

1. *Beispiel.* Es sei die Länge R eines zu konstruirenden einfachen Hebels $= 2000$ mm, die Zapfenbelastung $P = 2500$ kg; der Arm soll aus Gusseisen mit doppel-T-förmigem Querschnitt konstruirt werden, und eine Höhe $h_0 = 320$ mm erhalten. Nach (153) würde dafür der einfach rechteckige Querschnitt die Breite $b_0 = 2 \cdot 2500 \cdot 2000 : 320^2 \sim 98$ mm erhalten. Dies ist so viel, dass wir unbedingt nicht dabei stehen bleiben können, also die Anwendung eines Doppel-T-Querschnittes gerechtfertigt sehen. Es werde nun gemacht $c:h = 1:12$, $B:b = 4$, so wird nach Spalte 5, Zeile 7: $1:(1+\alpha) = 0,44$; mithin die Rippenbreite $b = 0,44 \cdot b_0 = 0,44 \cdot 98 = 43$ mm, die Saumnervbreite $B = 4 \cdot 44 = 176$ mm, die Nervendicke $c = \frac{1}{12} h = 320 : 12 = 27$ mm, was alles ganz brauchbare Abmessungen sind. Man könnte das Verlangen stellen, $c=b$ herauszubringen; hierfür liesse sich eine Formel entwickeln; doch kann man auch durch versuchsweise vorschreitendes Einsetzen verschiedener Werthe von $B:b$ und $c:h$ das Gewünschte erzielen. Setzt man $B:b = 5$, $c:h = 1:10$, so ergibt sich nach Spalte 7, Zeile 5: $1:(1+\alpha) = 0,34$, also $b = 0,34 \cdot 98 = 33$ mm, während $c = 320 : 10 = 32$ mm wird, also schon genügend genau mit b übereinstimmt.

2. *Beispiel.* Schmiedeiserner Träger; gefunden $b_0 = 60$ bei $h = 320$ mm. Es wird gewünscht $b = 15$ mm, d. h. $b:b_0 = 0,25$. Hierfür ergibt letzte Spalte, neunte Zeile $B = 10 \cdot 15 = 150$ mm, und erste Spalte $c = h : 16 = 320 : 16 = 20$ mm. Andere Werthe würden aus den Spalten 8, 9 und 10 zu ermitteln sein.

Zwölftes Kapitel.

K U R B E L N.

§. 165.

Verschiedene Arten von Kurbeln.

Die Kurbeln sind einfache Hebel, welche so eingerichtet sind, dass sie im Zusammenhang mit ihren Pleuelstangen ganze Kreise und Vielfache derselben durchlaufen können. Sie lassen sich in folgende vier Klassen theilen:

- 1) Stirnkurbeln,
- 2) Gegenkurbeln,
- 3) Wellenkröpfungen oder Kurbelachsen,
- 4) Exzentrische Scheiben.

Dieselben sollen hier in Kürze nacheinander behandelt werden.

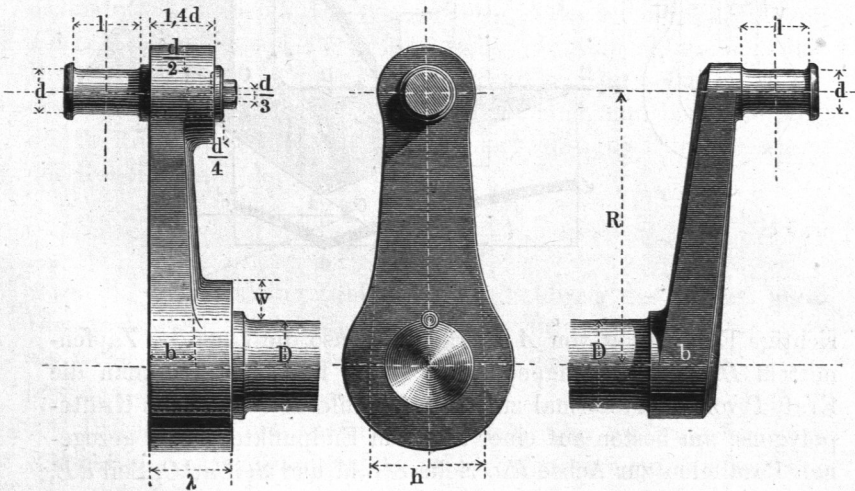
§. 166.

Die schmiedeeiserne Stirnkurbel.

Dieselbe wird ganz nach den Regeln für einfache Hebel mit Stirnzapfen (§. 159 ff.) konstruiert. Fig. 464 zeigt die gebräuchliche Form; der Arm, welcher hier in beiden Abmessungen auf $\frac{2}{3}$ verjüngt angenommen ist, hat auf der Rückseite eine Wölbung. Der Zapfenstiel ist eingeschliffen und mittelst einer Kopfschraube gesichert. Fig. 465 zeigt eine aus Einem Stück hergestellte (oder

Fig. 464.

Fig. 465.



eintrümige) Kurbel. Hier schreibt die gewählte Bundhöhe an der Welle die Armhöhe h vor. Wegen der Einpassung des Zapfenstieles beachte man das in §. 159 Gesagte.

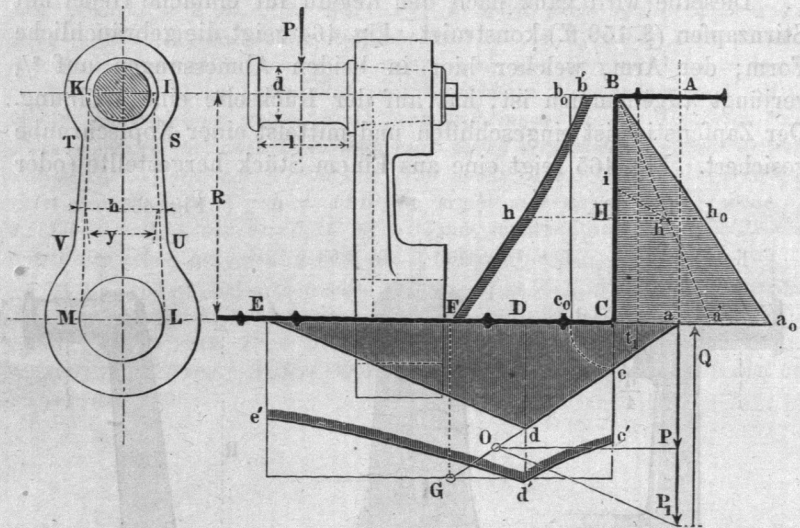
§. 167.

Graphostatische Berechnung der Stirnkurbel.

Die Kurbel ist ein so wichtiger Maschinentheil, dass sie eine sorgfältige Behandlung in hohem Grade verdient, weshalb hier die Anwendung der graphostatischen Methode auf ihre Berechnung gezeigt werden soll.

Die Achse der Stirnkurbel. Man berechne zuerst d und l , und trage dann das Schema, d. i. die Folge der neutralen Linien $ABCDE$ der Kurbel auf, wobei die Armachse BC , welche hier zunächst normal zur Achse gewählt ist, schätzungsweise in die

Fig. 466.



richtige Entfernung von A gebracht, ebenso die Lage des Zapfenmittels D vorläufig angenommen wird. Hierauf trage man die Kraft P von a aus normal zu Ea auf, wähle den Pol O des Kräftepolygons, am besten auf einer aus dem Endpunkte von P gezogenen Parallelen zur Achse Ea , ziehe Strahl und Seil adO , Seil dE , und Strahl $OP_1 \parallel dE$, so ist adE Seilpolygon für die Biegung, welche P an der Achse aCE hervorruft, das Stück PP_1 die in E anzubringende Zapfenkraft P_1 , und $P_1a = Q$ die in D nach oben wirkende Zapfenkraft. Mache ferner $aF \perp$ dem Kurbelarme R , ziehe $FG \parallel aQ$, so ist FG (vergl. §. 140) das Moment, mit welchem P die Achse auf Drehung beansprucht. Dieses Moment M_d ist mit dem biegenden Momente M_b an jeder Stelle zu einem ideellen biegenden Momente $M_i = \frac{3}{8} M_b + \frac{5}{8} \sqrt{M_b^2 + M_d^2}$ (§. 45) zusammenzusetzen; wodurch die Polygonkurve $c'd'e'$ und die Momentenfläche $Cc'd'e'E$ erhalten werden. Aus der letzteren können alsdann mit Zugrundelegung der Zapfendicke d und der Zapfenwurzelordinate t_1 die einzelnen Durchmesser der Achse nach Formel (124) berechnet werden.

Der Arm der Stirnkurbel. Verlängere Ea nach a_0 hin, verlege das Seilpolygon Dad an die Schlusslinie BC , d. h. mache $\angle a_0BC = \angle Dad$, so ist Ba_0C mit horizontalen Ordinaten die Momentenfläche für die Biegung des Kurbelarmes BC durch P . Mache ferner $Cc_0 = Bb_0 = Cc$, so stellen die Horizontalordinaten des Torsionsrechteckes Bb_0c_0C die Momente dar, mit welchen P den Kurbelarm um die als neutrale Achse angenommene BC verdreht. Dieses Moment wird wieder mit dem biegenden Momente nach der bekannten Formel zu einem ideellen biegenden Momente zusammengesetzt [$a_0a' = \frac{3}{8} a_0C$, ziehe Ba' , mache an irgend einem Punkte H das Stück $Hi = \frac{5}{8} Bb_0$, und mache $Hh = h_0h' + h'hi$], wodurch sich die Momentenfläche $Bb'h'FC$ für den Kurbelarm ergibt. Aus dieser wird nun, von d und der Wurzelordinate t_1 ausgehend, der Arm zunächst in der konoidischen Form $IKLM$ nach Formel (124) konstruiert. Darauf wähle man das Profil $STUV$ des Armes von rechteckigem Querschnitt, womit dessen Höhen h an jeder Stelle bestimmt sind, und berechne nun die Breite b für jede Stelle aus dem dort gültigen Durchmesser y des Konoids nach der Formel:

$$\frac{b}{y} = 0,6 \left(\frac{y}{h} \right)^2 \dots \dots \dots (156)$$

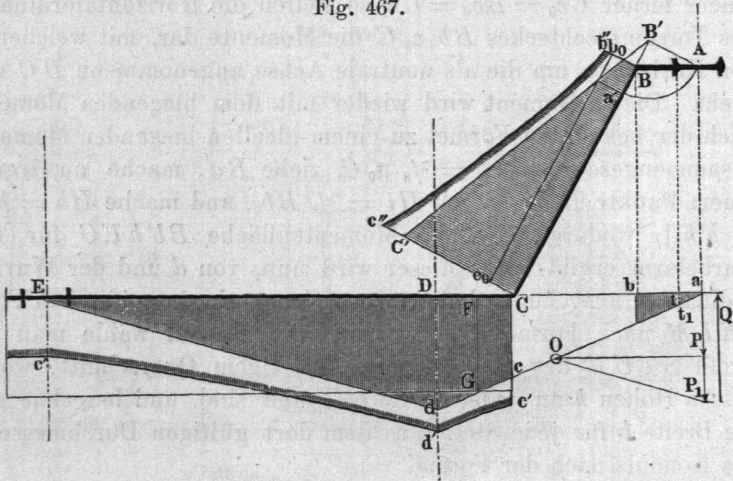
wozu die zweite kleine Zahlentafel am Schlusse des Buches gute Dienste leistet. Ergibt sich schliesslich die Lage der Achse BC als nicht gut gewählt, so wiederhole man das Verfahren mit einer besseren Annahme.

Dieses Verfahren liefert, abgesehen von einigen durchaus statthaften Vernachlässigungen, solche Abmessungen für Kurbelarm und Achse, dass deren Tragsicherheit mit derjenigen des Zapfens vollständig übereinstimmt. Durch Korrekturen werden die Formel Einzelheiten in einander übergeführt.

Die Armachse BC wurde oben normal zur Kurbelachse CE angenommen. Ein geringes Schiefstellen, wie es z. B. Fig. 463 voraussetzt, kann vernachlässigt werden; beträgt dasselbe aber mehr, etwa wie es Fig. 465 andeutet, so muss darauf Rücksicht genommen werden. Man verfähre alsdann wie folgt, Fig. 467. Das Biegungsdiagramm für die Welle der Kurbel wird wie oben entworfen, das unter ab fallende Stück desselben für den Zapfenschenkel AB benutzt, das unter CE fallende mit dem wie vorhin gesuchten Torsionsmoment FG zusammengesetzt, wodurch sich die Momentenfläche $Cc'd'e'E$ wie oben ergibt.

Der Kurbelarm wird wieder auf Biegung und Drehung beansprucht; der Hebelarm ist aber nun $B'C$, wobei AB' normal zur Armachse BC , das Biegungspolygon ein Abschnitt des Dreiecks $CB'C'$, welches bei B' den Winkel daD hat. Die Ver-

Fig. 467.



drehung geschieht mit dem Hebelarm AB' , ihr Moment ist durch die zu BC normale Ordinate des Dreiecks bei a' dargestellt, wobei $B'a' = B'A$. Die Zusammensetzung der Momente liefert die Momentenfläche $Bb''c''C$, welche wie oben benutzt wird.

§. 168.

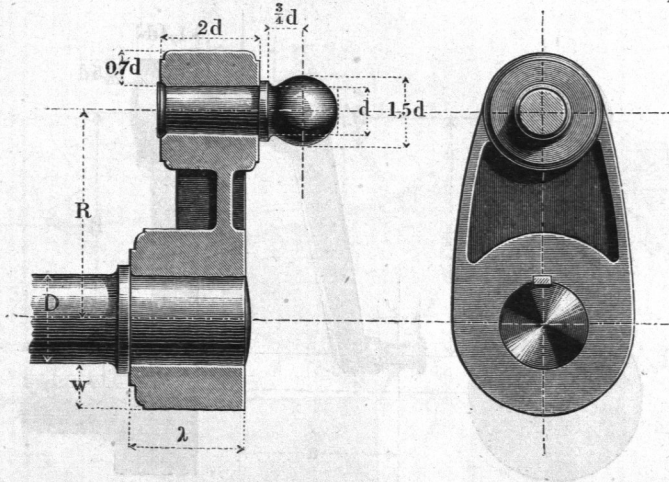
Die gusseiserne Stirnkurbel.

Statt der cylindrischen Zapfen gibt man oft den Kurbeln kugelförmige; ein solcher ist bei der gusseisernen Kurbel Fig. 468 vorausgesetzt. Die Kugel erhält eine passende Dicke, wenn man sie aus der Mitte des gleichbelasteten normalen Stirnzapfens beschreibt, ohne die Zapfenwurzel zu verdünnen. Als Zapfenbefestigung ist hier die (kalte) Vernietung des eingeschliffenen Zapfenstieles angenommen, eine sehr haltbare, neuerdings oft gebrauchte Verbindung. Der I-förmige Armquerschnitt kann mit Hülfe von Tabelle §. 164 bestimmt werden; wählt man indessen wie hier für h den äusseren Nabendurchmesser, so fallen in der Regel die Querschnittsabmessungen des Kurbelarmes bei der Rechnung so klein

aus, dass sie für die Ausführung im Gusse nicht passen, und man sie auch des guten Aussehens halber durch grössere, nach dem Gefühl gewählte ersetzen muss.

Häufig wird der gusseiserne Kurbelarm auch geradezu als

Fig. 468.



massives die Nabe mit der Zapfenhülse verbindendes Stück von rechteckigem Querschnitt ausgeführt.

Wenn man die graphostatische Methode zur Bestimmung der Momente zu Grunde legt, so sucht man zuerst den vierkantigen schmiedeisernen Arm, verwandelt ihn durch Verdoppelung der Breite (siehe §. 162) in den für Gusseisen, und diesen in den von I-förmigen Querschnitten nach §. 164.

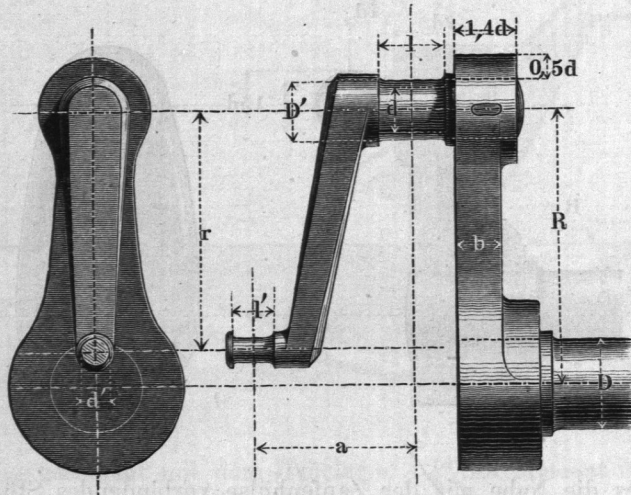
§. 169.

Die Gegenkurbel.

Eine Gegenkurbel heisst ein von dem Zapfen einer Stirnkurbel ausgehender Krummzapfen, welcher mit jener, der Hauptkurbel, die Drehachse gemeinschaftlich hat. Fig. 469 zeigt eine schmiedeisernen Gegenkurbel, welche ähnlich der Konstruktion in Fig. 465 eintheilig (eintrümig) ausgeführt ist. Gewöhnlich ist wie hier der Gegenarm dem Hauptarm entgegengerichtet, manchmal aber auch anders gestellt. Zapfen und Arm der Gegenkurbel werden wie bei einer gewöhnlichen Stirnkurbel konstruirt. Dasselbe

gilt vom Hauptarme, wenn wie gewöhnlich das Moment des Gegenzapfendruckes unbedeutend ist. Der Hauptzapfen dagegen muss besonders berechnet werden. Er wird gleichzeitig auf Drehung und Biegung beansprucht. Man verfähre nach Formel (154), und

Fig. 469.



hat zu bedenken, dass, wenn die Gegenkurbel von der Hauptkurbel aus getrieben wird, in der Mitte des Hauptzapfens das Moment der Gegenkurbel sein Maximum hat.

§. 170.

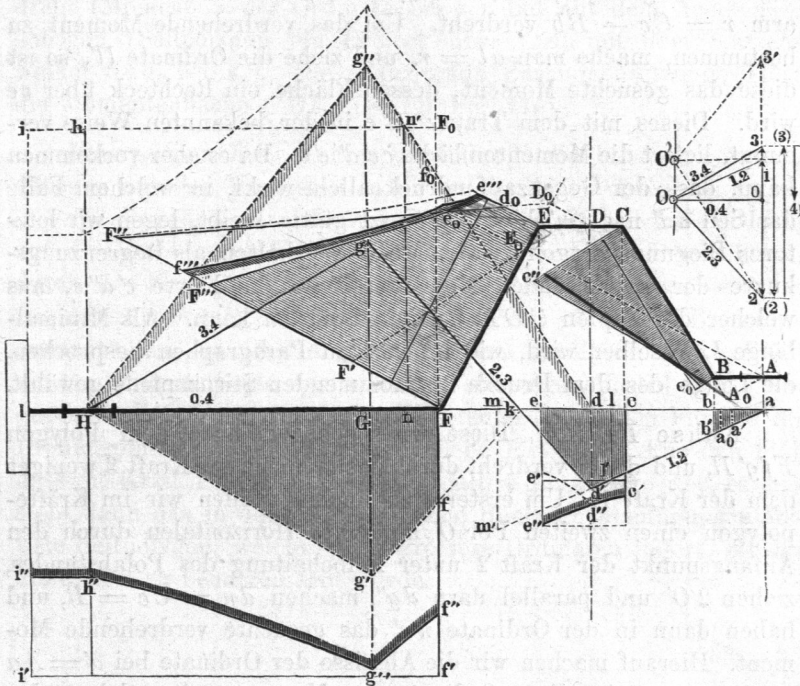
Graphostatische Berechnung der Gegenkurbel.

Das graphostatische Diagramm für eine Gegenkurbel mit schieferm Haupt- und Gegenarm ist in Fig. 470 dargestellt. Zuerst wird das Schema *ABCDEFGHI* angenommen, wobei man sich mit den Längen *AB*, *CE* und *FG* so gut es im voraus geht, nach den Längen der betreffenden Zapfen richtet. Der Druck 1 auf den Gegenzapfen ist hier dem Drucke 2 auf den Hauptzapfen entgegengesetzt angenommen.

Kräftepolygon. Nach Annahme eines Kräfteaaßstabes wird zuerst das Kräftepolygon (rechts) konstruiert. Strecke 0 bis 1 Druck 1 auf den Gegenzapfen, nach oben gerichtet, *O* Pol, auf einer durch den 0-Punkt gehenden Horizontalen gewählt, Strecke 1

bis 2 Druck 2 auf den Hauptzapfen, nach unten gerichtet. Ziehe die Strahlen $0O$, $1O$, $2O$, darauf Seil $a'd' \parallel 1O$ bis zum Schnitte d' mit der durch D gehenden Krafrichtung von 2, $d'g \parallel 2O$ bis zum Schnitte g mit der durch G gehenden Richtungsline der

Fig. 470.



Kraft 3, welche in G nach oben presst, aber noch nicht bekannt ist. Um diese, wie die in H wirkende vierte Kraft zu finden, verbinde g mit H , worauf Ha die Schlusslinie ist, nämlich horizontal ausfällt, weil wir die Schlusslinie $0O$ im Kräftepolygon von Anfang an horizontal wählten. Ziehe alsdann im Kräftepolygon $03 \parallel Hg$, so ist die Strecke 2 bis 3 die dritte Kraft, in G angreifend, nach oben gerichtet, und 3 bis 0 die vierte, in H angreifende Kraft, welche, wie das Kräftepolygon zeigt, nach unten gerichtet ist. Dabei gibt die Figur $a'd'kgH$ das Seilpolygon für das zu konstruierende System an. Bei k entsteht ein Nullpunkt (vergl. §. 132); in unserer Figur ist der Bequemlichkeit halber das Dreieck kgH nach unten in die Lage $k'g'H$ geklappt. Das gefundene Seilpolygon benutzen wir für einen Theil der Konstruktion als Momentenfläche wie folgt.

Schenkel AB . Zur Bestimmung seiner Dimensionen dient nach Berechnung des Zapfens in A aus dem Drucke 1 das Dreieck $ab'b$, beziehentlich dessen (vertikale) Ordinaten.

Zapfenstück CDE . Dasselbe wird gemäss der Momentenfläche $cd'e$ gebogen, und ausserdem durch die Kraft 1 am Hebelarm $r = Cc - Bb$ verdreht. Um das verdrehende Moment zu bestimmen, mache man $al = r$, und ziehe die Ordinate ll' , so ist diese das gesuchte Moment, dessen Fläche ein Rechteck über ce wird. Dieses mit dem Trapez $cd'e$ in der bekannten Weise vereinigt, liefert die Momentenfläche $cc'd''e'e$. Da es aber vorkommen kann, dass der Gegenzapfendruck allein wirkt, in welchem Falle das Seil ad' nach m' hin fortgesetzt gültig bleibt, legen wir letzteres Biegungspolygon zu Grunde und erhalten als Begrenzungskurve der resultierenden Momentenfläche die Kurve $c'd''e$, aus welcher der Zapfen CDE bestimmt werden kann. Als Minimallänge l desselben wird, wie im vorigen Paragraphen besprochen, die Länge des dem Drucke 2 zukommenden Stirnzapfens gewählt.

Achse $FGHI$. Diese wird gebogen nach dem Polygon $Ff'g'H$, und dabei verdreht durch das Moment der Kraft 2 weniger dem der Kraft 1. Um ersteres zu finden, wählen wir im Kräftepolygon einen zweiten Pol O' auf einer Horizontalen durch den Anfangspunkt der Kraft 2 unter Beibehaltung des Polabstandes, ziehen $2O'$ und parallel dazu dg'' , machen $dn = Cc = R$, und haben dann in der Ordinate nn' das gesuchte verdrehende Moment.* Hierauf machen wir die Abscisse der Ordinate bei $a' = Aa = R - r$, so ist diese Ordinate das Moment, mit welchem der Druck 1 die Arme rückwärts dreht. Dieselbe von nn' abgezogen, liefert die Höhe Ff' des Torsionsrechteckes $FIi'f'$, welches wir in der bekannten Weise mit der Biegungsfläche zusammensetzen und dadurch die resultierende Momentenfläche $Ff''g''h''i''I$ erhalten. — Kann der Fall eintreten, dass die Kraft 1 Null wird, was z. B. bei Gegenkurbeln für Dampfmaschinen, wo der Gegenzapfen den Dampfschieber treibt, vorgesehen werden muss, so ist als Biegungsfläche $Ff_0g''H$, als Torsionsfläche FF_0iI einzuführen, um zu sehen, ob dabei die resultierende Fläche grössere Ordinaten bekommt, welche alsdann zu benutzen sind. Dies würde z. B. bei den Annahmen in unserer Figur der Fall sein, wie das über FI ohne Buchstabenbeifügung punktirte resultierende Polygon zeigt. Das Stück HI wird, unter der Voraussetzung, dass bei I ein Kräftepaar der Torsion widersteht, nur auf Verdrehung bean-

* der Kurbel 2

spricht, weshalb das resultirende Polygon in ein Rechteck übergeht.

Gegenarm BC . Dieser wird durch die Kraft 1 mit dem Arme AA_0 , welcher ein Loth auf die Verlängerte CB ist, verdreht (Moment = der Ordinate bei a_0) und mit dem Arme A_0C gebogen (Seilpolygon ein Dreieck über CA_0 mit dem Spitzenwinkel ba_0 bei A_0). Die reduzirende Zusammensetzung liefert die Momentenfläche CBc_0c'' (vergl. Fig. 470).

Hauptarm EF . Dieser wird durch die Kraft 2 vorwärts gebogen mit den Momenten in Fläche D_0FF'' (Winkel bei $D_0 = \angle edg''$) vorwärts verdreht mit dem Arme DD_0 , welcher ein Loth auf die Verlängerte FE ist; ferner wird er rückwärts gebogen durch die Kraft 1, Momentenfläche E_0FF' , rückwärts verdreht mit dem Arme AE_0 , welcher normal auf FE steht. Die Biegemomente von einander abgezogen liefern die Fläche $Ed_0e_0F'''F$, die Drehungsmomente von einander abgezogen das über EF angegebene Rechteck; die Zusammensetzung der beiden Figuren für Drehbiegemomente die Momentenfläche $Ee'''f'''F$. Für den Fall, dass die Kraft 1 Null werden kann, fallen die Abzüge weg, es entsteht dann das in unserer Figur ohne Buchstabenbeifügung punktirtete Seilpolygon, welches hier grössere Ordinaten liefert, als das erste, also zu benutzen sein würde.

§. 171.

Die einfache Krummachse oder Wellenkröpfung.

Man unterscheidet einfache und mehrfache Wellenkröpfungen. Eine einfache Kurbel- oder Krummachse zeigt Fig. 471 (a. f. S.).

Die Konstruktion solcher Krummachsen ist für rein analytische Behandlung, wenn man nur einigermaassen genau verfahren will, sehr weitläufig, und namentlich im Verhältniss zu dem Rechnungsresultat zu umständlich, während die graphostatische Behandlung der Aufgabe sowohl sehr genau, als auch einfach und übersichtlich ist, weshalb wir diese letztere Behandlung allein hier vornehmen. In Fig. 472 (a. f. S.) zeigt $ABCDEFGH$ das Schema einer mit schiefen Armen zu konstruirenden einfachen Krummachse.

Die Kraft P , mit welcher der Kurbelzapfen gepresst wird, ist, wenn der Kolbendruck in der Richtung KM die Grösse Q hat,

Fig. 471.

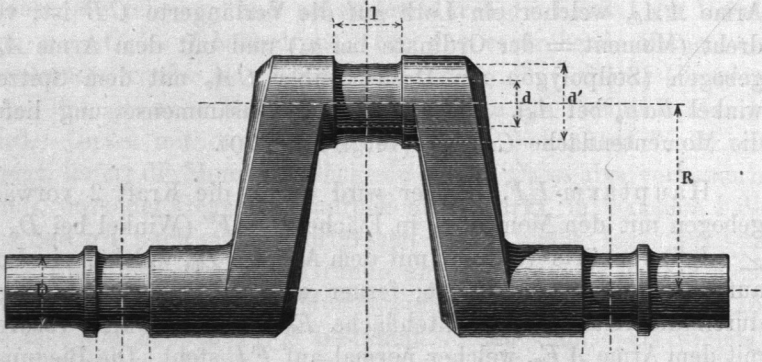
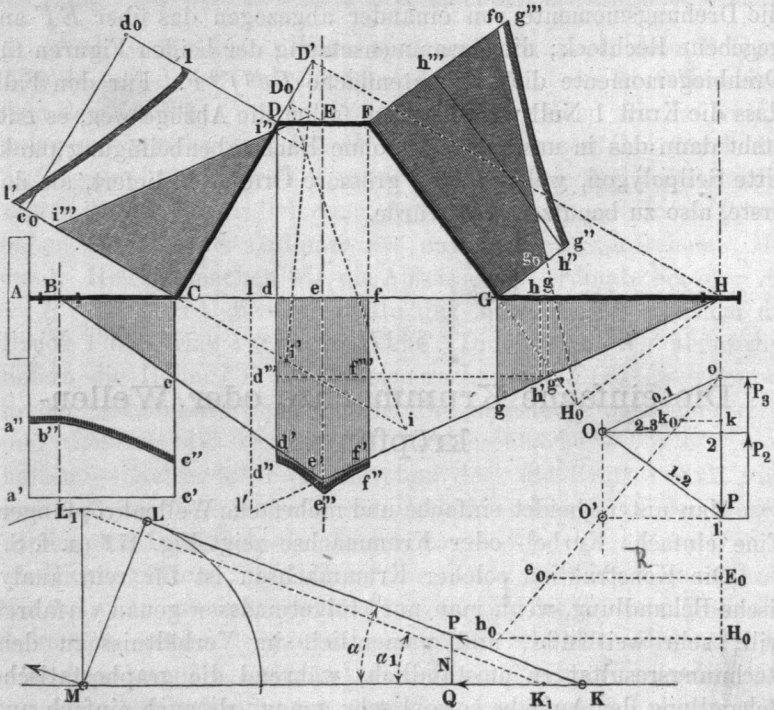


Fig. 472.



gleich $Q : \cos \alpha$, wenn α den Winkel der Pleuelstangenrichtung KL mit der Schubrichtung KM bezeichnet. Dieser Druck ist bei konstanter Kraft Q ungefähr in seinem Maximum, wenn KL normal

zu LM steht, wobei er nämlich sehr wenig verschieden ist von seinem wirklichen Maximalwerthe $Q: \cos \alpha_1$ für die Vertikalstellung ML_1 der Kurbel, so dass man jede der beiden Stellungen zur (graphischen) Aufsuchung von P ohne weiteres benutzen darf. Die Kraft bei M ist parallel und gleich P ; bei K entsteht noch ein Normaldruck $N = Q \sin \alpha$, welcher in der Stellung $K_1 L_1 M$ in seinem Maximum ist. Aus diesen Betrachtungen, welche auch für die früher behandelten Kurbeln gelten, geht hervor, dass das Moment, mit welchem der Kurbelarm, und dasjenige, mit welchem die Achse gebogen wird, als gleichzeitig ihr Maximum erreichend, und als durch denselben Druck P hervorgebracht, anzusehen ist. In unserer Aufgabe ist bei E der Kurbelzapfen, bei B und H je ein Lager angenommen, bei A ein Kräftepaar vorausgesetzt, welches der durch die Kraft P mit dem Hebelarme R hervorgebrachten Torsion widersteht. Die hier vorliegende Aufgabe hat hiernach mit der des vorigen Paragraphen grosse Aehnlichkeit; das Stück HG tritt gewissermaassen an die Stelle des dortigen Schenkels des Gegenzapfens, mit dem Unterschiede, dass die Kraft bei H nicht unabhängig variabel ist, sondern von dem Drucke P bei E abhängt.

Kräftepolygon. Um die Schlusslinie des Seilpolygones horizontal zu erhalten, ziehe man das Seil Be' nach einem beliebigen Punkte e' der verlängerten Normale Ee , verbinde e' mit H , trage nach gewähltem Kräftemaassstab die Kraft P von 0 aus abwärts auf, ziehe $0O \parallel He'$, $1O \parallel Be'$, und $O2$ normal auf P , so ist die Strecke 1 bis 2 die in B nach oben wirkende Kraft P_2 , 2 bis 0 die in H nach oben wirkende Kraft P_3 , $O2$ die Poldistanz.

Achsenschenkel HG . Derselbe wird nur auf Biegung beansprucht durch die Kraft P_3 in H . Das Dreieck HGg ist die Momentenfläche, deren Ordinaten nach Berechnung des Stirnzapfens bei H und P_3 zur Dimensionenbestimmung dienen.

Achsenschenkel BC . Momentenfläche für die Biegung ist das Dreieck BCC . Ausser der Biegung wirkt auf Verdrehung das Moment PR ; um es zu finden, mache $O'1$ normal zu P und $= O2$, ferner $E_0 e_0 \parallel O2$ und $= Ee = R$, so ist OE_0 das gesuchte Moment, welches nach $C'e'$ und $A'a'$ getragen, und mit BCC in der bekannten Weise zu einem Drehbiegemoment zusammengesetzt, die Momentenfläche $ABCe''b''a''$ liefert.

Zapfen DEF . Momentenfläche für die Biegung ist die Figur $df'f'e'd'$. Auf Verdrehung wirkt die Kraft P_3 in H mit dem Hebel-

arme $Ee = R$. Mache $Hg = Ee = R$, so ist die Ordinate gg' das gesuchte Moment, welches, nach $f'''d'''$ getragen, und mit dem vorhandenen Biegemoment zu einem Drehbiegemoment vereinigt, die Momentenfläche $df'f''e'd''$ ergibt. Die grösste Ordinate ee'' wird zu benutzen sein, wenn der Zapfen cylindrisch gemacht werden soll.

Kurbelarm GF . Er ist auf Biegung beansprucht durch die Kraft P_3 , in H_0 angreifend, wofern HH_0 normal zu FG ; es ergibt sich die Momentenfläche FGg_0f_0 , indem $\angle g_0H_0G = \angle g'Hg$ gemacht wird. Ferner bewirkt P_3 eine Verdrehung mit dem Hebelarme HH_0 ; mache $Hh = HH_0$, so ist $hh' = Gh'' = Fh'''$ das verdrehende Moment, welches mit dem bekannten Biegemoment zu einem Drehbiegemoment zusammengesetzt, die Momentenfläche $FGg''g'''$ liefert.

Kurbelarm CD . Ziehe $ED_0 \parallel HD'$ normal zu CD . Es findet (bei der Position KLM der Pleuelstange zur Kurbel) Vorwärtsbiegung durch die Kraft P , in D_0 angreifend, Rückwärtsbiegung durch die Kraft P_3 , in D' angreifend, statt; Seilpolygone hierfür sind die Dreiecke D_0Ci (mit $Ci = 0H_0$ im Kräftepolygon, woselbst $H_0h_0 = CD_0$) und $D'Ci'$; von einander abgezogen, ergeben sie die Fläche $Ci''i'''$ für die Biegung des Armes DC . Ferner geschieht eine Vorwärtsverdrehung durch die Kraft P mit dem Arme $ED_0 = kk_0$ im Kräftepolygon, also Moment Ok , Rückwärtsverdrehung durch die Kraft P_3 mit dem Hebelarme $HD' = Hl$ im Seilpolygon, also Moment l' . Die Differenz dieser Momente nach $Dd_0 = Cc_0$ auftragend, und das Torsionsrechteck mit dem Biegunsdreieck zusammensetzend, erhält man für die Drehbiegemomente die Fläche $CDI'I'$, womit nun für alle fünf Stücke des Schemas die Momentenflächen bestimmt sind. Ihre Benutzung zur Dimensionenbestimmung geschieht wie früher.

Die Figur zeigt mit Deutlichkeit die Beanspruchungen, welche die Krummchse an jedem einzelnen Punkte erfährt, und erklärt für viele Fälle praktischer Beobachtung die eigenthümliche Lage der etwaigen Bruchstellen.

Stehen beide Arme der Krummchse rechtwinklig zur Achse, so wird die Aufsuchung der Momente weit einfacher als oben. Fig. 473. $ABCDEFGH$ ist wieder das Schema, bei A wieder ein Kräftepaar zur Aufnahme des Drehmomentes PR angenommen.

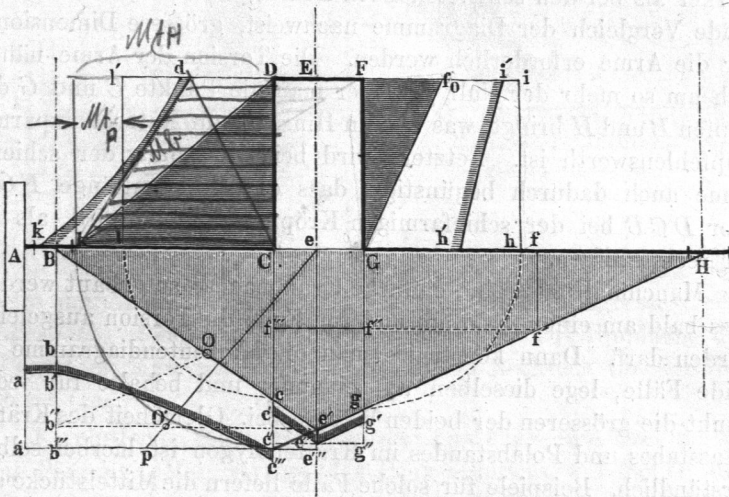
Kräftepolygon. Hier ist die Höhe ee' des wie vorhin gezogenen Dreieckes $Be'H$ als Maass der Kraft P angenommen.

$BV'' = ee'$ gemacht, $b''O \parallel e'H$, Ob normal Bb'' gezogen, worauf $b''b$ die Kraft P_3 bei H , bB die bei B , und Ob die Poldistanz darstellt.

Achsenschenkel HG . Derselbe ist nur auf Biegung beansprucht. HGg Momentenfläche.

Achsenschenkel ABC . Beanspruchung auf Biegung nach der Momentenfläche BCc , solche auf Verdrehung durch das Moment PR . Mache $e'O' \parallel CB$ und gleich der Poldistanz bO , $e''p \parallel e'O'$

Fig. 473.



und gleich $Ee = R$, so ist ee''' das gesuchte verdrehende Moment, welches für AC das Torsionsrechteck von der Höhe $Aa' = Bb''' = ee'''$ liefert. Die Zusammensetzung der biegenden und verdrehenden Momente zu Drehbiegemomenten ergibt die Momentenfläche $ABCc'''b'a$.

Zapfen DEF . Beanspruchung auf Biegung nach der Momentenfläche $CGgce$, auf Drehung durch die Kraft P_3 bei H , mit dem Arme $R = CD = Hf$, Moment $ff' = Gf'' = Cf'''$. Durch Bildung der Drehbiegemomente erhält man die Momentenfläche $CGg'e''c'$, welcher bei cylindrischen Zapfen das Rechteck von der Höhe $Gg'' = Cc'' = ee''$ zu substituieren ist.

Kurbelarm FG . Derselbe wird gebogen durch die Kraft P_3 , bei G angreifend, Momentenfläche $Gffo$, mit dem Spitzenwinkel fHf' bei G ; er wird verdreht durch dieselbe Kraft mit dem Hebelarme HG , also dem Momente $Gg = Gh = Fi$. Die Zu-

sammensetzung der biegenden und verdrehenden Momente zu Drehbiegemomenten führt zu der Momentenfläche FGH' .

Kurbelarm CD . Biegung durch P mit dem schon bekannten Momente $ee''' = Ck$ bei C . Verdrehung mit dem Momente $Cc = Cl = Dv$. Für die Drehbiegemomente liefert die Zusammensetzung der drehenden und biegenden Momente die Fläche $CDdk'$.

Bei derselben Lage von E gegen B und H wird bei der rechtwinkligen Kröpfung die Beanspruchung der Arme auf Torsion stärker als bei den schiefstehenden Armen, wodurch, wie der messende Vergleich der Diagramme nachweist, grössere Dimensionen für die Arme erforderlich werden. Die Torsion der Arme nähert sich um so mehr der Null, je näher man die Punkte C und G den Zapfen B und H bringt, was also in Hinsicht auf Materialersparniss empfehlenswerth ist. Letztere wird bei Anwendung der schiefen Arme auch dadurch begünstigt, dass die Gesamtlänge FGH oder DCB bei der schiefarmigen Kröpfung kleiner wird, als bei der rechtarmigen.

Manchmal muss eine einfache Krummachse so gebaut werden, dass bald am einen, bald am anderen Ende die Torsion ausgeleitet werden darf. Dann konstruirt man die Momentendiagramme für beide Fälle, lege dieselben auf einander und behalte für jeden Punkt die grösseren der beiden Werthe bei. Gleichheit des Kräfte- maasstabes und Polabstandes im Kräftepolygon ist hierbei selbstverständlich. Beispiele für solche Fälle liefern die Mittelstücke der Kurbelachsen für Räderschiffmaschinen mit oscillirenden Dampf- cylindern nach Penn's Anordnung, wo die Kurbel des Mittelstückes die Luftpumpe zu treiben hat. Doch ist dabei die Beanspruchung eine andere, als oben vorausgesetzt ist, und zwar kann dieselbe mit Hilfe des folgenden gefunden werden.

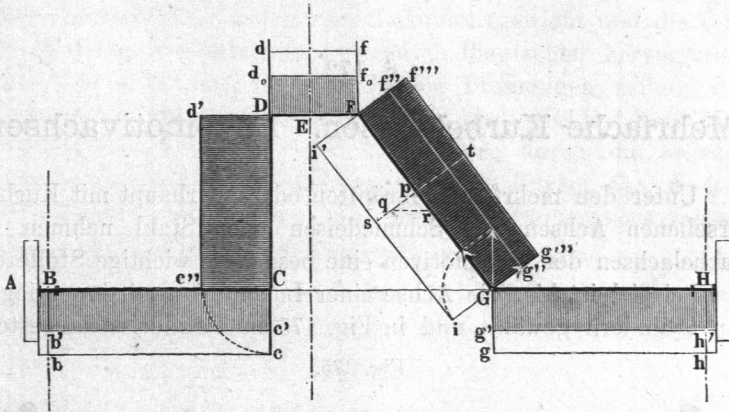
Ist, Fig. 474, durch die Krummachse von dem Schema $ABCDEFGH$, abgesehen von den bei E angreifenden Kräften, ein Kräftepaar hindurchzuleiten, welches, am Kräfte- und Seil- polygon gemessen, die Momentengrösse $Bb = Cc = Gg = Hh$ besitzt, so entstehen dadurch folgende Beanspruchungen.

Schenkel ABC . Blosser Torsion, welche, in ein Biegemoment verwandelt (s. IV, §. 16, bei $M_b = 0$), mit $Bb' = Cc' = \frac{5}{8} Bb$ aufzutragen ist.

Schenkel GH . Hier gilt dasselbe, wie bei ABC , und wird $Hh' = Gg' = Cc'$.

Zapfen DEF . Auch hier bewirkt das Kräftepaar dasselbe Drehmoment $Dd = Ff = Bb$, wie in den beiden Achsenschenkeln, und ist $Dd_0 = Ff_0 = Bb'$.

Fig. 474.



Kurbelarm CD . Hier bewirkt das Kräftepaar an jeder Stelle des Armes eine Biegung von der Momentengrösse $Cc'' = Dd' = Cc$, wobei die Biegungsebene normal zur Bildfläche fällt. Es entsteht daher als Momentenfläche ein Rechteck von der Höhe $Bb = Cc$.

Kurbelarm FG . Hier bewirkt das Paar eine Drehung und eine Biegung. Man zerlege das Paar nämlich, wie bei G angegeben, in zwei Paare, eines normal zur Armachse, das andere in die Richtung der Armachse fallend. Ersterem entspricht das Torsionsrechteck $GFf'g''$, letzterem das Biegungsrechteck $FGi'i'$, welches mit dem Drehungsrechteck zu der Momentenfläche für Drehbiegung $FGg''f''$ zusammengesetzt wird, indem man wieder $pq = \frac{5}{8} Gi, pr = \frac{3}{8} Gg'', pt = Gg' = qs + qr$ macht.

Hierbei sind wir so verfahren, als ob eine Kraft in E nicht wirke. Wenn aber eine solche vorhanden ist, suche man zuerst alle Biegungs- und Drehungsmomente, die an Fig. 474 gesuchten mit eingeschlossen, einzeln auf, addire oder subtrahire je nach ihrer Richtung die Drehmomente für jedes Achsenstück, füge ebenso für jedes derselben die biegenden Momente zusammen, unter Beachtung aber der Lage der Biegungsebenen, und vereinige endlich die so gefundenen Drehungs- und Biegungsmomente zu Drehbiegemomenten in der schon so oft erwähnten Weise, welche der Satz IV, §. 16 vorschreibt. — Die damit verbundene

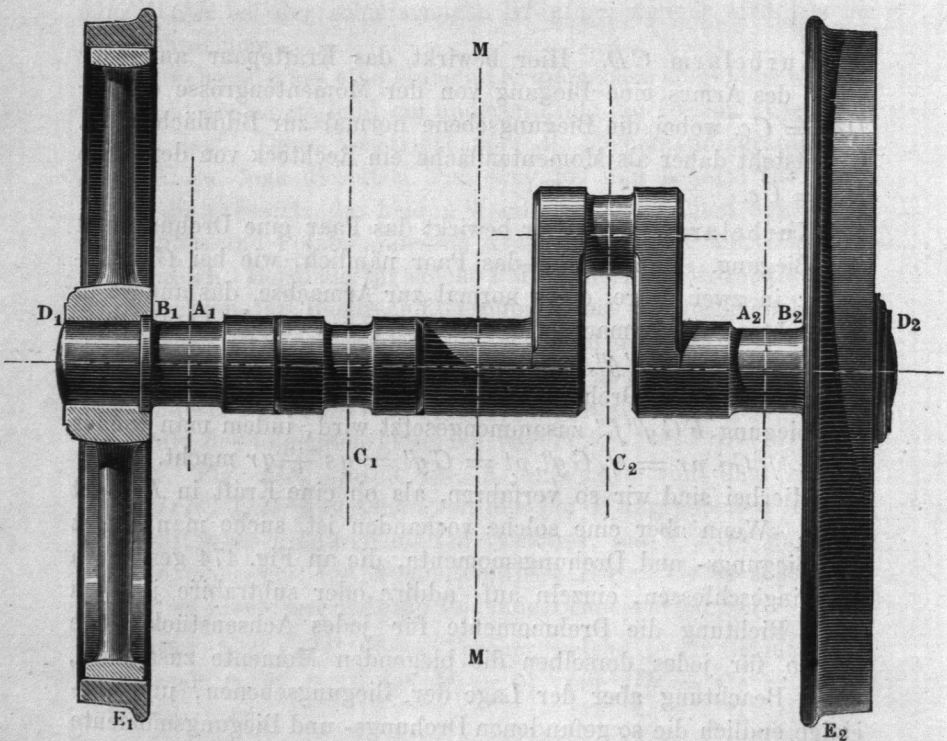
Mühe für den Entwerfenden auf dem Zeichenbureau einer Fabrik ist klein gegenüber ihrem Nutzen und gegenüber der Wichtigkeit, so schwierige Schmiedestücke, wie die Krummachsen sind, in Bezug auf ihre Beanspruchung vorher genau beurtheilen zu können.

§. 172.

Mehrfache Kurbelachsen. Lokomotivachsen.

Unter den mehrfach gekröpften oder überhaupt mit Kurbeln versehenen Achsen aus Schmiedeeisen oder Stahl nehmen die Kurbelachsen der Lokomotiven eine besonders wichtige Stelle ein. Als Beispiel ist hier die Achse einer Lokomotive mit innenliegenden Cylindern gewählt und in Fig. 475 im Grundriss dargestellt.

Fig. 475.



Beim Entwerfe des Momentenplanes geht die Grösse der Triebäder mit ein, weshalb diese in die Figur mit aufgenommen

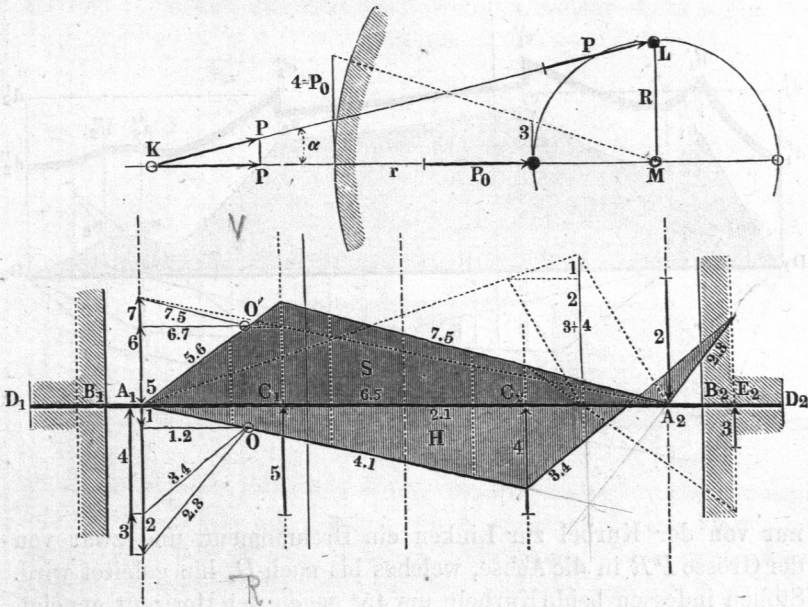
Kurvenbefahren tritt hierzu eine Horizontalkraft H , welche bis auf $0,4 Q$ gehend veranschlagt werden kann. Die Resultierende R der Kräfte Q und H bildet also die Belastung der Achse. Wir zerlegen dieselbe in die Pressungen P_1 und P_2 auf die Zapfen bei A_1 und A_2 , und in die Pressungen Q_1 und Q_2 auf die Schienenköpfe E_1 und E_2 , welche mit ihrem Gegendrucke die Achse belasten. Die Kräfte Q_1 und Q_2 werden darauf wieder nach den Nabenrändern $B_1 D_1$ und $B_2 D_2$ in je zwei Belastungen zerlegt. Hierdurch erhalten wir, von den gefundenen Kräften nur die normal zur Achse gerichteten Komponenten betrachtend, sechs Vertikalpressungen auf die Achse, nämlich 1, 2, 3 und 4 in D_1, A_1, A_2 und D_2 nach unten wirkend, und 5 und 6 in B_2 und B_1 nach oben wirkend, welche die Achse auf Biegung beanspruchen. Aus diesen Kräften ist unter Annahme einer beliebig, aber nun für die folgenden Untersuchungen ebenfalls beizubehaltenden Poldistanz von F aus das Kräftepolygon $F. 4. O$ gebildet, und daraus in der bekannten Weise das Seilpolygon oder die Momentenfläche $d_1 a_1 a_2 d_2 b_2 b_1$ gebildet, welche für jeden Punkt der Achse das in der Vertikalebene, also hier der Bildebene biegender Moment in ihrer Ordinate liefert; die ganze Fläche ist mit V bezeichnet.

Kräfte und Momente in der Horizontalebene. Fig. 477. Die Kurbelzapfenpressung P wird, wie im vorigen Paragraphen besprochen, bei der Stellung LM der Kurbel etwas grösser als der Kolbendruck P_0 , ihr Moment auf Drehung der Achse aber $(P_0 : \cos \alpha) \cdot R \cos \alpha$, d. i. $= P_0 R$, so dass unter der Annahme, dass das Rad zur Linken auf der Schiene gleite, das andere mit einer dem Moment $P_0 R$ entsprechenden Kraft an der Schiene (am Schienenstoss) hafte, der Gleitwiderstand 3 in $E_2 = (R:r) P_0$ ist. Diese Kraft 3 in E_2 angebracht, und ausserdem die durch den Druck 4 $= P_0$ hervorgerufenen Widerstände 1 und 2 an den Zapfen aufgesucht und aufgetragen, kann das Kräftepolygon $A_1 2 O$, und daraus das (hell schraffierte) Seilpolygon H für die Horizontalmomente konstruiert werden. (Die Kräfte 1 und 2 werden gefunden, indem man zunächst die Lage der Mittelkraft der gleichgerichteten Kräfte 3 und 4 sucht, wie die Figur zeigt, dann die Summe 3 + 4 aufträgt, und sie durch Zerlegung nach A_1 und A_2 in ihre Summanden 1 und 2 theilt.)

Kräfte und Momente in der schiefen Ebene der Pleuelstange. In C_1 greift die Kraft $Q = 5$ unter der durch $\angle MKL = \alpha$ angegebenen Neigung gegen die Horizontale an. Wir zerlegen sie, wie in der Figur zu sehen, in zwei ihr entgegenwirkende

Kräfte 6 und 7 in A_1 und A_2 , bilden mit der bisherigen Poldistanz das Kräftepolygon, und daraus das (dunkler schraffierte) Seilpolygon S , welches nun als Momentenfläche für die Biegungen in der schiefen Ebene der Pleuelstange dient.

Fig. 477.

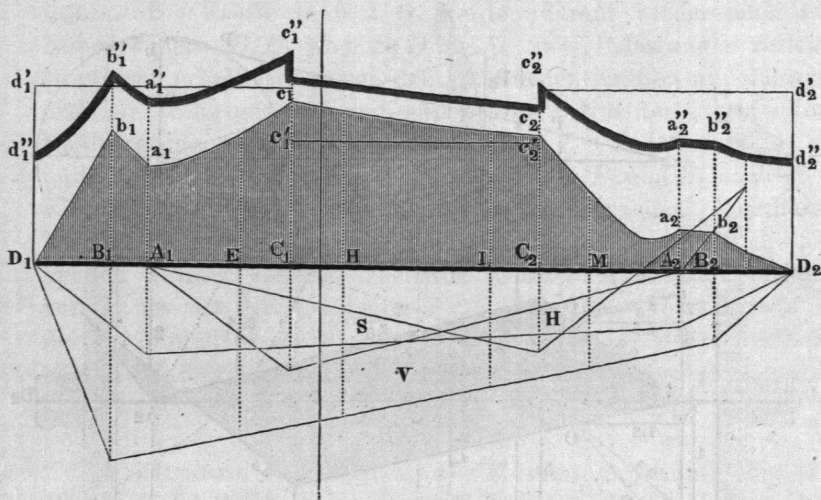


Vereinigung der drei gefundenen Seilpolygone für Biegung der Achse. Fig. 478 (a. f. S.). Da die drei oben gefundenen Beanspruchungen auf Biegung gleichzeitig die Achse angreifen, müssen wir dieselben vereinigen. Hierbei kann mit den die Momente vorstellenden Ordinaten gemäss §. 44 gerade so verfahren werden, wie mit Kräften, die zu vereinigen sind. Wir bilden daher, unter Beachtung der Richtungen für eine Aufeinanderfolge von Punkten der Achse, die zugehörigen Ordinatenpolygone, deren Schlusslinien das resultirende Moment nach Richtung und Grösse angeben. Eines dieser Ordinatenpolygone ist in Fig. 476 oben links angegeben; es gehört zur Stelle C_1 . Die Vertikalordinate V ist vertikal nach oben, die Horizontalordinate H daran anschliessend nach links, die schiefe Ordinate S , wieder anschliessend ebenfalls nach links getragen, worauf die Resultirende T , deren Ordinatenzug entgegengerichtet, in der Verbindungslinie des Anfanges von V mit dem Ende von S gefunden ist. Man erhält, so bei der ganzen Achse verfahren, die Momentenfläche $D_2 D_1 b_1 a_1 c_1 c_2 a_2 b_2$

welche die Biegungsbeanspruchungen der Achse (abgesehen von denen der Kurbelarme) angibt.

Die Drehmomente für die Achse. Bei derjenigen Stellung der Kurbeln, welche wir zu Grunde gelegt haben, kommt

Fig. 478.



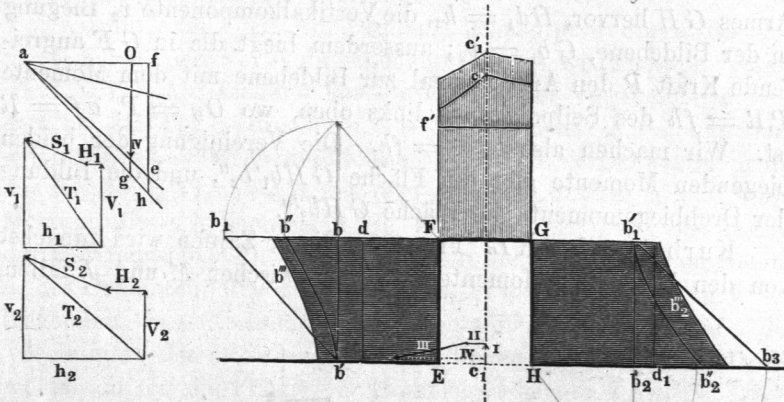
nur von der Kurbel zur Linken ein Drehmoment, und zwar von der Grösse PR in die Achse, welches bis nach D_2 hin geleitet wird. Stehen indessen beide Kurbeln um 45° gegen den Horizont geneigt, so kann in den Endschenkeln $C_1 D_1$ und $C_2 D_2$ das Moment etwa $\sqrt{2} PR \sim 1,4 PR$ werden. Es ist deshalb, obgleich bei einer solchen Kurbelstellung die Biegemomente etwas anders ausfallen, als das letzte Diagramm angibt, dieses Moment in der Grösse $D_1 d_1' = D_2 d_2'$ aufgetragen, während im Schaft $C_1 C_2$ das Moment $C_1 c_1' = C_2 c_2' = PR$ aufgetragen ist, beide in dem durch den Kräftemaassstab und die Poldistanz der früheren Polygone bestimmten Maasse.

Zusammensetzung der biegenden und drehenden Momente. Die drehenden und biegenden Momente werden nun nach Formel §. 45 zu Drehbiegemomenten zusammengesetzt, und daraus die Momentenfläche $D_2 D_1 d_1' b_1'' \dots d_2''$ erhalten, mit Hülfe deren nun die beiden Achsenschenkel $C_1 D_1$ und $C_2 D_2$, sowie der Schaft $C_1 C_2$ konstruirt werden können, nachdem man für irgend eines der vorkommenden Momente, z. B. für die Ordinate $B_1 b_1''$ den Durchmesser der Achse gesucht hat. Diejenige Hälfte des

Diagramms, welche die grösseren Ordinaten besitzt, wird für beide Achsenhälften benutzt.

Kurbelzapfen bei C_1 . Die beiden Kurbeln sind in den Figuren 479 und 480 gesondert aufgetragen, um die daran wirkenden Momente bequemer darstellen zu können. Auf den Zapfen FG bei C_1 wirken zunächst die Biegungen, welche die aus Fig. 478

Fig. 479. (Zig. 475. Kurbelzapfen.)



übertragene Momentenfläche FGc_1 angibt; ausserdem aber suchen sämtliche Kräfte zur Linken, bei E angreifend, den Zapfen zu verdrehen. Wir suchen daher die Resultante dieser genannten Kräfte. Vertikal wirken die Kräfte 1, 2 und 6 aus Fig. 476; ihre algebraische Summe ist die nach oben gerichtete Vertikalkraft I. Horizontal, rückwärts gerichtet, wirkt die Kraft 1 aus Fig. 477, als Nr. II in unsere Figur eingetragen. Schräge nach unten rückwärts presst die Kraft 6 aus Fig. 477, als Nr. III hier eingetragen; die (nicht eingetragene) Schlusslinie von C_1 aus bis ans Ende von III gibt die Mittelkraft, ihre Horizontalkomponente IV bewirkt Verdrehung des Zapfens FG mit dem Hebelarme $EF = R$. Wir machen nun, oben links, $aO =$ der Polidistanz, tragen IV von O aus nach unten, ziehen $aIVe$, machen $af = R$, so ist der Abschnitt fe des Perpendikels aus f das drehende Moment Ff' . Das Torsionsrechteck mit der Biegungsfläche FGc_1 vereinigt, liefert die Momentenfläche FGc_1' .

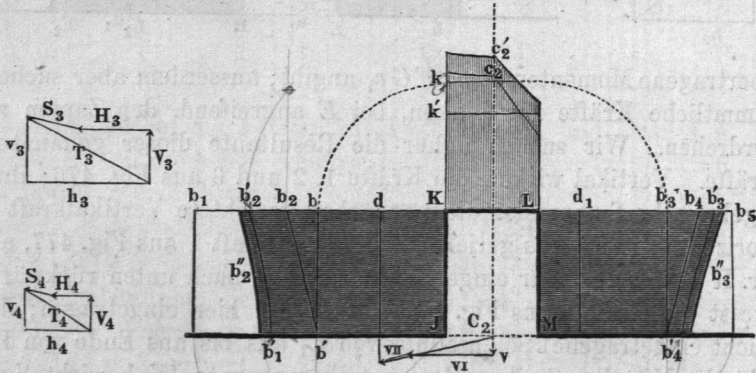
Kurbelarm EF . Für die Stelle E ist links das Ordinatenpolygon $V_1H_1S_1T_1$ verzeichnet. Die Horizontalkomponente h_1 des resultirenden Momentes T_1 verdreht den Arm EF , $F\bar{D} = h_1$; die Vertikalkomponente v_1 ruft eine Biegung des Armes in der Bildebene hervor, $Fb = v_1$; ausserdem biegt die Kraft IV, bei E

angreifend, den Arm normal zur Bildebene, mit dem Momente $b b_1 = (F d_1)$ in F . Die Zusammensetzung der biegenden Momente liefert die Fläche $EFb'b''$, welche, mit dem Torsionsrechteck EFd zusammengesetzt, die resultierende (Drehbiegemomente angegebende) Fläche EFb''' ergibt.

Kurbelarm GH . Das Ordinatenpolygon $V_2 H_2 S_2 T_2$ gilt für die Stelle H . Die Horizontalkomponente h_2 ruft Verdrehung des Armes GH hervor, $H d_1 = h_2$, die Vertikalkomponente v_2 Biegung in der Bildebene, $G b_1 = v_2$; ausserdem biegt die in GF angreifende Kraft P den Arm normal zur Bildebene mit dem Momente $PR = fh$ des Seilpolygones links oben, wo $Og = P$, $af = R$ ist. Wir machen also $b_2' b_3 = fh$. Die Vereinigung der beiden biegenden Momente gibt die Fläche $GHb_1' b_2''$, und die Bildung der Drehbiegemomente die Fläche GHb_2''' .

Kurbelzapfen KL . Fig. 480. Dieser Zapfen wird zunächst von den biegenden Momenten, welche zwischen M und J fallen,

Fig. 480.



beansprucht, weshalb die diese Beanspruchung ausdrückende Momentenfläche KLc_2 aus Fig. 478 hierhergetragen ist. Sämtliche Kräfte, welche zur Rechten von C_2 angreifen, suchen den Zapfen zu verdrehen. Vertikal nach unten wirkt die Resultante aus 3, 4 und 5, Fig. 476, als V hier eingetragen, horizontal rückwärts die Resultante (Differenz) von 2 und 3, Fig. 477, als VI hier eingetragen, schief rückwärts die Kraft 7 aus Fig. 477, hier Nr. VII. Von der Schlusslinie des erhaltenen Kräftepolygons V, VI, VII , wirkt die Vertikalkomponente, bei M angreifend, auf Verdrehung, indem nicht zu vergessen ist, dass die Kurbel JK horizontal liegt. Das Moment dieser Vertikalkomponente hat die Grösse kk' . Auf

hier nicht besonders angegeben.

Verdrehung des Zapfens wirkt aber noch ferner das durch die Achse von links her eingeleitete Kräftepaar (vergl. das bei Fig. 474 besprochene) mit dem schon aus Fig. 478 bekannten Momente, durch $C_1 c_1'$ aus Fig. 478, hier Kk , wovon nun, da das vorhin gefundene Drehmoment kk' in entgegengesetzter Richtung wirkt, kk' abzuziehen ist, sich also schliesslich für den Zapfen KL das Drehmoment Kk' herausstellt, welches, mit dem Biegemomente vereinigt, die Momentenfläche KLc_2' ergibt.

Kurbelarm JK . Auf Drehung beansprucht durch das Moment Kd = der Vertikalkomponente v_3 des Ordinatenpolygones $V_3 H_3 S_3 T_3$. Auf Biegung beansprucht in der Vertikalebene laut dem bei Fig. 474 besprochenen mit dem Momente $Kb = Kk$; ferner in derselben Weise und Richtung durch die Vertikalkomponente der Kräfte V, VI und VII mit dem Momente bb_2 bei K (siehe die Messung dieses Momentes in Fig. 479 links oben), auf Biegung in der Horizontalebene beansprucht durch die Horizontalkomponente h_3 des Ordinatenpolygons, Moment bb_1 . Die Zusammensetzung der biegenden Momente liefert die Momentenfläche $JKb_1'b_2'$, und die Vereinigung der darin angegebenen Biegemomente mit den Drehmomenten Kd die Fläche der Drehbiegemomente JKb_2'' .

Kurbelarm LM . Drehendes Moment Ld_1 = der Vertikalkomponente v_4 des Ordinatenpolygons für die Stelle M . Biegendes Moment $Lb_3 = Kk$, desgleichen $b_3 b_4$ bei L wegen der Vertikalkraft in M , biegendes Moment $b_3 b_5$ = der Horizontalkomponente h_4 des Ordinatenpolygones. Die Vereinigung der biegenden Momente liefert die Fläche MLb_3' , die Zusammensetzung dieser mit dem Drehmoment die resultierende Fläche MLb_3'' .

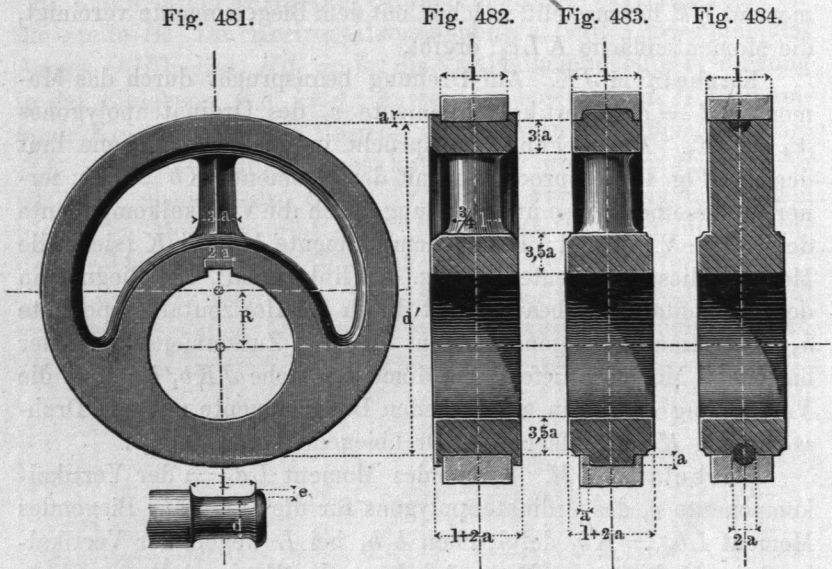
Von den vier Kurbelarmen erfährt JK am Zapfen, GH an der Achse die stärkste Beanspruchung. Man lege daher die Flächen JKb_2'' und GHb_2''' aufeinander, und benutze jeweilen die grösste Ordinate. Die resultierenden Dimensionen werden darauf nach vereinfachenden Abrundungen für alle vier Arme benutzt. — Wie man sieht, bereitet der Momentenplan Mühe, das Resultat ist aber auch insofern lohnend, als man schliesslich die ganze Achse mit einer Spannung = $\frac{2}{3}$ des Tragmoduls, also 10 k bei Schmiedeisen, 15 bis 16 k bei Gussstahl, wie solche bei guten Ausführungen vorkommen, unbesorgt konstruieren kann.

Die Lokomotivachse mit aussenliegenden Kurbeln erheischt eine andere Behandlung als die oben behandelte, doch lassen sich ohne grosse Schwierigkeit die angegebenen Verfahrungsweisen entsprechend umformen, um auch für diese das Diagramm zu erhalten.

§. 173.

Die exzentrische Scheibe.

Wird bei einer Kurbel von der Armlänge R und der Wellendicke D die Zapfendicke d' soviel erweitert, dass sie $> D + 2 R$



wird, so kann die Welle durch den Zapfen gesteckt werden und dieser heisst dann eine exzentrische Scheibe, ein Exzentrisk oder Exzenter. Die einfacheren Konstruktionen derselben zeigen die vorstehenden Figuren. Am praktischsten für die gewöhnlichen Verhältnisse ist in Hinsicht auf das Einpassen des Gurtes die Form in Fig. 483, indem bei derselben die beiden Zargen des Ringes einen Oelbehälter bilden, welcher die Scheibe vortrefflich in der Oelung erhält.

Die Scheibenbreite oder Zapfenlänge nehme man nicht unter der Länge l des (beigezeichneten) gleichwerthigen Stirnzapfens, desjenigen also, welcher dem Zapfendruck entspricht; aus der Anlaufhöhe e desselben leitet sich diejenige für die Scheibe ab aus:

$$a = 1,5 e = 5 + \frac{7}{100} l \dots \dots (157)$$

auf welche Zahl die noch übrigen Abmessungen grösstentheils bezogen sind.

Bei Wellen mit Kurbelkröpfungen oder anderen vorspringenden festen Theilen können die exzentrischen Scheiben oft nicht

4 Seite 258 (88)

aufgestreift werden, wenn sie wie oben angegeben konstruirt sind; man fertigt sie dann aus zwei Theilen, die man durch Schrauben verbindet. Soll ein Exzentrik besonders wenig über die Welle vorspringen, so legt man seine Befestigungsnahe neben die eigentliche Kurbelscheibe, wobei man ihr die nöthige Wanddicke $3,5 a$ ungehindert geben kann.

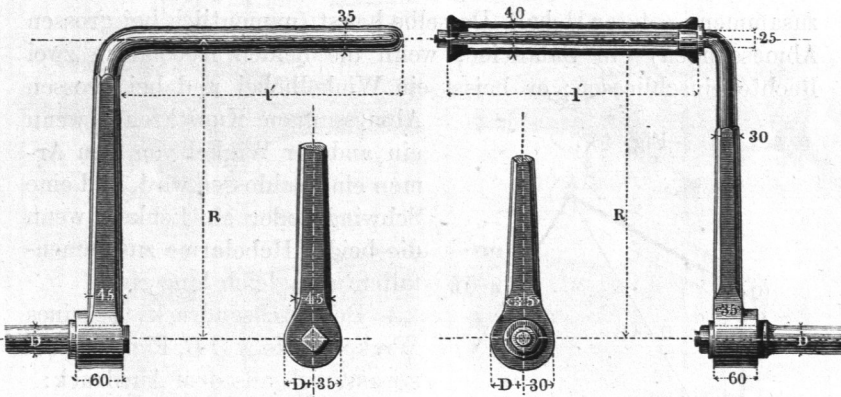
§. 174.

Handkurbeln.

Bei den Handkurbeln ist der Stirnzapfen als Handgriff geformt. Die folgenden Figuren zeigen zwei gebräuchliche Handkurbelkonstruktionen, Fig. 485 zweimännische, Fig. 486 einmännische

Fig. 485.

Fig. 486.



Kurbel. Man nehme für die in Buchstaben beige-schriebenen Abmessungen:

| für 2 Mann: | für 1 Mann: |
|------------------------|--------------------|
| $R = 360$ bis 450 mm | 300 bis 400 mm |
| $l = 400$ „ 480 mm | 300 „ 330 mm |
| $D = 40$ „ 45 mm | 30 „ 35 mm. |

Handkurbeln, die an entgegengesetzten Enden einer Welle stehen sollen, werden am besten unter einem Winkel von 120° gegeneinander versetzt.