

viel, dass wir unbedingt nicht dabei stehen bleiben können, sondern behufs Verkleinerung der Breite, unter Beibehaltung der Höhe h_0 , einen Iförmigen Querschnitt anwenden wollen. Es werde nun gemacht $\frac{c}{h} = \frac{1}{12}$, $\frac{B}{b} = 4$, so wird nach Spalte 5, Zeile 7: $\frac{1}{1+a} = 0,44$; mithin die Rippenbreite $b = 0,44 \cdot b_0 = 0,44 \cdot 98 = 43\text{mm}$, die Saumnervenbreite $B = 4 \cdot 44 = 176\text{mm}$, die Nervendicke $c = \frac{h}{12} = \frac{320}{12} = 27\text{mm}$, was alles ganz brauchbare Abmessungen sind. Man könnte das Verlangen stellen, $c = b$ herauszubringen; hierfür liesse sich eine Formel entwickeln; jedoch kann man auch leicht durch versuchsweises Einsetzen verschiedener Werthe von $\frac{B}{b}$ und $\frac{c}{h}$ das Gewünschte erzielen. Setzt man $\frac{B}{b} = 5$, $\frac{c}{h} = \frac{1}{10}$, so ergibt sich nach Spalte 7, Zeile 5: $\frac{1}{1+a} = 0,34$, also $b = 0,34 \cdot 98 = 33\text{mm}$, während $c = \frac{320}{10} = 32\text{mm}$ wird, also schon genügend genau mit b übereinstimmt.

XVI. KURBELN.

§. 182.

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) Excentrische Scheiben.

Dieselben sollen hier in Kürze nacheinander behandelt werden.

§. 183.

Die schmiedeiserne Stirnkurbel.

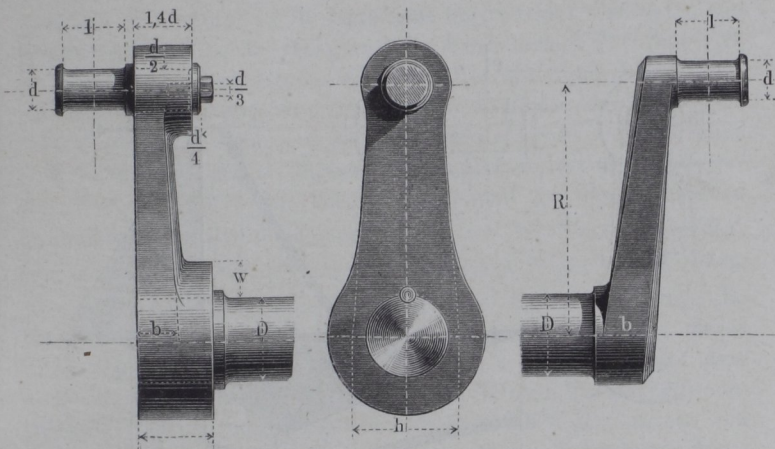
Dieselbe wird ganz nach den Regeln für einfache Hebel mit Stirnzapfen (§. 169 ff.) construirt. Fig. 269 und 270 gebräuchliche

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. 271 zeigt eine aus einem Stück hergestellte (oder

Fig. 269.

Fig. 270.

Fig. 271.



eintrummige) Kurbel. Hier schreibt die gewählte Anlaufhöhe an der Welle die Armhöhe h vor; b wird deshalb nach §. 178 bestimmt.

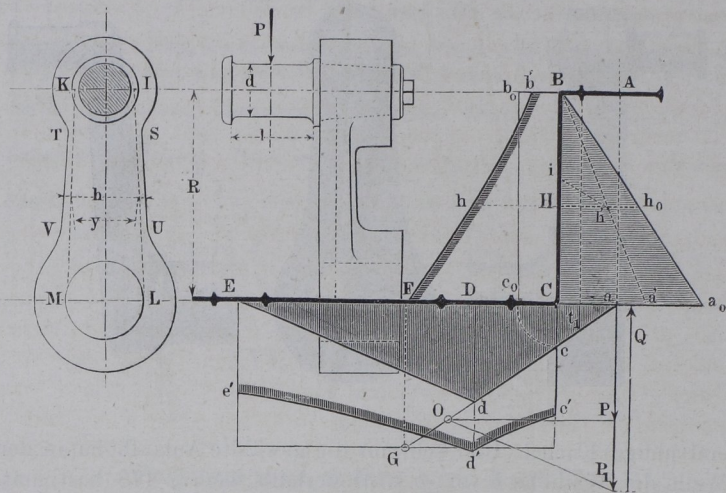
§. 184.

Graphostatische Berechnung der Stirnkurbel.

Die Kurbel ist ein so wichtiger Maschinenteil, dass sie eine sorgfältige Behandlung in hohem Grade verdient, weshalb hier die Anwendung der graphostatischen Methode auf ihre Berechnung gezeigt werden soll, welche bis zu den verwickelten Beanspruchungen der mehrfachen Achsenkröpfungen ihre Trefflichkeit bewährt. Für den sich Einübenden ist zu rathen, die nachfolgenden Constructionen, nacheinander an vollständigen Beispielen durchzumachen, damit er die nicht ganz unerheblichen Schwierigkeiten, welche vor allem Aufmerksamkeit beim Arbeiten erfordern, stufenweise kennen und überwinden lerne. Wir behandeln ausser der Kurbel- (d. i. Hebel-) Achse auch den Arm derselben.

Die Achse der Stirnkurbel. Man berechne zuerst aus dem Drucke P auf den Kurbelzapfen, dessen Durchmesser d und Länge 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. 272.



richtige Entfernung von A gebracht, ebenso die Lage des Zapfennmittels 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 $adeE$ 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 $aF =$ dem Kurbelarme R , ziehe $FG \parallel aP$, so ist FG (vergl. §. 52) das Moment, mit welchem P die Achse auf Drehung beansprucht (vergl. §. 74). Dieses Moment M_a ist mit dem biegenden Momente M_b an jeder Stelle zu einem ideellen biegenden Momente $M_i = \sqrt[3]{8} M_b + \sqrt[5]{8} \sqrt{M_b^2 + M_a^2}$ (siehe Nro. IV., §. 16), wie schon in §. 74 gezeigt, zusammenzusetzen, wodurch die Polygoncurve $c'd'e'$ 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 (90) berechnet werden.

Der Arm der Stirnkurbel. Verlängere Ea nach a_0 hin, verlege das Seilpolygon Dad an die Schlusslinie BC , d. h. mache $\angle a_0 BC = \angle Dad$, so ist $Ba_0 C$ 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 $Bb_0 c_0 C$ 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 $[\overline{a_0 a'} = \frac{3}{8} \overline{a_0 C}$, ziehe Ba' , mache an irgend einem Punkte H das Stück $Hi = \frac{5}{8} \overline{Bb_0}$, ziehe oder messe $h'i$, und mache $\overline{Hh} = \overline{h_0 h'} + \overline{h' i}$], wodurch sich die Momentenfläche $Bb'hFC$ für den Kurbelarm ergibt. Aus dieser wird nun, von d und der Wurzelordinate t_1 ausgehend, der Arm zunächst in der conoidischen Form $IKLM$ nach Formel (90) construirt. 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 Conoids nach der Formel:

$$\frac{b}{y} = 0,6 \left(\frac{y}{h} \right)^2. \quad \dots \quad (213)$$

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, wenn nöthig, das Verfahren mit einer besseren Annahme. Die Entfernung des Punktes E von D ist ohne Einfluss auf die Dimensionen des Armes der Kurbel.

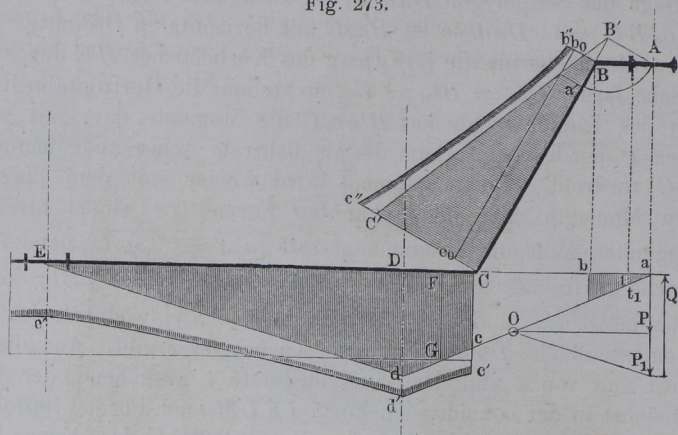
Dieses Verfahren liefert, abgesehen von einigen durchaus statthaften Vernachlässigungen, solche Abmessungen für Kurbelarm und Achse, dass deren Tragsicherheit mit derjenigen des Zapfens vollständig übereinstimmt. Will man mehr oder weniger Sicherheit anwenden, so lege man nur einen ideellen Zapfen von grösserer oder geringerer Sicherheit zu Grunde.

Die Armachse BC wurde oben normal zur Kurbelachse CE angenommen. Ein geringes Schiefstellen, wie es z. B. Fig. 269 voraussetzt, kann vernachlässigt werden; beträgt dasselbe aber

mehr, etwa wie es Fig. 271 andeutet, so muss darauf Rücksicht genommen werden. Man verfähre alsdann wie folgt, Fig. 273.

Das Biegungsdiagramm für die Welle der Kurbel wird wie oben entworfen, das unter ab fallende Stück desselben für den

Fig. 273.



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

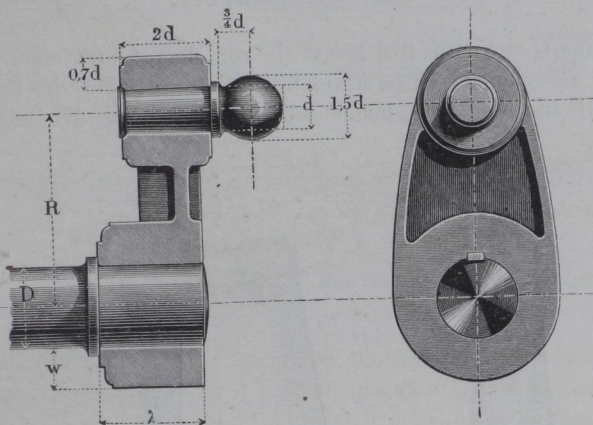
Bemerkung. Der Kurbelzapfen wird bei Rummangel, und in dem Wunsche, einen kleinen Pleuelkopf anwenden zu können, häufig mit kleinerem Längenverhältniss als 1,5 ausgeführt, auch sogar bei Anwendung von Stahl als Zapfenmaterial. Man sollte dies nicht zu weit treiben, da die Abnutzung immer dadurch vergrößert wird; jedoch geht erfahrungsgemäss diese Zapfenverkürzung bei sorgfältiger Oelung immerhin an, während sie bei Zapfen an Achsen und Wellen sich nicht bewährt. Dies ist aus dem fortwährenden Wechsel der Druckrichtungen zu erklären, derzufolge das Oel sich immer wieder in der jeweilig ungepressten Schale verbreiten kann.

§. 185.

Die gusseiserne Stirnkurbel.

Statt der cylindrischen Zapfen gibt man oft den Kurbeln kugelförmige; ein solcher ist bei der gusseisernen Kurbel Fig. 274

Fig. 274.



gewählt. Die Kugel erhält eine passende Dicke, wenn man sie 1,5mal so dick als den gleichbelasteten normalen Stirnzapfen macht. Auf letzteren (vom Durchmesser d) werden denn nach wie vor die Abmessungen bezogen, gerade wie es oben (§. 170 ff.) gezeigt wurde. Als Zapfenbefestigung ist hier die (kalte) Verniethung des eingeschliffenen Zapfenstieles angenommen, eine sehr haltbare, neuerdings oft gebrauchte Verbindung. Der I-förmige Armquerschnitt kann mit Hilfe von Tabelle §. 181 bestimmt werden; wählt man indessen wie hier für h den äusseren Nabendurchmesser, so fallen in der Regel die Querschnittabmessungen des Kurbelarmes bei der Rechnung so klein aus, dass sie für die Ausführung im Gusse nicht passen, und man sie des guten Aussehens halber durch grössere, nach dem Gefühl gewählte ersetzen muss.

Häufig wird der gusseiserne Kurbelarm auch geradezu als massives die Nabe mit der Zapfenhülse verbindendes Stück von rechteckigem Querschnitt ausgeführt.

Wenn man die graphostatische Methode zur Bestimmung der

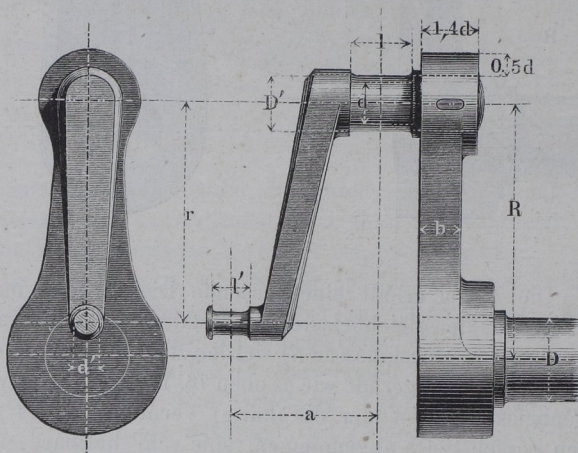
Momente zu Grunde legt, so sucht man zuerst den vierkantigen schmiedeisernen Arm, verwandelt ihn durch Verdopplung der Breite (s. §. 179) in den für Gusseisen, und diesen in den von I-förmigen Querschnitten nach §. 180 und 181.

§. 186.

Die Gegenkurbel.

Eine Gegenkurbel heisst ein von dem Zapfen einer Stirnkurbel ausgehender Krummzapfen, welcher mit jener, der Hauptkurbel, die Drehachse gemeinschaftlich hat. Fig. 275 zeigt eine

Fig. 275.



schmiedeiserne Gegenkurbel, welche ähnlich der Construction in Fig. 271 eintheilig (eintrumig) 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 construiert. 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. Um die verwickelten Rechnungen zu umgehen, verfähre man entsprechend den Angaben in §. 74, wie folgt:

Es sei:

d' die Dicke des Gegenzapfens, welche dem dort wirkenden Drucke entsprechend gewählt ist, l' dessen Länge,
 r die vom Hauptzapfen aus gemessene Armlänge der Gegenkurbel,

a der Abstand der Mittelebenen der beiden Zapfen,
 D' der Durchmesser, L' die Länge des Hauptzapfens,
 d der Durchmesser des dem Hauptzapfendruck entsprechenden normalen Stirnzapfens, l dessen Länge,

so mache man zunächst (Schmiedeeisen als Material vorausgesetzt) $L' = l = 1,5 d$ (§. 41), berechne sodann zuerst D' aus der Formel:

$$\frac{D'}{d'} = \sqrt[3]{\frac{2a}{l'}} \quad (214)$$

(welche mit (84) übereinstimmt) und darauf aus der Formel:

$$\frac{D'}{d'} = 0,94 \sqrt[3]{\frac{r}{d'}} \quad (215)$$

welche den 1,17fachen Werth der zweiten Spalte der Tabelle §. 173 liefert, und behalte den grösseren der beiden gefundenen Werthe bei.

Beispiel. Gegeben $d = 60^{mm}$, $l = 90^{mm}$, $d' = 30^{mm}$, $l' = 45^{mm}$,
 $r = 330^{mm}$, $a = 180^{mm}$, so ist D' nach (214) $= 30 \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 180}{45}} = 30 \cdot 2,0$
 $= 60^{mm}$ und nach (215) $D' = 0,94 \cdot 30 \sqrt[3]{\frac{330}{30}} = 28,2 \cdot 2,2 = 63^{mm}$. Der
 letztere, hier nur wenig höhere Werth wird beibehalten.

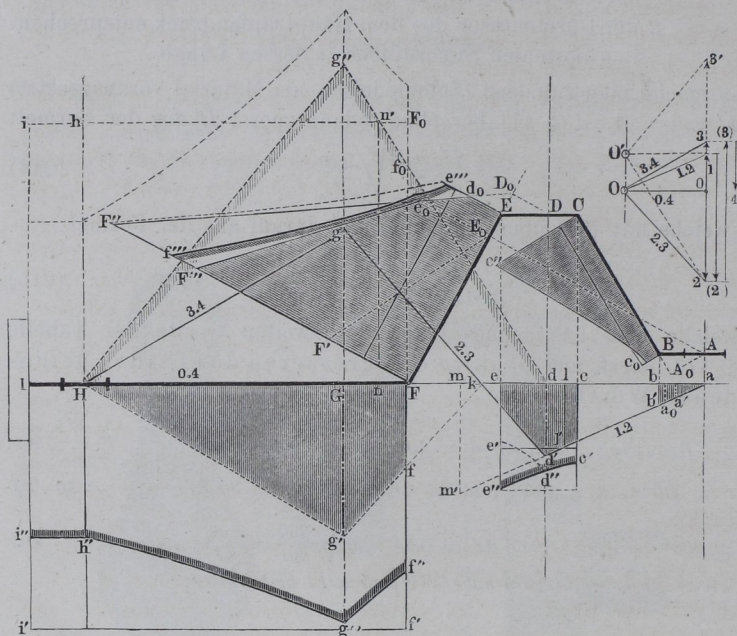
§. 187.

Graphostatische Berechnung der Gegenkurbel.

Das graphostatische Diagramm für eine Gegenkurbel mit schiefelem Haupt- und Gegenarm ist in Fig. 276 (a.f.S.) dargestellt. Zuerst wird das Schema $ABCDEFGH I$ 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 Kräftemaasstabes wird zuerst das Kräftepolygon (rechts) construiert. Strecke 0 bis 1 Druck 1 auf den Gegenzapfen, nach oben gerichtet, O Pol, auf einer durch den O -Punkt gehenden Horizontalen gewählt, Strecke 1 bis 2 Druck 2 auf den Hauptzapfen, nach unten gerichtet. Ziehe

Fig. 276.



die Strahlen $0O$, $1O$, $2O$, darauf Seil $ad' \parallel 1O$ 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 Richtungslinie der 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 ge-

richtet ist. Dabei gibt die Figur $ad'kgH$ das Seilpolygon für das zu construirende System an. Bei k entsteht ein Nullpunkt (vergl. §. 58); in unserer Figur ist der Bequemlichkeit halber das Dreieck kgH nach unten in die Lage $kg'H$ geklappt. Das gefundene Seilpolygon benutzen wir für einen Theil der Construction als Momentenfläche wie folgt.

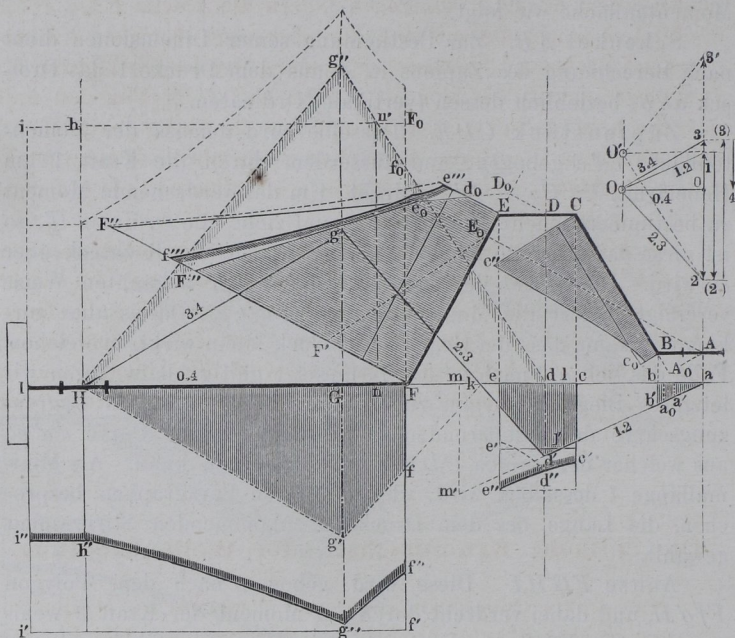
Schenkel AB . Zur Bestimmung seiner Dimensionen dient nach Berechnung des Zapfens in A aus dem Drucke 1 das Dreieck $ab'b$, beziehlich dessen (vertikale) Ordinaten.

Zapfenstück CDE . Dasselbe wird gemäss der Momentenfläche $cd'e$ gebogen, und ausserdem durch die Kraft 1 am Hebelarm $r = \overline{Cc} - \overline{Bb}$ 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 $cd'd''e'e$. 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 Begrenzungscurve der resultirenden Momentenfläche die Curve $c'd''e''$, 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 $Ffg'H$, und dabei verdreht durch das Moment der Kraft 3 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 $dn = \overline{Cc} = R$, und haben dann in der Ordinate nn' das gesuchte verdrehende Moment. Hierauf machen wir die Abscisse der Ordinate bei $a' = \overline{Aa} = R - r$, 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 resultirende 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 Bie-

gungsfläche $Ff_0g''H$, als Torsionsfläche FF_0iI einzuführen, um zu sehen, ob dabei die resultirende 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

Fig. 277.



ohne Buchstabenbeifügung punktirt resultirende Polygon zeigt. Das Stück HI wird, unter der Voraussetzung, dass bei I ein Kräftepaar der Torsion widersteht, nur auf Verdrehung beansprucht, 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 baa_0 bei A_0). Die reducirende Zusammensetzung liefert die Momentenfläche CBc_0c'' (vergl. Fig. 279).

Hauptarm EF . Dieser wird durch die Kraft 2 vorwärts

gebogen mit den Momenten in Fläche $D_0 FF''$ (Winkel bei $D_0 = \angle edg''$) vorwärts verdreht mit dem Arme $\overline{DD}_0$, welcher ein Loth auf die Verlängerte FE ist; ferner wird er rückwärts gebogen durch die Kraft 1, Momentenfläche $E_0 FF'$, rückwärts verdreht mit dem Arme AE_0 , welcher normal auf FE steht. Die Biegemomente von einander abgezogen liefern die Fläche $Ed_0 e_0 F''' F$, 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 punktierte Seilpolygon, welches hier grössere Ordinaten liefert, als das erste, also zu benutzen sein würde.

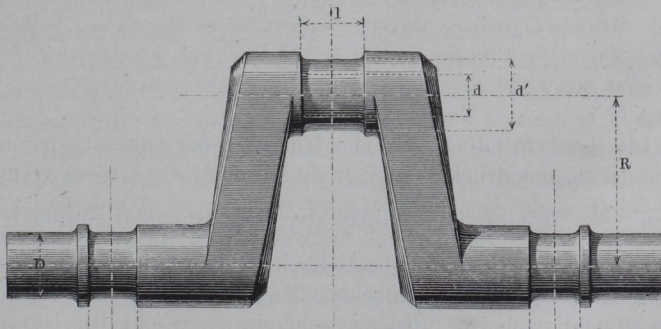
Nach einiger Einübung macht man die vorbeschriebenen Operationen leicht und schnell. Die Benutzung des, wie man sieht, äusserst lehrreichen Diagrammes, und die Verwandlung der Querschnitte geschieht wie oben besprochen. Sind Haupt- und Gegenarm normal zur Achse gerichtet, so wird die Aufgabe um ein gutes Stück leichter, man sehe hierfür den folgenden Paragraphen.

§. 188.

Die einfache Krummachse oder Wellenkröpfung.

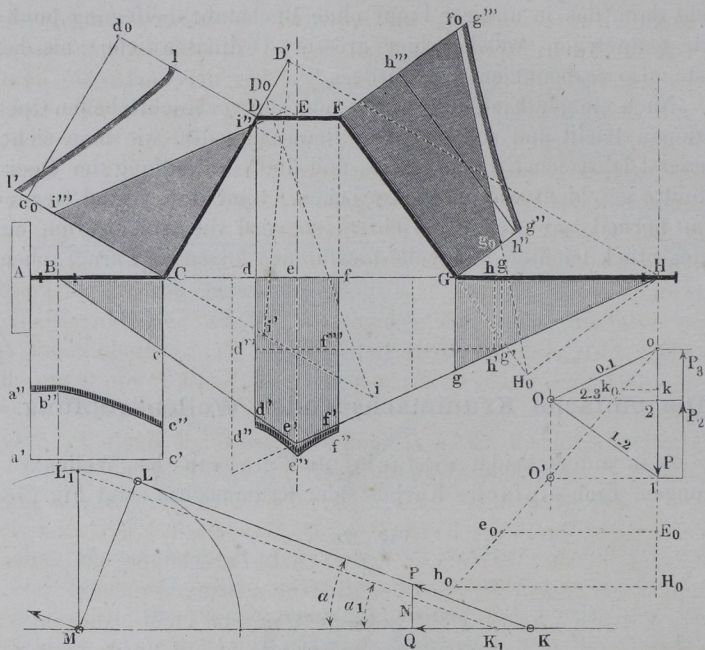
Man unterscheidet einfache und mehrfache Wellenkröpfungen. Eine einfache Kurbel- oder Krummachse zeigt Fig. 278.

Fig. 278.



Die Construction solcher Krummachsen ist für rein analytische Behandlung, wenn man nur einigermaassen genau verfahren will, sehr weitläufig, und namentlich im Verhältniss zu dem Rechnungsergebniss 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. 279 zeigt $ABCDEF GH$ das Schema einer mit schiefen Armen zu construierenden einfachen Krummachse.

Fig. 279.



Die Kraft P , mit welcher der Kurbelzapfen gepresst wird, ist, wenn der Kolbendruck in der Richtung KM die Grösse Q hat, gleich $\frac{Q}{\cos \alpha}$, wenn α den Winkel der Pleuelstangenrichtung KL mit der Schubrichtung KM bezeichnet. Dieser Druck ist bei constanter Kraft Q ungefähr in seinem Maximum, wenn KL normal zu LM steht, wobei er übrigens sehr wenig verschieden ist von

seinem Werthe $\frac{Q}{\cos \alpha_1}$ für die Vertikalstellung ML_1 der Kurbel, so dass man die letztere Stellung zur (graphischen) Aufsuchung von P ohne weiteres benutzen darf. Die Kraft bei M ist parallel und gleich P ; bei K entsteht noch ein Normaldruck $N = Qtg \alpha$, 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 gewissermassen 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 $0E_0$ das gesuchte Moment, welches nach Cc' und Aa' getragen, und mit BCC in der bekannten Weise zu einem Drehbiegemoment zusammengesetzt, die Momentenfläche $ABCC''b''a''$ liefert.

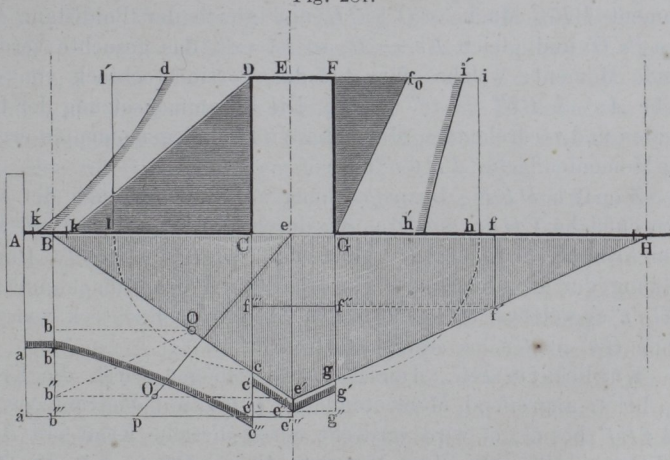
Zapfen DEF . Momentenfläche für die Biegung ist die Figur $dff'e'd'$. Auf Verdrehung wirkt die Kraft P_3 in H mit dem Hebelarme $Ee = R$. Mache $Hg = Ee = R$, so ist die Ordinate

gung durch die Kraft P_3 , in D' angreifend, statt; Seilpolygone hierfür sind die Dreiecke $D_0 C i$ und $D' C i'$; von einander abgezogen, ergeben sie die Fläche $C i'' i'''$ für die Biegung des Armes DC . Ferner geschieht eine Vorwärtsverdrehung durch die Kraft P mit dem Arme $ED_0 = k k_0$ im Kräftepolygon, also Moment $0 k$, Rückwärtsverdrehung durch die Kraft P_3 mit dem Hebelarme $HD' = H_0 h_0$ im Kräftepolygon, also Moment $0 H_0$. Die Differenz dieser Momente nach $D d_0 = C c_0$ auftragend, und das Torsionsrechteck mit Biegungsdreieck zusammensetzend, erhält man für die Drehbiegemomente die Fläche $CD I I'$, womit nun für alle fünf Stücke des Schemas die Momentenflächen bestimmt sind. Ihre Benutzung zur Dimensionenbestimmung geschieht wie früher.

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

Stehen beide Achsen der Krummachse rechtwinklig zur Achse e , so wird die Aufsuchung der Momente weit einfacher als oben. Fig. 281. $AB C D E F G H$ ist wieder das Schema, bei A wieder ein Kräftepaar zur Aufnahme des Drehmomentes $P R$ angenommen.

Fig. 281.



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

ten Momente $ee'' = Ck$ bei C . Verdrehung mit dem Momente $Cc = Cl = Dl'$. 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 construiren man die Momentendiagramme für beide Fälle, lege dieselben aufeinander und behalte für jeden Punkt die grösseren der beiden Werthe bei. Gleichheit des Kräftemaassstabes und Polabstandes im Kräftepolygon ist hierbei selbstverständlich. Beispiele für solche Fälle liefern die Mittelstücke der Kurbelachsen für Räderschiffmaschinen mit oscillirenden Dampfcylindern 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. 283 (a. f. S.), durch die Krummachse von dem Schema $ABCDEFGH$, abgesehen von den bei E angreifenden Kräften, ein Kräftepaar hindurchzuleiten, welches, am Kräfte- und Seilpolygon gemessen, die Momentengrösse $Bb = Cc = Gg = Hh$ besitzt, so entstehen dadurch folgende Beanspruchungen.

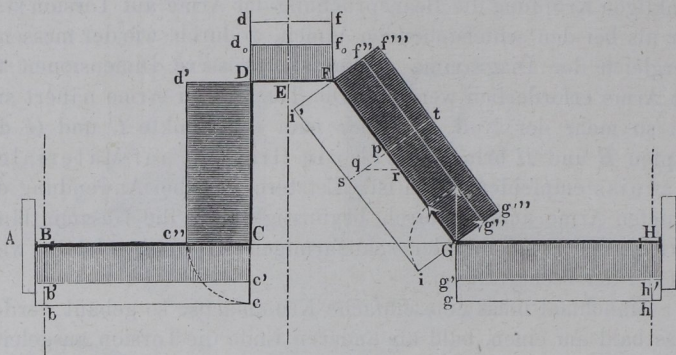
Schenkel ABC . Bloss Torsion, welche, in ein Biegemoment verwandelt (s. IV, §. 16, bei $M_b = 0$) mit $Bb' = Cc' = \frac{5}{8} Bb$ aufzutragen ist.

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 $Dd_0 = Ff_0 = Bb'$.

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 $Bb = Cc$.

Fig. 283.



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 $FGgi'$, welches mit dem Drehungsrechteck zu der Momentenfläche für Drehbiegung $FGg''f'''$ zusammengesetzt wird, indem man wieder $pq = \frac{5}{8} Gi$, $pr = \frac{5}{8} Gg''$, $pt = Gg'' = qs + qr$ macht.

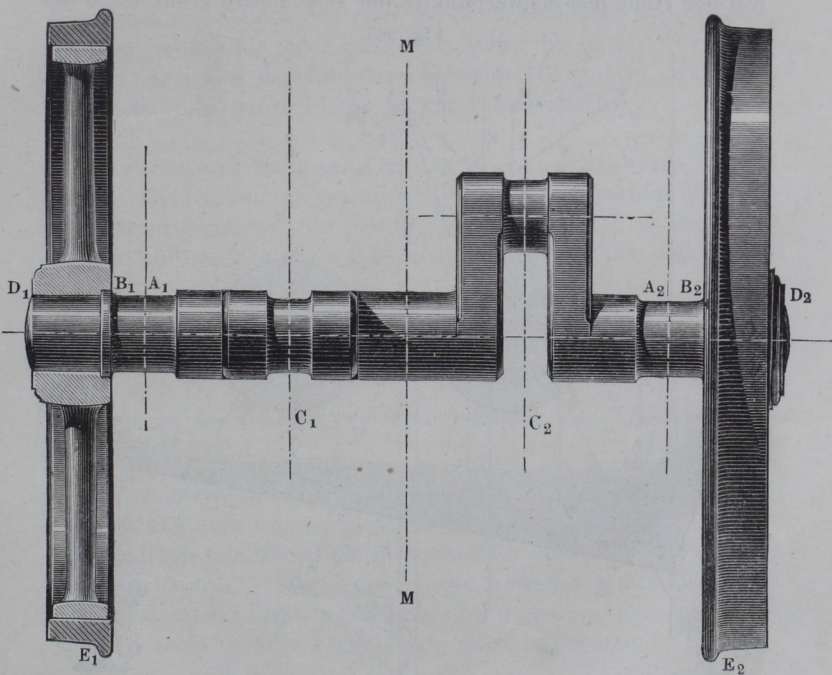
Hierbei sind wir so verfahren, als ob eine Kraft in E nicht wirke. Wenn aber eine solche vorhanden ist, suche man zuerst alle Biegungs- und Drehungsmomente, die an Fig. 283 gesuchten mit eingeschlossen, einzeln auf, addire oder subtrahire je nach ihrer Richtung die Drehmomente für jedes Achsenstück, füge ebenso für jedes derselben die biegenden Momente zusammen, unter Beachtung aber der Lage der Biegungsebenen (V, §. 16), 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.

§. 189.

Mehrfache Kurbelachsen. Lokomotivachsen.

Unter den mehrfach gekröpften oder überhaupt mit Kurbeln versehenen Achsen aus Schmiedeisen oder Stahl nehmen die Kurbelachsen der Lokomotiven eine besonders wichtige Stelle ein. Ihre Beanspruchung ist so sehr zusammengesetzt, dass die analytische Behandlung derselben für den praktischen Techniker geradezu unbrauchbar, weil im Verhältniss zum Resultat zu schwerfällig ist. Die nachfolgende graphostatische Behandlung der Aufgabe wird denjenigen, welcher sich an den vorstehenden einfacheren Constructionen geübt hat, mit Sicherheit und Klarheit zum Ziele führen. Als Beispiel ist hier die Achse einer Lokomotive mit innenliegenden Cylindern gewählt und in Fig. 284 im Grundriss dargestellt.

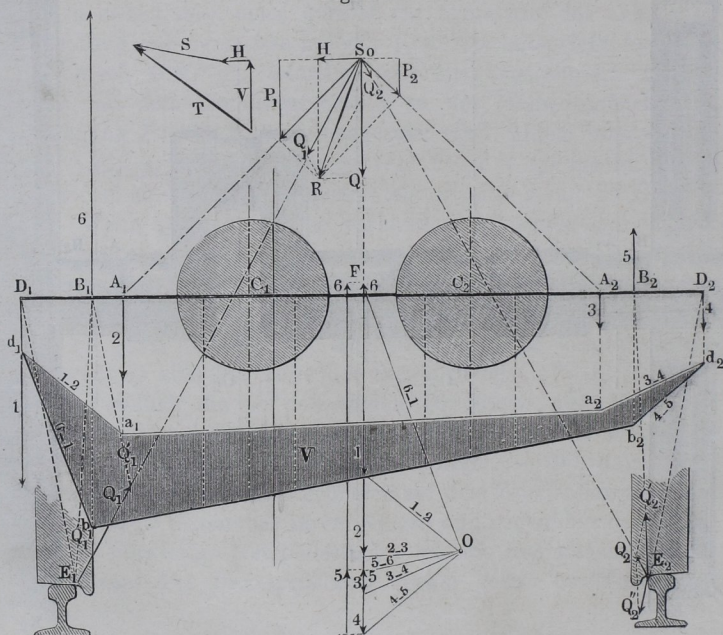
Fig. 284.



Beim Entwurfe des Momentenplanes geht die Grösse der Triebäder mit ein, weshalb diese in die Figur mit aufgenommen sind. C_1 , C_2 sind die Cylindermittel, bei A_1 und A_2 die Zapfenlager. B_1D_1 und B_2D_2 die Ränder der Radnaben; die bei C_1 und C_2 liegenden Kurbeln sind rechtwinklig zu einander gestellt. Es finden nun bei der Stellung, welche die Achse in Fig. 284 einnimmt, drei Belastungen der Achse statt: 1. diejenige durch die Pressungen in der Vertikalebene, welche das Lokomotivgewicht und die seitliche Wirkung der Schienen auf die Radflantschen hervorrufen; 2. diejenige durch horizontal wirkende Pressungen seitens des Kolbendruckes auf die Kurbel C_2 und auf die Räder durch den Schienenwiderstand (Adhäsion); 3. diejenige durch die schräge gerichtete Pressung der Pleuelstange auf die Kurbel C_1 . Andere nebensächliche Pressungen, wie die der Steuerungsexcenterstangen u. s. w., vernachlässigen wir, und betrachten zuvörderst die drei Beanspruchungen gesondert.

Kräfte und Momente in der Vertikalebene. Fig. 285. Auf der Höhe des Schwerpunktes der Lokomotive greift in S_0 der

Fig. 285.



auf die Kurbelachse kommende Antheil Q des Gewichtes der Lokomotive an. Durch das Schlingern und die Centrifugalkraft beim Curvenbefahren tritt hierzu eine Horizontalkraft H , welche bis auf $0,4 Q$ gehend veranschlagt werden kann. Die Resultirende 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 Componenten beachtend, 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 biegende Moment in ihrer Ordinate liefert; die ganze Fläche ist mit V bezeichnet.

Kräfte und Momente in der Horizontalebene. Fig. 286 (a.f.S.). Die Kurbelzapfenpressung P wird, wie im vorigen Paragraphen besprochen, bei der Stellung $I M$ der Kurbel etwas grösser als der Kolbendruck P_0 , ihr Moment auf Drehung der Achse aber

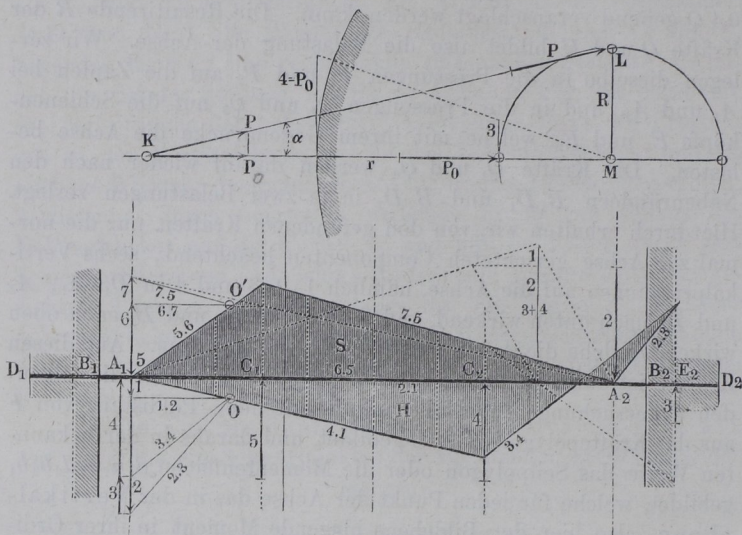
$\frac{P_0}{\cos \alpha} \cdot R \cos \alpha$, d. i. $= P_0 R$, so dass unter der Annahme, dass das

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 Gleitungswiderstand 3 in $E_2 = \frac{R}{r} P_0$ 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 construirt 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 $3 + 4$ auf-

trägt, und sie durch Zerlegung nach A_1 und A_2 in ihre Summanden 1 und 2 theilt.)

Fig. 286.

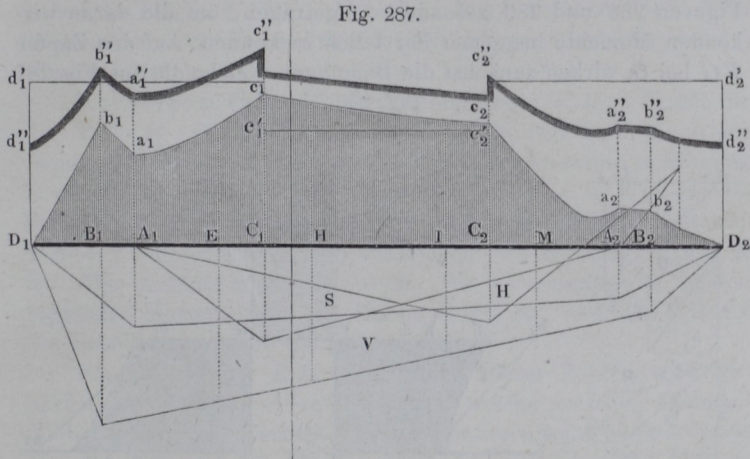


Kräfte und Momente in der schiefen Ebene der Pleuelstange. In C_1 greift die Kraft $P = 5$ unter der durch $\angle MKL = \alpha$ angegebenen Neigung gegen die Horizontale an. Wir zerlegen sie, wie in der Figur zu sehen, in zwei ihr entgegengewirkende Kräfte 6 und 7 in A_1 und A_2 , bilden mit der bisherigen Poldistanz das Kräftepolygon, und daraus das (dunkler schraffierte) Seilpolygon S , welches nun als Momentenfläche für die Biegungen in der schiefen Ebene der Pleuelstange dient.

Vereinigung der drei gefundenen Seilpolygone für Biegung der Achse. Fig. 287. 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 IV, §. 16 gerade so verfahren werden, wie mit Kräften, die zu vereinigen sind. Wir bilden daher, unter sorgfältiger Beachtung der Richtungen, für eine enge Aufeinanderfolge von Punkten der Achse die zugehörigen Ordinatenpolygone, deren Schlusslinien das resultierende Moment nach Richtung und Grösse angeben. Eines dieser Ordinatenpolygone

ist in Fig. 285 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 entgegen gerichtet, in die 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.

Fig. 287.



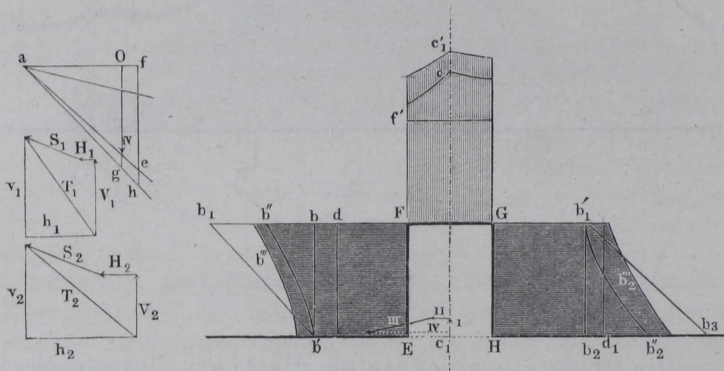
Die Drehungsmomente für die Achse. Bei derjenigen Stellung der Kurbeln, welche wir zu Grunde gelegt haben, kommt nur von der Kurbel zur Linken ein Drehmoment, und zwar von der Grösse PR in die Achse, welches bis nach D_2 hin geleitet wird. Stehen indessen beide Kurbeln um 45° gegen den Horizont geneigt, 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 Schafte $C_1 C_2$ 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 V, §. 16 zu Drehbiegemomenten zusammengesetzt, und daraus die Momentenfläche $D_2 D_1 d_1'' b_1'' \dots d_2''$ erhalten, mit Hilfe deren nun die beiden Achsenschenkel $C_1 D_1$ und $C_2 D_2$, sowie der Schaft $C_1 C_2$ construirt 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 Diagrammes, welche die grösseren Ordinaten besitzt, wird für beide Achsenhälften benutzt.

Kurbelzapfen bei C_1 . Die beiden Kurbeln sind in den Figuren 288 und 289 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. 287

Fig. 288.



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. 285; ihre algebraische Summe ist die nach oben gerichtete Vertikalkraft I. Horizontal, rückwärts gerichtet wirkt die Kraft 1 aus Fig. 286, als Nro. II in unsere Figur eingetragen. Schräge nach unten rückwärts presst die Kraft 6 aus Fig. 286, als Nro. III hier eingetragen; die (nicht eingetragene) Schlusslinie von C_1 aus bis ans Ende von III gibt die Mittelkraft, ihre Horizontalcomponente IV bewirkt Verdrehung des Zapfens FG mit dem Hebelarme $EF = R$. Wir machen nun, oben links, $aO =$ der Poldistanz, 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 $F'Gc_1$ vereinigt liefert die Momentenfläche $F'Gc_1'$.

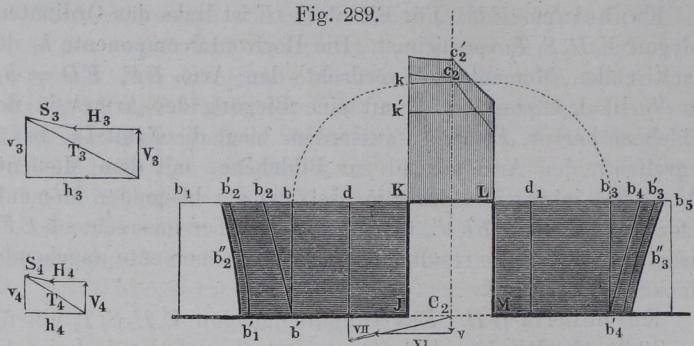
Kurbelarm EF . Für die Stelle E ist links das Ordinatenpolygon $V_1H_1S_1T_1$ verzeichnet. Die Horizontalcomponente h_1 des resultirenden Momentes T_1 verdreht den Arm EF , $FD = h_1$; die Vertikalcomponente v_1 ruft eine Biegung des Armes in der Bildebene hervor, $Fb = v_1$; ausserdem biegt die Kraft IV , bei E angreifend, den Arm normal zur Bildebene, mit dem Momente $bb_1 = Fd_1$ in F . Die Zusammensetzung der biegenden Momente liefert die Fläche $EFb'b''$, welche, mit dem Torsionsrechteck EFd zusammengesetzt, die resultirende (Drehbiegemomente angehende) Fläche EFb''' ergibt.

Kurbelarm GH . Das Ordinatenpolygon $V_2H_2S_2T_2$ gilt für die Stelle H . Die Horizontalcomponente h_2 ruft Verdrehung des Armes GH hervor, $Hd_1 = h_2$, die Vertikalcomponente v_2 Biegung in der Bildebene, $Gb_1 = v_2$; 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. 289. Dieser Zapfen wird zunächst von den biegenden Momenten, welche zwischen M und J fallen, beansprucht, weshalb die diese Beanspruchung ausdrückende Momentenfläche KLc_2 aus Fig. 287 hierhergetragen ist. Sämmtliche 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. 285, als V hier eingetragen, horizontal rückwärts die Resultante (Differenz) von 2 und 3, Fig. 286, als VI hier eingetragen, schief rückwärts die Kraft 7 aus Fig. 286, hier Nro. VII. Von der Schlusslinie des erhaltenen Kräftepolygons V, VI, VII, wirkt die Vertikalcomponente, bei M angreifend, auf Verdrehung, indem nicht zu vergessen ist, dass die Kurbel JK horizontal liegt. Das Moment dieser Vertikalcomponente hat die Grösse kk' . Auf Verdrehung des Zapfens wirkt aber noch ferner das durch die Achse von links her eingeleitete Kräftepaar (vergl. das bei Fig. 283 besprochene) mit dem schon aus Fig. 287 bekannten Momente, durch C_1c_1' aus Fig. 287, 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.

Fig. 289.



Kurbelarm JK . Auf Drehung beansprucht durch das Moment $Kd =$ der Vertikalcomponente v_3 des Ordinatenpolygons $V_3H_3S_3T_3$. Auf Biegung beansprucht in der Vertikalebene laut dem bei Fig. 283 besprochenen mit dem Momente $Kb = Kk$; ferner in derselben Weise und Richtung durch die Vertikalcomponente der Kräfte V , VI und VII mit dem Momente bb_2 bei K (siehe die Messung dieses Momentes in Fig. 288 links oben), auf Biegung in der Horizontalebene beansprucht durch die Horizontalcomponente 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 Vertikalcomponente v_4 des Ordinatenpolygons für die Stelle M . Biegendes Moment $Lb_3 = Kk$, desgleichen b_3b_4 bei L wegen der Vertikalkraft in M , biegendes Moment $b_3b_3 =$ der Horizontalcomponente h_4 des Ordinatenpolygons. Die Vereinigung der biegenden Momente liefert die Fläche MLb_3' , die Zusammensetzung dieser mit dem Drehmoment die resultirende 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 resultirenden Dimensionen werden darauf nach vereinfachenden Abrundungen für alle vier Arme benutzt. — Wie man sieht, bereitet der Momentenplan für eine solche Achse

einige Mühe, und erfordert namentlich grosse Aufmerksamkeit in der Behandlung der einzelnen Fragen; das Resultat ist aber auch insofern äusserst 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 unbesorgt construiren kann, wie denn solche auch bei Untersuchung guter Ausführungen mittelst unseres Diagrammes sich thatsächlich vorfinden.

Was die Ausführung solcher Momentenpläne auf dem Zeichenbrett angeht, so ist zunächst ein nicht zu kleiner Maasstab empfehlenswerth; doch darf derselbe auch nicht sehr gross gewählt werden, damit das Ziehen von Parellelen nicht zu unbequem wird. Ein Maasstab, bei welchem eine solche Lokomotivachse 300 bis 400^{mm} Länge auf dem Blatte einnimmt, ist ganz zweckmässig. Ferner wähle man die Poldistanz in den Kräftepolygonen etwa in dem Verhältniss, welches in obigen Figuren benutzt wurde; eine kleinere Poldistanz macht die Diagramme höher, eine grössere niedriger; die obigen Verhältnisse liefern sehr übersichtliche Figuren. Die Ausführung kann in scharfen Bleistiftlinien bleiben, wenn man die Diagrammflächen mit blassen und mittelstarken Farbentönen anlegt. Werden diese in erdigen Tönen und nicht grell ausgeführt, so wird das Bild ausserordentlich deutlich. Das letzte resultirende Diagramm wird am besten mit einem kräftigen Tone, z. B. dunkelroth, nur berändert (vergl. Fig. 287 bei $d_1''b_1''$ u. s. w.) und seine äusserste Grenze mit einem ziemlich starken Tuschstrich befahren. Einige beigefügte Bezeichnungen über die Bedeutung der Farben sind für spätere Wiederbenutzung der Zeichnung zweckmässig. Die constructive Ausführung der Achse wird am besten auf demselben Blatte mit dem Kräfteplan unter Benutzung der vertikalen Mittellinien aufgetragen, so dass über jeden Querschnitt der Achse dessen Momentenordinate zu stehen kommt. Nach einiger Uebung lernt man die unwesentlichen Beanspruchungen von den wesentlichen im voraus unterscheiden, muss sich indessen hüten, wie u. a. die obige Untersuchung der Kurbelarme beweist, voreilig Weglassungen einzelner Kräfte oder Momente zu beschliessen, da man sich sonst folgenschweren Irrthümern hingeben 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.

§. 190.

Die excentrische Scheibe.

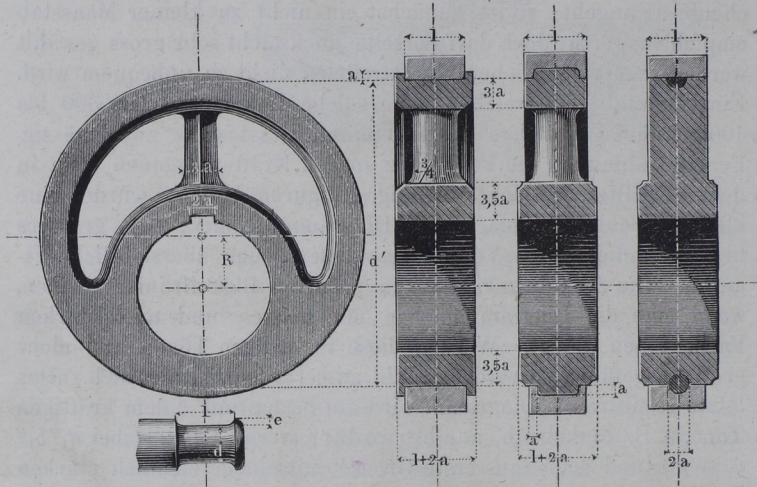
Wird bei einer Kurbel von der Armlänge R und der Wellendicke D die Zapfendicke d' soviel erweitert, dass sie $> D + 2R$

Fig. 290.

Fig. 291.

Fig. 292.

Fig. 293.



wird, so kann die Welle durch den Zapfen gesteckt werden und dieser heisst dann eine excentrische Scheibe. Die einfacheren Constructionen derselben zeigen die folgenden Figuren. Am praktischsten für die gewöhnlichen Verhältnisse ist in Hinsicht auf das Einpassen des Gurtes die Form in Fig. 292, indem bei derselben die beiden Zargen des Ringes eine Art von Oelbehälter bilden, welcher die Scheibe vortrefflich in der Oelung erhält und somit vor Abnutzung schützt.

Die Scheibenbreite oder Zapfenlänge nehme man gleich 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:

$$a = 1,5e = 5 + \frac{7}{100}l \quad . \quad . \quad . \quad (216)$$

auf welche Zahl die noch übrigen Abmessungen grösstentheils bezogen sind.

Bei Wellen mit Kurbelkröpfungen oder anderen vorspringenden festen Theilen können die excentrischen Scheiben oft nicht aufgestreift werden, wenn sie wie oben angegeben construirt sind; man fertigt sie dann aus zwei Theilen, die man durch Schrauben verbindet. (Näheres findet man in der „Constructionslehre für den Maschinenbau.“) Soll ein Excentrik besonders wenig über die Welle vorspringen, so legt man seine Befestigungsnahe neben die eigentliche Kurbelscheibe, wobei man ihr die nöthige Wanddicke $3,5a$ ungehindert geben kann.

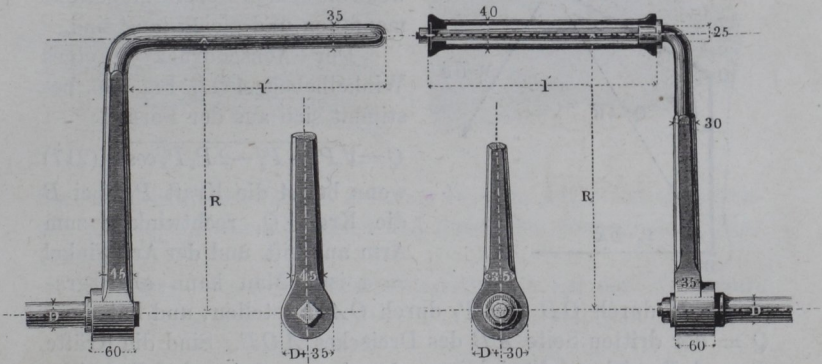
§. 191.

Handkurbeln.

Bei den Handkurbeln ist der Stirnzapfen als Handgriff geformt. Die folgenden Figuren zeigen zwei gebräuchliche Hand-

Fig. 294.

Fig. 295.



kurbelconstructionen, Fig. 294 zweimännische, Fig. 295 einmännische Kurbel. Man nehme für die in Buchstaben beigeschriebenen Abmessungen:

für 2 Mann:	für 1 Mann:
$R = 360 \text{ bis } 450\text{mm}$	$300 \text{ bis } 400\text{mm}$
$l' = 400 \text{ „ } 480\text{mm}$	$300 \text{ „ } 330\text{mm}$
$D = 40 \text{ „ } 45\text{mm}$	$30 \text{ „ } 35\text{mm}$

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