die Figur in der unteren Hälfte zeigt, ein. Alsdann klappen die Sperrfedern über sie hin, wie dies bei einem gewöhnlichen Gesperre beim Vorwärtsgang geschieht. Die Gelenke der Mitnehmer sind wieder als Halbzapfen ausgeführt (vergl. §. 95) und durch den Deckring und entsprechende Ausschnitte in ihrer Stellung gehalten. Uhlhorn wandte früher nur zwei Zahnlücken in A an, empfahl aber später, deren vier anzuwenden, damit nur während einer Vierteldrehung Beschleunigung eintreten könne. Durch Anwendung von nur drei Lücken (im allgemeinen einer ungeraden Zahl derselben), gestaltet sich die Sache noch günstiger, indem die Beschleunigung dabei auf eine Sechsteldrehung (allgemein auf $^1/_2$ Theilung wie oben bei Pouyer) eingeschränkt wird. Es steht nichts im Wege, B treibend statt getrieben zu machen; die Drehung hat alsdann der Pfeilrichtung entgegen stattzufinden.

Eilftes Kapitel.

EINFACHE HEBEL.

§. 159.

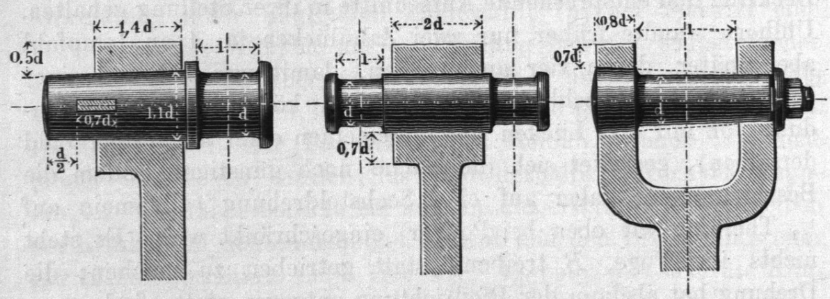
Hebelzapfen.

Ein einfacher Hebel wird im Maschinenbau die konstruktive Ausführung eines Hebelarmes genannt, welcher an dem Drehpunkt-Ende mit einer Achse in Verbindung steht, und an dem schwingenden Ende einen Zapfen trägt. Letzterer ist in der Regel wechselseitig beansprucht, oft indessen auch einseitig. Die Berechnung der Zapfenabmessungen wurde in Kap. V gezeigt.

Die Formen, in denen der Hebelzapfen gewöhnlich angewandt wird, sind die in der Fig. 457 (a. f. S.) angegebenen des Stirnzapfens, des Doppelzapfens und des Gabelzapfens. Sorgfältiges Einpassen des Zapfenstieles oder -Schaftes in die Hülse ist unerlässliche Bedingung für die Haltbarkeit der Konstruktion. Die Achsel über dem Konus des Zapfenstiels darf nicht anliegen, damit sie das Anziehen des Konus nicht behindert; die Figur zeigt den Spielraum der Deutlichkeit wegen in etwas übertriebener Weise.

Bei sehr gewählter Formgebung kann der Spielraum auch durch Versenkung des hinteren Zapfenbundes verborgen werden. Beim Doppelzapfen ist bei sorgfältiger Aufstellung der Druck auf jeden

Fig. 457.



einzelnen Zapfen $= \frac{1}{2}\, P$, derselbe also dieser letzteren Belastung gegenüber als Stirnzapfen anzusehen. Bei dem Gabelzapfen gehören die beiden eingepassten Schafttheile einem und demselben Kegel an.

1. Beispiel. Für $P = 2000$ kg erhält der wechselseitig belastete, schmiedeiserne Hebel-Stirnzapfen nach (93) (bei mittlerer Hubzahl) die Dicke $d = \sqrt{2000} \sim 45$ mm und dieselbe Abmessung als Länge. Aus Gussstahl hergestellt könnte er auf die Dicke $d = 0{,}88 \sqrt{2000} \sim 39$ mm und die Länge $l = 1{,}3 . 39 \sim 50$ mm gebracht werden. Der schmiedeiserne Gabelzapfen erhielte für dieselbe Belastung nach (98) die Dicke $= d = 0{,}6 \sqrt{2000} \sim 27$, aber eine Länge von 135 mm.

Nicht alle Hebel haben übrigens wechselnde Kraftrichtungen, so z. B. die Gegengewichtshebel, die Balanciers der einfachwirkenden Wasserhaltungsmaschinen u. s. w. nicht. Sie erhalten demzufolge dickere Zapfen.

2. Beispiel. Ein schmiedeiserner Gabelzapfen für einen Hebel mit stets einseitiger Belastung von 2000 kg erhielte nach Formel (98) die Dicke $d = 0{,}8 \sqrt{2000} \sim 36$ mm und die Länge $l = 3\, d = 108$ mm. Wäre Gusseisen als Material vorgeschrieben, so wäre gemäss (98) zu nehmen) $d = 1{,}13 \sqrt{2000} \sim 51$ mm, $l = 3\, d = 153$ mm. Für Gussstahl käme $d = 0{,}7 \sqrt{2000} = 31$ mm, $l = 4\, d = 124$ mm. Am zweckmässigsten erscheint hiernach der schmiedeiserne Zapfen.*

---

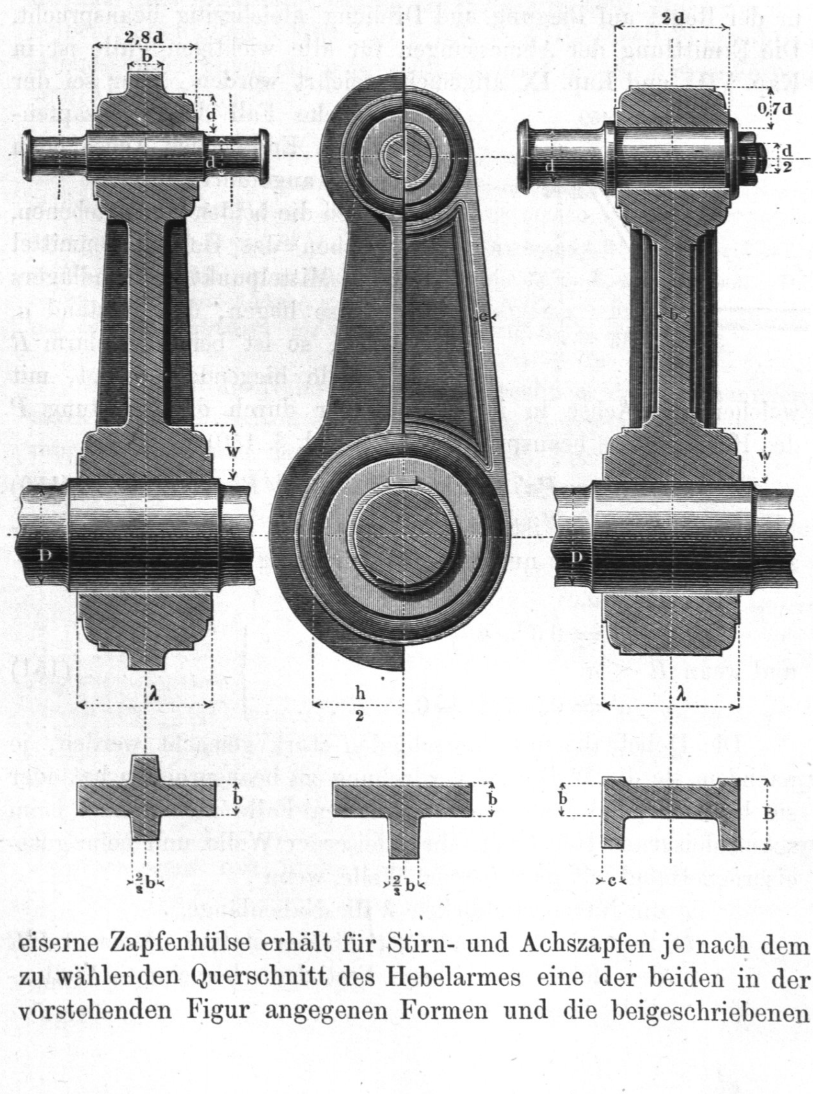
*) *Druckfehler auf S. 245; letzte Zeile daselbst unter „Gss“ lies $1{,}13 \sqrt{P}$ statt $9{,}8 \sqrt{P}$.*

§. 160.

Zapfenverbindung der Hebel.

Die Hebel werden vorzugsweise aus Schmiedeisen oder aus Gusseisen hergestellt. Für die schmiedeiserne Zapfenhülse sind in den obigen Figuren die Verhältnisse angegeben. Die guss-

Fig. 458.



eiserne Zapfenhülse erhält für Stirn- und Achszapfen je nach dem zu wählenden Querschnitt des Hebelarmes eine der beiden in der vorstehenden Figur angegenen Formen und die beigeschriebenen

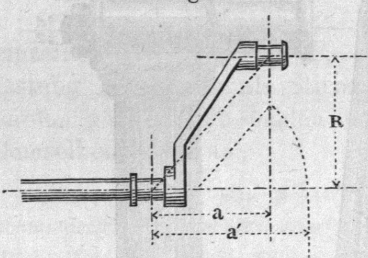
Verhältnisse. Eine Hülse für den Gabelzapfen beim gusseisernen Hebel siehe unten beim Balancier. Wird der Gabelzapfen zu einer vollständigen Achse ausgebildet, so gelten die bei den Achsen, Kap. VIII, gegebenen Regeln.

§. 161.

Die Hebelachse und die Nabe des Hebels.

Die Achse, auf welche der einfache Hebel befestigt wird, ist in der Regel auf Biegung und Drehung gleichzeitig beansprucht. Die Ermittlung der Abmessungen für alle wichtigen Fälle ist in Kap. VIII und Kap. IX allgemein gelehrt worden. Hier sei der gewöhnliche Fall des Stirnzapfenhebels am Ende einer Achse noch besonders angeführt.

Fig. 459.



Haben die beiden Normalebenen, in welchen das Hebelzapfenmittel und der Mittelpunkt des Endlagers der Achse liegen, den Abstand a, Fig. 459, so ist beim Hebelarm R das ideelle biegende Moment, mit welchem die Achse in ihrem Endlager durch die Belastung P des Hebelzapfens beansprucht wird (vergl. §. 150):

$$(M_b)_i = Pa' = P\left({}^3/_8\, a + {}^5/_8 \sqrt{R^2 + a^2}\right) \quad . \quad . \quad (150)$$

Der Hebelarm a' ist, wie die Figur lehrt, leicht graphisch aufzusuchen. Für seine numerische Berechnung hat man,

$$\left.\begin{array}{ll} \text{wenn } R > a, & \\ & a' = 0{,}625\, a + 0{,}6\, R \quad . \quad . \quad . \\ \text{und wenn } R < a & \\ & a' = 0{,}957\, a + 0{,}25\, R \quad . \quad . \quad . \end{array}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (151)$$

Die Hebelnabe muss verschieden stark gemacht werden, je nachdem sie die Welle auf Verdrehung zu beanspruchen hat oder sie bloss biegend belastet. Im ersteren Falle nehme man beim schmiedeisernen Hebel mit schmiedeiserner Welle, und beim gusseisernen Hebel mit gusseiserner Welle, wenn

w die Nabenwanddicke, λ die Nabenlänge,

D die nach (133) und (134) für das statische Moment PR des Hebels auf blosse Festigkeit berechnete Wellendicke bezeichnet,

$$\left.\begin{array}{l} \text{bei } \dfrac{w}{\lambda} = \dfrac{1}{2} \quad \dfrac{1}{2{,}5} \quad \dfrac{1}{3} \\ \dfrac{w}{D} = 0{,}45 \quad 0{,}42 \quad 0{,}40 \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (152)$$

Befindet sich der Hebel auf einer Welle, welche einen grösseren Durchmesser als D hat, so bestimme man zuerst den ideellen Wellendurchmesser D, und verfahre mit ihm nach Formel (152). Ebenso verfahre man, wenn die Nabe aus Gusseisen, die Welle aber aus Schmiedeisen besteht, und umgekehrt. Die Formen der gusseisernen Nabe zeigt bereits die obige Fig. 458. Muss von denselben abgewichen werden, so geben ihre als ideell eingeführten Abmessungen einen oft erwünschten Anhalt für die neuen Formen und Abmessungen.

1. Beispiel. Ist der in §. 159 im 1. Beispiel berechnete einfache Hebel aus Schmiedeisen zu konstruiren, und hat 600 mm Armlänge, so ist sein statisches Moment $PR = 2000 \,.\, 600 = 1\,200\,000 \text{ kg} \times \text{mm}$. *Hieraus hat man nach (131):* $D = 0{,}95 \sqrt{1\,200\,000} \backsim 101$ *mm, und, wenn man* $w : \lambda = 1 : 2$ *wählt, nach (152):* $w = 0{,}45 \,.\, 101 \backsim 45$ *mm,* $\lambda = 2 \,.\, 45 = 90$ *mm. Dieselben Querschnitt-Abmessungen würde die Nabe erhalten, wenn sie statt auf eine schmiedeiserne auf eine gusseiserne Welle zu setzen wäre.*

Man kann die Nabe auch dafür berechnen, dass sie genügend stark ist, um ohne Keil kalt aufgezwängt zu werden und dann vermöge der Reibung zu haften, vergl. §. 65, Formel (66). Die Reibung Q der Nabe auf der Achse müsste dann $\geqq (PR : {}^1\!/_2 D')$ sein, wobei D' den wirklichen Durchmesser der Welle oder des Wellenkopfes bezeichnet, worauf die Nabe sitzt.

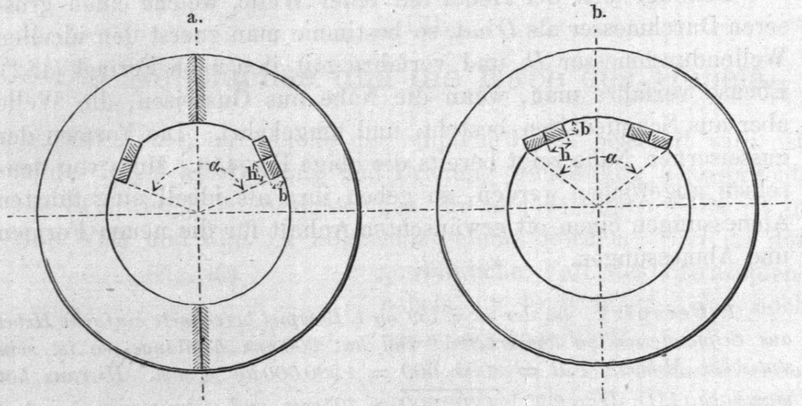
2. Beispiel. Bei dem soeben behandelten Hebel erhält man, wofern $D' = D$, *den Werth* $PR : {}^1\!/_2 D = 1\,200\,000 : 50{,}5 = 23762$. *Wir nehmen* $Q = 24\,000$, *wählen* $l = \lambda = 90$ *mm und* $\mathfrak{S}_2 = 7{,}5$, *so liefert Formel (66) folgendes Ergebniss:*

$$(w : D) = {}^1\!/_2 \left(\sqrt{(\pi \,.\, 101 \,.\, 90 \,.\, 0{,}2 \,.\, 7{,}5 + 24\,000) : (id. - 24\,000)} - 1\right)$$
$$= {}^1\!/_2 \left(\sqrt{66\,835 - 18\,835} - 1\right) = {}^1\!/_2 \,.\, 0{,}88 = 0{,}44,$$

fast genau wie vorhin. Der Keil wird immerhin der Sicherheit halber einzusetzen sein. Wäre statt 101 die Achsenkopfdecke $D' = 110$, *so käme* $Q \backsim 22\,000$ *und* $(w : D') = {}^1\!/_2 (\sqrt{2{,}79} - 1) = 0{,}335$ *und* $w = 0{,}335 \,.\, 110 \backsim 37$ *mm gegen* $0{,}44 \,.\, 101 \backsim 44$ *mm von vorhin. Je nach der Annahme von* $\mathfrak{S}_2$ *und* Q *kann man grössere oder geringere Sicherheit verwirklichen.*

Eine besondere Keilung für Hebelnaben, auch für die Befestigung von Rädern, die sich hin und her drehen, geeignet, hat Ingenieur Peters angegeben. Er wendet zwei einander entgegenwirkende Keilsysteme mit parallelen Aussenkanten, wie in Fig. 460 dargestellt, an. Anzug der Keile $^1/_{20}$. Die Einrichtung (a) verdient den Vorzug, weil sie den grösseren Theil der Nabenläubung zum

Fig. 460.



festen Anschluss bringt. Es wurde gewählt Winkel $\alpha = 135^0$, die Keilbreite $b = {}^1/_{16}\, D'$, die mittlere Keilhöhe $h = 2\,b$. Recht gut eignet sich die Verbindung für hälftig getheilte Naben; bei (a) ist eine solche angedeutet.

Die Tragnabe, d. h. die Nabe, welche die Achse nur auf Biegung belastet, kommt nur bei zusammengesetzten Hebeln vor, siehe daher Kap. XIII.

§. 162.

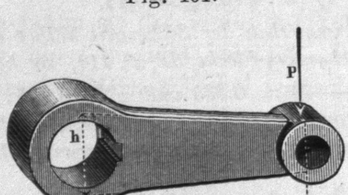
Der Hebelarm mit rechteckigem Querschnitt.

Gerader Hebelarm mit einfach rechteckigem Querschnitt, unter der Voraussetzung zu berechnen, dass P in der Mittelebene des Hebelarmes angreife, Fig. 461, und normal zu demselben gerichtet sei. Dann ist, wenn die Armhöhe in der Achsenebene $= h$,

die Armbreite daselbst $= b$,

die Maximalspannung $= \mathfrak{S}$,

Fig. 461.



$$b = 6\,\frac{P\,R}{\mathfrak{S}\,h^2},$$

Die Materialspannung $\mathfrak{S}$ für Schmiedeisen $= 6$, für Gusseisen $= 3$ gesetzt, gibt für:

$$\text{Schmiedeisen} \quad b = \frac{PR}{h^2}, \qquad \text{Gusseisen} \quad b = 2\,\frac{PR}{h^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (153)$$

Diese Formel setzt die Annahme von h voraus, in der That die zweckmässigste Art der Berechnung, weil h die Seitenansicht, das Profil des Hebels bestimmt, für welches das Gefühl am ersten Anhalt gibt.

1. Beispiel. $P = 2000\,kg$, $R = 600\,mm$, der Arm sei aus Schmiedeisen herzustellen, $h = 180\,mm$ gewählt. Dann ist nach (153) zu nehmen: $b = 2000 \,.\, 600 : 180^2 \backsim 37\,mm$.

Bei konstanter Armbreite b wird die Armhöhe nach dem Zapfen hin bis auf 0,5 h verjüngt; bei konstantem Verhältniss $b:h$ auf $^2/_3\,h$ (siehe die Fälle III. und VII. §. 10).

In sehr vielen Fällen greift die Kraft P aber nicht in der Mittelebene des Armes, sondern ausserhalb dieser Ebene an, und bewirkt dann Biegung und Verdrehung des Armes. Wir ersetzen dann die zusammengesetzte Beanspruchung durch eine ideelle blosse Biegungs-Beanspruchung, deren Moment das Produkt aus P und einem ideellen Arme R' ist, siehe Fig. 461.

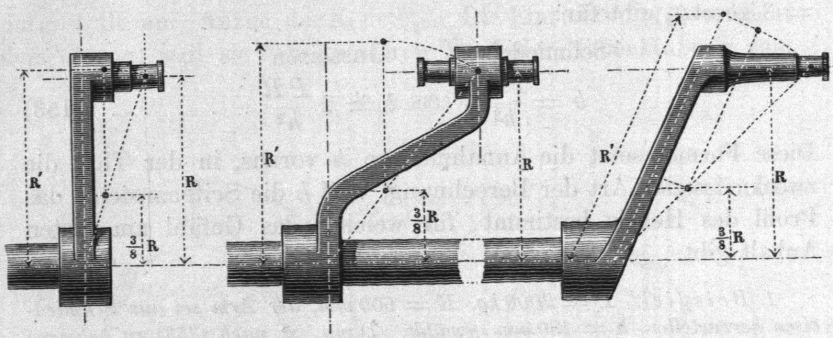
Man hat für R' wenn die Ebene von P um c von der Mittelebene des Armansatzes absteht (vergl. §. 150) mit genügender Annäherung:

$$\left.\begin{array}{ll} & R' = {}^3/_8\,R + {}^5/_8\,\sqrt{R^2 + c^2} \;\;.\;.\;.\;. \\ \text{oder} & \\ & R' = 0{,}975\,R + 0{,}25\,c \;\;.\;.\;.\;.\;.\;. \\ \text{wenn} & \\ & R > c, \\ \text{und} & R' = 0{,}625\,R + 0{,}6\,c, \;\;.\;.\;.\;.\;.\;. \\ \text{wenn} & R < c. \end{array}\right\} \quad . \; . \; . \quad (154)$$

In Fig. 462 (a. f. S.) ist angegeben, wie R' graphisch gefunden werden kann, was sehr leicht ist. Bei schief gerichtetem Arm bedarf es nur einer passenden Anordnung der Konstruktion, um auch hier, wie die dritte Lösung zeigt, rasch zum Ziele zu gelangen.

2. Beispiel. Gesetzt, bei einem Hebel von der Belastung und dem Arme wie in Beispiel 1. betrage c 400 mm. Dann ist $R > c$, und nach (154) zu setzen: $R' = 0{,}975 \,.\, 600 + 0{,}25 \,.\, 400 = 585 + 100 = 685\,mm$. b wird nun bei den früheren Voraussetzungen $= 2000 \,.\, 685 : 180^2$, woraus $b \backsim 42\,mm$ statt 36 mm, wie wir oben fanden, folgt.

Fig. 462.



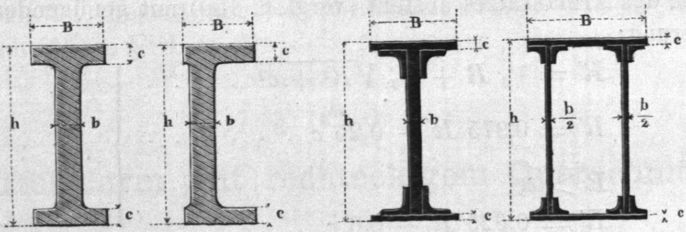
Der gusseiserne Hebel erhält häufig Kreuzquerschnitt, wie Fig. 458 andeutet; die Nebenrippe kann in diesem Falle vernachlässigt werden.

§. 163.

Zusammengesetzte Hebelarm-Querschnitte.

Die nachstehenden Hebelarm-Querschnitte haben eine günstige Materialvertheilung. Ihre Abmessungen lassen sich bequem

Fig. 463.



finden, wenn man zuerst den einfach rechteckigen Querschnitt bestimmt, und diesen darauf in den doppel-*T*-förmigen verwandelt.

Bei den angegebenen Bezeichnungen, und wenn man noch nennt: h_0 die Höhe, b_0 die Breite des gleichwerthigen Hebelarmes mit rechteckigem Querschnitt, kann die Verwandlung wie folgt geschehen.

Man bestimme unter Annahme des Hebelprofils, d. i. der Armhöhe h_0, welcher h gleich werden soll, die h_0 zukommende Armbreite b_0 des Rechteckquerschnittes für das betreffende Material; sodann mache man:

$$\left.\begin{aligned} \frac{b}{b_0} &= \frac{1}{1+\alpha} \quad \cdots\cdots\cdot \\ \text{wobei} \qquad & \\ \alpha &= \left(\frac{B}{b} - 1\right)\left[6\,\frac{c}{h} - 12\left(\frac{c}{h}\right)^2\right] \;.\;. \end{aligned}\right\} \;. \quad (155)$$

Diese Formel setzt die Wahl von $B:b$ und von $c:h$ voraus, welche immer leicht nach dem Geschmack des Konstruirenden geschehen kann. In (155) sind die Winkeleisen der beiden letzten Querschnitte, Fig. 463, vernachlässigt, wodurch aber zugleich die Schwächung durch die Nietlöcher ausgeglichen wird. Folgende Tabelle gibt eine Reihe von Werthen für (155), mit Hülfe deren die vorliegende Rechnung bequem vollzogen werden kann. Das Verfahren lässt sich auch sehr gut für die Berechnung anderer Stücke gebrauchen, z. B. für Träger aller Art, gusseiserne Kranschilde, Blechkran-Auslader u. s. w.

§. 164.

Tabelle zur Umformung der rechteckigen Armquerschnitte.

$\frac{h}{c}$	Werthe von $\frac{1}{1+\alpha}$									
	$\frac{B}{b} = 2{,}5$	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	10
6	0,50	0,43	0,38	0,33	0,30	0,27	0,23	0,20	0,18	0,14
7	0,52	0,45	0,40	0,35	0,32	0,29	0,25	0,21	0,19	0,15
8	0,54	0,47	0,42	0,37	0,34	0,31	0,26	0,23	0,20	0,16
9	0,56	0,49	0,44	0,39	0,36	0,33	0,28	0,24	0,22	0,18
10	0,58	0,51	0,46	0,41	0,37	0,34	0,29	0,26	0,23	0,19
11	0,60	0,53	0,48	0,43	0,39	0,36	0,31	0,27	0,24	0,20
12	0,62	0,55	0,50	0,44	0,41	0,37	0,32	0,29	0,26	0,21
14	0,64	0,58	0,52	0,47	0,44	0,40	0,35	0,31	0,28	0,23
16	0,67	0,60	0,55	0,50	0,47	0,43	0,38	0,34	0,30	0,25
18	0,69	0,63	0,57	0,52	0,49	0,46	0,40	0,36	0,33	0,27
20	0,71	0,65	0,60	0,55	0,52	0,48	0,42	0,38	0,34	0,29
22	0,73	0,67	0,62	0,57	0,53	0,50	0,45	0,40	0,37	0,31
24	0,75	0,68	0,64	0,59	0,56	0,52	0,47	0,42	0,38	0,33
27	0,76	0,71	0,66	0,62	0,58	0,55	0,50	0,45	0,41	0,35
30	0,78	0,73	0,68	0,64	0,61	0,57	0,52	0,47	0,43	0,37
33	0,79	0,75	0,70	0,66	0,63	0,60	0,54	0,50	0,45	0,39
36	0,81	0,76	0,72	0,68	0,65	0,61	0,56	0,52	0,48	0,41
40	0,83	0,78	0,74	0,60	0,67	0,64	0,58	0,54	0,50	0,44
45	0,84	0,80	0,76	0,72	0,69	0,66	0,61	0,57	0,53	0,47
50	0,85	0,81	0,78	0,74	0,71	0,68	0,63	0,59	0,56	0,49

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* $b_0 = 2 . 2500 . 2000 : 320^2 \backsim 98$ *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* $b = 0{,}44 . b_0 = 0{,}44 . 98 = 43$ *mm, die Saumnervenbreite* $B = 4 . 44 = 176$ *mm, die Nervendicke* $c = {}^1/_{12}\, h = 320:12 = 27$ *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 versuchweise 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* $b = 0{,}34 . 98 = 33$ *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* $B = 10 . 15 = 150$ *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.

KURBELN.

§. 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.