

XV. EINFACHE HEBEL.

§. 169.

Hebelzapfen.

Ein einfacher Hebel wird im Maschinenbau die constructive Ausführung eines Hebelarmes genannt, welcher an seinem Ende einen Zapfen trägt. Der letztere wird vorwiegend in einer der folgenden drei Formen ausgeführt.

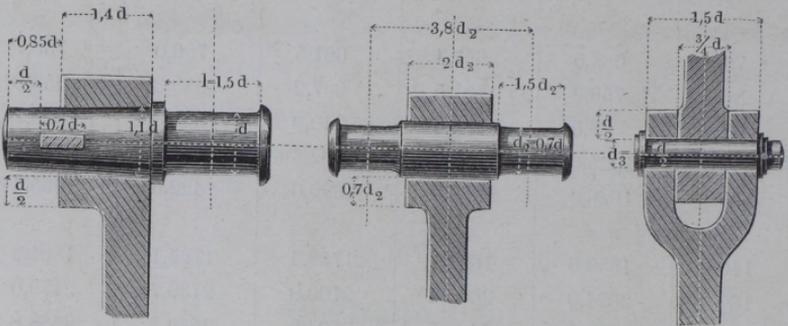
Fig. 259, Stirnzapfen. Fig. 260, Doppel- oder Achszapfen. Fig. 261, Gabel- oder Bolzenzapfen. Es seien:

- d und l die Dicke und Länge des Stirnzapfens,
- d_2 „ l_2 „ „ „ „ „ Achszapfens,
- d_3 „ l_3 „ „ „ „ „ Gabelzapfens.

Fig. 259.

Fig. 260.

Fig. 261.



Macht man nun $\frac{l}{d} = \frac{l_2}{d_2} = \frac{l_3}{d_3} = 1,5$, wie es in Kapitel V. für die schmiedeisernen Zapfen unter 200 Umdrehungen angenommen wurde, so ist bei bekanntem Zapfendruck zunächst d zu berechnen, wie es Kapitel V. gezeigt wurde, und sodann zu machen:

$$\left. \begin{aligned} d_2 &= 0,7d \\ d_3 &= 0,5d \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (199)$$

Will man d_3 stärker als $0,5d$ nehmen, so darf nach (77) genommen werden:

$$\frac{l_3}{d_3} = 6 \left(\frac{d_3}{d} \right)^2$$

Beispiel. Für einen Zapfendruck von 2000^k liefert Tabelle §. 38 die Stirnzapfendicke $d = 50\text{mm}$. Es wird daher der Achszapfen für denselben Druck eine Dicke $d_2 = 0,7 \cdot 50 = 35\text{mm}$, der Gabelzapfen eine

Dicke $d_3 = 0,5 \cdot 50 = 25^{mm}$ erhalten. Will man d_3 statt dessen 35^{mm} dick nehmen, so darf nach (77) $\frac{l_3}{d_3} = 6 \cdot 0,7^2 = 3$, also $l_3 = 3 \cdot 35 = 105^{mm}$ gemacht werden.

§. 170.

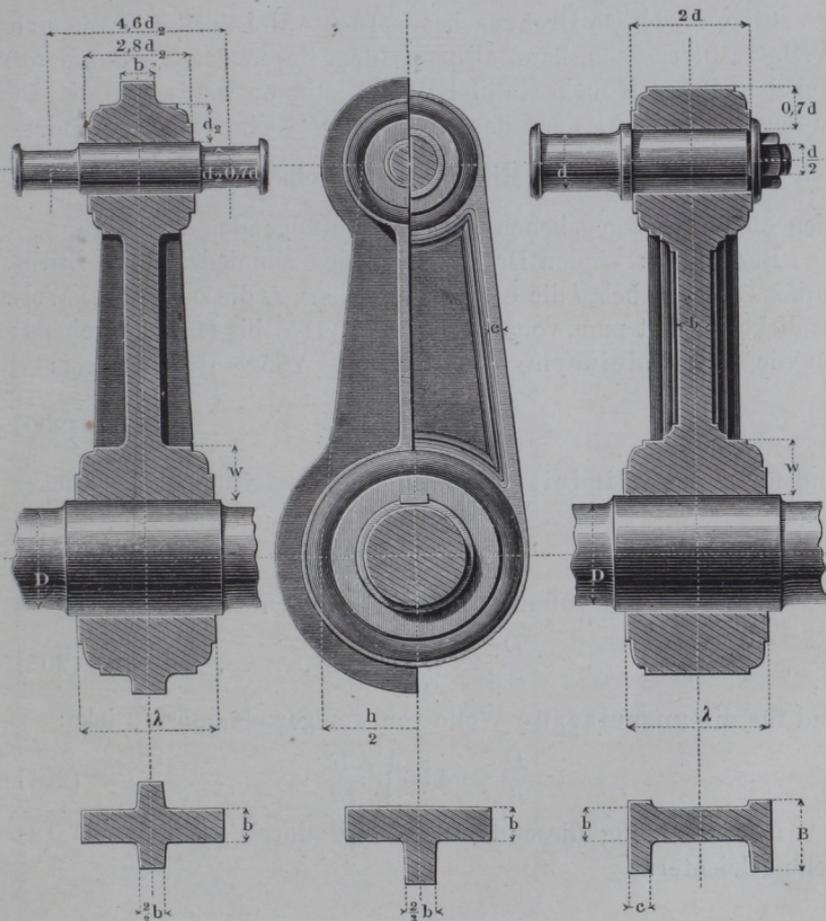
Zapfenverbindungen der Hebel.

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. 262.

Fig. 263.

Fig. 264.



eiserne Zapfenhülse erhält für Stirn- und Achszapfen je nach dem zu wählenden Querschnitt des Hebelarmes eine der beiden in den vorstehenden Figuren angegebenen Formen und die beigeschriebenen Verhältnisse. Die Hülse für den Gabelzapfen beim gusseisernen Hebel siehe beim Balancier (§. 195). Genaues Einpassen des nur ganz schwach konischen Zapfenstieles in die Hülse ist die Hauptbedingung für die Haltbarkeit der Verbindung.

§. 171.

Die Hebelachse auf Drehung beansprucht.

Eine auf blosse Drehung beanspruchte Hebelachse ist wie eine Welle zu betrachten, kann also aus dem Zapfendruck P und der Hebelarmlänge R nach Kapitel VIII. bestimmt werden. Doch ist zu berücksichtigen, dass das Moment PR beim Hebel veränderlich ist. Nimmt man als Mittelwerth desselben $\frac{2}{\pi}PR$ an, so nehmen die in §. 67 gegebenen Formeln die folgenden Werthe an.

Bezeichnet: d den Durchmesser des schmiedeisernen Stirnzapfens eines Hebels, l die Länge des Zapfens, D die zugehörige Wellendicke, so hat man, von den Formeln (105) bis (108) ausgehend: für die schmiedeiserne Welle von über 285^{mm} Durchmesser:

$$\frac{D}{d} = 0,8 \sqrt[3]{\frac{R}{d}} \dots \dots \dots (200)$$

und für die schmiedeiserne Welle von weniger als 285^{mm} Dicke:

$$\frac{D}{d} = 3,85 \sqrt[4]{\frac{R}{ld}} \dots \dots \dots (201)$$

Ferner für die gusseiserne Welle von über 285^{mm} Dicke:

$$\frac{D}{d} = \sqrt[3]{\frac{R}{d}} \dots \dots \dots (203)$$

und für die gusseiserne Welle von weniger als 285^{mm} Dicke:

$$\frac{D}{d} = 4,56 \sqrt[4]{\frac{R}{ld}} \dots \dots \dots (204)$$

Die Benutzung dieser Formeln wird durch die folgende Tabelle erleichtert.

§. 172.

Tabelle über die Wellendurchmesser für einfache Hebel (Kurbeln).

$\frac{R}{d}$	Wenn $D > 285\text{mm}$		$\frac{R}{ld}$	Wenn $D < 285\text{mm}$	
	$\frac{D}{d}$			$\frac{D}{d}$	
	für Schmied- eisen	für Gusseisen		für Schmied- eisen	für Gusseisen
2,50	1,09	1,36	0,010	1,22	1,44
2,75	1,12	1,40	0,012	1,27	1,51
3,00	1,15	1,44	0,014	1,32	1,57
3,25	1,18	1,48	0,016	1,37	1,62
3,50	1,21	1,52	0,018	1,41	1,67
4,0	1,27	1,59	0,020	1,45	1,71
4,5	1,32	1,65	0,025	1,53	1,81
5,0	1,36	1,71	0,030	1,60	1,90
5,5	1,40	1,77	0,035	1,67	1,97
6,0	1,45	1,82	0,040	1,72	2,04
6,5	1,49	1,87	0,05	1,82	2,16
7	1,53	1,91	0,06	1,90	2,26
8	1,60	2,00	0,07	1,98	2,35
9	1,66	2,08	0,08	2,05	2,42
10	1,72	2,15	0,09	2,11	2,49
12	1,82	2,29	0,10	2,16	2,56
14	1,92	2,41	0,12	2,27	2,68
16	2,01	2,52	0,14	2,36	2,79
18	2,10	2,62	0,16	2,43	2,88
20	2,17	2,71	0,18	2,51	2,97
22	2,24	2,80	0,20	2,57	3,05
24	2,31	2,88	0,22	2,64	3,12
26	2,37	2,92	0,24	2,69	3,19
28	2,43	3,04	0,26	2,75	3,26

Der Gebrauch dieser Tabelle ist einfach. Wenn die aus der ersten Hälfte hervorgehende Wellendicke kleiner als 285^{mm} ausfällt (was man meistens im voraus beurtheilen kann), so ist D aus der zweiten Hälfte zu entnehmen; gibt dagegen diese grössere Werthe als 285^{mm}, so ist die erste Hälfte zu benutzen.

Beispiel. Für einen Hebel von 600^{mm} Armlänge mit einem 60^{mm} dicken Stirnzapfen ist $\frac{R}{d} = 10$; dies gibt für die schmiedeiserne Welle aus Spalte 2, Zeile 15, $D = 1,72 \cdot 60 = 103^{\text{mm}}$, was < 285 ist, also in die zweite Tabellenhälfte verweist. Hierfür hat man $\frac{R}{l \cdot d} = \frac{600}{60 \cdot 90} = 0,111$, wofür nach Spalte 5, Zeile 16 bis 17: $D = \frac{2,16 + 2,27}{2} \cdot 60 = 133^{\text{mm}}$.

Bemerkung. Will man bei einer Kurbel keine Rücksicht auf den Verdrehungswinkel nehmen, so bediene man sich der Resultate der Formeln (200) und (203) auch für Wellendicken unter 285^{mm}, also der Tabellenspalten 1, 2 und 3. Genauer ist aber für diesen Fall die Methode in §. 184 ff.

Hat ein Hebel statt eines Stirnzapfens einen Achszapfen oder einen Gabelzapfen, so verwandle man diesen zuerst durch Multiplication mit 1,41 bezüglich 2 in den gleichwerthigen Stirnzapfen, und verfare wie vorhin. Aehnliches gilt, wenn der Stirnzapfen aus Stahl statt aus Schmiedeisen genommen ist (siehe §. 37 b.). Die Verwandlung geschieht im letzteren Falle durch Multiplication mit 1,18.

Es darf nicht vergessen werden, dass bei den sämtlichen vorstehenden Verhältnisszahlen, wie auch bei denen, welche in den Paragraphen 175 ff. für die Hebelabmessungen gegeben sind, vorausgesetzt ist, dass die Zapfen nach unseren früheren Regeln in §. 37 berechnet seien. Dies wird aber bei manchen Constructionen nicht der Fall sein, namentlich da, wo man durch Raumangel gezwungen ist, die Zapfenlänge kleiner als 1,5 d zu nehmen, oder da, wo man absichtlich die Zapfen dicker als nöthig wählt, um angenehme Verhältnisse in eine Ausführung zu bringen. Um in solchen Fällen dennoch mit den hier stehenden Regeln rechnen zu können, führe man jederzeit einen ideellen Zapfen von den zu Grunde gelegten Verhältnissen und Dimensionen in die Rechnung ein. Viele kleine Hebel müssen wegen Unbekanntschaft mit ihren Belastungen nach dem Gefühl construirt werden; auch hier ist die Zugrundelegung eines durch Schätzung bestimmten Zapfens und daran geschlossene regelrechte Construction zu empfehlen, so lange noch keine grosse Uebung vorhanden ist.

§. 173.

Die Hebelachse auf Biegung beansprucht.

Wenn die Hebelachse nur biegender Kräfte ausgesetzt ist, so wird sie ganz wie eine Tragachse behandelt, siehe Kapitel VII. Erleidet sie gleichzeitig Biegung und Drehung, so verfähre man nach §. 74 und §. 186. Solche Achsen bei Kurbeln verdienen häufig eine weit sorgfältigere Berechnung, als ihnen in der Praxis meist zu Theil wird; die graphostatische Methode verstattet übrigens in bequemer Weise die Berücksichtigung aller wichtigen Beanspruchungen. Vortreffliche Uebungsbeispiele liefern viele Steuerungshebel und -Achsen, sowie auch manche Geradföhrungen mit Lenkern in Hebelform.

§. 174.

Die Nabe des Hebels.

Die Hebelnabe muss verschieden stark gemacht werden, je nachdem sie die Welle auf Verdrehung zu beanspruchen hat (§. 171 und 172) oder sie bloss biegender belastet (§. 173). Im ersteren Falle nehme man beim schmiedeeisernen Hebel mit schmiedeeiserner Welle, und beim gusseisernen Hebel mit gusseiserner Welle, wenn

w die Nabenwanddicke, λ die Nabenlänge,

D die nach §. 172 bestimmte Wellendicke bezeichnet,

$$\text{bei } \left. \begin{array}{l} \frac{w}{\lambda} = \frac{1}{2} \quad \frac{1}{2,5} \quad \frac{1}{3} \\ \frac{w}{D} = 0,45 \quad 0,42 \quad 0,40 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (204)$$

Befindet sich der Hebel auf einer Welle, welche einen grösseren Durchmesser als D hat, so bestimme man zuerst den ideellen Wellendurchmesser D , und verfähre mit ihm nach Formel (204). Ebenso verfähre man, wenn die Nabe aus Gusseisen, die Welle aber aus Schmiedeisen besteht, und umgekehrt. Die Formen der gusseisernen Nabe zeigen die obigen Figuren 262 bis 264. Muss von denselben abgewichen werden, so geben ihre als ideell eingeföhrten Abmessungen einen oft erwünschten Anhalt für die neuen Formen und Abmessungen.

Beispiel. Ist der in Paragraph 172 berechnete Hebel aus Schmiedeseisen zu construiren, und nehmen wir $\frac{\lambda}{w} = \frac{1}{2,5}$, so ist nach (204) zu nehmen: $w = 133 \cdot 0,42 = 56\text{mm}$, $\lambda = 2,5 \cdot 56 = 140\text{mm}$. Dieselben Querschnitt-Abmessungen würde aber die Nabe erhalten, wenn sie statt auf einer schmiedeisernen, auf einer gusseisernen Welle sitzen sollte.

Die Tragnabe, d. h. die Nabe, welche die Achse nur auf Biegung belastet, kommt nur bei zusammengesetzten Hebeln vor, siehe daher §. 195.

§. 175.

Der Hebelarm mit rechteckigem Querschnitt.

A. Schmiedeseisen. Soll der Arm eines Stirnzapfenhebels in der Nabenmitte die Höhe h und die Breite b erhalten, so nehme man bei Annahme des Verhältnisses $\frac{h}{b}$:

$$\frac{h}{d} = \sqrt[3]{\frac{h R}{b d}} \dots \dots \dots (205)$$

Der Hebel mit Doppelzapfen kann bei gleichem Zapfendruck schwächere Armabmessungen erhalten, da er nicht, wie der Stirnzapfenhebel, ausser der Biegung auch eine Verdrehung erfährt. Man nehme bei Vorausnahme von $\frac{h}{b}$:

$$\frac{h}{d_2} = 1,16 \sqrt[3]{\frac{h R}{b d_2}} \dots \dots \dots (206)$$

Den Gabel- oder Bolzenzapfen verwandle man für die Rechnung in den ihm gleichwerthigen Doppelzapfen, und rechne nach (206).

Die Armverjüngung von der Achse nach aussen hin geschieht nach den Angaben in Tabelle §. 10, Nr. VII. bei Breite und Höhe bis auf $\frac{2}{3}$, wenn die Höhe des Querschnittes an jeder Stelle dasselbe Verhältniss $\left(\frac{h}{b}\right)$ zur Breite haben soll, dagegen nach §. 10, Nr. III. bis auf $\frac{h}{2}$ in der Höhenrichtung, wenn b constant genommen werden soll.

Meistens ist es bei gewöhnlichen Hebeln sehr bequem, die Armhöhe h voraus anzunehmen. Man mache dann beim Stirnzapfenhebel:

$$\frac{b}{d} = 1,05 \frac{d}{h} \frac{R}{h} \dots \dots \dots (207)$$

beim Hebel mit Doppelzapfen:

$$\frac{b}{d_2} = 1,57 \frac{d_2}{h} \frac{R}{h} \dots \dots \dots (208)$$

B. Gusseisen. Bei dem kreuzförmigen sowie dem T-förmigen Armquerschnitt, Fig. 262 und 263 kann die Nebenrippe für die Berechnung vernachlässigt werden. Wird das Verhältniss $\frac{h}{b}$ angenommen, so nehme man beim Stirnzapfenhebel:

$$\frac{h}{d} = 1,25 \sqrt[3]{\frac{h}{b} \frac{R}{d}} \dots \dots \dots (209)$$

und beim Hebel mit Doppelzapfen:

$$\frac{h}{d_2} = 1,45 \sqrt[3]{\frac{h}{b} \frac{R}{d_2}} \dots \dots \dots (210)$$

Wird aber das Hebelprofil, d. i. die Armhöhe h angenommen, so mache man $b =$ dem Doppelten des Werthes, welches sich für Schmiedeseisen, Formel (207) und (208), ergibt.

Die Armverjüngung wird wie oben gemacht. Ueber den I-förmigen Querschnitt siehe unten §. 180. Der Gebrauch der hier gegebenen Formeln wird durch die nachfolgenden Tabellen erleichtert. Dieselben gelten für alle Maasssysteme und wurden mit einiger Ausführlichkeit gegeben, weil der Hebel in den wichtigen Formen der Kurbel und des Balanciers ein genaueres Eingehen auf seine Dimensionenbestimmung wohl verdient. Man hätte die Tabellen auch in mehr zusammengezogener Form geben können, sie würden aber dann wieder mehr Einübung erfordert haben. Für eine strengere Bestimmung der Hebelarmabmessungen, namentlich bei stark verkröpften und schief gerichteten Armachsen muss auf die graphostatische Methode verwiesen werden, welche unten §. 184 ff. an vielen Beispielen durchgeführt ist. Die sorgfältige Berechnung der Hebelarme ist in einzelnen Fällen, namentlich bei beschränktem Raume der zu erbauenden Maschine und grossen Kräften, wie beides z. B. bei der Lokomotive der regelmässige Fall ist, wichtig. Will man in solchen Fällen keine grösseren Abmessungen als gerade nöthig anwenden, d. h. die Sicherheit sehr klein nehmen, so lege man einen entsprechend berechneten ideellen Zapfen zu Grunde.

§. 176.

Tabelle über die Armhöhe der schmiedeisernen Hebel.
(Querschnitt rechteckig.)

$\frac{R}{d}$	Stirnzapfen					$\frac{R}{d}$	Doppelzapfen				
	$\frac{h}{b} = 1,5$	2	2,5	3	4		$\frac{h}{b} = 1,5$	2	2,5	3	4
	Werthe von $\frac{h}{d}$						Werthe von $\frac{h}{d_2}$				
2	1,44	1,59	1,71	1,82	2,00	3	1,91	2,11	2,27	2,41	2,66
2,5	1,55	1,71	1,84	1,96	2,15	4	2,11	2,32	2,50	2,66	2,93
3	1,65	1,82	1,96	2,08	2,29	5	2,27	2,50	2,69	2,87	3,15
4	1,82	2,00	2,15	2,29	2,52	6	2,41	2,66	2,87	3,05	3,35
5	1,96	2,15	2,32	2,47	2,71	7	2,54	2,80	3,01	3,20	3,53
6	2,08	2,29	2,47	2,62	2,88	8	2,66	2,93	3,15	3,35	3,69
7	2,19	2,41	2,60	2,76	3,04	9	2,67	3,04	3,28	3,49	3,83
8	2,29	2,52	2,71	2,88	3,17	10	2,87	3,15	3,40	3,61	3,97
9	2,38	2,62	2,82	3,00	3,30	12	3,05	3,34	3,61	3,84	4,21
10	2,47	2,71	2,92	3,11	3,42	14	3,20	3,53	3,80	4,04	4,44
12	2,62	2,88	3,11	3,30	3,63	16	3,35	3,68	3,98	4,22	4,65
14	2,76	3,04	3,27	3,48	3,83	18	3,49	3,84	4,13	4,39	4,84
16	2,88	3,17	3,42	3,63	4,00	20	3,61	3,98	4,28	4,55	5,01
18	3,00	3,30	3,56	3,78	4,16	25	3,89	4,18	4,61	4,90	5,39
20	3,11	3,42	3,68	3,91	4,31	30	4,13	4,55	4,90	5,21	5,73
25	3,33	3,68	3,97	4,22	4,64	35	4,34	4,79	5,16	5,48	6,03
30	3,56	3,91	4,22	4,48	4,93	40	4,55	5,01	5,39	5,73	6,34
35	3,75	4,12	4,44	4,72	5,19	45	4,72	5,20	5,61	5,96	6,56
40	3,91	4,31	4,64	4,93	5,43	50	4,90	5,39	5,80	6,17	6,79

Beispiel. Ein einfacher schmiedeiserner Hebel habe eine Länge $R = 245^{mm}$, und sei den ihn beanspruchenden Kräften gemäss mit einem Stirnzapfen von 30^{mm} Dicke zu versehen; soll nun sein Armquerschnitt das Verhältniss $\frac{h}{b} = 3$ zwischen Höhe und Breite haben, so ist, da $\frac{R}{d}$ sehr nahe 8 beträgt, nach Spalte 5, Zeile 8, der Werth von $\frac{h}{d} = 2,88$ zu nehmen; man erhält $2,88 \cdot 30 = 86,4^{mm}$, wofür wir nehmen 87^{mm} .

§. 177.

Tabelle über die Armhöhe der gusseisernen Hebel.
Querschnitt rechteckig, kreuz- oder T-förmig.

$\frac{R}{d}$	Stirnzapfen					$\frac{R}{d_2}$	Doppelzapfen				
	$\frac{h}{b} = 1,5$	2	2,5	3	4		$\frac{h}{b} = 1,5$	2	2,5	3	4
	Werthe von $\frac{h}{d}$						Werthe von $\frac{h}{d_2}$				
2	1,80	1,98	2,14	2,27	2,50	3	2,39	2,63	2,84	3,02	3,35
2,5	1,93	2,14	2,30	2,45	2,69	4	2,63	2,90	3,12	3,35	3,69
3	2,06	2,27	2,45	2,60	2,86	5	2,84	3,12	3,36	3,68	3,97
4	2,27	2,50	2,68	2,86	3,15	6	3,02	3,35	3,62	3,84	4,22
5	2,45	2,69	2,92	3,08	3,39	7	3,18	3,53	3,79	4,03	4,45
6	2,60	2,86	3,11	3,28	3,61	8	3,35	3,69	3,97	4,22	4,65
7	2,73	3,01	3,27	3,45	3,80	9	3,45	3,83	4,13	4,40	4,84
8	2,86	3,15	3,42	3,61	3,97	10	3,68	3,97	4,28	4,55	5,01
9	2,97	3,28	3,56	3,75	4,13	12	3,84	4,21	4,55	4,84	5,31
10	3,08	3,39	3,68	3,89	4,28	14	4,03	4,44	4,79	5,09	5,59
12	3,28	3,61	3,91	4,28	4,54	16	4,22	4,64	5,00	5,32	5,86
14	3,45	3,80	4,12	4,35	4,79	18	4,40	4,84	5,20	5,52	6,10
16	3,61	3,97	4,31	4,54	5,00	20	4,55	5,01	5,39	5,73	6,31
18	3,75	4,13	4,48	4,72	5,20	25	4,86	5,39	5,81	6,17	6,79
20	3,89	4,28	4,64	4,89	5,39	30	5,20	5,73	6,17	6,56	7,22
25	4,16	4,61	5,00	5,27	5,80	35	5,43	6,04	6,50	6,90	7,60
30	4,45	4,89	5,31	5,60	6,16	40	5,73	6,31	6,77	7,22	7,98
35	4,64	5,15	5,59	5,90	6,48	45	5,91	6,55	7,07	7,51	8,26
40	4,89	5,39	5,85	6,16	6,79	50	6,17	6,79	7,31	7,77	8,55

Beispiel. Für einen einfachen gusseisernen Hebel sei die Doppelzapfendicke $d_2 = 1\frac{1}{2}$ Zoll gefunden, und soll bei einer Hebellänge von 15 Zoll die Armbreite zur Armhöhe sich verhalten wie 1:3. Dann ist wegen $\frac{R}{d_2} = \frac{15}{1,5} = 10$ nach Spalte 11, Zeile 8 zu nehmen: $h = 4,55 \cdot 1,5 = 6,82$ Zoll. Der mit dem Doppelzapfen gleichstarke Stirnzapfen würde eine Dicke $d = 1,4 \cdot 1,5 = 2,1$ Zoll erhalten, also $\frac{R}{d} = \frac{15}{2,1} =$ sehr nahe 7 zeigen; für ihn wird bei $\frac{h}{b} = 3$ (Spalte 5) $h = 3,45 \cdot 2,1 = 7,25$ Zoll (Z. 7).

§. 178.

Tabelle über die Armbreite der schmiedeisernen Stirnzapfenhebel. (Querschnitt rechteckig.)

$\frac{R}{h}$	$\frac{h}{d} = 2$	2,25	2,5	2,75	3	3,5	4	5	6	7	8
	Werthe von $\frac{b}{d}$										
1,25	0,66	0,58	0,53	0,48	0,44	0,37	0,33	0,26	0,22	0,19	0,16
1,5	0,79	0,70	0,63	0,57	0,53	0,45	0,39	0,32	0,26	0,23	0,20
1,75	0,92	0,82	0,74	0,67	0,61	0,53	0,46	0,37	0,31	0,27	0,23
2	1,05	0,93	0,84	0,70	0,70	0,60	0,52	0,42	0,35	0,30	0,26
2,25	1,18	1,05	0,95	0,86	0,79	0,68	0,59	0,47	0,39	0,34	0,29
2,5	1,31	1,17	1,05	0,95	0,88	0,75	0,66	0,53	0,44	0,38	0,33
3	1,58	1,40	1,26	1,14	1,05	0,90	0,79	0,63	0,53	0,45	0,40
3,5	1,84	1,63	1,47	1,34	1,23	1,05	0,92	0,74	0,67	0,53	0,46
4	2,10	1,87	1,68	1,53	1,40	1,20	1,05	0,84	0,70	0,60	0,53
4,5	2,36	2,10	1,89	1,72	1,57	1,35	1,18	0,95	0,78	0,67	0,59
5	2,63	2,33	2,10	1,91	1,75	1,50	1,31	1,05	0,87	0,75	0,65
5,5	2,89	2,57	2,31	2,10	1,92	1,65	1,44	1,15	0,91	0,83	0,72
6	3,15	2,80	2,52	2,29	2,10	1,80	1,57	1,26	1,05	0,91	0,79
6,5	3,41	3,03	2,73	2,48	2,27	1,95	1,71	1,37	1,19	0,98	0,86
7	3,68	3,27	2,94	2,67	2,45	2,10	1,84	1,47	1,23	1,05	0,92
7,5	3,94	3,50	3,15	2,86	2,62	2,25	1,97	1,58	1,31	1,13	0,99
8	4,20	3,73	3,36	3,05	2,80	2,40	2,10	1,63	1,40	1,20	1,05
9	4,73	4,20	3,78	3,44	3,15	2,70	2,36	1,89	1,58	1,35	1,08
10	5,25	4,67	4,20	3,82	3,50	3,00	2,62	2,10	1,75	1,50	1,31

Für die gusseisernen Hebel mit einfach rechteckigem oder kreuz- und T-förmigem Armquerschnitt nehme man für b das Doppelte des Tabellenwerthes.

Beispiel. Sollte der Hebel des Beispiels im vorigen Paragraphen eine Armhöhe $h = 5$ Zoll erhalten, so wäre ihm, wenn er aus Schmied-eisen bestände, nach dieser Tabelle Zeile 7 (wegen $\frac{R}{h} = \frac{15}{5}$) Spalte 6 bis 7 (wegen $\frac{h}{d} = \frac{5}{1,5}$) eine Armbreite $b = 0,96 \cdot 1,5 = 1,44$ Zoll zu geben; für Gusseisen wäre b also $= 2,88$ Zoll zu nehmen, wofür wir setzen 2,9 Zoll.

§. 179.

Tabelle über die Armbreite der schmiedeisernen Doppelzapfenhebel. (Querschnitt rechteckig.)

$\frac{R}{h}$	$\frac{h}{d_2} = 2,75$	3	3,25	3,5	4	5	6	7	8	10	12
Werthe von $\frac{b}{d_2}$											
1,25	0,72	0,66	0,60	0,56	0,49	0,39	0,33	0,28	0,25	0,20	0,16
1,5	0,86	0,79	0,73	0,67	0,59	0,47	0,39	0,33	0,30	0,24	0,20
1,75	1,00	0,91	0,85	0,79	0,69	0,55	0,46	0,39	0,34	0,27	0,23
2	1,14	1,05	0,97	0,89	0,79	0,62	0,52	0,45	0,39	0,31	0,26
2,25	1,28	1,18	1,07	1,01	0,88	0,71	0,59	0,51	0,44	0,35	0,30
2,5	1,43	1,31	1,21	1,12	0,98	0,78	0,65	0,56	0,49	0,39	0,33
3	1,71	1,57	1,45	1,34	1,18	0,94	0,78	0,67	0,59	0,47	0,39
3,5	2,00	1,83	1,72	1,57	1,37	1,10	0,91	0,78	0,68	0,55	0,46
4	2,28	2,10	1,93	1,79	1,57	1,26	1,06	0,89	0,78	0,63	0,53
4,5	2,57	2,36	2,17	2,02	1,77	1,42	1,18	1,01	0,89	0,71	0,59
5	2,85	2,62	2,42	2,24	1,96	1,57	1,31	1,12	0,98	0,78	0,65
4,5	3,14	2,88	2,66	2,47	2,16	1,73	1,44	1,23	1,08	0,86	0,72
6	3,42	3,14	2,91	2,66	2,35	1,88	1,57	1,33	1,18	0,94	0,78
6,5	3,64	3,39	3,14	2,92	2,55	2,04	1,70	1,46	1,28	1,02	0,85
7	3,96	3,68	3,39	3,14	2,74	2,19	1,83	1,57	1,37	1,09	0,91
7,5	4,27	3,93	3,64	3,36	2,94	2,35	1,96	1,68	1,47	1,18	0,98
8	4,55	4,18	3,86	3,59	3,14	2,52	2,10	1,79	1,57	1,26	1,05
9	5,12	4,71	4,37	4,04	3,53	2,82	2,35	2,02	1,77	1,41	1,18
10	5,72	5,25	4,84	4,49	3,92	3,14	2,62	2,24	1,96	1,57	1,31

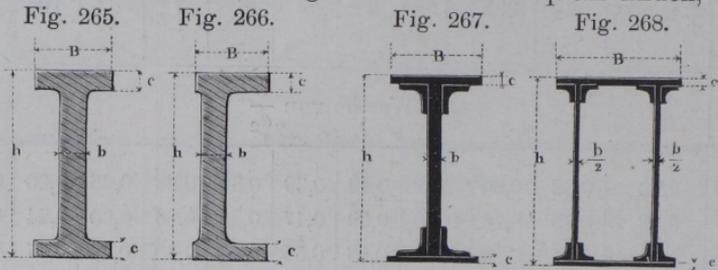
Für den gusseisernen Hebel erhält man wieder sofort dadurch den richtigen Werth, dass man den Tabellenwerth verdoppelt.

Beispiel. Ein gusseiserner Hebel mit Doppelzapfen von 20^{mm} Dicke bei einer Armlänge $R = 300^{\text{mm}}$ soll an der Achse die Armhöhe $h = 90^{\text{mm}}$ erhalten. Hier ist also $\frac{R}{h} = \frac{300}{90} = 3,33$, $\frac{h}{d_2} = \frac{90}{20} = 4,5$. Es fällt somit $\frac{b}{d_2}$ nach Zeile 7 bis 8, Spalte 6 bis 7 etwa auf 1,19; und ist sonach für Schmiedeisen zu nehmen $b = 20 \cdot 1,19 = 23,8^{\text{mm}}$, für Gusseisen doppelt so viel, d. i. $b = 2 \cdot 23,8 = 47,6$, wofür wir nehmen 48^{mm}.

§. 180.

Zusammengesetzte Hebelarm-Querschnitte.

Die nachstehenden Hebelarmquerschnitte eignen sich für grosse Kräfte sehr gut, indem sie eine günstige Materialvertheilung haben. Ihre Abmessungen lassen sich bequem finden, wenn



man zuerst den einfach rechteckigen Querschnitt bestimmt, und diesen darauf in den I-förmigen verwandelt.

Bei den in den Figuren angegebenen Bezeichnungen, und wenn man noch nennt: h_0 die Höhe, b_0 die Breite des Hebelarmes mit rechteckigem Querschnitt, von dem Material des zu construirenden, welcher den gegebenen Kräften (Zapfen) entspricht, kann die Verwandlung wie folgt geschehen.

Man bestimmt 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:

$$\frac{b}{b_0} = \frac{1}{1 + \alpha} \dots \dots \dots (211)$$

wobei

$$\alpha = \left(\frac{B}{b} - 1 \right) \left(6 \frac{c}{h} - 12 \left(\frac{c}{h} \right)^2 \right) \dots \dots \dots (212)$$

Diese Formel setzt die Wahl von $\frac{B}{b}$ und von $\frac{c}{h}$ voraus, welche immer leicht nach dem Geschmack des Construirenden geschehen kann. In (211) sind die Winkeleisen der Querschnitte Fig. 267 und 268 vernachlässigt, wodurch zugleich die Schwächung durch die Nietlöcher ausgeglichen wird. Folgende Tabelle gibt eine Reihe von Werthen für (211), mit Hilfe 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 Krahnshilde, Blechkrahn-Auslader u. s. w.

§. 181.

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	0,70	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

Beispiel. Es sei die Länge R eines zu konstruirenden einfachen Hebels = 2000^{mm}, die Dicke d_2 des daran anzubringenden Doppelzapfens = 40^{mm}; der Arm soll aus Gusseisen mit Iförmigem Querschnitt konstruirt werden und eine Höhe h_0 = 320^{mm} erhalten. Danach würde nach (208) für Schmiedeeisen zu machen sein: $b_0 = 40 \cdot 1,57 \cdot \frac{40}{320} \frac{2000}{320} = 49$ ^{mm}, für Gusseisen aber nach §. 175 doppelt so stark, also $b_0 = 98$ ^{mm}. Dies ist so

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 versuchweises 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