilgestänge*, und es gewähren dieselben in manchen Fällen gewisse Vortheile vor den Stangen und steifen Uebertragsmitteln. Als wesentlicher Vortheil ist besonders die Möglichkeit anzuführen, Seile auf größere Längen freihängend anzuordnen, während lange Feldgestänge häufige Unterstützungen in Zwischenpunkten durch Schwingen ꝛc. bedürfen, und lange Transmissionswellen noch häufigere Stützung durch Lager erfordern. In Fällen, wo eine derartige Unterstützung nur schwierig oder gar nicht ausführbar ist, wie z. B. bei Bewegung von Kolbenpumpen in den Baugruben von Brückenpfeilern von einer am Lande aufgestellten Dampfmaschine aus, verwendet man daher wohl Seilgestänge, welche neben dem Vortheile verhältnißmäßig geringer Nebenhindernisse auch die Füglichkeit gewähren, Richtungsänderungen mit Hülfe von Leitrollen bequemer auszuführen, als dies bei Feldgestängen durch die schwerfälligen Bruchschwingen oder bei Wellenleitungen durch conische Räder möglich ist. Bei größeren Wasserbauten, in weitläufigen Ziegeleien ꝛc. hat man daher das Seilgestänge mehrfach zur Uebertragung hin- und hergehender Bewegungen in Anwendung gebracht.

Die Anordnung eines solchen Seilgestänges ist aus Fig. 483 ersichtlich. Denkt man sich in A einen doppelarmigen Hebel BAC drehbar gelagert, welchem in irgend einer Weise, etwa von der Kurbelwelle D aus, mittelst der Stange EB eine schwingende Bewegung in die Lagen $B_1 C_1$ und $B_2 D_2$ ertheilt wird, so wird das Kunstkreuz F, an welchem in J und K etwa die Pumpenstangen JL und KM hängen mögen, ebenfalls in die gewünschte alternirende Bewegung versetzt, indem abwechselnd die Drahtseile BG und CH durch ihren Zug die Bewegung vermitteln. Es ist auch ersichtlich, daß die Bewegungsübertragung noch möglich bleibt, auch wenn man die Drahtseile in irgend einer Weise, etwa durch Leitrollen, von ihrer Richtung ablenkt. Mit dieser Bewegungsübertragung ist aber, wie leicht zu erkennen, stets ein gewisser Hubverlust verbunden, indem bei einer gewissen Bewegung des Endpunktes B der Schwinge, etwa um das Stück BB_1, der Punkt G des Kunstkreuzes jedenfalls einen kleineren Weg zurücklegt als der Punkt B der Schwinge. Diese Wirkung erklärt sich daraus, daß im Zustande der Ruhe die beiden Seile BG und CH gleichen Spannungen S ausgesetzt sind, daher bei einer Bewegung des Punktes B in der Richtung nach B_1 zuvörderst die Spannung S sich in S_1 vergrößern und die Spannung in CH in S_2 vermindern wird, derart, daß der Ueberschuß $S_1 - S_2$ der Spannung im oberen Seile über diejenige im unteren gerade genügend ist, um den an der Axe F auftretenden Nutzwiderstand des Kunstkreuzes zu überwinden. Diese Veränderung der Spannungen S wird dadurch herbeigeführt, daß das Seil BG bei erfolgendem Anzuge straffer wird, oder daß seine vorherige Einsenkung in der Mitte h in eine kleinere Einsenkung h_1 übergeht, während das untere Seil schlaffer wird, d. h. in einer größeren Einsenkung h_2 nach unten durchhängt. Die Bewegung, welche die Schwinge BC vom Zustande der Ruhe aus machen muß, um jene Veränderungen von S in S_1 und S_2 herbeizuführen, ist als ein todter Gang zu betrachten, insofern durch diese Bewegung eine Bewegung des Kunstkreuzes nicht veranlaßt wird, letzteres vielmehr erst von demjenigen Augenblicke an zu folgen beginnt, in welchem $H_1 - H_2 = Q$ ist, unter Q den besagten Widerstand des Kunstkreuzes am Hebelsarme FG und unter H_1 und H_2 die horizontalen Componenten der Seilspannungen S_1

Fig. 483.



und S_2 verstanden. Dieser Hubverlust wird um so größer sein, je geringer die Anspannung S des ruhenden Seiles im Verhältniß zu derjenigen S_1 im treibenden Seile ist, d. h. je schlaffer die Seile von vornherein angeordnet sind. Die Ermittelung des todten Ganges kann näherungsweise in folgender Art geschehen. Ist die Entfernung b der Axen A der Schwinge und F des Kunstkreuzes gegeben, und kennt man ebenfalls die größte Spannung S, mit welcher im Ruhezustande die Seile gespannt sind, so kann man die Senkung h in der Mitte und die Länge l jedes Seiles ermitteln. Bezeichnet α den Aufhängewinkel des Seiles, d. h. die Neigung desselben gegen den Horizont an den Enden, so hat man, wenn man die sehr flache Seilcurve als eine Parabel ansieht, nach den bekannten Gesetzen des Seilpolygons (s. Th. I, §. 161 u. f.)

$$sin\,\alpha = \frac{G}{2\,S},$$

worin $G = l\,q\,\gamma$ das Gewicht des Seiles und $S = q\,k$ die Spannung am Aufhängepunkte bedeutet. Hier ist mit q der Querschnitt, γ das specifische Gewicht und k die Spannung pro Querschnittseinheit bezeichnet. Man kann auch das Gewicht $G = l\,q\,\gamma = b\,q\,\gamma$ setzen, da b und l nur sehr wenig verschieden sind, und erhält dann

$$sin\,\alpha = \frac{b\,q\,\gamma}{2\,q\,k} = \frac{b\,\gamma}{2\,k}.$$

Dann findet man aus α die Durchsenkung in der Mitte h durch

$$tang\,\alpha = \frac{2\,h}{{}^1/_2\,b} = \frac{4\,h}{b} \text{ zu } h = \frac{b}{4}\,tang\,\alpha,$$

und die Seillänge genau genug zu

$$l = b\left[1 + {}^2/_3\left(\frac{2\,h}{b}\right)^2\right].$$

Diese Länge muß jedes der beiden Seile erhalten. Bei der Bewegung der Schwinge wird nun das eine Seil straffer gespannt, das andere loser gelassen, und es möge in dem Augenblicke, in welchem das Kunstkreuz seine Bewegung beginnt, der bis dahin zurückgelegte Weg jedes Endpunktes der Schwinge durch e bezeichnet werden. Die beiden Seile haben dann in diesem Augenblicke die Spannweiten $b_1 = b + e$ und $b_2 = b - e$. Gesetzt nun, es solle die größte Spannung in dem straffen Seile einen gewissen Werth k_1 pro Querschnittseinheit erreichen, so hat man wieder für den Aufhängewinkel des treibendes Seiles

$$sin\,\alpha_1 = \frac{G}{2\,S_1} = \frac{l\,\gamma}{2\,k_1},$$

und folgt ebenso aus α_1 die Durchsenkung h_1 durch

$$tang\,\alpha_1 = \frac{4\,h_1}{b_1}.$$

Die Spannweite b_1 selbst aber ergiebt sich aus der bekannten Länge l durch den Ausdruck:

$$l = b_1\left[1 + \frac{2}{3}\left(\frac{2\,h_1}{b_1}\right)^2\right] = b_1\left[1 + \frac{2}{3}\left(\frac{tang\,\alpha_1}{2}\right)^2\right]$$

und mit dieser Spannweite b_1 auch die Größe des Weges $e = b_1 - b$.

Hiermit ist also auch die Spannweite des schlaffen oder getriebenen Seiles $b_2 = b - e$ gegeben, und man findet aus dessen bekannter Länge l die Größe der Durchsenkung h_2 dieses Seiles durch

$$l = b_2\left[1 + \frac{2}{3}\left(\frac{2\,h_2}{b_2}\right)^2\right] \text{ zu } h_2 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{3}{2}\left(l - b_2\right) b_2}.$$

Aus h_2 und b_2 ermittelt sich weiter der Aufhängewinkel α_2 durch

$$tang\,\alpha_2 = \frac{4\,h_2}{b_2}$$

und hieraus die Spannung $S_2 = q k_2$ durch

$$sin\,\alpha_2 = \frac{G}{2\,S_2} = \frac{l\gamma}{2\,k_2}.$$

Ist nun der zu überwindende Widerstand des Kunstkreuzes durch Q gegeben, so hat man zu setzen:

$$Q = H_1 - H_2 = \frac{G}{2}\left(cotg\,\alpha_1 - cotg\,\alpha_2\right) = \frac{l q \gamma}{8}\left(\frac{b_1}{h_1} - \frac{b_2}{h_2}\right),$$

woraus der erforderliche Querschnitt q des Seiles sich ergiebt.

Der Hubverlust hat die Größe $b_1 - b_2 = 2e$, denn um so viel muß sich bei jedem Hubwechsel die Spannweite b_2 des vorher gezogenen oder schlaffen Seiles vergrößern, bevor dasselbe als ziehendes Seil mit der Spannweite b_1 den Widerstand Q bewältigen kann.

Es dürfte leicht ersichtlich sein, daß die Größe $e = b_1 - b$, also auch der Hubverlust um so kleiner ausfallen wird, je kleiner die Verschiedenheit der Werthe k und k_1 ist. Will man daher den Hubverlust möglichst herabziehen, so wird man das Seil von vornherein mit einer großen Spannung k anspannen müssen. Allerdings wird hierdurch die Zapfenreibung vergrößert und auch der erforderliche Querschnitt des Seiles beträchtlich werden, da der Widerstand Q nur vermöge der Differenz der Spannungen k_1 und k_2 überwunden wird, welche ebenfalls um so kleiner ausfällt, je geringer man den Unterschied zwischen k_1 und k wählt. Bei einer sehr geringen Spannung k der ruhenden Seile könnte offenbar der Fall eintreten, daß trotz der Bewegung der Schwinge das Kunstkreuz gar nicht bewegt wird, wie dieser Fall natürlich immer eintreten müßte, wenn die Bewegung eines Endpunktes der Schwinge kleiner als $2e$ wäre.

Ebenso wie durch schärferes Anspannen oder Verkürzen der Seile der Hubverlust verringert und durch Nachlassen oder Verlängern derselben der todte Gang vergrößert wird, ebenso wird natürlich jede Veränderung der Temperatur von wesentlichem Einflusse darauf sein, derart, daß dasselbe Seilgestänge im Sommer, wenn die Seillänge eine größere ist, auch mit einem größeren todten Gange verbunden ist als im Winter. Dieser Einfluß der Temperaturveränderungen ist trotz der an sich geringen Längenänderungen durchaus nicht zu unterschätzen, und es ergiebt sich daraus die Zweckmäßigkeit einer Längenregulirbarkeit durch entsprechende Spannvorrichtungen der Seile.

Man kann übrigens bemerken, daß mit dem Hubverluste der Seilgestänge direct Verluste an mechanischer Arbeit nicht, oder doch nur insofern verbunden sind, als mit dem todten Gange auch unvermeidlich Reibungen und Nebenhindernisse verknüpft sind. Es ist nämlich die zum jedesmaligen Anspannen des schlaffen Seiles erforderliche mechanische Arbeit nicht verloren, da eine genau gleiche Arbeit bei dem darauf folgenden Nachlassen des Seiles durch dessen Elasticität wieder gewonnen wird. Wohl aber können durch den todten Gang der Schwinge leicht nachtheilige Stoßwirkungen hervorgerufen werden.

Beispiel. Die Axenentfernung zwischen einem Kunstkreuze und einer Schwinge beträgt 60 Meter; es soll zwischen beiden der Betrieb durch Drahtseile so vermittelt werden, daß die größte Spannung im Draht während des Ruhezustandes 6 Kilogramm beträgt, und während der Bewegung 12 Kilogramm nicht übersteigt. Welchen Querschnitt haben die Seile bei einem Widerstande $Q = 800$ Kilogramm zu erhalten, und wie groß ist unter diesen Verhältnissen der Hubverlust?

Nimmt man das specifische Gewicht des Drahtseiles wegen der Verkürzung bei der Herstellung (10 Proc.) zu 8,5 an, so hat man zunächst den Aufhängewinkel α des ruhenden Seiles durch

$$sin\, \alpha = \frac{b\gamma}{2k} = \frac{60 \,.\, 8500}{2 \,.\, 6 \,.\, 1000000} = 0{,}0425;$$

$\alpha = 2^0\, 26'$ und daher $tang\, \alpha = 0{,}0426$, folglich die Durchsenkung in der Mitte:

$$h = \frac{b}{4}\, tang\, \alpha = 15 \,.\, 0{,}0426 = 0{,}638 \text{ Meter.}$$

Hieraus folgt die Seillänge

$$l = 60 \left[1 + \frac{2}{3}\left(\frac{0{,}0426}{2}\right)^2\right] = 60{,}018 \text{ Meter.}$$

Ebenso ist für das ziehende Seil:

$$sin\, \alpha_1 = \frac{l\gamma}{2k_1} = \frac{60{,}018 \,.\, 8500}{2 \,.\, 12 \,.\, 1000000} = 0{,}02125;\ \alpha_1 = 1^0\, 13'$$

und

$$tang\,\alpha_1 = 0{,}02125 = 4\,\frac{h_1}{b_1}.$$

Ferner hat man die Spannweite

$$b_1 = \frac{l}{1 + \frac{2}{3}\left(\frac{2\,h_1}{b_1}\right)^2} = \frac{60{,}018}{1 + \frac{2}{3}\,0{,}010625^2} = 60{,}0136 \text{ Meter},$$

folglich

$$e = b_1 - b = 0{,}0136 \text{ Meter},$$

woraus ein Hubverlust von $2\,e = 27$ Millimeter sich ergiebt.

Die Spannweite des gezogenen Seiles ist daher

$$b_2 = b - e = 59{,}9864 \text{ Meter}$$

und berechnet sich daraus die Pfeilhöhe in der Mitte zu

$$h_2 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{3}{2}\,(l - b_2)\,b_2} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{3}{2}\,0{,}0316\,.\,59{,}986} = 0{,}8444 \text{ Meter}.$$

Hieraus folgt ferner der Aufhängewinkel α_2 aus

$$tang\,\alpha_2 = \frac{4\,h_2}{b_2} = \frac{3{,}3776}{59{,}986} = 0{,}056306;\ \alpha_2 = 3^0\ 13'.$$

Man hat daher die Horizontalspannungen

$$H_1 = \frac{G}{2\,tang\,\alpha_1} = \frac{60{,}018\,.\,8500}{2\,.\,21250}\,q = 12\,q,$$

und

$$H_2 = \frac{G}{2\,tang\,\alpha_2} = \frac{60{,}018\,.\,8500}{2\,.\,56306}\,q = 4{,}53\,q.$$

Hieraus findet sich der Seilquerschnitt zu

$$q = \frac{Q}{12 - 4{,}53} = \frac{800}{7{,}47} = 107{,}1 \text{ Quadratmillimeter}.$$

Bei 36 Drähten wäre also die Drahtstärke zu 1,95 Millimeter, entsprechend einem Querschnitte von $\frac{107{,}1}{36}$ = ca. 3 Quadratmillimeter anzunehmen.

Wenn die Drahtseile die berechnete Länge $l = 60{,}018$ Meter bei einer Temperatur von 5^0 C. hätten, so würde bei einer Temperatur von 30^0 C. die Verlängerung

$$(30 - 5)\ 0{,}0000123\ l = 0{,}0186 \text{ Meter},$$

daher die Länge $(l) = 60{,}0366$ Meter betragen. Setzt man diesen Werth in obige Formeln ein, so erhält man für den Ruhezustand:

$$(h) = 0{,}909 \text{ Meter};\ (tang\,\alpha) = 0{,}06060;\ (\alpha) = 3^0\ 28';$$

für das straffe Seil von der Spannweite $b_1 = 60{,}0136$:

$$(h_1) = 0{,}723 \text{ Meter};\ (tang\,\alpha_1) = 0{,}0481;\ (\alpha_1) = 2^0\ 45',$$

und für das gezogene Seil von der Spannweite $b_2 = 59{,}9864$:

$$(h_2) = 1{,}068 \text{ Meter};\ (tang\,\alpha_2) = 0{,}07105;\ (\alpha_2) = 4^0\ 4'.$$

Demgemäß würden die Horizontalspannungen der beiden Seile für den Fall, daß die Spannweiten derselben $b_1 = 60{,}0136$ Meter und $b_2 = 59{,}9864$ Meter betragen, sich zu

$$H_1 = \frac{G}{2\,(tang\,\alpha_1)} = 5{,}72\,q$$

und

$$H_2 = \frac{G}{2\,(tang\,\alpha_2)} = 3{,}59\,q$$

berechnen.

Es ist daraus ersichtlich, daß in dieser Stellung der Ueberschuß $H_1 - H_2 = 2{,}13\,q$ erst $0{,}285\,Q$ beträgt $\left(\frac{2{,}13}{7{,}47} = 0{,}285\right)$, daher in diesem Falle der Hubverlust noch beträchtlich größer werden muß, als er bei 5^0 C. berechnet worden.