FORMELN,

TABELLEN UND SKIZZEN

FÜR DAS ENTWERFEN

EINFACHER MASCHINENTHEILE.

VON

OTTO GROVE,
PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU MÜNCHEN.

ZUM LICHT

HANNOVER.
SCHMORL & VON SEEFELD.
1881.

FORMELN,

TABELLEN UND SKIZZEN

FÜR DAS ENTWERFEN

EINFACHER MASCHINENTHEILE.

VON

OTTO GROVE,
PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU MÜNCHEN.

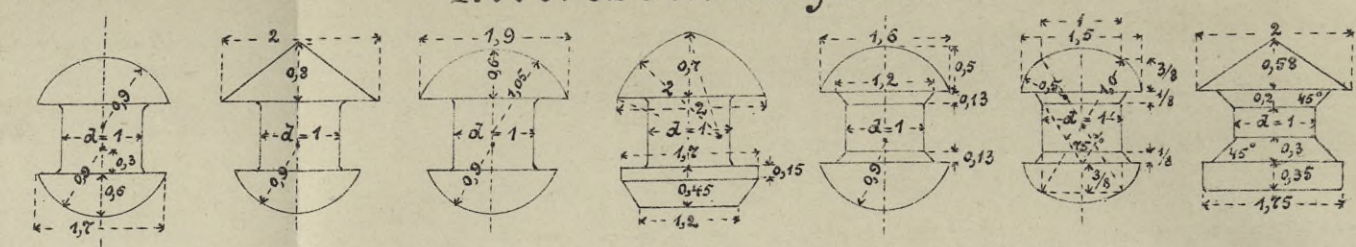
ZUM LICHT

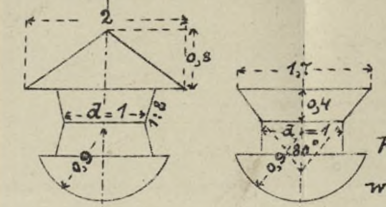
HANNOVER.
SCHMORL & VON SEEFELD.
1881.

Druck von C. L. Schrader, Hannover.

Inhalt.

Nietverbindungen.





Formeln

In der Regel ist Nietdurchmesser $d^{cm} = \frac{3{,}6\,\delta}{0{,}9+\delta}$, worin δ die Blechstärke in cm:

Für δ =	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7~1,9	2,0~2,2	2,3~2,6
wird d =	0,65	0,8	1,1	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,5	2,6

Einfache Vernietung:

$$\frac{e}{\delta}=\left(\frac{d}{\delta}\right)+\frac{\pi}{4}\left(\frac{d}{\delta}\right)^2;\quad \frac{e_1}{\delta}=\frac{1}{2}\left(\frac{d}{\delta}\right)+\frac{5\pi}{32}\left(\frac{d}{\delta}\right)^2;\quad f=\frac{1}{1+\frac{4}{\pi}\left(\frac{\delta}{d}\right)}=\frac{\text{Zug in der Nietung}}{\text{Zug im vollen Blech}}$$

$\frac{d}{\delta}$ =	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,25	3,5
$\frac{e}{\delta}$ =	1,79	2,05	2,33	2,63	2,94	3,27	3,61	3,97	4,34	4,73	5,14	5,56	6,00	6,45	6,92	7,41	7,91	8,42	8,94	9,50	10,06	11,54	13,12
* $\frac{e_1}{\delta}$ =	0,99	1,14	1,31	1,48	1,66	1,85	2,06	2,27	2,49	2,72	2,96	3,21	3,48	3,75	4,03	4,32	4,62	4,93	5,25	5,58	5,92	6,81	7,77
f =	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,57	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,69	0,70	0,72	0,75

* Zweckmäßig ist $e_1 \geq$ $1{,}2\,d + 0{,}5^{cm}$ für Nietungen ohne Dichtungs-Material zwischen den Fugen.
$1{,}2\,d + 1{,}2$ „ „ mit „ „ „ „ „

Doppelte Vernietung:

$$\frac{e}{\delta}=\left(\frac{d}{\delta}\right)+\frac{\pi}{2}\left(\frac{d}{\delta}\right)^2;\quad \frac{e_1}{\delta}=\frac{1}{2}\left(\frac{d}{\delta}\right)+\frac{5\pi}{32}\left(\frac{d}{\delta}\right)^2;\quad \frac{n}{\delta}=\left(\frac{d}{\delta}\right)+\frac{9\pi}{32}\left(\frac{d}{\delta}\right)^2,\quad n \geq 2\,d+0{,}5^{cm};\quad f=\frac{1}{1+\frac{2}{\pi}\left(\frac{\delta}{d}\right)}$$

$\frac{d}{\delta}$ =	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
$\frac{e}{\delta}$ =	2,57	3,00	3,46	3,95	4,48	5,03	5,62	6,24	6,89	7,57	8,28	9,03	9,80	10,61	11,45	12,32
* $\frac{e_1}{\delta}$ =	0,99	1,14	1,31	1,48	1,66	1,85	2,06	2,27	2,49	2,72	2,96	3,21	3,48	3,75	4,03	4,32
† $\frac{n}{\delta}$ =	1,88	2,17	2,47	2,79	3,13	3,49	3,86	4,25	4,66	5,09	5,53	6,00	6,48	6,97	7,49	8,02
f =	0,61	0,64	0,65	0,67	0,69	0,70	0,71	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,80

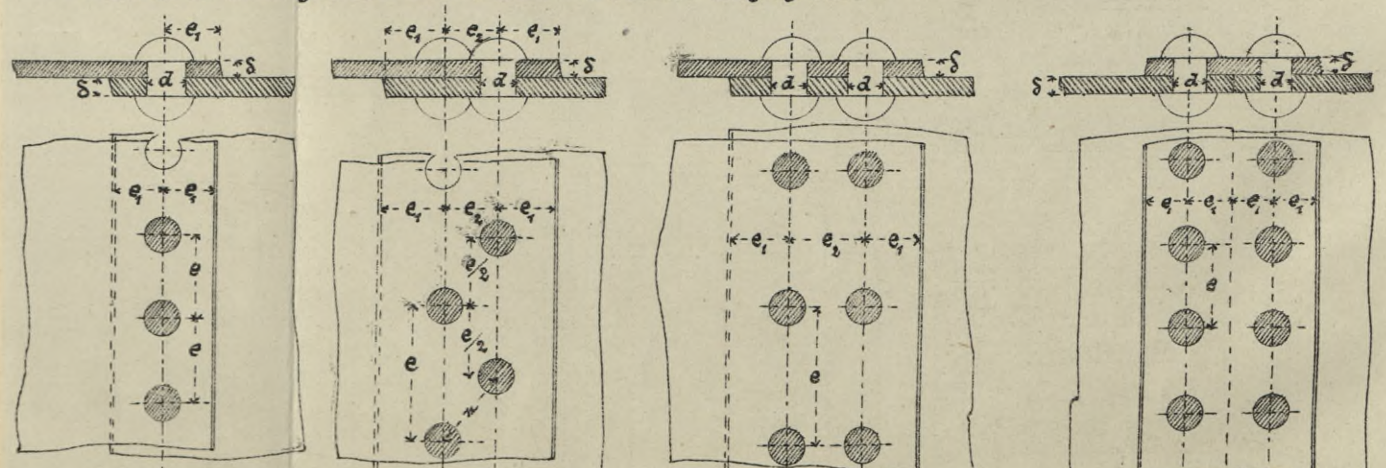
Einseitige Laschen nach d. Form d. einf. Vernietung. † $n \geq 2\,d + 0{,}5^{cm}$; bei Dampfk.: n = e d. einf. Nietung.

Zweiseitige Laschen: $\frac{e}{\delta}=\left(\frac{d}{\delta}\right)+i\,\frac{\pi}{2}\left(\frac{d}{\delta}\right)^2;\ \frac{e_1}{\delta}=\frac{1}{2}\left(\frac{d}{\delta}\right)+\frac{5\pi}{16}\left(\frac{d}{\delta}\right)^2;\ \frac{n}{\delta}=\left(\frac{d}{\delta}\right)+\frac{9\pi}{32}\,i\left(\frac{d}{\delta}\right)^2;\ f=\frac{1}{1+\frac{1}{i}\frac{2}{\pi}\left(\frac{\delta}{d}\right)}$

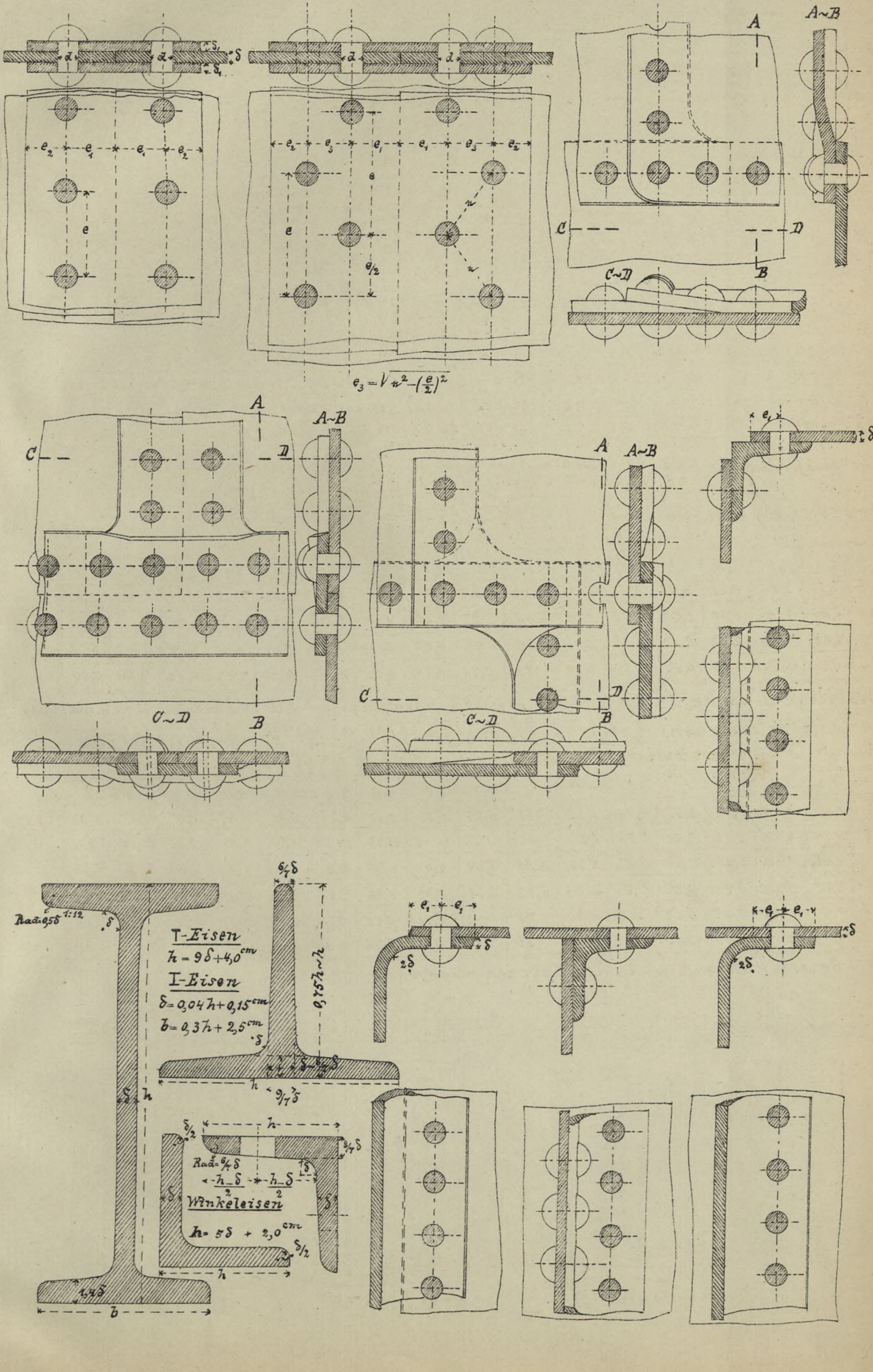
i Anzahl Nietreihen zu jeder Seite des Stoßes. $e_2 \geq \frac{d}{2}+\frac{\delta}{2\delta_1}\left(e_1-\frac{d}{2}\right)$, wobei $\delta_1=\frac{\delta}{2}+0{,}2$.

$\frac{d}{\delta}$ =	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
$i=1;\ \frac{e}{\delta}$ =	2,57	3,00	3,46	3,95	4,48	5,03	5,62	6,24	6,89	7,57	8,28	9,03	9,80	10,61	11,45	12,32
$i=2;\ \frac{e}{\delta}$ =	4,14	4,92	5,72	6,61	7,56	8,57	9,64	10,78	11,98	13,24	14,57	15,96	17,41	18,92	20,50	22,13
$\frac{e_1}{\delta}$ =	1,48	1,74	2,01	2,31	2,62	2,96	3,31	3,69	4,08	4,49	4,93	5,38	5,85	6,34	6,85	7,39
$i=2;\ \frac{n}{\delta}$ =	2,77	3,24	3,74	4,29	4,86	5,48	6,12	6,81	7,53	8,28	9,07	9,89	10,75	11,65	12,58	13,54
$i=1;\ f$ =	0,61	0,64	0,65	0,67	0,69	0,70	0,71	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,80
$i=2;\ f$ =	0,76	0,77	0,79	0,80	0,81	0,83	0,83	0,84	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87	0,88	0,88	0,89

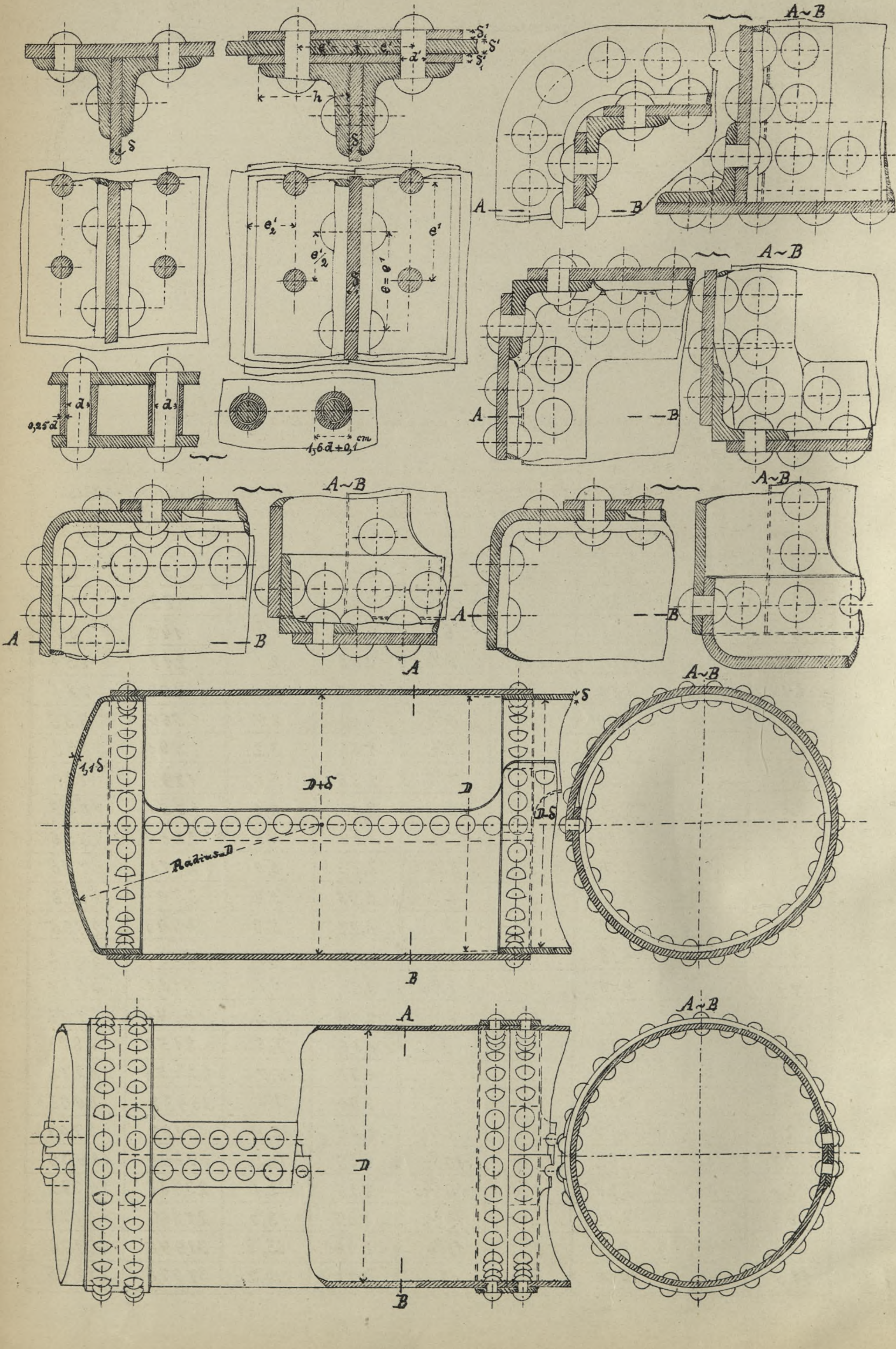
Die Bezeichnungen sind in den Skizzen angegeben.

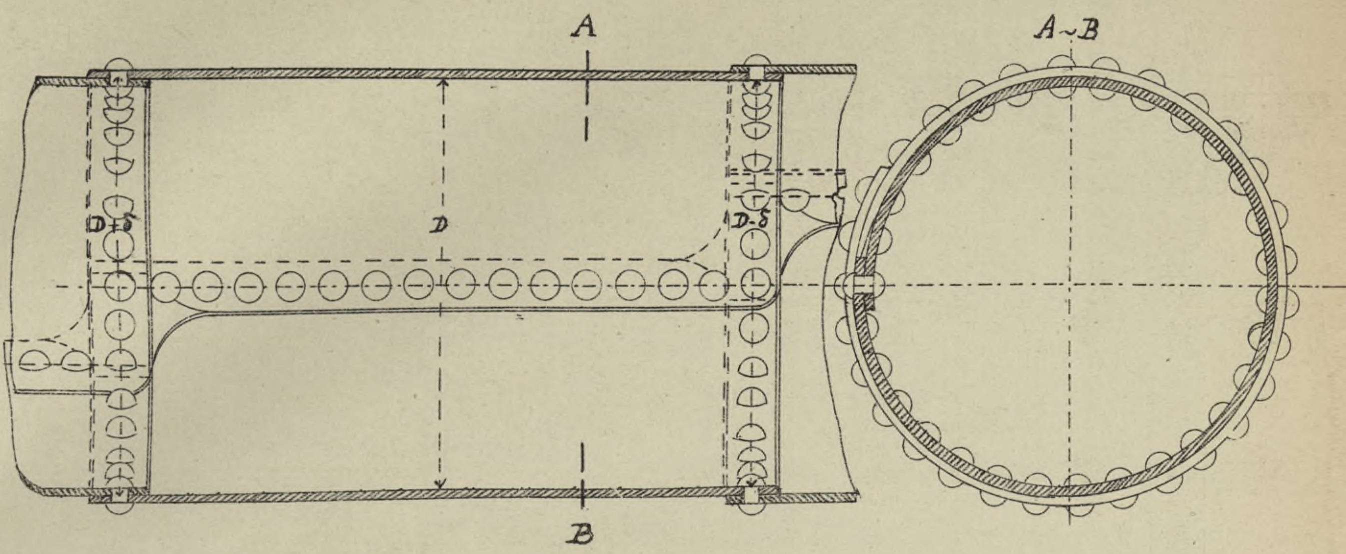


$e_2=\sqrt{n^2-\left(\frac{e}{2}\right)^2}$ $\qquad$ $e_2 = e_1+\frac{d}{2} \geq 2\,d+0{,}5^{cm}$


A~B
C~D
e₃ = √(n² − (e/2)²)
T-Eisen
h = 9δ + 4,0 cm
I-Eisen
δ = 0,04 h + 0,15 cm
b = 0,3 h + 2,5 cm
Winkeleisen
h = 5δ + 2,0 cm
Rad. = 0,5δ
1:12
Rad. = 6/4 δ
0,75 h ~ h

Taf. 3.

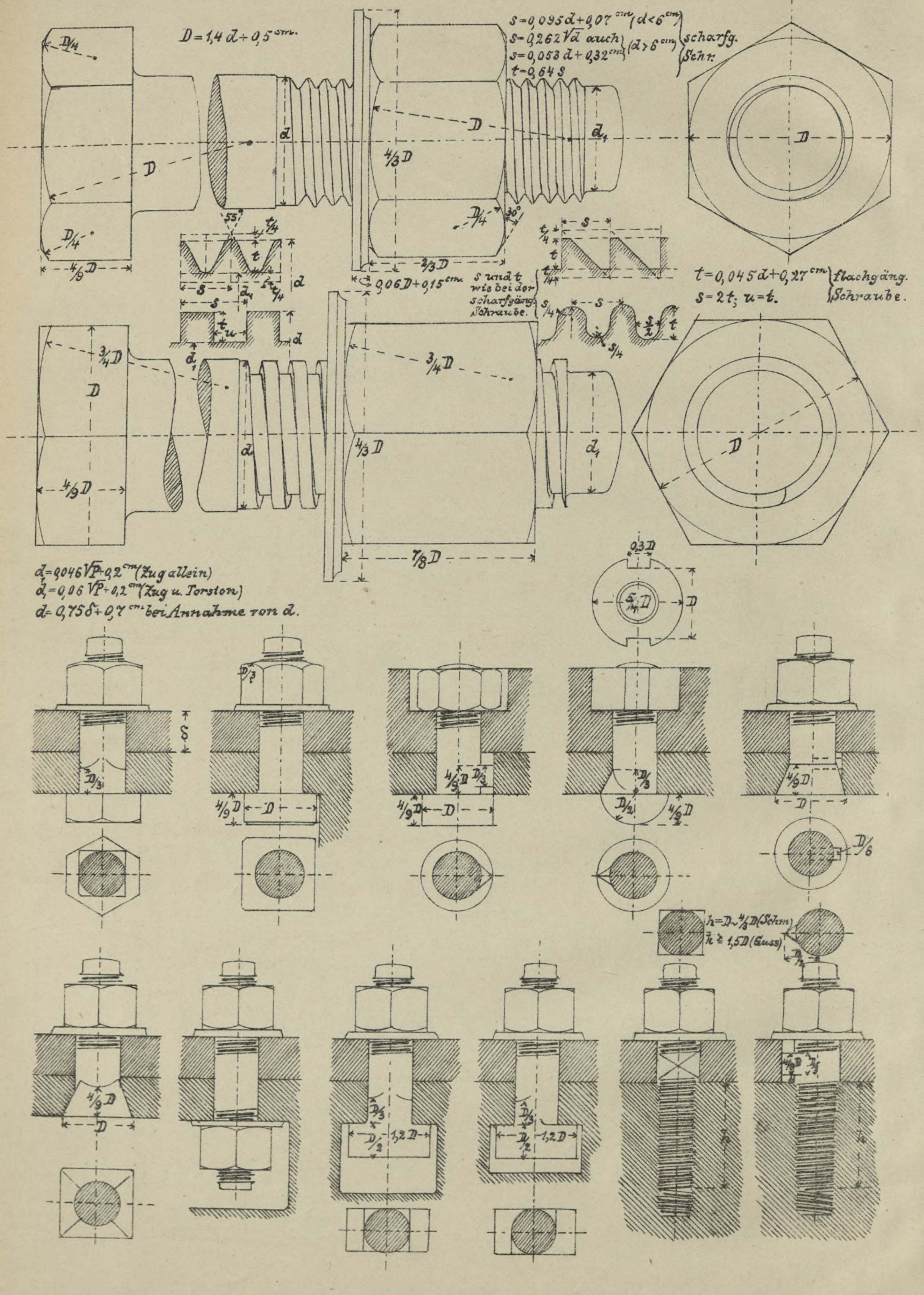


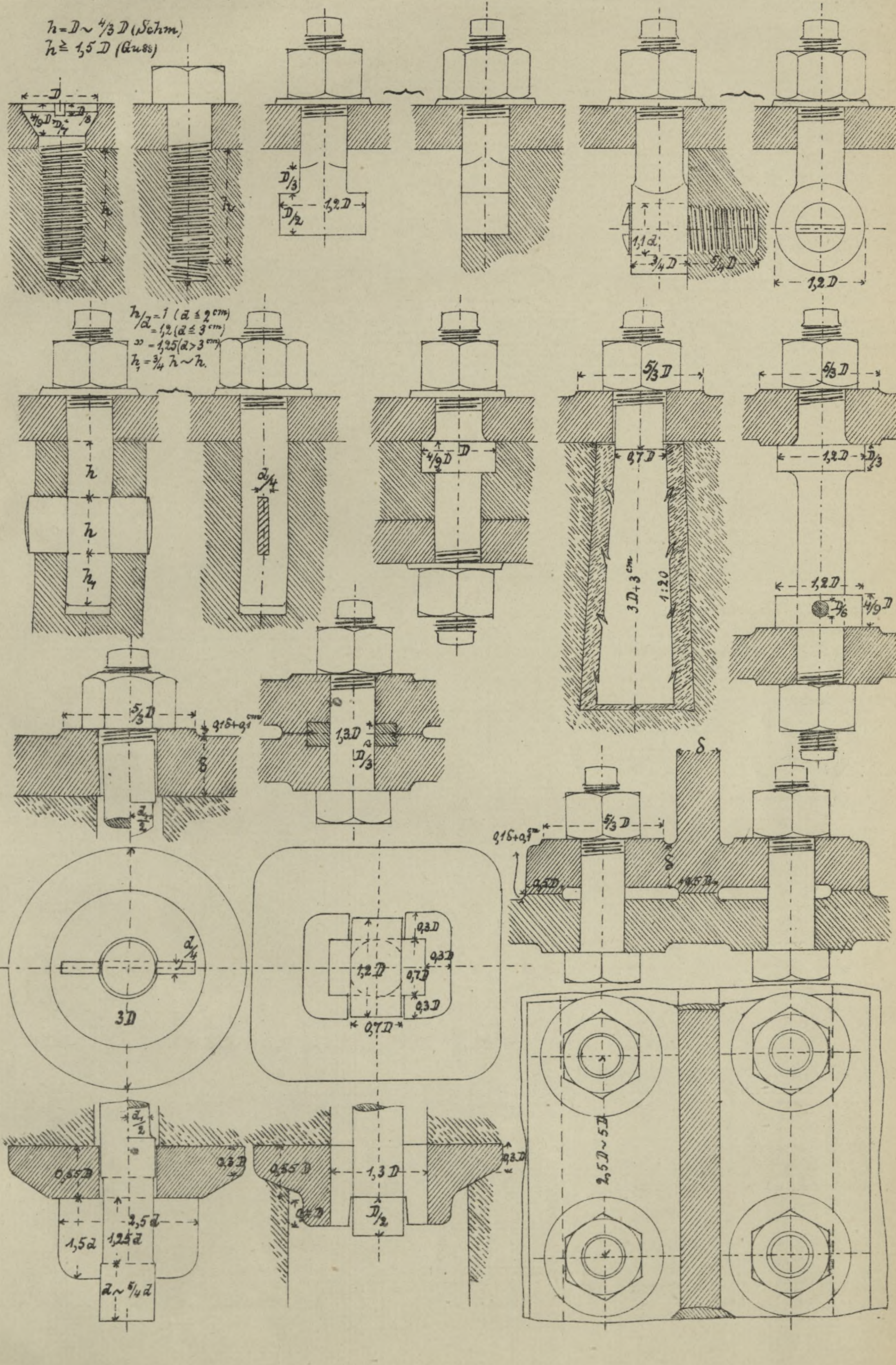


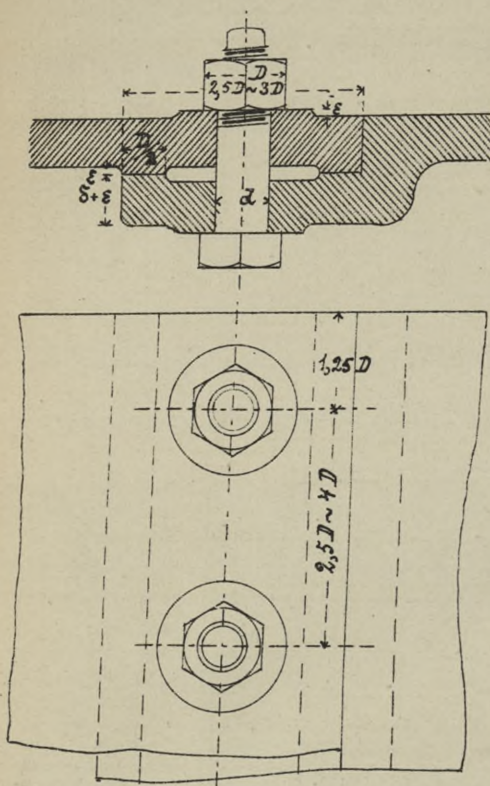
Schrauben-Verbindungen.

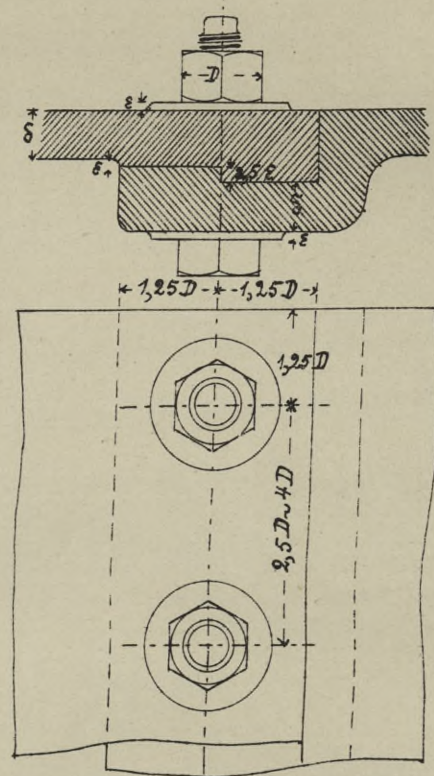
Tabelle der scharfgängigen Schrauben nach Whitworth.

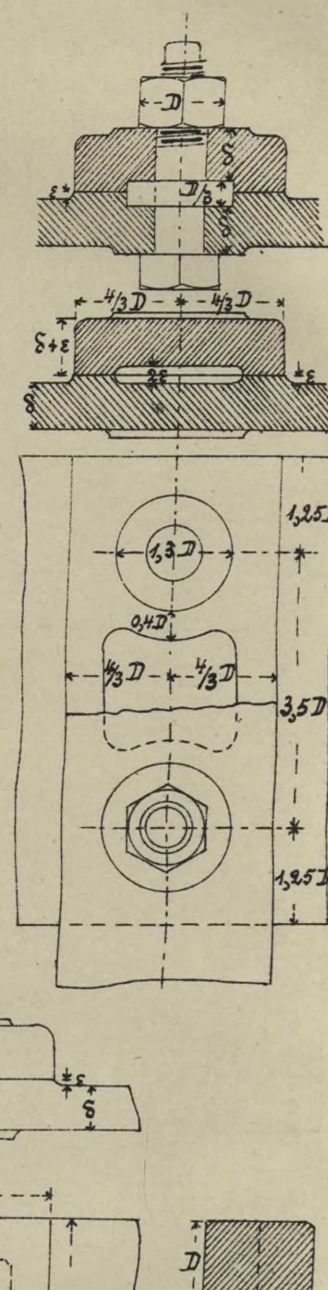
Bolzen-durchmesser in cm.	Äusserer Durchmesser d in Zoll engl.	Äusserer Durchmesser d in cm.	Anzahl der Gewinde auf eine Länge = 1" engl.	Anzahl der Gewinde auf eine Länge = d	Kern-durchmesser d_1	Schlüssel-weite D	Belastung in Kilogramm ohne Torsion.	Belastung in Kilogramm mit Torsion.
0,8	1/4	0,64	20	5	0,48	1,4	37	22
0,9	5/16	0,79	18	5 5/8	0,61	1,6	79	48
1,1	3/8	0,95	16	6	0,75	1,8	143	86
1,2	7/16	1,11	14	6 1/8	0,88	2,1	218	131
1,4	1/2	1,27	12	6	1,00	2,3	302	181
1,7	5/8	1,59	11	6 7/8	1,29	2,7	560	336
2,0	3/4	1,90	10	7 1/2	1,58	3,2	897	538
2,3	7/8	2,22	9	7 7/8	1,86	3,6	1299	779
2,7	1	2,54	8	8	2,13	4,1	1755	1053
3,0	1 1/8	2,86	7	7 7/8	2,39	4,5	2260	1356
3,3	1 1/4	3,18	7	8 3/4	2,72	5,0	2773	1796
3,6	1 3/8	3,49	6	8 1/4	2,95	5,4	3564	2138
3,9	1 1/2	3,81	6	9	3,27	5,8	4441	2665
4,3	1 5/8	4,13	5	8 1/8	3,48	6,3	5070	3042
4,6	1 3/4	4,45	5	8 3/4	3,80	6,7	6187	3664
4,9	1 7/8	4,76	4 1/2	8 7/16	4,04	7,2	6949	4169
5,2	2	5,08	4 1/2	9	4,36	7,6	8155	4893
5,8	2 1/4	5,72	4	9	4,91	8,5	10454	6272
6,5	2 1/2	6,35	4	10	5,54	9,4	13438	8063
7,1	2 3/4	6,99	3 1/2	9 5/8	6,06	10,3	16182	9709
7,7	3	7,62	3 1/2	10 1/2	6,69	11,2	19849	11909
8,4	3 1/4	8,26	3 1/4	10 9/16	7,26	12,1	23488	14093
9,0	3 1/2	8,89	3 1/4	11 3/8	7,89	13,0	27867	16720
9,6	3 3/4	9,53	3	11 1/4	8,44	13,8	31996	19198
10,3	4	10,16	3	12	9,07	14,7	37076	22245


D=1,4 d+0,5 cm.
s=0,095 d+0,07 cm (d<6 cm)
s=0,262 √d auch
s=0,053 d+0,32 cm (d>6 cm)
t=0,64 s
scharfg. Schr.
0,06 D+0,15 cm.
s und t wie bei der scharfgäng. Schraube.
t=0,045 d+0,27 cm flachgäng. Schraube.
s=2t; u=t.
d₁=0,046 √P+0,2 cm (Zug allein)
d₁=0,06 √P+0,2 cm (Zug u. Torsion)
d=0,75δ+0,7 cm bei Annahme von d.
h=D-4/3 D (Schm)
h ≥ 1,5D (Guss)


h = D ~ 4/3 D (Schm)
h ≥ 1,5 D (Guss)
h/d = 1 (d ≤ 2 cm)
= 1,2 (d ≤ 3 cm)
» = 1,25 (d > 3 cm)
h₁ = 3/4 h ~ h.
1,2 D
5/3 D
0,7 D
3 D + 3 cm
1:20
4/9 D
1,3 D
3 D
2,5 D ~ 5 D
1,5 d
1,25 d
2,5 d
d ~ 5/4 d
0,55 D
0,3 D

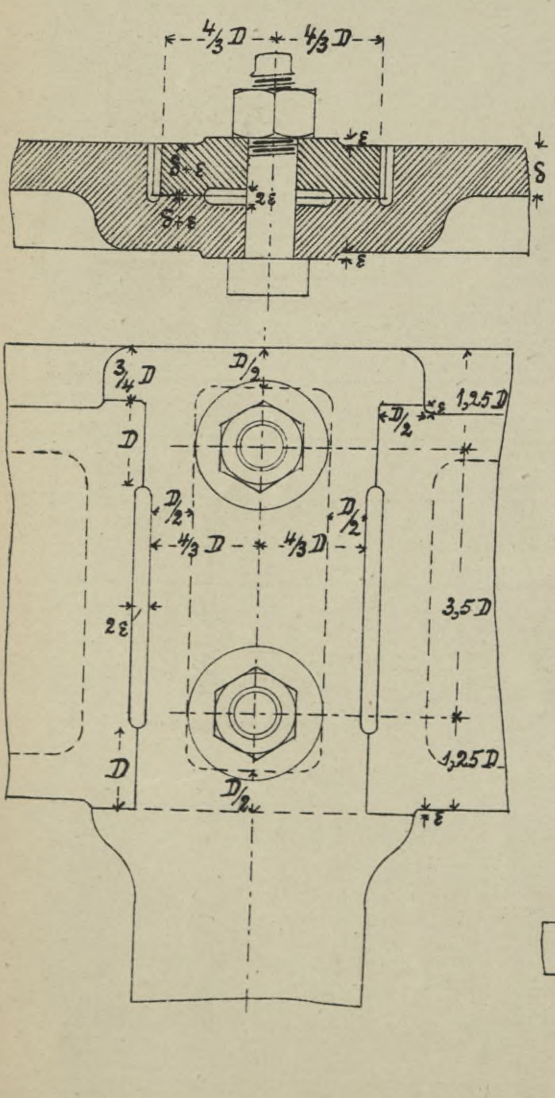


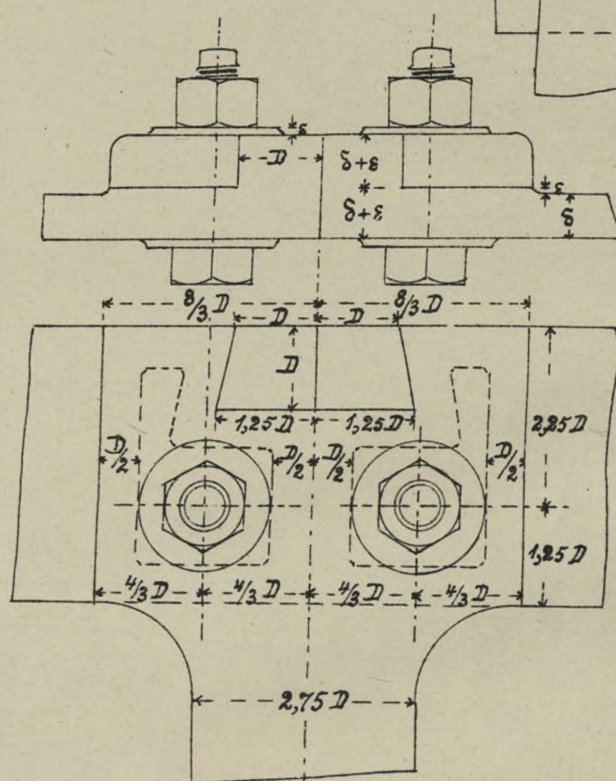


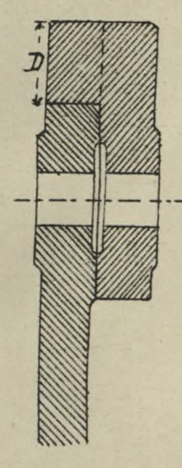


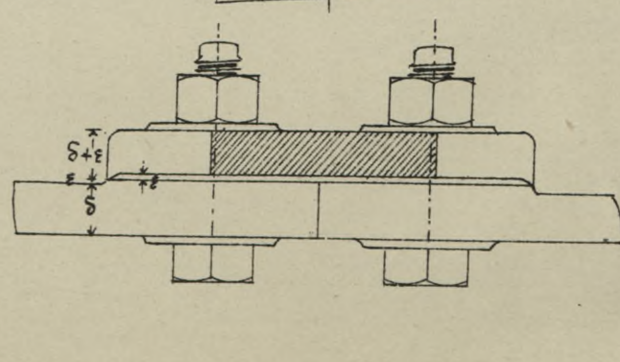
$d = 0{,}75\delta + 0{,}7^{\text{cm.}}$

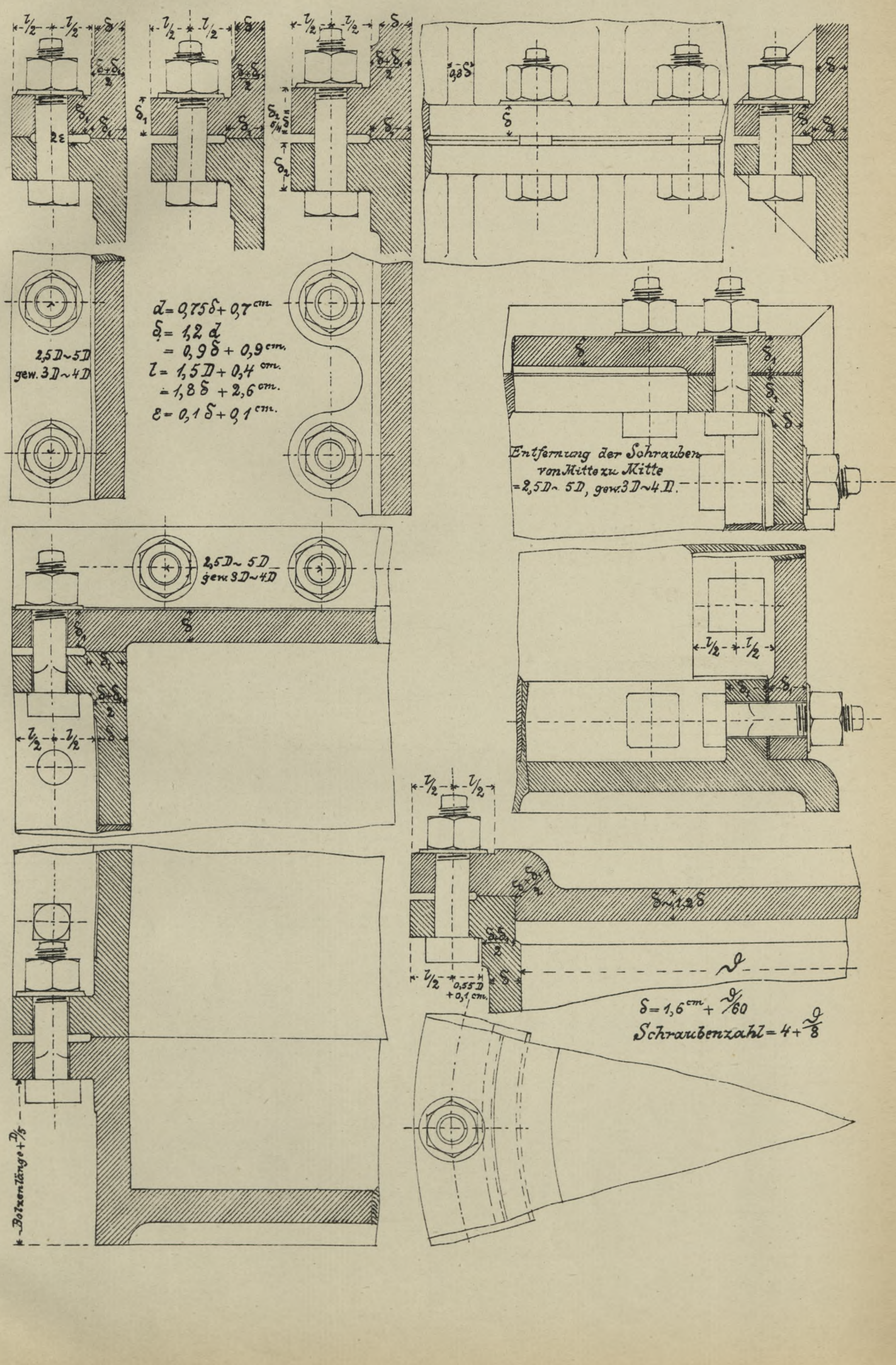
$\varepsilon = 0{,}1\delta + 0{,}1^{\text{cm.}}$

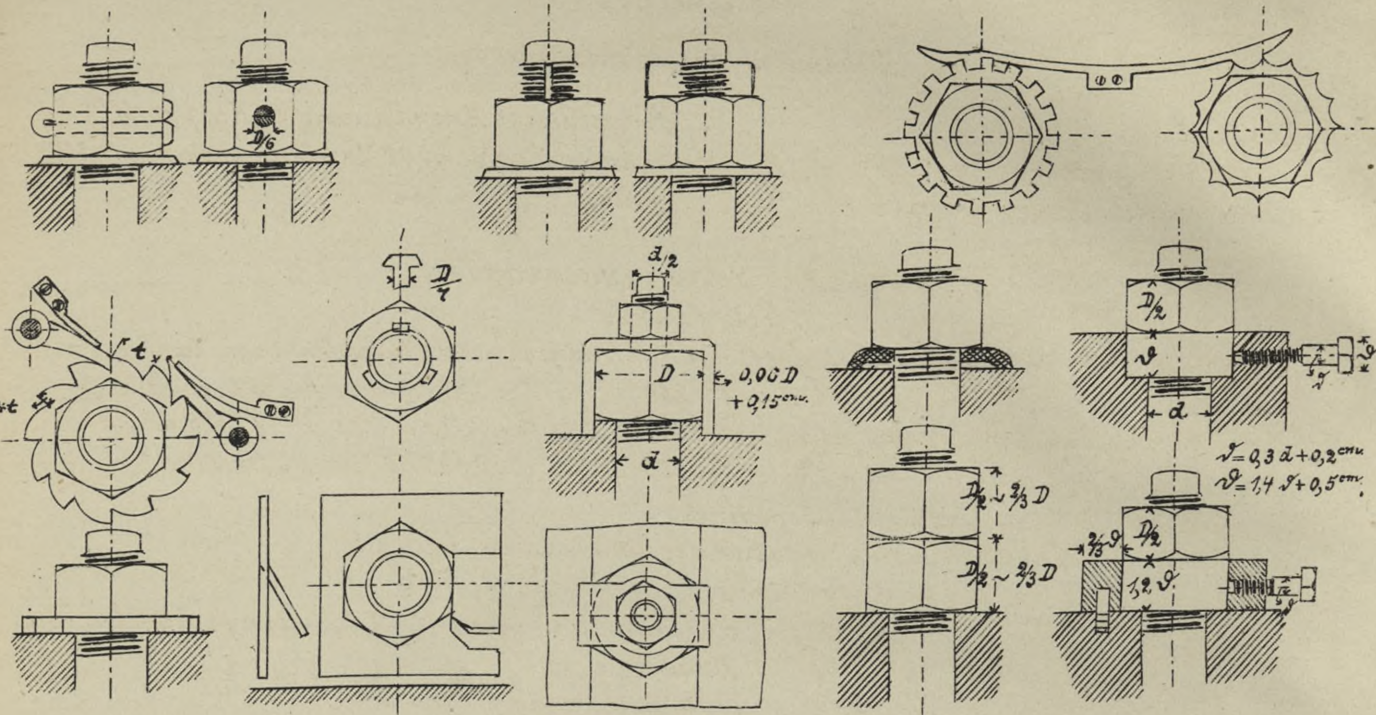




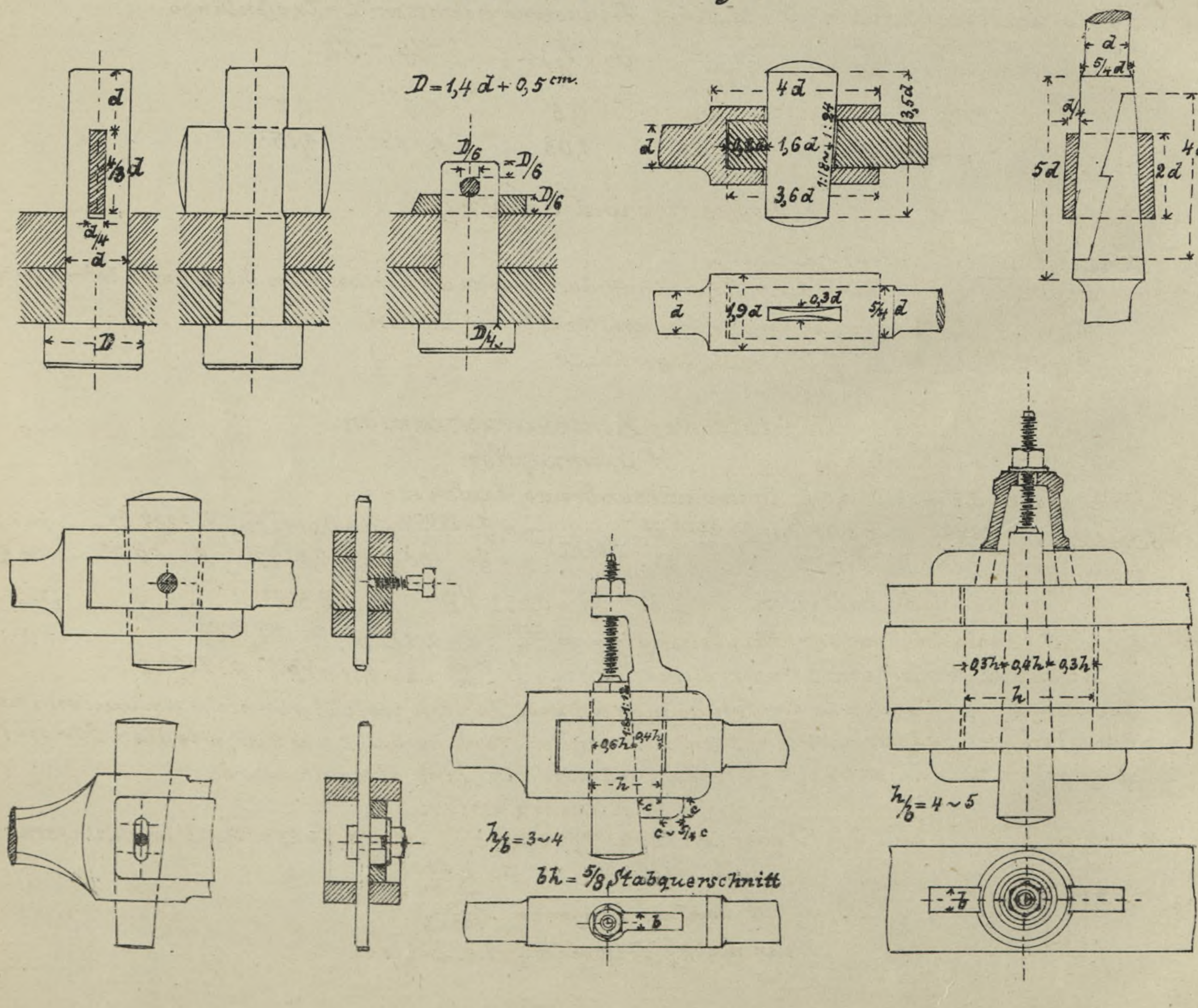





2,5D ~ 5D
gew. 3D ~ 4D
d = 0,75δ + 0,7 cm.
δ = 1,2 d
= 0,9δ + 0,9 cm.
l = 1,5D + 0,4 cm.
= 1,8δ + 2,6 cm.
ε = 0,1δ + 0,1 cm.
Entfernung der Schrauben von Mitte zu Mitte = 2,5D ~ 5D, gew. 3D ~ 4D.
2,5D ~ 5D
gew. 3D ~ 4D
δ ~ 1,2δ
0,55D + 0,1 cm.
δ = 1,6 cm + ϑ/60
Schraubenzahl = 4 + ϑ/8
Bolzenlänge + D/5



Keilverbindungen.



Zapfen.

Allgemeine Bezeichnungen.

P = Zapfendruck in Kg.
p = Maximallagerdruck pro □ cm.
n = Umdrehungszahl pro Minute.
$\mathfrak{S}$ = zulässige Anspannung in Kg. pro □ cm.
e = Anlaufhöhe = 0,07 Zapfendurchm. + 0,3 cm
Anlaufbreite = 1,5 e

I. Trag= oder Seitendruckzapfen.

1. Stirnzapfen.

a. Gewöhnliche Umdrehungszahlen, $n \leq 100$ d = Zapfendurchmesser, l = Zapfenlänge. Zapfen von:

Gußeisen	$p = 37$	$l/d = 1{,}3$	$\mathfrak{S} = 250$	$d = 0{,}16\sqrt{P}$	$P = 37{,}76\, d^2$.
Schmiedeisen	$p = 64$	$l/d = 1{,}4$	$\mathfrak{S} = 500$	$d = 0{,}12\sqrt{P}$	$P = 70{,}125\, d^2$.
Stahl	$p = 100$	$l/d = 1{,}4$	$\mathfrak{S} = 800$	$d = 0{,}095\sqrt{P}$	$P = 112{,}20\, d^2$.

Hiernach ist die Tabelle auf Tafel 11 berechnet.

Zapfen, welche sich nicht abnutzen, erhalten die Dimensionen d_1 und l_1:

$$d_1 = 0{,}9\, d \text{ (für } l/d_1 = l/d) \qquad d_1 = 0{,}94\, d \text{ (für } l_1 = l)$$

b. Ungewöhnliche Umdrehungszahlen; d_1 = Zapfendurchmesser, l_1 = Zapfenlänge. Zapfen von:

Schmiedeisen $p = \frac{6400}{n}$ $\mathfrak{S} = 500$
Stahl $p = \frac{10000}{n}$ $\mathfrak{S} = 800$
$\Big\}\ l/d_1 = 0{,}14\sqrt{n}$, $\quad d_1/d = \sqrt{l/d_1 \cdot d/l}$.

Die Resultate dieser Formeln sind in nachstehender Tabelle enthalten, wobei $\frac{l}{d} = 1{,}4$ gesetzt ist:

n =	0	0	sehr gering	80	100	115	156	204	258	318	386	460	625	816
l/d_1 =	0,5	0,75	1,0	1,25	1,40	1,50	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,5	4,0
d_1/d =	0,60	0,73	0,84	0,94	1,0	1,04	1,12	1,20	1,27	1,34	1,40	1,46	1,58	1,69

Hohle Gußeisenzapfen, ϑ = äußerer, δ = innerer Durchmesser, L = Zapfenlänge

$$\vartheta/d = \frac{1}{\sqrt{1-(\delta/\vartheta)^4}}; \quad \vartheta = (\vartheta/d)\, d; \quad L/\vartheta = l/d.$$

Für δ/ϑ =	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
wird ϑ/d =	1,004	1,01	1,03	1,07	1,15

2. Zweiseitige und Gabelzapfen.

Dimensionen des Zapfens = d_1 und l_1.

$d_1/d = 0{,}7$, $l_1/d_1 = l/d$ (wenn der Auflagerdruck das Doppelte des Werthes beim Stirnzapfen betragen darf.)
$d_1/d = 0{,}8$, $l_1 = l$ (bei gleicher Abnutzungsstärke beider Zapfen)
$d_1/d = 0{,}84$, $l_1 = 2d_1$ (» gleichem Auflagerdruck » »)

II. Stütz= oder Achsendruckzapfen.

1 Spurzapfen.

Dimensionen d und l; $l = 1{,}5\, d$. Spurplatte von Bronce, Zapfen von:

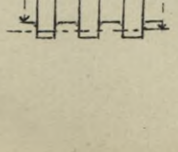
Schmiedeisen $\begin{cases} p = \frac{1}{\pi}\frac{6400}{n} & d = 0{,}0177\sqrt{Pn};\ P = \frac{3200}{n} d^2; \\ p = \frac{1}{\pi}\, 64 & d = 0{,}177\sqrt{P};\ P = 32\, d^2; \end{cases}$
Stahl $\begin{cases} p = \frac{1}{\pi}\frac{10000}{n};\ d = 0{,}014\sqrt{Pn};\ P = \frac{5000}{n} d^2 \ldots (n \geq 100) \\ p = \frac{1}{\pi}\, 100;\ d = 0{,}14\sqrt{P};\ P = 50\, d^2 \ldots (n \leq 100) \end{cases}$

Gußeisen: $p = \frac{1}{\pi}\, 37$; $d = 0{,}232\sqrt{P}$; $P = 18{,}5\, d^2$ . . . . . . $(n \leq 100)$

Für Stahl auf Stahl mit sorgfält. Oelung $p = \frac{1}{\pi}\frac{20000}{n}$; $d = 0{,}01\sqrt{P.n}$; $P = \frac{10000}{n} d^2$.
» Eisen auf Pockholz mit Wasserdurchfluß $p = \frac{1}{\pi}\frac{15000}{n}$; $d = 0{,}0115\sqrt{P.n}$; $P = \frac{7500}{n} d^2$.

Sehr langsam umlaufende Zapfen können doppelt, Zapfen, welche gar nicht umlaufen (nur Beweglichkeit gewähren sollen) sogar viermal so stark belastet werden, wie oben für $n = 100$ angegeben wurde, wobei d 0,7, resp. 0,5 von dem Formelwerth wird.

2. Kammzapfen.



$b = 0{,}7\sqrt{D}$ oder $0{,}7\sqrt{D_1} + 0{,}3$ cm; $c = b$; $c_1 = 1{,}25b \sim 1{,}5b$ (bis $2b$ bei Holzlagern);

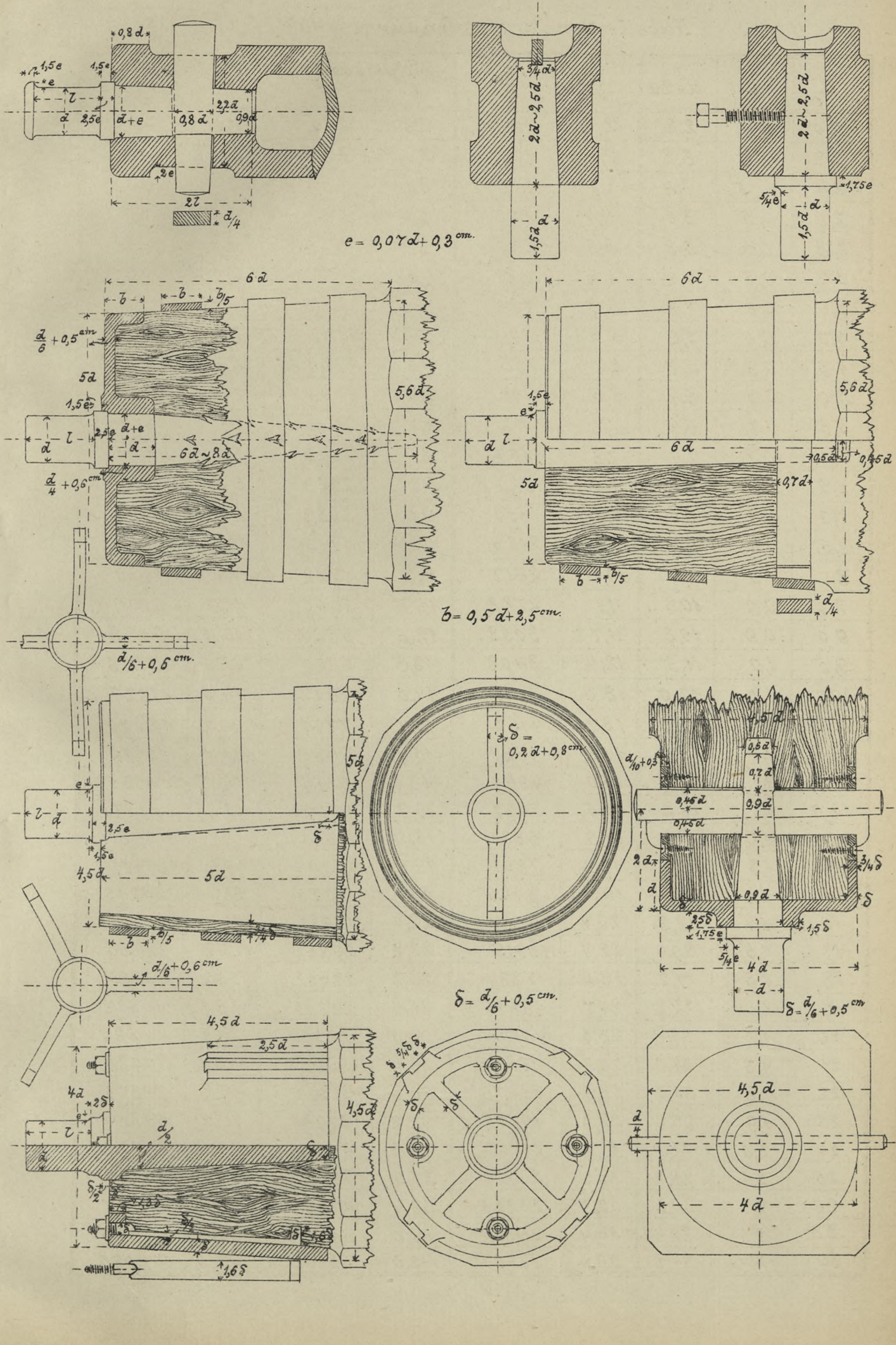
$$p = \frac{1}{\pi}\,\frac{5000}{n} \cdot \frac{c}{D}; \qquad P = i\,\frac{5000}{n} \cdot cb.$$

Anzahl der Ringe $= i = \frac{Pn}{5000 . cb}$.

Wenn $n < 78\frac{c}{D}$, so ist $n = 78\frac{c}{D}$ einzusetzen.

Tabelle der Stirnzapfen für $n \leqq 100$.

d	e	$d+2e$	Gußeisen		Schmiedeisen		Stahl	
			l	P	l	P	l	P
2,0	0,4	2,8	2,6	151	2,8	280	2,8	449
2,2	0,5	3,2	2,9	183	3,1	339	3,1	543
2,4	0,5	3,4	3,1	217	3,4	404	3,4	646
2,6	0,5	3,6	3,4	255	3,6	474	3,6	758
2,8	0,5	3,8	3,6	296	3,9	550	3,9	880
3,2	0,5	4,2	4,2	387	4,5	718	4,5	1149
3,6	0,6	4,8	4,7	489	5,0	909	5,0	1454
4,0	0,6	5,2	5,2	604	5,6	1122	5,6	1795
4,5	0,6	5,7	5,9	765	6,3	1420	6,3	2272
5,0	0,7	6,4	6,5	944	7,0	1753	7,0	2805
5,5	0,7	6,9	7,2	1142	7,7	2121	7,7	3394
6,0	0,7	7,4	7,8	1359	8,4	2524	8,4	4039
6,5	0,8	8,1	8,5	1595	9,1	2963	9,1	4740
7,0	0,8	8,6	9,1	1850	9,8	3436	9,8	5498
7,5	0,8	9,1	9,8	2124	10,5	3945	10,5	6311
8,0	0,9	9,8	10,4	2417	11,2	4488	11,2	7180
8,5	0,9	10,3	11,1	2728	11,9	5066	11,9	8106
9,0	0,9	10,8	11,7	3058	12,6	5680	12,6	9088
9,5	1,0	11,5	12,4	3408	13,3	6329	13,3	10126
10,0	1,0	12,0	13,0	3776	14,0	7012	14,0	11220
10,5	1,0	12,5	13,7	4163	14,7	7731	14,7	12370
11,0	1,1	13,2	14,3	4569	15,4	8485	15,4	13576
11,5	1,1	13,7	15,0	4994	16,1	9274	16,1	14838
12,0	1,1	14,2	15,6	5437	16,8	10098	16,8	16157
13	1,2	15,4	16,9	6381	18,2	11851	18,2	18961
14	1,3	16,6	18,2	7401	19,6	13744	19,6	21991
15	1,4	17,8	19,5	8496	21,0	15778	21,0	25245
16	1,4	18,8	20,8	9667	22,4	17952	22,4	28723
17	1,5	20,0	22,1	10913	23,8	20266	23,8	32426
18	1,6	21,2	23,4	12234	25,2	22720	25,2	36353
19	1,6	22,2	24,7	13631	26,6	25315	26,6	40504
20	1,7	23,4	26,0	15104	28,0	28050	28,0	44880
21	1,8	24,6	27,3	16652	29,4	30925	29,4	49480
22	1,8	25,6	28,6	18276	30,8	33940	30,8	54305
23	1,9	26,8	29,9	19975	32,2	37096	32,2	59354
24	2,0	28,0	31,2	21750	33,6	40392	33,6	64627
25	2,1	29,2	32,5	23600	35,0	43828	35,0	70125
26	2,1	30,2	33,8	25526	36,4	47404	36,4	75847
28	2,3	32,6	36,4	29604	39,2	54978	39,2	87965
30	2,4	34,8	39,0	33984	42,0	63112	42,0	100980


e = 0,07 d + 0,3 cm.
b = 0,5 d + 2,5 cm.
δ = 0,2 d + 0,8 cm
δ = d/6 + 0,5 cm.
δ = d/6 + 0,5 cm

Achsen.

$d = 0{,}12\sqrt{P}$, $l = 1{,}4\,d$ (Schm. Zapfen)
$d = 0{,}16\sqrt{P}$, $l = 1{,}3\,d$ (Gußeisen „) } für $n \leq 100$ (Stehe Zapfen)
Festigkeitsdurchmesser $d_o = 0{,}94\,d$.
$e = 0{,}07\,d + 0{,}3^{cm}$; $e_1 = 0{,}05\,D + 0{,}3^{cm}$

$n = \frac{D}{30} + 0{,}2^{cm}$
$k = 0{,}06\,D + 0{,}3^{cm}$
$k_1 = 1{,}8\,k$ (1 Keil), $= 1{,}6\,k$ (2 Keile), $= 1{,}5\,k$ (3 Keile).

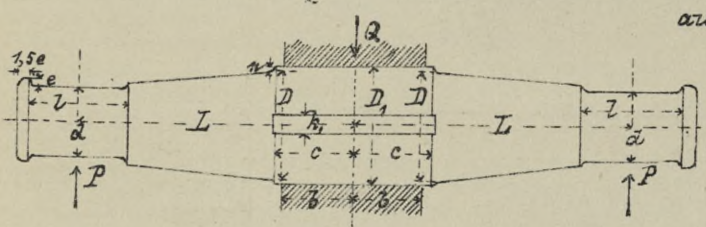
Gleichschenklige Achse mit einfacher Belastung.

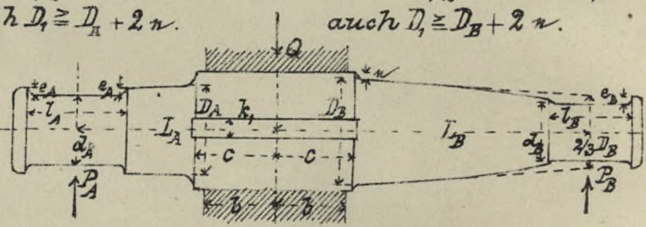
$$P = \frac{Q}{2}$$
$$\frac{D}{d_o} = \sqrt[3]{\frac{L-c}{l/2}}$$
$$\frac{D_1}{d_o} \geq \sqrt[3]{\frac{L-b/2}{l/2}}, \quad \text{auch } D_1 \geq D + 2n$$

Ungleichschenklige Achse mit einfacher Belastung.

$$P_A = Q\,\frac{L_B}{L_A + L_B}$$
$$\frac{D_A}{d_{oA}} = \sqrt[3]{\frac{L_A - c}{l_A/2}}$$
$$\frac{D_1}{d_{oA}} \geq \sqrt[3]{\frac{L_A}{l_A/2}\left(1 - \frac{b}{L_A + L_B}\right)}$$
auch $D_1 \geq D_A + 2n$.

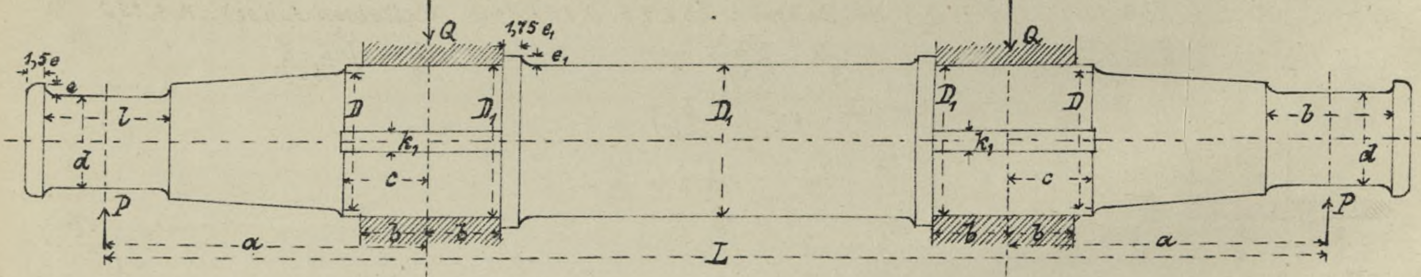
$$P_B = Q\,\frac{L_A}{L_A + L_B}$$
$$\frac{D_B}{d_{oB}} = \sqrt[3]{\frac{L_B - c}{l_B/2}}$$
$$\frac{D_1}{d_{oB}} = \sqrt[3]{\frac{L_B}{l_B/2}\left(1 - \frac{b}{L_A + L_B}\right)}$$
auch $D_1 \geq D_B + 2n$.





Achse mit zweifacher, gleicher Belastung.

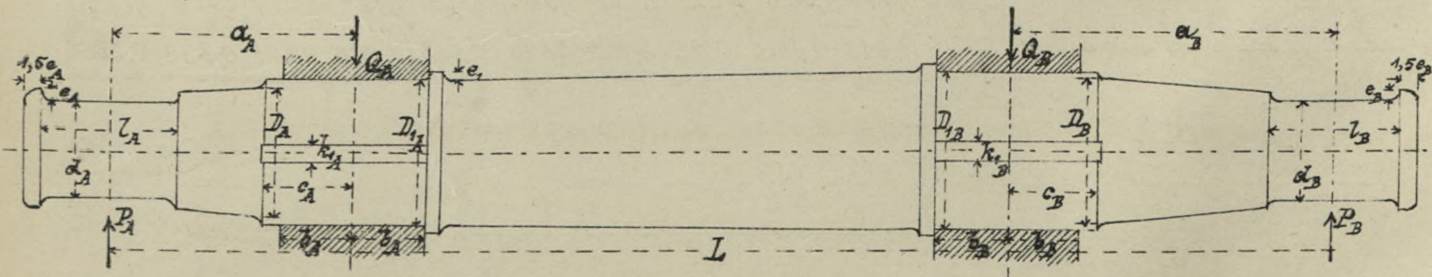
$$P = Q$$
$$\frac{D}{d_o} = \sqrt[3]{\frac{a-c}{l/2}}; \quad \frac{D_1}{d_o} = \sqrt[3]{\frac{a}{l/2}}.$$



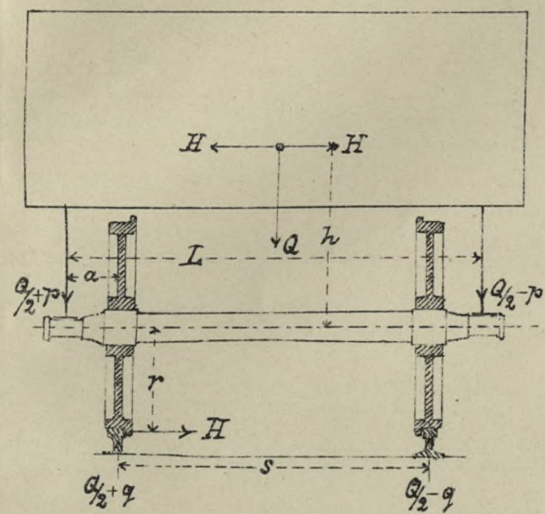
Achse mit zweifacher, ungleicher Belastung.

$$P_A = Q_A - Q_A\cdot\frac{a_A}{L} + Q_B\,\frac{a_B}{L}$$
$$\frac{D_A}{d_{oA}} = \sqrt[3]{\frac{a_A - c_A}{l_A/2}}$$
$$\frac{D_{1A}}{d_{oA}} = \sqrt[3]{\frac{a_A + b_A\left(1 - \frac{Q_A}{P_A}\right)}{l_A/2}}$$

$$P_B = Q_B - Q_B\,\frac{a_B}{L} + Q_A\,\frac{a_A}{L}$$
$$\frac{D_B}{d_{oB}} = \sqrt[3]{\frac{a_B - c_B}{l_B/2}}$$
$$\frac{D_{1B}}{d_{oB}} = \sqrt[3]{\frac{a_B + b_B\left(1 - \frac{Q_B}{P_B}\right)}{l_B/2}}$$



Eisenbahnwagenachse.



$$\left.\begin{aligned}\frac{q}{Q} &= \frac{h+r}{s}\cdot\frac{H}{Q}\\ \frac{p}{Q} &= \frac{h}{L}\cdot\frac{H}{Q}\end{aligned}\right\}\ \frac{H}{Q} = 1/4.$$

$$d = \sqrt{\frac{16}{\mathfrak{S}\pi}\cdot\frac{l}{d}}\,\sqrt{\frac{Q}{2}+p}$$ ($\mathfrak{S}$ = zulässige Anspannung pro $\square^{cm}$ des Querschnitts)

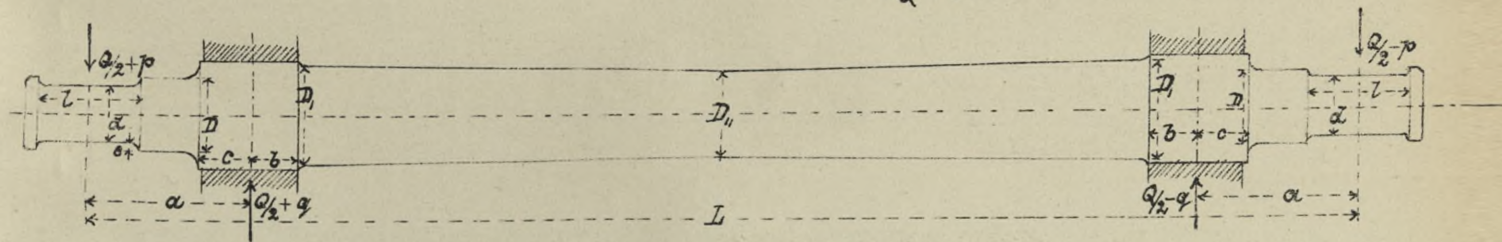
$$e = 0{,}5^{cm} + 0{,}1\,d.$$

$$l/d = 0{,}14\sqrt{n}$$ (n = Umlaufszahl pro Minute)

$$\frac{D}{d_0} = \sqrt[3]{\frac{a-c}{l/2}}$$

$$\frac{D_1}{d_0} = \sqrt[3]{\frac{\left(1+\frac{2p}{Q}\right)(a+b) + \frac{2Hr}{Q} - \left(1+\frac{2q}{Q}\right)b}{\left(1+\frac{2p}{Q}\right)\cdot l/2}}$$

$$\frac{D_{II}}{d_0} = \sqrt[3]{\frac{\left(1+\frac{2p}{Q}\right)\frac{L}{2} + \frac{2Hr}{Q} - \left(1+\frac{2q}{Q}\right)\frac{s}{2}}{\left(1+\frac{2p}{Q}\right)\frac{l}{2}}}$$



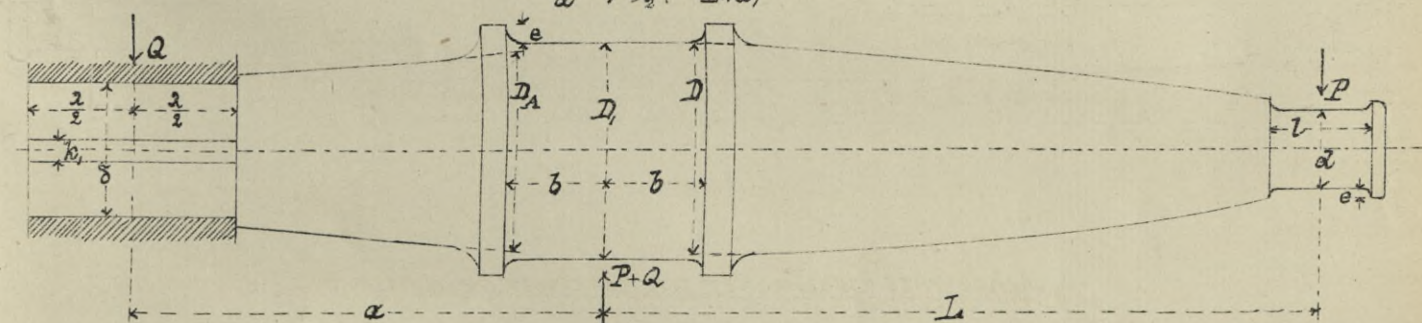
Freitragende Achse.

$$P = Q\,\frac{a}{L}$$

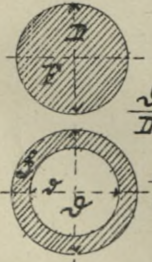
$2b \geq 1{,}4 \cdot 0{,}12\sqrt{P+Q}$ (Schm.-Achse) $\quad 2b \geq 1{,}3 \cdot 0{,}16\sqrt{P+Q}$ (Gußeisen-Achse) … $n \leq 100$

$$\frac{\delta}{d} = \sqrt[3]{\frac{L}{a}\cdot\frac{\lambda}{l}}; \qquad \frac{D_A}{\delta} = \sqrt[3]{\frac{a-b}{\lambda/2}}; \qquad \frac{D}{d} = \sqrt[3]{\frac{L-b}{l/2}}$$

$$\frac{D_1}{d} = \sqrt[3]{\frac{L}{l/2}\left(1-\frac{b}{L+a}\right)}$$



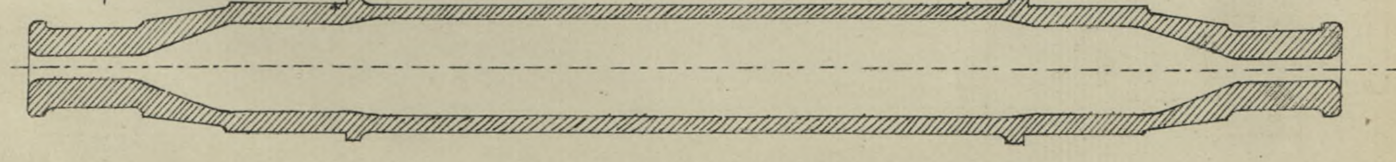
Hohle Achse.



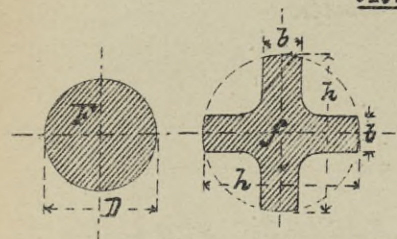
$$\frac{\vartheta}{D} = \frac{1}{\sqrt[3]{1-\left(\frac{\delta}{\vartheta}\right)^4}}$$

$$\frac{f}{F} = \left(\frac{\vartheta}{D}\right)^2\left\{1-\left(\frac{\delta}{\vartheta}\right)^2\right\}$$

δ/ϑ =	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
ϑ/D =	1,003	1,009	1,023	1,047	1,097	1,135	1,192	1,279	1,428	1,752
f/F =	0,915	0,855	0,785	0,702	0,614	0,563	0,512	0,455	0,388	0,299

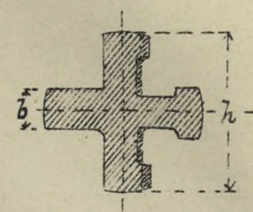


Achse mit kreuzförmigem Querschnitt.

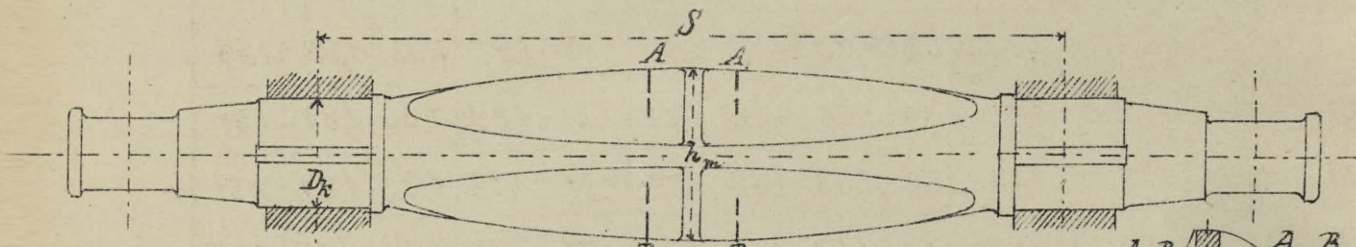


$$\frac{h}{D} = \frac{1}{\sqrt[3]{\frac{16}{3\pi}\cdot\frac{b}{h}\cdot\left[1+\left(\frac{b}{h}\right)^2-\left(\frac{b}{h}\right)^3\right]}}$$

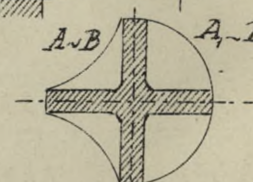
$$\frac{f}{F} = \frac{4}{\pi}\cdot\left(\frac{h}{D}\right)^2\cdot\frac{b}{h}\cdot\left(2-\frac{b}{h}\right)$$



$b/h=$	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,22	0,25	0,27	0,30	0,33
$h/D=$	2,27	2,14	2,04	1,95	1,87	1,81	1,75	1,70	1,65	1,61	1,57	1,53	1,50	1,47	1,44	1,42	1,37	1,31	1,27	1,23	1,19
$f/F=$	0,63	0,65	0,69	0,73	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96	0,98	0,99



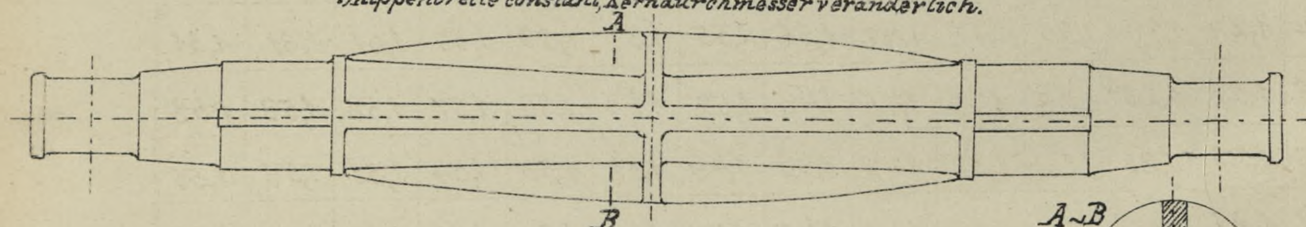
$$h_m \cancel{\theta} D_k + \frac{3}{40} S.$$

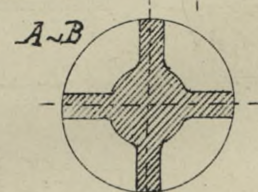


Achsen mit sternförmigem Querschnitt.

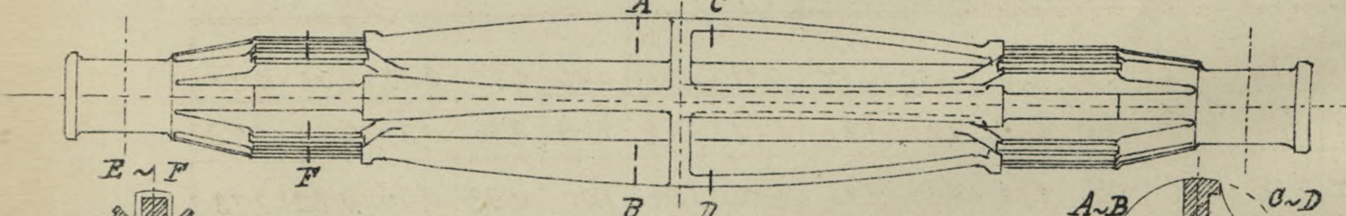
(Tabelle s. folgende Taf.)

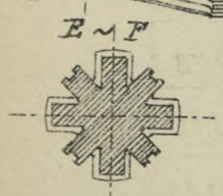
1) Rippenbreite constant, Kerndurchmesser veränderlich.

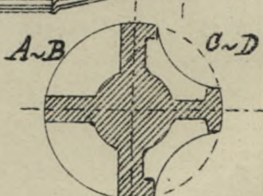




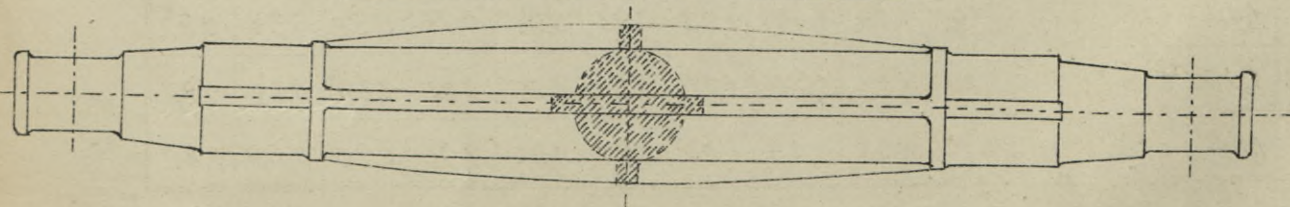
2) Kerndurchmesser constant, Rippenbreite veränderlich.





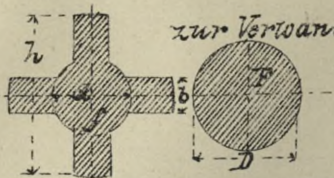


Wegen des Eigengewichts verstärkte Achse.



Tabellen

zur Verwandlung des massiven runden Achsenquerschnittes in den sternförmigen.



$$\frac{h}{D} = \frac{1}{\sqrt[3]{\left(\frac{d}{h}\right)^4 + \frac{16}{3\pi}\cdot\frac{b}{h}\left[1-\left(\frac{d}{h}\right)^3\right]}}$$

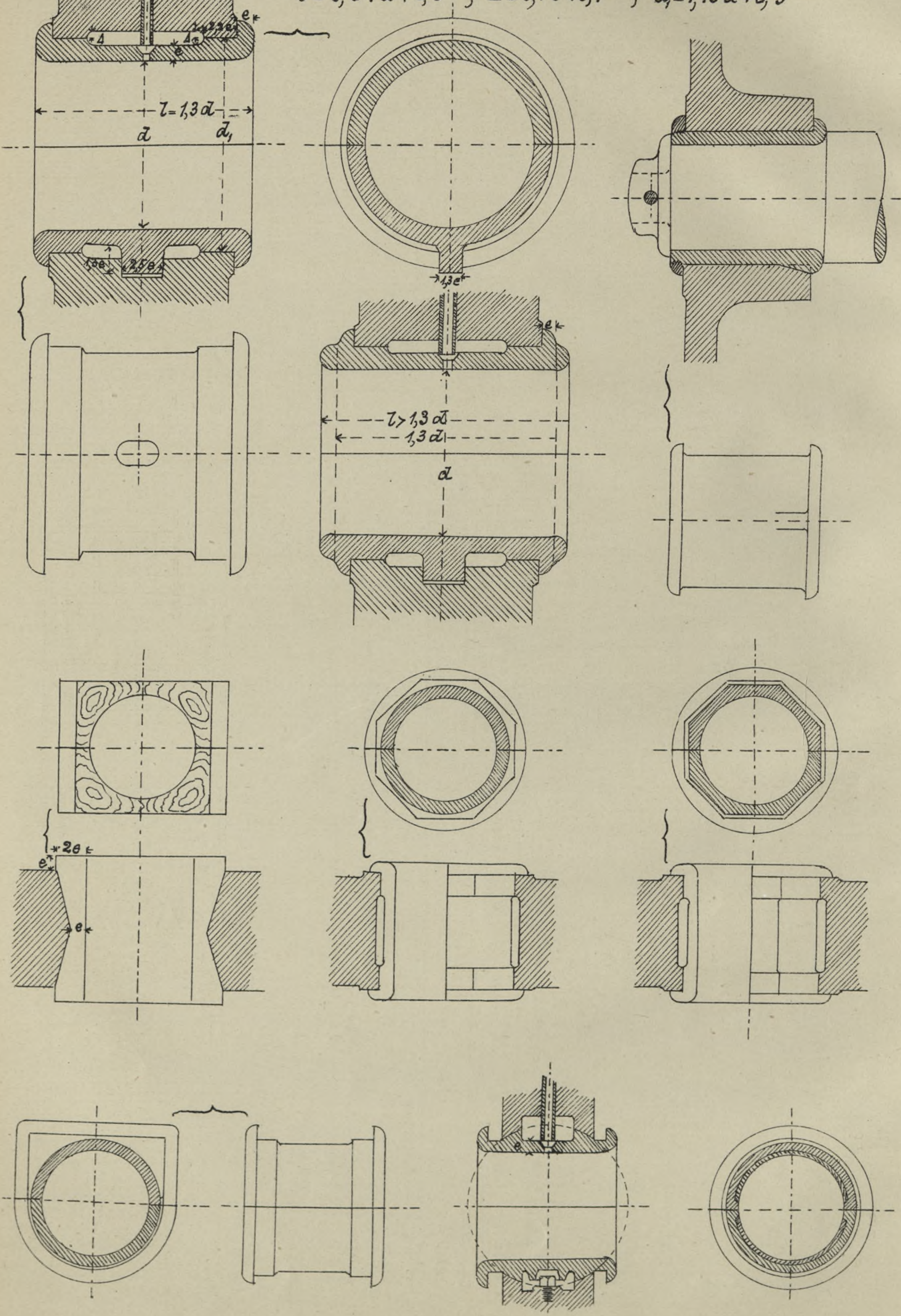
b/h =	d/h = 0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
0,05	1,31	1,40	1,50	1,61	1,72	1,84	1,94	2,04	2,15	2,18	2,22	2,26	2,27
0,06	1,30	1,39	1,48	1,58	1,68	1,79	1,87	1,95	2,02	2,07	2,11	2,13	2,14
0,07	1,29	1,38	1,46	1,56	1,65	1,74	1,82	1,89	1,94	1,98	2,00	2,02	2,02
0,08	1,28	1,36	1,45	1,53	1,62	1,70	1,76	1,83	1,87	1,91	1,93	1,93	1,93
0,09	1,27	1,35	1,43	1,51	1,59	1,66	1,72	1,77	1,81	1,84	1,86	1,87	1,87
0,10	1,27	1,34	1,42	1,49	1,56	1,63	1,68	1,72	1,75	1,78	1,80	1,80	1,81
0,11	1,26	1,33	1,40	1,47	1,54	1,60	1,64	1,68	1,71	1,73	1,74	1,75	1,75
0,12	1,25	1,32	1,39	1,45	1,51	1,57	1,61	1,64	1,67	1,68	1,69	1,70	1,70
0,13	1,25	1,31	1,38	1,43	1,49	1,54	1,58	1,61	1,63	1,64	1,65	1,65	1,65
0,14	1,24	1,30	1,36	1,42	1,47	1,51	1,55	1,57	1,59	1,60	1,61	1,61	1,61
0,15	1,23	1,29	1,35	1,40	1,45	1,48	1,52	1,54	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
0,16	1,23	1,28	1,34	1,38	1,43	1,46	1,49	1,52	1,53	1,54	1,55	1,55	1,55
0,17	1,22	1,27	1,33	1,37	1,41	1,45	1,47	1,49	1,50	1,51	1,52	1,52	1,52

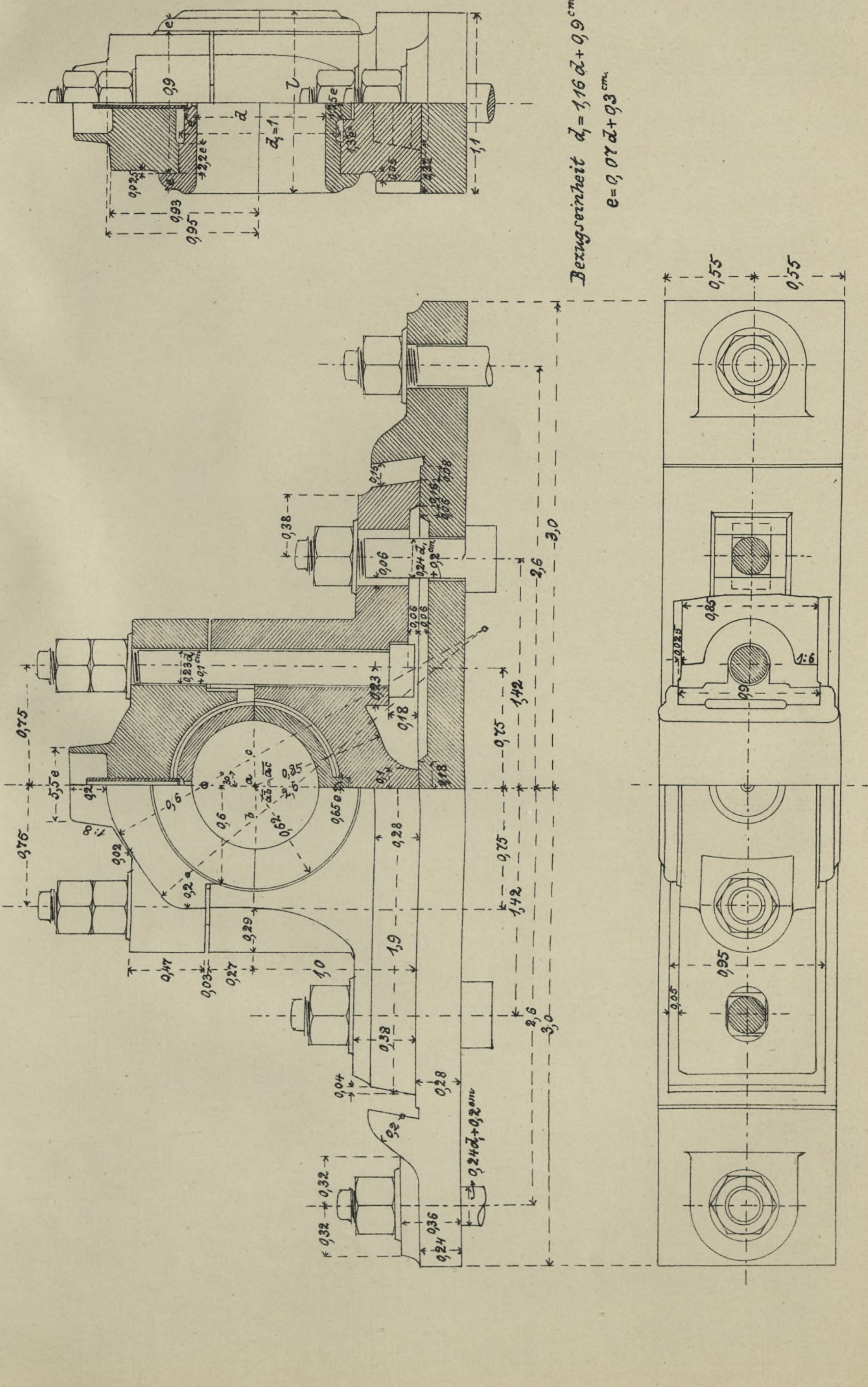
$$\frac{f}{F} = \left(\frac{h}{D}\right)^2\left[\left(\frac{d}{h}\right)^2 + \frac{8}{\pi}\left(1-\frac{d}{h}\right)\frac{b}{h}\right]$$

b/h =	d/h = 0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
0,05	1,14	1,16	1,19	1,22	1,21	1,21	1,17	1,12	1,09	0,96	0,89	0,82	0,78
0,07	1,12	1,14	1,15	1,17	1,17	1,16	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,80	0,73
0,09	1,11	1,13	1,14	1,14	1,14	1,11	1,07	1,03	0,98	0,92	0,86	0,81	0,72
0,11	1,11	1,12	1,12	1,12	1,11	1,09	1,05	1,00	0,96	0,87	0,87	0,83	0,80
0,13	1,10	1,11	1,12	1,10	1,09	1,07	1,03	0,98	0,95	0,91	0,87	0,84	0,82
0,15	1,09	1,09	1,09	1,09	1,07	1,04	1,01	0,97	0,95	0,91	0,89	0,87	0,85
0,17	1,08	1,08	1,10	1,07	1,05	1,03	1,00	0,97	0,94	0,91	0,90	0,89	0,89

Lager.

$e = 0{,}07\,d + 0{,}3^{\mathrm{cm}}; \quad \Delta = 0{,}1\,e + 0{,}1^{\mathrm{cm}}; \quad d_1 = 1{,}16\,d + 0{,}9^{\mathrm{cm}}$

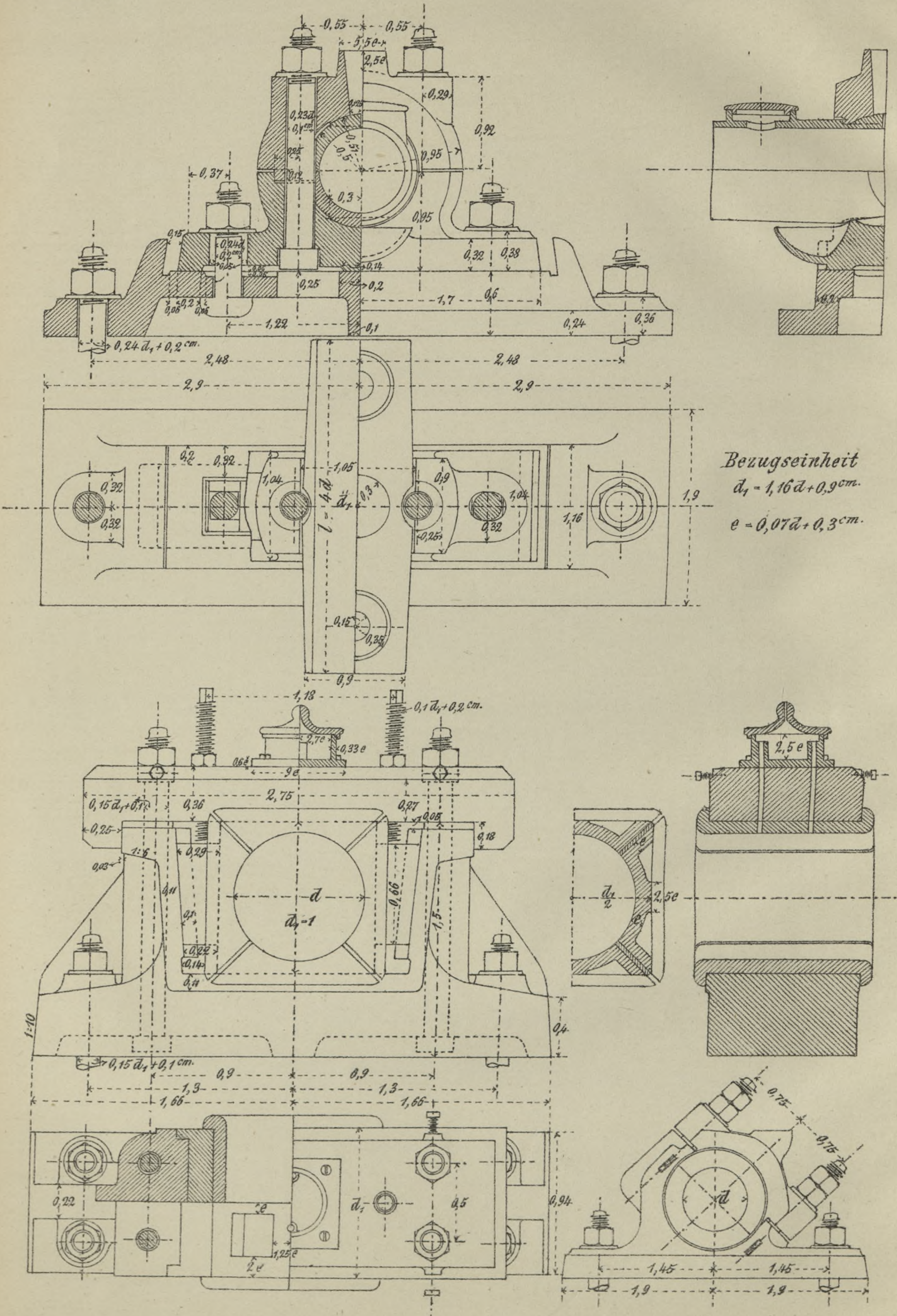


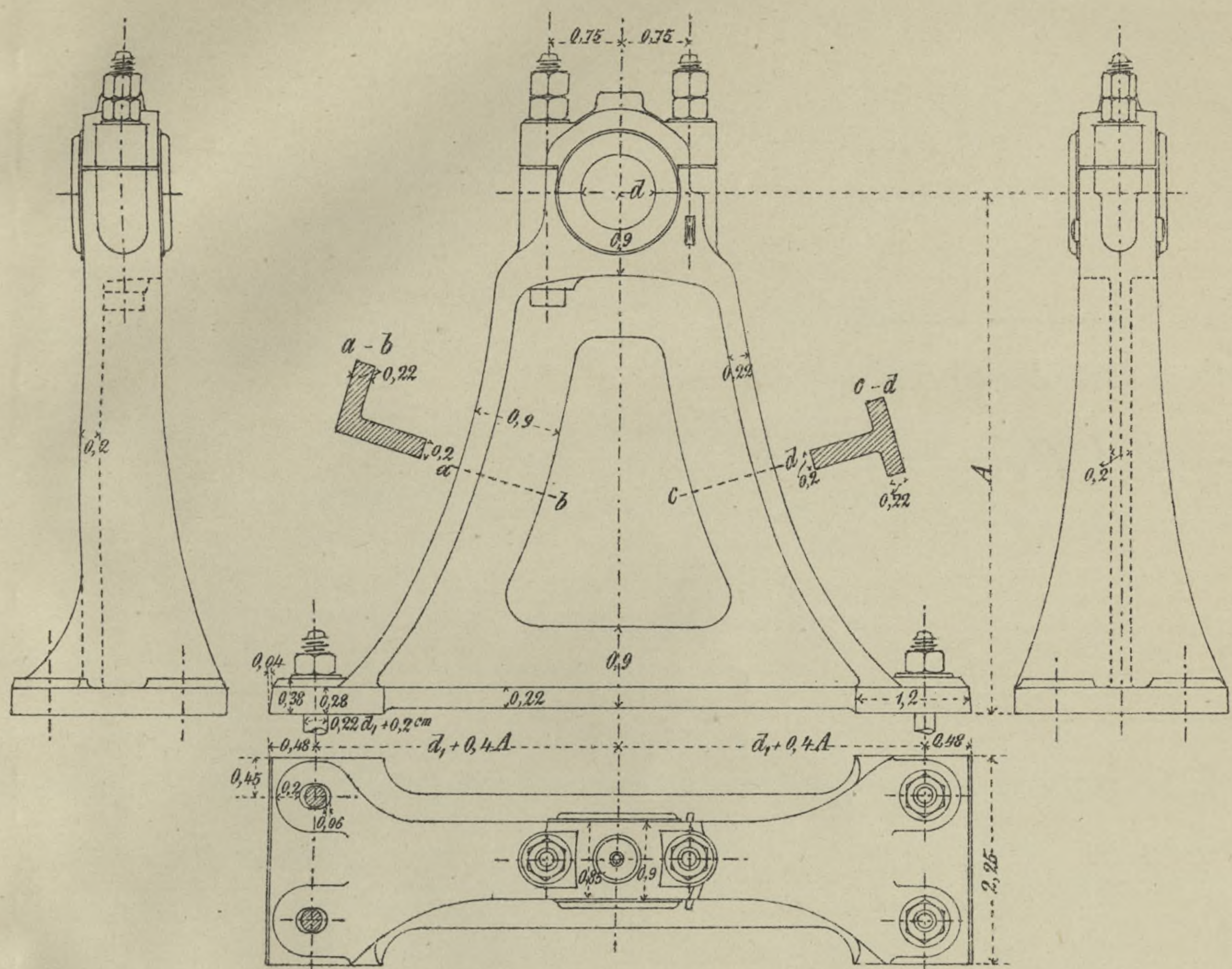


Bezugseinheit $d_1 = 1{,}16\,d + 0{,}9^{cm}$

$e = 0{,}07\,d + 0{,}3^{cm}$

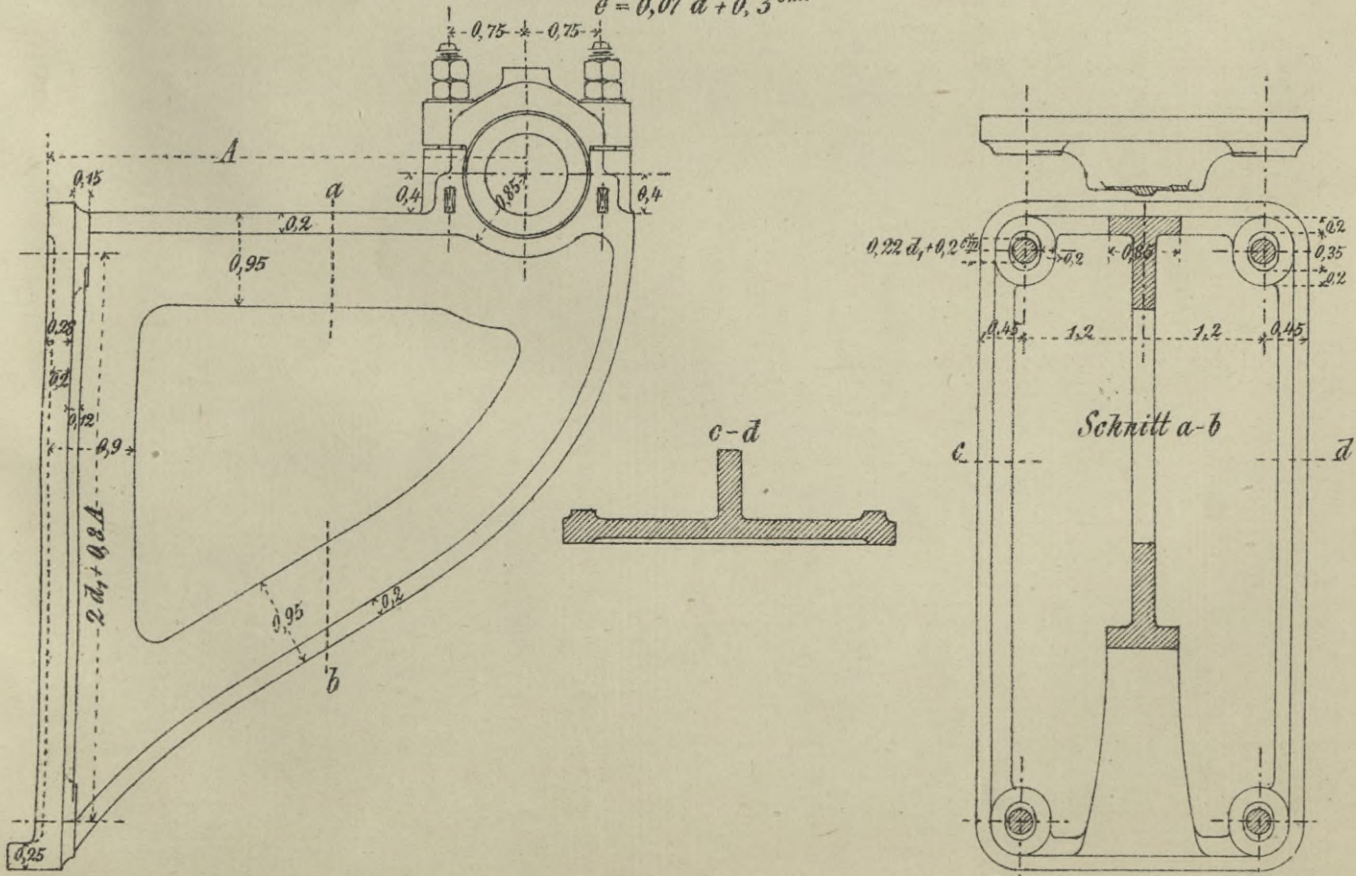
Taf. 19.

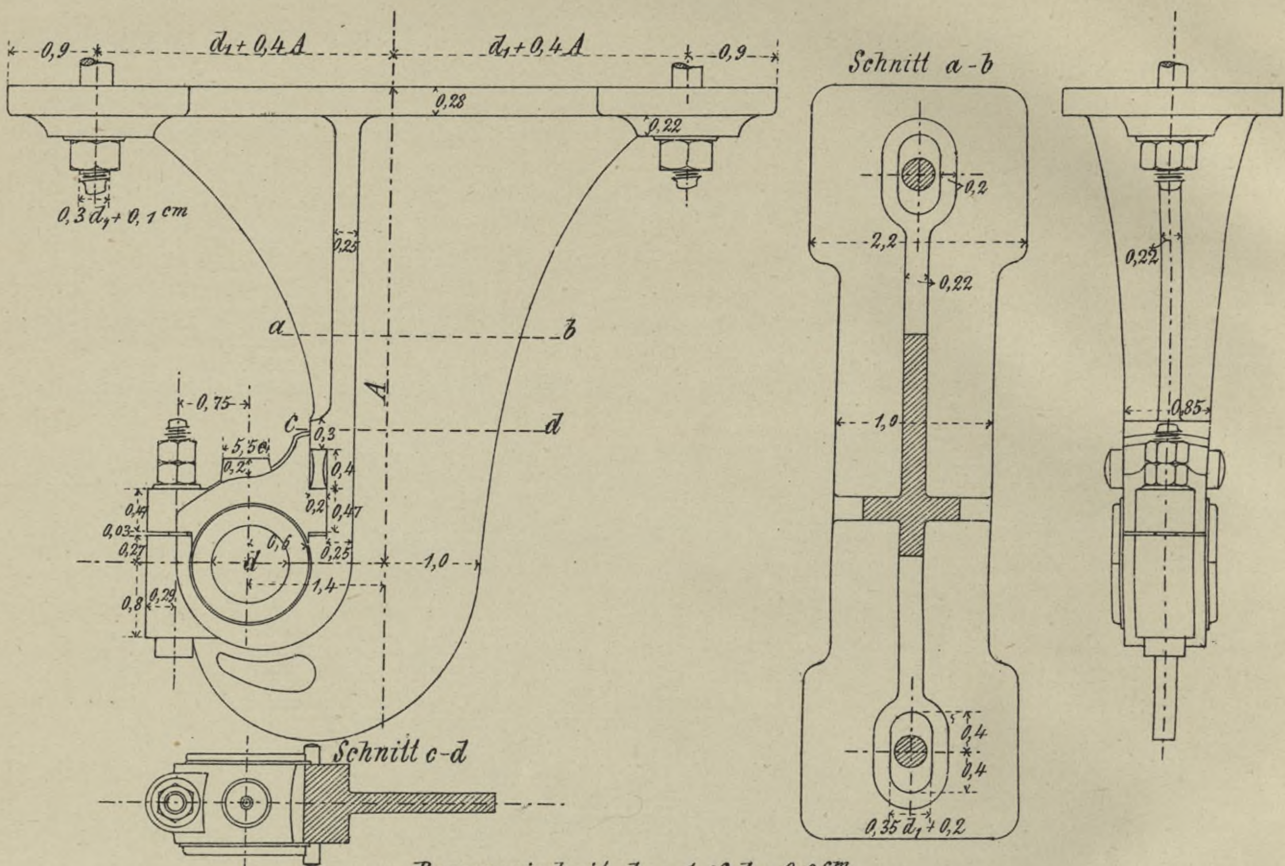




Bezugseinheit $d_1 = 1{,}16\,d + 0{,}9^{cm.}$

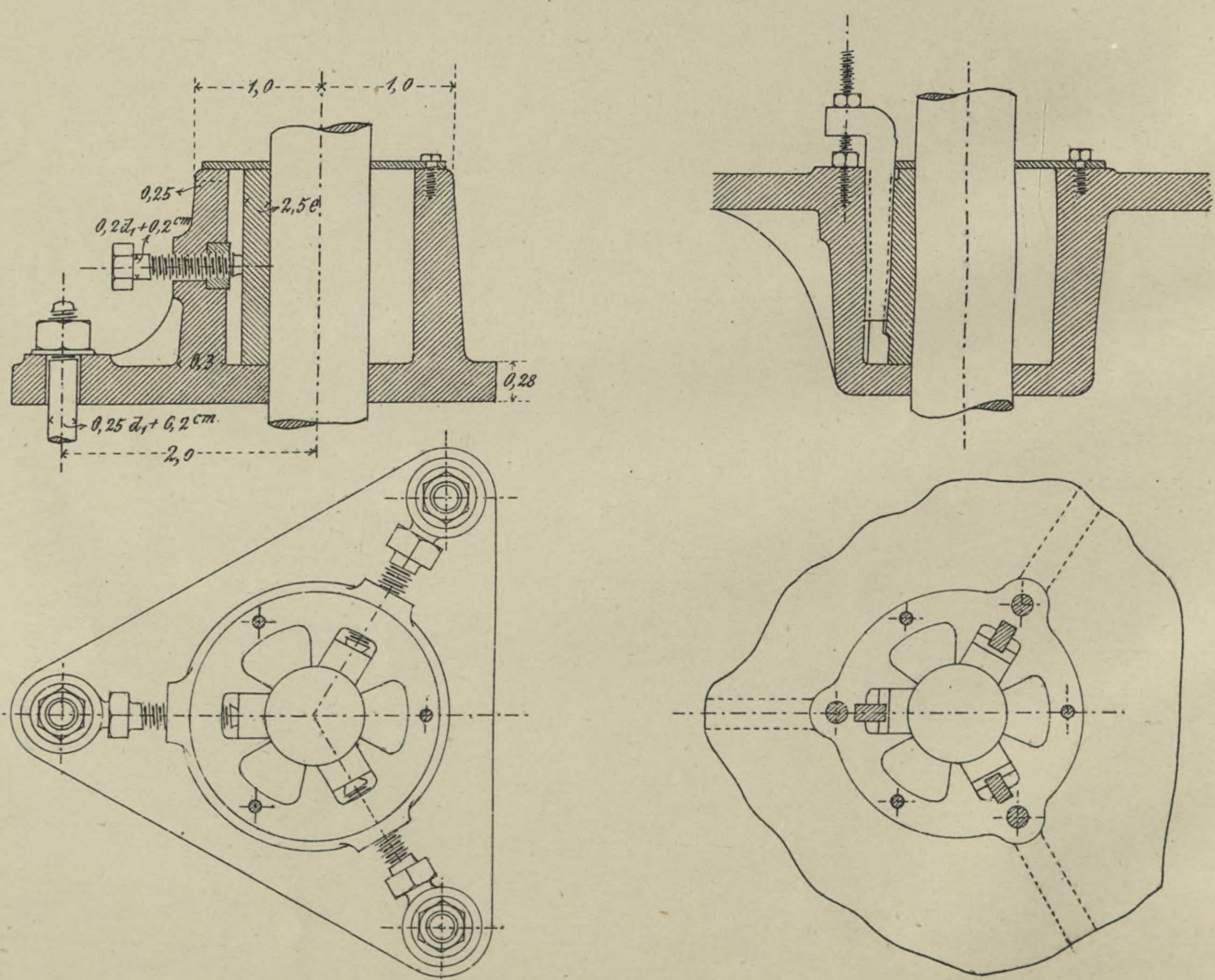
$e = 0{,}07\,d + 0{,}3^{cm.}$

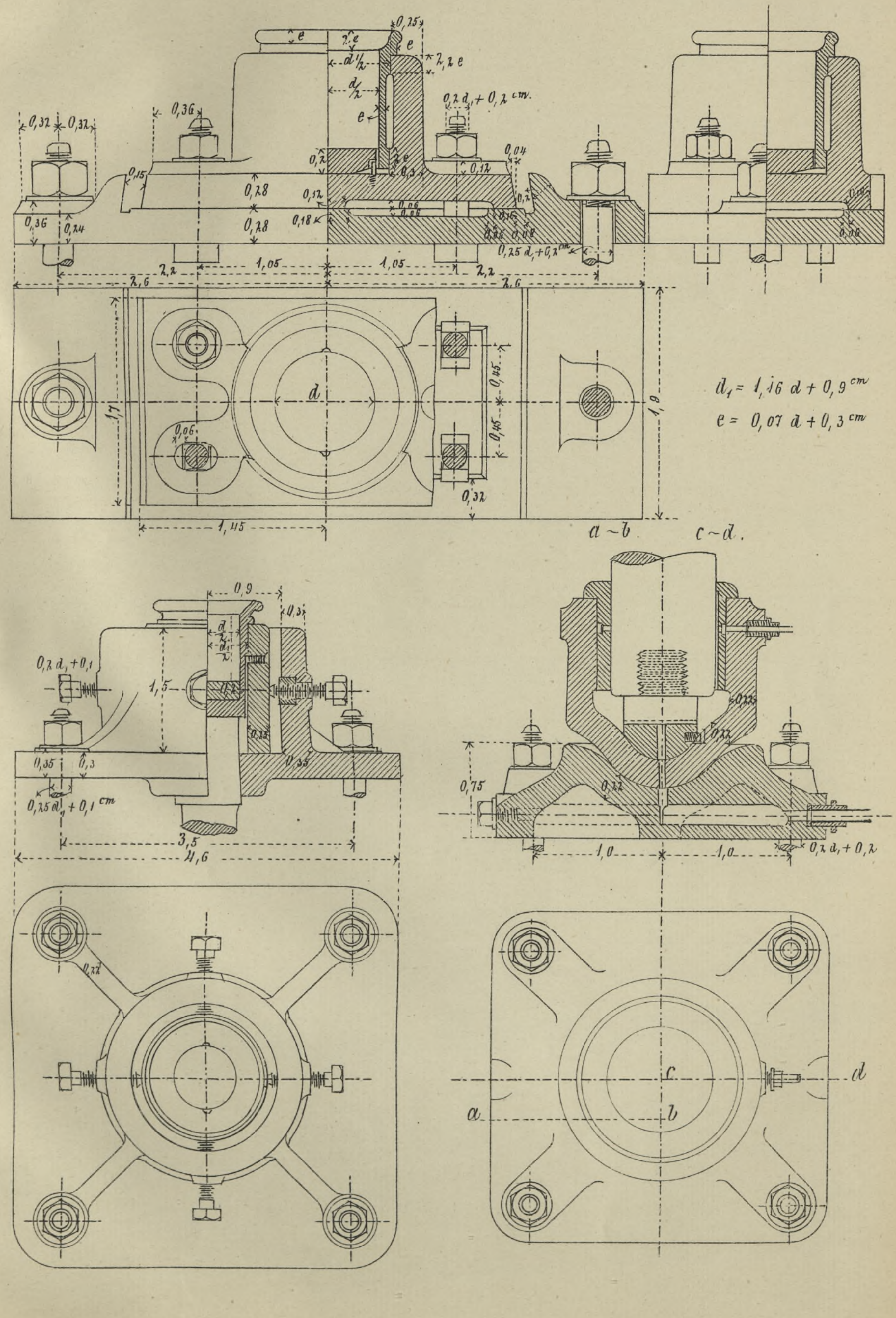




Bezugseinheit $d_1 = 1,16\,d + 0,9^{cm.}$

$e = 0,07\,d + 0,3^{cm.}$





d₁ = 1,16 d + 0,9 cm
e = 0,07 d + 0,3 cm
a ~ b
c ~ d.

Wellen.

Bezeichnungen.

P = grösste verdrehende Kraft.
P_m = mittlere „ „ „
$m = \frac{P}{P_m}$ das Verhältniss vorstehender Werthe.
R = Hebelarm von P.
τ = zulässige Schubspannung pro $\square^{cm}$ d. Querschnitts.
G = Schubelasticitätsmodul = 0,4 des Zugelasticitätsmoduls.
N = Anzahl der zu übertragenden Pferdekräfte.
n = Umdrehungszahl pro Minute.
d = Wellendurchmesser.
l = Wellenlänge in Metern.
φ = Verdrehungswinkel in Graden.

Wellen, welche nur auf Torsion in Anspruch genommen sind.

1) φ veränderlich mit l und d $= \frac{\tau}{G} \cdot \frac{360}{\pi} \cdot \frac{l}{d}$.

(Für Gusseisen und Schmiedeeisen $\varphi = 5{,}73 \frac{l^m}{d^{cm}}$)

Gusseisen

$\tau = 200.$
$PR = 39{,}27\, d^3$
$d = 0{,}294 \sqrt[3]{PR}$
$m \frac{N}{n} = 0{,}00054831\, d^3$
$d = 12{,}2 \sqrt[3]{m \frac{N}{n}}$

Schmiedeeisen.

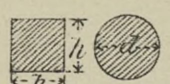
$\tau = 400$
$PR = 78{,}54\, d^3$
$d = 0{,}234 \sqrt[3]{PR}$
$m \frac{N}{n} = 0{,}00109662\, d^3$
$d = 9{,}7 \sqrt[3]{m \frac{N}{n}}$.

Tabelle s. folg. Seite.

Stahlwellen: $\tau = 640$, $d = 0{,}85\, d_{\text{Schmiedeeisen}}$; Holzwellen: $\tau = 25$; $d \geq 2 d_{\text{Gusseisen}}$.

Die Verwandlung des massiven Wellenquerschnittes in den hohlen geschieht nach denselben Formeln wie bei den Achsen.

Eine Welle von quadratischem Querschnitte mit der Seite h und eine runde vom Durchmesser d haben gleiche Torsionsfestigkeit, wenn



$h = 0{,}943\, d$ oder $d = 1{,}06\, h$ ist.

Wellen ohne erhebliche Abnutzung brauchen nur 0,94 von dem obigen Durchmesser zu erhalten.

2) φ nur mit l veränderlich (unabhängig von d) $= 0{,}25\, l$.

Gusseisen.

$\tau = 8{,}8\, d$
$d = 0{,}88 \sqrt[4]{PR}$
$= 14{,}3 \sqrt[4]{m \frac{N}{n}}$

Schmiedeeisen.

$\tau = 17{,}6\, d$
$d = 0{,}74 \sqrt[4]{PR}$
$= 12 \sqrt[4]{m \frac{N}{n}}$

Anmerkung: Diese Formeln sind nur anwendbar für $d < 23^{cm}$.

Wellen, welche auf Torsion und Biegung in Anspruch genommen sind.

1) Vergrösserung des Durchmessers.

$$\frac{d}{d_T} = \sqrt[3]{\frac{3}{8}\left(\frac{d_B}{d_T}\right)^3 + \sqrt{\left\{\frac{5}{8}\left(\frac{d_B}{d_T}\right)^3\right\}^2 + 1}}$$

d_T auf Torsion allein berechneter Durchmesser
d_B „ Biegung „ „ „

Die Resultate dieser Formel sind in nachstehender Tabelle enthalten.

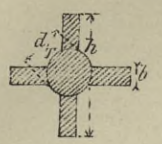
d_B/d_T =	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0
d/d_T =	1,01	1,02	1,03	1,05	1,07	1,11	1,16	1,22	1,29	1,36	1,44	1,53	1,63	1,81	2,01
d/d_B =	2,52	2,04	1,71	1,50	1,34	1,23	1,16	1,11	1,08	1,05	1,03	1,02	1,02	1,01	1,005
d_T/d_B =	2,5	2,0	1,67	1,43	1,25	1,11	1,0	0,91	0,83	0,77	0,71	0,67	0,62	0,56	0,5

Ist M_B das Biegungsmoment, M_T das Verdrehungmoment für einen Querschnitt der Welle und ferner $M_B \leq M_T$, so kann man von den folgenden Formeln Gebrauch machen.

Gusseisen: $d = 0{,}37 \sqrt[3]{PR} = 15{,}5 \sqrt[3]{m \frac{N}{n}}$
Schmiedeeisen: $d = 0{,}3 \sqrt[3]{PR} = 12{,}3 \sqrt[3]{m \frac{N}{n}}$

2) Verstärkung durch Rippen.

M_B = Biegungsmoment an der betr. Stelle.
$\mathfrak{S}$ = zulässige Biegungsspannung in der äussersten Faser = 300^{kg} pro $\square^{cm}$.



Der Kerndurchmesser wird $= d_T$ gemacht.

$h = \sqrt[3]{d_T^3 + 6\,\frac{M_B}{\mathfrak{S}}\cdot\frac{h}{b}}$ ($\frac{h}{b}$ angenommen); $b = 6\,\frac{M_B}{\mathfrak{S}}\cdot\frac{h}{h^3 - d_T^3}$ (h angenommen.)

Gußeiserne Wasserradwelle.

$d_{T_a} = 12,2\sqrt[3]{m\,\frac{N_a}{n}}$ $\qquad$ $d_{T_b} = 12,2\sqrt[3]{m\,\frac{N}{n}}$

$P_a = \frac{Q_a(L_a + L_b - a_a) + Q_m L_b + Q_b a_b}{L_a + L_b}$ $\qquad$ $P_b = \frac{Q_b(L_a + L_b - a_b) + Q_m L_a + Q_a a_a}{L_a + L_b}.$

$\delta_a = 0,16\sqrt{P_a}$; $\delta_{o_a} = 0,94\,\delta_a$ $\qquad$ $\delta_b = 0,16\sqrt{P_b}$; $\delta_{o_b} = 0,94\,\delta_b$.

$\frac{d_{B_a}}{\delta_{o_a}} = \sqrt[3]{\frac{P_a(a_a + b_a) - Q_a b_a}{P_a(a_a/2)}}$; $d_{B_a} = \left(\frac{d_{B_a}}{\delta_{o_a}}\right)\delta_{o_a}$ $\qquad$ $\frac{d_{B_b}}{\delta_{o_b}} = \sqrt[3]{\frac{P_b(a_b + b_b) - Q_b b_b}{P_b(a_b/2)}}$; $d_{B_b} = \left(\frac{d_{B_b}}{\delta_{o_b}}\right)\delta_{o_b}$

Aus $\frac{d_{B_a}}{d_{T_a}}$ bezw. $\frac{d_{B_b}}{d_{T_b}}$ folgt mit Hülfe der Tabelle auf der vorigen Seite

$d_a = \left(\frac{d_a}{d_{T_a}}\right) d_{T_a}$ $\qquad$ $d_b = \left(\frac{d_b}{d_{T_b}}\right) d_{T_b}$

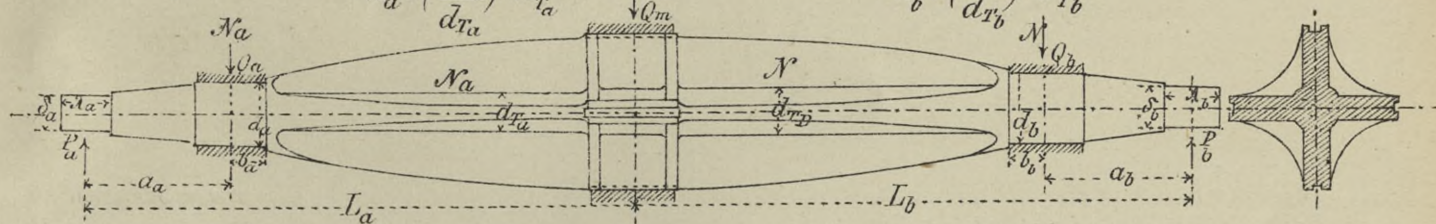


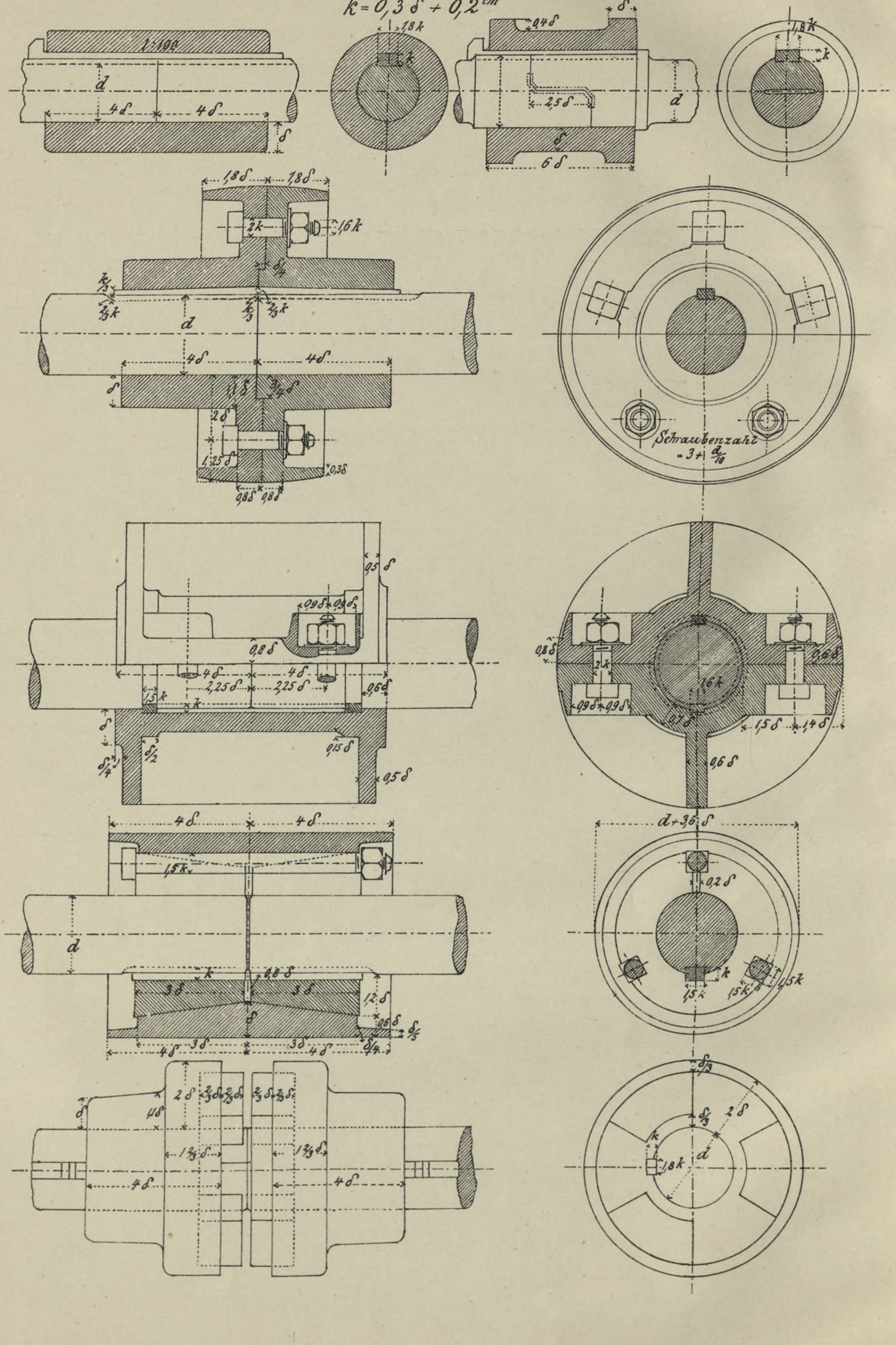
Tabelle zur Bestimmung der Torsionswellendurchmesser.

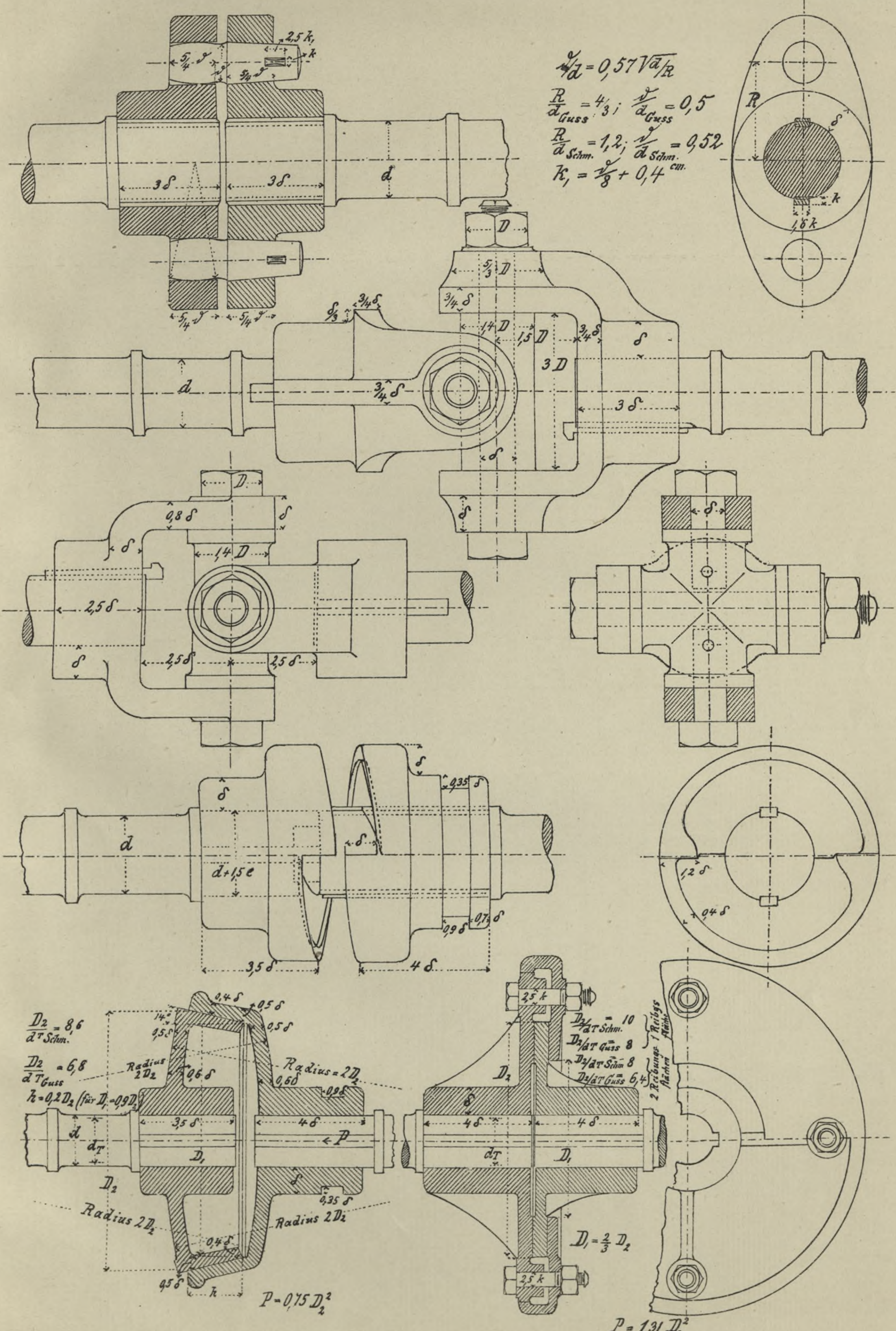
Torsionsdurchm.	Gußeisen PR	Gußeisen $m\cdot\frac{N}{n}$	Schmiedeeisen PR	Schmiedeeisen $m\cdot\frac{N}{n}$	Torsionsdurchm.	Gußeisen PR	Gußeisen $m\frac{N}{n}$	Schmiedeeisen PR	Schmiedeeisen $m\frac{N}{n}$
2,0	314	0,0044	628	0,0088	9,0	28628	0,400	57256	0,800
2,2	418	0,0058	836	0,012	9,5	33669	0,470	67338	0,940
2,4	543	0,0076	1086	0,015	10	39270	0,548	78540	1,097
2,6	690	0,010	1380	0,019	11	52268	0,730	104537	1,460
2,8	862	0,012	1724	0,024	12	67859	0,948	135717	1,895
3,0	1060	0,015	2121	0,030	13	86276	1,205	172552	2,409
3,2	1287	0,018	2574	0,036	14	107757	1,505	215514	3,010
3,4	1543	0,021	3087	0,043	15	132536	1,851	265072	3,701
3,6	1832	0,025	3664	0,051	16	160850	2,246	321700	4,492
3,8	2155	0,030	4309	0,060	17	192933	2,694	385867	5,388
4,0	2513	0,035	5026	0,070	18	229023	3,198	458045	6,396
4,2	2909	0,041	5819	0,081	19	269353	3,761	538706	7,522
4,4	3345	0,047	6690	0,093	20	314160	4,387	628320	8,774
4,6	3822	0,053	7645	0,107	21	363679	5,078	727359	10,16
4,8	4343	0,061	8686	0,121	22	418147	5,839	836294	11,68
5,0	4909	0,068	9817	0,137	23	477798	6,672	955596	13,34
5,5	6533	0,091	13067	0,182	24	542868	7,580	1085737	15,16
6,0	8482	0,118	16965	0,237	25	613594	8,568	1227187	17,14
6,5	10784	0,151	21569	0,301	26	690209	9,638	1380419	19,28
7,0	13470	0,188	26939	0,376	28	862055	12,04	1724110	24,08
7,5	16567	0,231	33134	0,463	30	1060290	14,81	2120580	29,61
8,0	20106	0,281	40212	0,561	32	1286799	17,97	2573599	35,93
8,5	24117	0,337	48233	0,674	34	1543468	21,55	3086936	43,10

Kupplungen.

$\delta = 0{,}35\,d + 0{,}8^{cm}$

$k = 0{,}3\,\delta + 0{,}2^{cm}$





$\delta/d = 0,57\sqrt{d/R}$
$\frac{R}{d_{Guss}} = 4/3$; $\frac{\delta}{d_{Guss}} = 0,5$
$\frac{R}{d_{Schm.}} = 1,2$; $\frac{\delta}{d_{Schm.}} = 0,52$
$K_1 = \frac{\delta}{8} + 0,4$ cm.
$\frac{D_2}{d_{T\,Schm.}} = 8,6$
$\frac{D_2}{d_{T\,Guss}} = 6,8$
$h = 0,2 D_2$ (für $D_1 = 0,9 D_2$)
$P = 0,75 D_2^2$
$D_1 = \frac{2}{3} D_2$
$P = 1,31 D_2^2$

Räder.

n_1 und n_2 = Zahl der Umdrehungen in einer Min. der treibenden und getriebenen Welle.

$i = \frac{n_2}{n_1}$ = Übersetzungszahl.

A. Reibungsräder.

I. Directwirkende Reibungsräder.

1) Stirnräder für parallele Wellen.

r_1 = Halbmesser des treibenden, r_2 = Halbmesser des getriebenen Rades

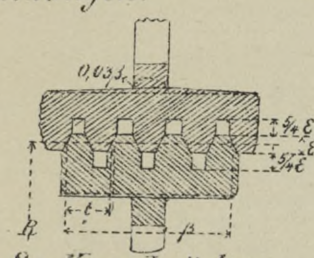
a = Abstand der Wellenachsen.

$i = \frac{r_1}{r_2}$.

Aus gegebenem a und i berechnet sich:

$r_2 = \frac{1}{i \pm 1} a$ und $r_1 = i r_2 = \frac{i}{i \pm 1} a$, wobei + für Aufsenräder, − für Innenräder gilt.

Bei willkürlichem a wähle man den Halbmesser des gröfseren Rades etwa 5–7 Zapfendurchmesser, wenn i nicht sehr von 1 abweicht und 8–12 Zapfendurchmesser für starke Übersetzungen.



Keilräder nach Robertson.

$t = \frac{5}{4} d_T \sqrt{\frac{t}{\beta} \cdot \frac{d_T}{R}} + 0{,}4^{\text{cm}}$, $\varepsilon = 0{,}3\,t$ } d_T = Durchmesser der Welle, welcher dem zu übertragenden Effecte entspricht.

Die am Umfange übertragbare Kraft kommt etwa der Kraft gleich, mit welcher die Räder zusammengeprefst werden.

2.) Kegelräder:

r_1 und r_2 = Halbmesser der gröfsten Grundkreise der Kegel.

α = Winkel der Wellenachsen.

α_1 und α_2 = Winkel, welche die Berührungsseite der Kegel mit den resp. Wellenachsen einschliefst.

$$i = \frac{r_1}{r_2} = \frac{\sin.\alpha_1}{\sin.\alpha_2}\,; \qquad \frac{\sin.\alpha_2}{\sin\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1+i^2+2i\cos\alpha}}\,; \qquad \frac{\sin.\alpha_1}{\sin.\alpha} = \frac{i}{\sqrt{1+i^2+2i\cos\alpha}}$$

II. Indirectwirkende Reibungsräder.

1) Riementrieb.

R = Riemenscheibenhalbmesser.

P = die vom Umfange der treibenden Scheibe auf den der getriebenen Scheibe zu übertragende Kraft.

d_T = Torsionswellendurchmesser für den zu übertragenden Effect berechnet.

d = ausgeführter Wellendurchmesser.

β = Riemenbreite.

δ = Riemenstärke.

$\mathfrak{P}$ = Spannungsstärke des Riemens.

T_1 = Spannung des führenden Riemens während der Arbeit.

T_2 = " " geführten " " " "

T_0 = " bei der Riemen während des Leerganges oder der Ruhe.

$\mathfrak{R}$ = Armzahl der Scheibe.

Für Lederriemen auf Eisenscheiben ist: $T_1 = 2\,P$; $T_2 = P$; $T_0 = 1{,}5\,P$.

Man wähle zur Vermeidung eines starken Effectverlustes durch Zapfenreibung wenn möglich den Halbmesser der größeren Scheibe.

= 5 ~ 6 Zapfendurchmesser, wenn i etwa = 1 ist.

= 6 ~ 8 " , " " " = 2 ~ 3 ist.

= 8 ~ 10 " , " " " = 3 ~ 5 "

> 10 " , " " > 5 ist.

Hierbei kann der Wellendurchmesser vorläufig bestimmt werden nach der empirischen Formel:

$$d = d_T\left(1 + \frac{c}{1 + d_T}\right),$$

worin c zu setzen ist bei ganzer Effectableitung etwa = 4, wenn die Riemenscheiben freitragend, etwa = 3, wenn sie zwischen den Lagern sitzen, und bei theilweiser Effectentnahme aus der Welle durch den Riemen entsprechend kleiner.

$$\mathfrak{P} = 3{,}2\sqrt[4]{\beta^3}\,; \qquad \delta = 0{,}28\sqrt[4]{\beta}\,; \qquad \beta = 1{,}5\sqrt{P}.$$

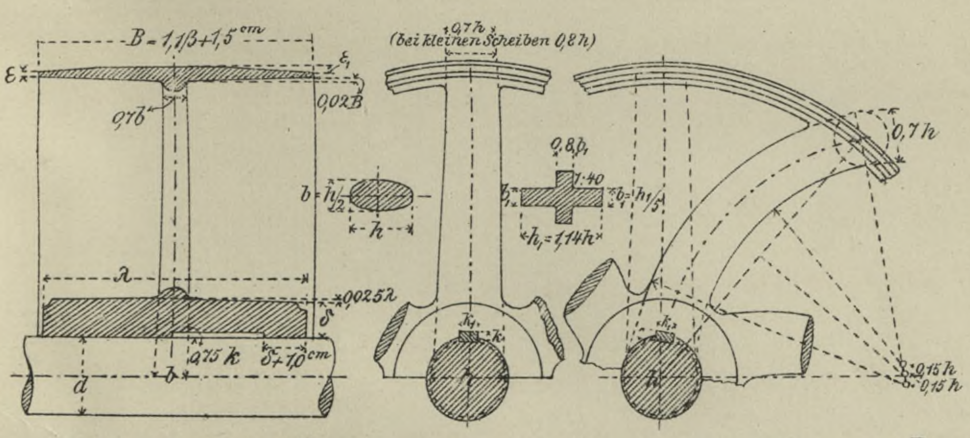
Für β =	5	10	15	20	25	30
wird δ =	0,42	0,50	0,55	0,59	0,63	0,65
und $\mathfrak{P}$ =	10,7	18,0	24,4	30,3	35,8	41,0

$$\frac{\beta}{d_T} = 13{,}24\sqrt{\frac{d_T}{R}}\ (\text{Schm.-Welle})\,; \qquad \frac{\beta}{d_T} = 9{,}4\sqrt{\frac{d_T}{R}}\ (\text{Guß-Welle}).$$

Diese Formeln ergeben die nachstehende Tabelle:

R/d_T =	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	20	25
β/d_T (Schm.) =	6,62	5,92	5,4	5,0	4,67	4,41	4,18	3,99	3,82	3,67	3,54	3,31	2,96	2,65
β/d_T (Guss) =	4,7	4,2	3,84	3,55	3,32	3,13	2,97	2,83	2,71	2,61	2,51	2,35	2,1	1,88

Wird $\beta > 30^{cm}$, so sind Doppelriemen von der Breite $\beta_1 = 0{,}7\beta$ anzuwenden.



$$\lambda = \beta + 0{,}06R$$

$$\delta = 0{,}8^{cm} + \frac{d_T}{4} + \frac{d}{8}\ (\text{Schm.-W.})$$

$$= 0{,}8^{cm} + \frac{d_T}{5} + \frac{d}{8}\ (\text{Guss.-W.})$$

$$\varepsilon = 0{,}2^{cm} + 0{,}01B + 0{,}005R.$$

$$\varepsilon_1 = 0{,}15^{cm} + 0{,}025B.$$

$$k = 0{,}2^{cm} + 0{,}3\delta$$

$$k_1 = 1{,}8k\ (1\ \text{Keil})$$

$$= 1{,}6k\ (2\ \text{Keile})$$

$$= 1{,}4k\ (3\ \text{u. mehr Keile})$$

$$\mathfrak{N} = 2{,}75 + 0{,}25\frac{R}{d_T}\ (\text{Schmiedeeisen-Welle})\,; \qquad \mathfrak{N} = 2{,}75 + 0{,}3\frac{R}{d_T}\ (\text{Gusseisen-Welle}).$$

$$\frac{h}{d_T} = \frac{2{,}2}{\sqrt{\mathfrak{N}}}\ (\text{Welle und Arme aus gleichem Mat.}) \qquad \frac{h}{d_T} = \frac{2{,}8}{\sqrt{\mathfrak{N}}}\ (\text{Welle aus Schm., Arme aus Gusseisen}).$$

$\mathfrak{N}$ =		3	4	5	6	8	10	12
h/d_T = (Schm.W.)	einfacher Riemen	1,95	1,76	1,63	1,54	1,40	1,30	1,22
	Doppel-riemen	1,56	1,41	1,30	1,23	1,12	1,04	0,98
h/d_T (Guß.W.)	einfacher Riemen	1,53	1,38	1,28	1,21	1,10	1,02	0,96
	Doppel-riemen	1,22	1,10	1,02	0,97	0,88	0,82	0,77

Armbreite $b = \frac{h}{2}$ (elliptische Arme) ; $b_1 = h/5$ (kreuzförmige Arme $h_1 = 1{,}14h$)

Das Gewicht der Riemenscheiben ist annähernd $= 6\left(1 + 0{,}1\frac{R}{\beta}\right)\cdot\frac{R}{\beta}\cdot(0{,}1\beta)^3$.

2) Drahtseiltransmission.

P = auf den Umfang der getriebenen Scheibe reducirte Triebkraft.
T_0 = Seilspannung im Ruhezustande.
T_1 = „ während des Ganges im führenden Seile.
T_2 = „ „ „ „ „ geführten „
$f_0; f_1; f_2$ = die den Spannungen T_0, T_1, T_2 entsprechenden Pfeilhöhen in Metern.
E = Elasticitätsmodul für Schmiedeisen = 2000000 kg.
R = Seilscheibenhalbmesser.
$2a$ = Achsenentfernung der Scheiben in Metern.
i = Anzahl der Drähte eines Seiles, gewöhnlich 6.6 oder 6.7, allgemein $i_2(i_1+i_e)$.
δ = Dicke eines Drahtes in cm, also $10\,\delta$ = Dicke desselben in m/m.
ϑ = Seildurchmesser $= 9\delta$, wenn $i = 36$, $= 10\delta$, wenn $i = 42$; allgemein $= \delta\left\{1+\frac{1}{\sin\frac{180°}{i_1}}\right\}\left\{1+\frac{1}{\sin\frac{180°}{i_2}}\right\}$ worin i_1 die Zahl der Drähte des Umfanges, i_e die im Kerne jeder Litze und i_2 die Zahl der Litzen des Seiles bezeichnet.
q = Gewicht des Seiles pro Meter Länge $= 0{,}7\, i\,\delta^2$.
N = Anzahl der zu übertragenden Pferdekräfte.
n = Umdrehungszahl der Kraftscheiben pro Minute

$$P = 71620 \cdot \frac{1}{R}\,\frac{N}{n}. \qquad T_1 = 2P; \qquad T_2 = P.$$

Zu Drahtseilen werden vorzugsweise folgende Drähte verwandt:

№ der englischen Lehre:	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
Dicke der Drähte in mm:	0,51	0,56	0,63	0,71	0,81	0,88	1,07	1,24	1,47	1,65	1,83	2,10	2,41	2,76	3,05	3,40

Die Summe der Dehnungsspannungsstärke $\mathfrak{T}_1$ im führenden Seile und der Spannungsstärke $1 = 1000000\frac{\delta}{R}$ beim Umbiegen um die Scheibe soll nur 1800 kg. betragen. Dieses erreicht man bei Annahme von $\frac{R}{\delta}$ innerhalb der Grenzen der unten stehenden Tabelle.

Allgemein ist: $\frac{10\delta}{d_T} = 63{,}50\sqrt[3]{\frac{1}{i}\left(\frac{\delta}{R}\right)^2}$; $\frac{10\delta}{d_T} = 50{,}50\sqrt[3]{\frac{1}{i}\left(\frac{\delta}{R}\right)^2}$

und für $i = 36$ wird: „ $= 19{,}24\sqrt[3]{\left(\frac{\delta}{R}\right)^2}$; „ $= 15{,}30\sqrt[3]{\left(\frac{\delta}{R}\right)^2}$

„ $i = 42$ „ : „ $= 18{,}28\sqrt[3]{\left(\frac{\delta}{R}\right)^2}$ Schm. Welle. ; „ $= 14{,}53\sqrt[3]{\left(\frac{\delta}{R}\right)^2}$ Guss. Welle.

Hiernach erhält man folgende Tabelle für Schmiedeeisenwelle:

	R/δ =	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
$i = 36$	$10\delta/d_T$ =	0,206	0,192	0,181	0,170	0,162	0,154	0,147	0,141
	$d_T/10\delta$ =	4,85	5,21	5,52	5,88	6,17	6,49	6,80	7,09
$i = 42$	$10\delta/d_T$ =	0,196	0,183	0,172	0,162	0,153	0,146	0,139	0,134
	$d_T/10\delta$ =	5,10	5,46	5,81	6,17	6,54	6,85	7,19	7,46

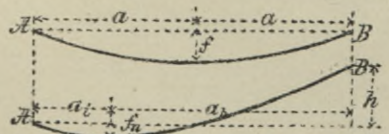
$f_1 = \frac{qa^2}{2T_1}$; $f_2 = \frac{qa^2}{2T_2} = 2f_1$; $f_0 = 1{,}5f_1 \sim 1{,}58f_1$, genauer aus: $f_0^3 - \left(2{,}5f_1^2 - 0{,}502\frac{a^4}{Ef_1}\right)f_0 - 0{,}669\frac{a^4}{E} = 0$

Die Achsenentfernung zweier Scheiben $2a$ beträge $74\sqrt{f_1} \sim 104\sqrt{f_1}$, worin f_1 die größte zulässige Durchbiegung des führenden Seiles bezeichnet.
Die bei dem Pfeil f_1 und der Spannweite $2a$ im Seile eintretende Dehnungsspannungsstärke $\mathfrak{T}_1$ beträgt $0{,}446\frac{a^2}{f_1}$ und verlangt der obigen Bedingung gemäß einen Werth von $\frac{R}{\delta} = \frac{1000000}{1800-\mathfrak{T}_1}$ oder annähernd $= 1{,}28\,\mathfrak{T}_1$.
Die Tragrollen des führenden Seiles erhalten den Halbmesser R_K der Kraftrollen $(= R)$, die des geführten den Halbmesser R_T, berechnet aus:

$$\frac{R_T}{R_K} = \frac{2}{1 + 0{,}0018\left(\frac{R_K}{\delta}\right)}$$

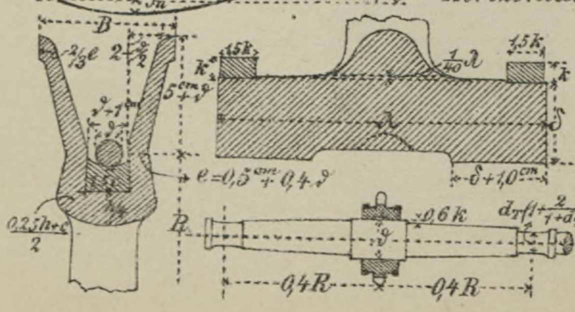
Die Resultate dieser Formeln in nachstehender Tabelle.

R_K/δ =	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
R_T/R_K =	0,76	0,71	0,67	0,63	0,60	0,57	0,54	0,52



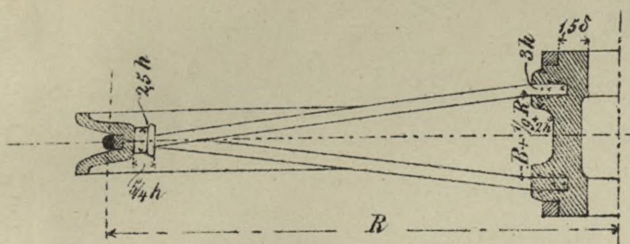
Geneigter Seiltrieb. Der Ort der größten Durchbiegung, sowie diese selbst folgt aus dem gewöhnlichen Seiltriebe mit gleichem Seile und gleicher Horizontalspannung nach: $\frac{a_t}{a} = 1 - \frac{1}{4}\cdot\frac{h}{f}$; $\frac{f_n}{f} = \left(\frac{a_x}{a}\right)^2$.

Ausführung der Seilscheiben.



$\lambda = B + 0{,}06\,R.$
$\delta = 0{,}8^{cm} + \frac{d_T}{4} + \frac{\vartheta}{8}$ (Schm.-W.)
$= 0{,}8^{cm} + \frac{d_T}{5} + \frac{\vartheta}{8}$ (Guss.-W.)
Keilstärke $k = 0{,}2^{cm} + 0{,}3\,\delta$
Keilbreite $= 1{,}8\,k$ (1 K),
$= 1{,}6\,k$ (2 K), $- 1{,}4\,k$ (3 K).

Anzahl der gusseisernen Arme und Dimensionen derselben wie bei den Riemenscheiben. Zur Bestimmung von h sind die Werthe der Tabelle zu nehmen, welche für Doppelriemen angegeben sind.



Anzahl der schmiedeeisernen Arme $\mathfrak{N} = 8(1+0{,}1\frac{R}{d_T})$.
h Durchmesser des ● Armes = ½ h bei guſs. ⬬ Armen.

$\mathfrak{N} =$	10	12	16	20	24	30	36
$\frac{h}{d_T} =$	0,53	0,49	0,45	0,41	0,39	0,36	0,34

Verwandlung d ● Querschn. in ○ wie bei d. Achsen.

3) Hanfseiltransmission.

Bezeichnungen in Übereinstimmung mit 1) und 2).

<u>Scheibenhalbmesser</u> R wegen Zapfenreibung nicht kleiner als beim Riementriebe, wegen Seilsteifigkeit mindestens = 15 fachem <u>Seildurchmesser</u> δ, welcher nach der Effektstärke zwischen $3{,}3^{cm}$ und $5{,}2^{cm}$, gewöhnlich $4{,}5^{cm}$ oder $5{,}2^{cm}$ angenommen wird. <u>Übersetzungszahl</u> $i = \frac{R}{r}$.

<u>Seilgeschwindigkeit</u> in m. pr 1'' $v = \frac{2R^{m}\pi \cdot n}{6000}$ (bei ausgef. Transmissionen zwischen 10^{m} u. 20^{m}).

<u>Nutzzugkraft</u> der Seile $P = \frac{75N}{v}$.

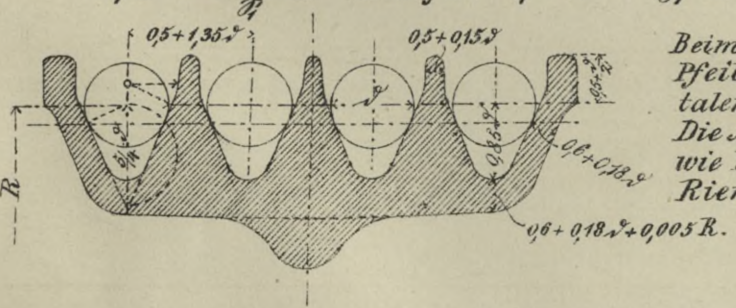
<u>Seilspannung</u> zur Verhütung des Gleitens der Seile: $T_1 = \frac{5}{3}P$; $T_2 = \frac{2}{3}P$.

<u>Anzahl i der Seile</u> bei Annahme eines Reserveseiles und 6 kg. Nutzspannung (10 kg. wirklicher Spannung)

$$i = 1 + \frac{1}{6}\,\frac{P}{\frac{\delta^2\pi}{4}}$$

Die <u>Pfeile der Seilkurven</u> beim horizontalen Seiltrieb finden sich aus dem Gewicht q eines Meters Seillänge $q = 0{,}095\,\frac{\delta^2\pi}{4}$ zu

$$f_1 = \frac{0{,}0475\,a^2}{R_1} \quad \text{und für } R_1 = 10 : \; f_1 = 0{,}00475\,a^2 \quad ; \; f_2 = 2{,}5 f_1 .$$



Beim geneigten Seilbetrieb berechnet man die Pfeilverhältnisse aus denen eines horizontalen, wie beim Drahtseilbetriebe.
Die Arme der Scheiben werden berechnet wie Riemenscheibenarme für einfache Riemen.

B. Zahnräder.

I) Stirnräder.

t = Theilung.
α = Zahnstärke.
β = Zahnbreite.
γ = Zahnlänge
σ = Spielraum zwischen 2 Zähnen.
P = Zahndruck in kil. $= 71620 \frac{1}{R}\frac{N}{n}$

Z resp. z = Zähnezahl. } des Rades.
R „ r = Theilkreishalbmesser } des Rades.
d_T = Torsionswellendurchmesser, für den durch das Rad zu übertragenden Effect berechnet.
d = ausgeführter Wellendurchmesser.
n = Umdrehungszahl der Welle pro Minute.

$$Zt = 2R\pi ; \quad R = \frac{Z}{2}\left(\frac{t}{\pi}\right) \quad Z = 2R\frac{\pi}{t} = \frac{2R}{t/\pi} .$$

<u>Skala der Bogentheilungen.</u>

t	t/π	π/t	t	t/π	π/t	t	t/π	π/t	t	t/π	π/t
14	4,4563	0,2244	9	2,8048	0,3491	4,5	1,4324	0,6981	2,2	0,7003	1,4280
13	4,1380	0,2417	8	2,5465	0,3927	4,0	1,2732	0,7854	1,8	0,5729	1,7453
12	3,8197	0,2618	7	2,2282	0,4488	3,5	1,1141	0,8976	1,5	0,4775	2,0944
11	3,5014	0,2856	6	1,9099	0,5236	3,0	0,9549	1,0472	1,2	0,3820	2,6180
10	3,1831	0,3142	5	1,5915	0,6283	2,6	0,8276	1,2083	1,0	0,3183	3,1416

<u>Skala der Durchmessertheilungen.</u>

t/π	t	t/π	t	t/π	t	t/π	t	t/π	t
4,5	14,1372	2,8	8,7965	1,8	5,6549	1,0	3,1416	0,6	1,8850
4,0	12,5664	2,5	7,8540	1,6	5,0265	0,9	2,8274	0,5	1,5708
3,6	11,3097	2,2	6,9115	1,4	4,3982	0,8	2,5133	0,4	1,2566
3,2	10,0531	2,0	6,2832	1,2	3,7699	0,7	2,1991	0,3	0,9425

Die __Übersetzungszahl__ zweier Räder ist $i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{z_1}{z_2}$, wo der Index 1 dem treibenden, der Index 2 dem getriebenen Rade angehört. Die Übersetzungszahl eines zusammengesetzten Räderwerks ist gleich dem Producte der einzelnen Übersetzungszahlen der in einander greifenden Räder. Zur Vermeidung eines ungleichförmigen Ganges geht man mit den einzelnen Übersetzungszahlen bei Transmissionsrädern gewöhnlich nicht über 3–4, steigt bei langsamem Gange der Räder wohl auf 5–6 (Wasserradzahnkränze); bei den Aufzugmaschinen für Muskelkräfte wendet man dagegen bis 8-, mitunter selbst 12fache Übersetzungen ins Langsame an.

__Theilkreishalbmesser__. Liegt ausser i auch die Achsenentfernung a der Wellen fest, so berechne man zunächst die (vorläufigen) Halbmesser $r_2 = \frac{1}{i \pm 1} a$ und $r_1 = i r_2 = \frac{i}{i \pm 1} \cdot a$ (wie bei den Frictionsrädern); bestimme dann mit Hülfe der Theilung t oder t/π die Zähnezahlen z_1 und z_2, für welche die nächstliegenden ganzen Zahlen eingeführt werden müssen, und schliesslich ermittelt man die endgültigen Werthe für r_2 und r_1 nach der Gleichung $R = \frac{Z}{2} \cdot \frac{t}{\pi}$.

Jst dagegen a willkürlich, so wähle man die Zähnezahlen z_1 und z_2 passend. Komt es nur auf ununterbrochene Bewegungsübertragung an, wie bei den Aufzugmaschinen für Muskelkräfte, so kann man unter Annahme der gewöhnlichen Zahnverhältnisse bei Epicycloidenzähnen bis auf 8 Zähne herabgehen, bleibt aber besser bei 11 oder 13 stehen, während die Evolventenzähne $z = 11$ bei $Z \geqq 19$, $z = 13$ bei $Z \geqq 17$ und $z = Z \geqq 15$ verlangen. Wünscht man aber für Transmissionsräder grössere Gleichförmigkeit des Ganges und geringere Abnutzung, so giebt man einem getriebenen Rade über 40 und einem treibendem Rade nicht unter 30 Zähne. Evolventenzähne halten stets 2 Zähnepaare im Eingriffe, wenn mindestens 30 und 80, 40 und 60, 50 und 50 Zähne zusammenarbeiten. Aus der Annahme von z_2 folgt $z_1 = i z_2$ oder umgekehrt $z_2 = \frac{z_1}{i}$ aus z_1; r_2 und r_1 wie oben. Wegen des Wechsels in der Berührung der Zähne nimmt man gern relative Primzahlen als Zähnezahlen.

__Dimensionen der Zähne__ bezogen auf t oder $\frac{t}{\pi}$:

$$\gamma = \begin{cases} 0{,}7\,t \\ 2{,}3\,t/\pi \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{Kopflänge } \gamma_F = 0{,}3\,t = t/\pi; \\ \text{Fusslänge } \gamma_F = 0{,}4\,t = 1{,}3\,t/\pi. \end{array} \qquad \beta = \begin{cases} 2\,t \sim 2{,}5\,t \\ 6\,t/\pi \sim 7{,}5\,t/\pi \end{cases}$$ für Räder mit langsamem Gange (Aufzugmasch.)

$$\left.\begin{array}{l} \sigma = \begin{cases} 0{,}046\,t + 0{,}04^{\text{cm.}} \\ 0{,}14\,t/\pi + 0{,}04^{\text{cm.}} \end{cases} \\ \alpha = \begin{cases} 0{,}477\,t - 0{,}02^{\text{cm.}} \\ 1{,}5\,t/\pi - 0{,}02^{\text{cm.}} \end{cases} \end{array}\right\} \text{für unbearbeitete, gleich starke Zähne.} \qquad \beta = \begin{cases} 2{,}5\,t \sim 3\,t. \\ 7{,}5\,t/\pi \sim 9\,t/\pi \end{cases}$$ Transmissionsräder mit rascherem Gange und nicht bearbeiteten Zähnen.

$$\left.\begin{array}{l} \sigma = 1/30\,t = 0{,}1\,t/\pi \\ \alpha = 29/60\,t = 1{,}52\,t/\pi \end{array}\right\} \text{für bearbeitete, gleich starke Zähne} \qquad \beta = \begin{cases} 3\,t \sim 3{,}5\,t. \\ 9\,t/\pi \sim 10{,}5\,t/\pi \end{cases}$$ Schnell gehende Räder mit bearbeiteten Zähnen.

$$\left.\begin{array}{l} \sigma = 0{,}04\,t = 0{,}14\,t/\pi \\ \text{Eisenz. } \alpha_E = 0{,}42\,t = 1{,}3\,t/\pi \\ \text{Holzk. } \alpha_H = 0{,}54\,t = 1{,}7\,t/\pi \end{array}\right\} \text{für Holz-Eisen Räder.} \qquad \beta = \begin{cases} 3{,}5\,t \sim 4\,t \\ 10{,}5\,t/\pi \sim 12\,t/\pi. \end{cases}$$ Räder mit sehr gleichförmigem, raschem Gange u. feiner Theilung (Werkzeugmasch.)

(je nach dem Zahndrucke.)

__Berechnung der Theilung__. Jst $n \leqq 50$, so kann man die Theilung nehmen.

__a) bei gegebenem P:__ $t = 0{,}274 \sqrt{t/\beta\, P}$ oder $t/\pi = 0{,}087 \sqrt{t/\beta\, P}$.

__b) bei gegebenem R:__

$$\left.\begin{array}{l} t/d_T = 1{,}713 \sqrt{\frac{t}{\beta} \cdot \frac{d_T}{R}} \\ \frac{t/\pi}{d_T} = 0{,}545 \sqrt{\frac{t}{\beta} \cdot \frac{d_T}{R}} \end{array}\right\} \text{Welle und Zähne von gleichem Material.} \qquad \left.\begin{array}{l} \frac{t}{d_T} = 2{,}422 \sqrt{\frac{t}{\beta} \cdot \frac{d_T}{R}} \\ \frac{t/\pi}{d_T} = 0{,}771 \sqrt{\frac{t}{\beta}\,\frac{d_T}{R}} \end{array}\right\} \text{Welle von Schmiedeeisen, Zähne von Gusseisen.}$$

$$\frac{t_{Schm.}}{t_{Guss}} = 0{,}7; \quad \frac{t_{Bronce}}{t_{Guss}} = 1{,}3; \quad \frac{t_{Holz}}{t_{Guss}} = 1{,}58; \quad \frac{t_{Holz\text{-}Eisen}}{t_{Guss}} = 1{,}4$$

__c) bei gegebenem Z:__

$$\left.\begin{array}{l} t/d_T = 2{,}64 \sqrt[3]{\frac{t}{\beta} \cdot \frac{1}{Z}} \\ \frac{t/\pi}{d_T} = 0{,}84 \sqrt[3]{\frac{t}{\beta} \cdot \frac{1}{Z}} \end{array}\right\} \text{Welle und Zähne von gleichem Material.} \qquad \left.\begin{array}{l} t/d_T = 3{,}33 \sqrt[3]{\frac{t}{\beta} \cdot \frac{1}{Z}} \\ \frac{t/\pi}{d_T} = 1{,}06 \sqrt[3]{\frac{t}{\beta} \cdot \frac{1}{Z}} \end{array}\right\} \text{Welle von Schmiedeeisen, Zähne von Gusseisen.}$$

$$\frac{t_{Schm.}}{t_{Guss}} = 0{,}8; \quad \frac{t_{Bronce}}{t_{Guss}} = 1{,}2; \quad \frac{t_{Holz}}{t_{Guss}} = 1{,}36; \quad \frac{t_{Holz\text{-}Eisen}}{t_{Guss}} = 1{,}25.$$

Nach diesen Formeln sind die nachstehenden Tabellen berechnet:

$\beta = 2t.$

	Gußeiserne Welle.					Schmiedeeiserne Welle					
$\frac{R}{d_T}$	$\frac{t}{d_T}$	$\frac{d_T}{t}$	$\frac{t/\pi}{d_T}$	$\frac{d_T}{t\pi}$	Z	$\frac{t}{d_T}$	$\frac{d_T}{t}$	$\frac{t\pi}{d_T}$	$\frac{d_T}{t\pi}$	Z	$\frac{R}{d_T}$
1,5	0,989	1,011	0,315	3,175	10	1,398	0715	0,445	2,247	7	1,5
1,75	0,916	1,092	0,291	3,436	12	1,295	0,772	0,412	2,427	8	1,75
2,0	0,856	1,168	0,273	3,663	15	1,211	0,826	0,385	2,597	10	2,0
2,25	0,807	1,239	0,257	3,891	18	1,142	0,876	0,363	2,755	12	2,25
2,5	0,766	1,305	0,244	4,098	21	1,083	0,923	0,345	2,899	15	2,5
2,75	0,730	1,370	0,232	4,310	24	1,033	0,968	0,329	3,040	17	2,75
3,0	0,699	1,431	0,223	4,484	27	0,989	1,011	0,315	3,175	19	3,0
3,5	0,648	1,543	0,206	4,854	34	0,916	1,092	0,291	3,436	24	3,5
4,0	0,606	1,650	0,193	5,181	41	0,856	1,168	0,273	3,663	29	4,0
4,5	0,571	1,751	0,182	5,494	49	0,807	1,239	0,257	3,891	35	4,5
5,0	0,542	1,845	0,172	5,814	58	0,766	1,305	0,244	4,098	41	5,0
5,5	0,516	1,938	0,164	6,097	67	0,730	1,370	0,232	4,310	47	5,5
6,0	0,494	2,024	0,157	6,369	76	0,699	1,431	0,223	4,484	54	6,0
6,5	0,475	2,105	0,151	6,623	86	0,672	1,488	0,214	4,673	61	6,5
7,0	0,458	2,183	0,146	6,849	96	0,648	1,543	0,206	4,854	68	7,0
7,5	0,442	2,262	0,141	7,092	106	0,625	1,600	0,199	5,025	75	7,5
8,0	0,428	2,337	0,136	7,353	118	0,606	1,650	0,193	5,181	83	8,0
8,5	0,415	2,410	0,132	7,576	129	0,587	1,704	0,187	5,348	91	8,5
9,0	0,404	2,475	0,128	7,812	141	0,571	1,751	0,182	5,494	99	9,0
9,5	0,393	2,545	0,125	8,000	152	0,556	1,799	0,177	5,650	107	9,5
10	0,383	2,611	0,122	8,197	164	0,542	1,845	0,172	5,814	116	10
11	0,365	2,740	0,116	8,621	190	0,516	1,938	0,164	6,097	134	11
12	0,350	2,857	0,111	9,009	216	0,494	2,024	0,157	6,369	153	12
13	0,336	2,976	0,107	9,346	243	0,475	2,105	0,151	6,623	172	13
14	0,324	3,086	0,103	9,709	272	0,458	2,183	0,146	6,849	192	14
15	0,313	3,195	0,100	10,000	300	0,442	2,262	0,141	7,092	213	15
20	0,271	3,690	0,086	11,628	465	0,383	2,611	0,122	8,197	328	20

$\beta = 2{,}5\,t$

	Gufseiserne Welle.					Schmiedeeiserne Welle.					
$\frac{R}{d_r}$	$\frac{t}{d_r}$	$\frac{d_r}{t}$	$\frac{t/\pi}{d_r}$	$\frac{d_r}{t/\pi}$	Z	$\frac{t}{d_r}$	$\frac{d_r}{t}$	$\frac{t/\pi}{d_r}$	$\frac{d_r}{t/\pi}$	Z	$\frac{R}{d_r}$
1,5	0,884	1,131	0,281	3,559	11	1,250	0,800	0,398	2,513	8	1,5
1,75	0,819	1,221	0,260	3,846	13	1,158	0,864	0,368	2,717	10	1,75
2,0	0,766	1,305	0,244	4,098	16	1,083	0,923	0,345	2,899	12	2,0
2,25	0,722	1,385	0,230	4,348	20	1,021	0,981	0,325	3,077	14	2,25
2,5	0,685	1,460	0,218	4,587	23	0,969	1,032	0,308	3,247	16	2,5
2,75	0,653	1,531	0,208	4,807	26	0,923	1,083	0,294	3,401	19	2,75
3,0	0,625	1,600	0,199	5,025	30	0,884	1,131	0,281	3,559	21	3,0
3,5	0,579	1,727	0,184	5,435	38	0,819	1,221	0,260	3,846	27	3,5
4,0	0,542	1,845	0,172	5,814	47	0,766	1,305	0,244	4,098	33	4,0
4,5	0,510	1,961	0,162	6,173	56	0,722	1,385	0,230	4,348	39	4,5
5,0	0,484	2,066	0,154	6,494	65	0,685	1,460	0,218	4,587	46	5,0
5,5	0,462	2,165	0,147	6,803	75	0,653	1,531	0,208	4,807	53	5,5
6,0	0,442	2,262	0,141	7,092	85	0,625	1,600	0,199	5,025	60	6,0
6,5	0,425	2,353	0,135	7,407	96	0,601	1,664	0,191	5,236	68	6,5
7,0	0,409	2,445	0,130	7,692	108	0,579	1,727	0,184	5,435	76	7,0
7,5	0,395	2,532	0,126	7,936	119	0,559	1,789	0,178	5,618	84	7,5
8,0	0,383	2,611	0,122	8,197	131	0,542	1,845	0,172	5,814	93	8,0
8,5	0,371	2,695	0,118	8,475	144	0,530	1,887	0,167	5,988	102	8,5
9,0	0,361	2,770	0,115	8,696	157	0,510	1,961	0,162	6,173	111	9,0
9,5	0,351	2,849	0,112	8,929	170	0,497	2,012	0,158	6,329	120	9,5
10	0,343	2,915	0,109	9,174	183	0,484	2,066	0,154	6,494	130	10
11	0,326	3,068	0,104	9,615	212	0,462	2,165	0,147	6,803	150	11
12	0,313	3,195	0,100	10,000	240	0,442	2,262	0,141	7,092	170	12
13	0,300	3,333	0,096	10,417	271	0,425	2,353	0,135	7,407	192	13
14	0,289	3,460	0,092	10,870	304	0,409	2,445	0,130	7,692	215	14
15	0,280	3,571	0,089	11,236	337	0,395	2,532	0,126	7,936	238	15
20	0,242	4,132	0,077	12,987	519	0,343	2,915	0,109	9174	367	20

$\beta = 3t$

Gußeiserne Welle.						Schmiedeeiserne Welle.					
$\frac{R}{d_T}$	$\frac{t}{d_T}$	$\frac{d_T}{t}$	$\frac{t/\pi}{d_T}$	$\frac{d_T}{t/\pi}$	Z	$\frac{t}{d_T}$	$\frac{d_T}{t}$	$\frac{t/\pi}{d_T}$	$\frac{d_T}{t/\pi}$	Z	$\frac{R}{d_T}$
1,5	0,807	1,239	0,257	3,891	12	1,142	0,876	0,363	2,755	8	1,5
1,75	0,747	1,339	0,238	4,202	15	1,056	0,947	0,336	2,976	10	1,75
2,0	0,699	1,431	0,223	4,484	18	0,989	1,011	0,315	3,175	13	2,0
2,25	0,659	1,517	0,210	4,762	21	0,932	1,073	0,297	3367	15	2,25
2,5	0,625	1,600	0,199	5,025	25	0,884	1,131	0,281	3,559	18	2,5
275	0,596	1,678	0,190	5,263	29	0,843	1,186	0,268	3,731	21	2,75
3,0	0,571	1,751	0,182	5,494	33	0,807	1,239	0,257	3,891	23	3,0
3,5	0,528	1,894	0,168	5,952	42	0,747	1,339	0,238	4,202	29	3,5
4,0	0,494	2,024	0,157	6,369	51	0,699	1,431	0,223	4,484	36	4,0
4,5	0,466	2,146	0,148	6,757	61	0,659	1,517	0,210	4,762	43	4,5
5,0	0,442	2,262	0,141	7,092	71	0,625	1,600	0,199	5,025	50	5,0
5,5	0,421	2,375	0,134	7,463	82	0,596	1,678	0,190	5,263	58	5,5
6,0	0,404	2,475	0,128	7,812	94	0,571	1,751	0,182	5,494	66	6,0
6,5	0,388	2,577	0,123	8,130	106	0,548	1,825	0,175	5,714	74	6,5
7,0	0,374	2,674	0,119	8,403	118	0,528	1,894	0,168	5,952	83	7,0
7,5	0,361	2,770	0,115	8,696	131	0,510	1,961	0,162	6,173	93	7,5
8,0	0,350	2,857	0,111	9,009	144	0,494	2,024	0,157	6,369	102	8,0
8,5	0,339	2,950	0,108	9,259	157	0,479	2,088	0,152	6,579	112	8,5
9,0	0,330	3,030	0,105	9,524	171	0,466	2,146	0,148	6,757	122	9,0
9,5	0,321	3,115	0,102	9,804	186	0,454	2,203	0,144	6,944	132	9,5
10	0,313	3,195	0,100	10,000	200	0,442	2,262	0,141	7,092	142	10
11	0,298	3,356	0,095	10,526	232	0,421	2,375	0,134	7,463	164	11
12	0,286	3,497	0,091	10,989	264	0,404	2,475	0,128	7,812	187	12
13	0,274	3,650	0,087	11,494	299	0,388	2,577	0,123	8,130	211	13
14	0,264	3,788	0,084	11,905	333	0,374	2,674	0,119	8403	235	14
15	0,255	3,922	0,081	12,346	370	0,361	2,770	0,115	8,696	261	15
20	0,221	4,525	0,070	14,286	571	0,313	3,195	0,100	10,000	400	20

$$\beta = 3{,}5\,t.$$

Gußeiserne Welle.						Schmiedeeiserne Welle.					
$\frac{R}{d_T}$	$\frac{t}{d_T}$	$\frac{d_T}{t}$	$\frac{t/\pi}{d_T}$	$\frac{d_T}{t/\pi}$	Z	$\frac{t}{d_T}$	$\frac{d_T}{t}$	$\frac{t/\pi}{d_T}$	$\frac{d_T}{t/\pi}$	Z	$\frac{R}{d_T}$
1,5	0,748	1,337	0,238	4,202	13	1,057	0,946	0,336	2,976	9	1,5
1,75	0,692	1,445	0,220	4,545	16	0,979	1,021	0,312	3,205	11	1,75
2,0	0,648	1,543	0,206	4,854	19	0,916	1,092	0,291	3,436	14	2,0
2,25	0,610	1,639	0,194	5,155	23	0,863	1,159	0,275	3,636	16	2,25
2,5	0,579	1,727	0,184	5,435	27	0,819	1,221	0,260	3,846	19	2,5
2,75	0,552	1,812	0,176	5,682	31	0,781	1,280	0,248	4,032	22	2,75
3,0	0,529	1,890	0,168	5,952	36	0,748	1,337	0,238	4,202	25	3,0
3,5	0,489	2,045	0,156	6,410	45	0,692	1,445	0,220	4,545	32	3,5
4,0	0,458	2,183	0,146	6,849	55	0,648	1,543	0,206	4,854	39	4,0
4,5	0,432	2,315	0,137	7,299	66	0,610	1,639	0,194	5,155	46	4,5
5,0	0,409	2,445	0,130	7,692	77	0,579	1,727	0,184	5,435	54	5,0
5,5	0,390	2,564	0,124	8,065	89	0,552	1,812	0,176	5,682	63	5,5
6,0	0,374	2,674	0,119	8,403	101	0,529	1,890	0,168	5,952	71	6,0
6,5	0,359	2,786	0,114	8,772	114	0,507	1,972	0,162	6,173	80	6,5
7,0	0,346	2,890	0,110	9,091	127	0,489	2,045	0,156	6,410	90	7,0
7,5	0,334	2,994	0,106	9,434	141	0,473	2,114	0,151	6,623	99	7,5
8,0	0,324	3,086	0,103	9,709	155	0,468	2,183	0,146	6,849	110	8,0
8,5	0,314	3,185	0,100	10,000	170	0,444	2,252	0,141	7,092	121	8,5
9,0	0,305	3,279	0,097	10,309	186	0,432	2,315	0,137	7,299	131	9,0
9,5	0,297	3,367	0,094	10,638	202	0,420	2,381	0,133	7,519	143	9,5
10	0,289	3,460	0,092	10,870	217	0,409	2,445	0,130	7,692	154	10
11	0,276	3,623	0,088	11,364	250	0,390	2,564	0,124	8,065	177	11
12	0,265	3,774	0,084	11,905	286	0,374	2,674	0,119	8,403	202	12
13	0,254	3,937	0,081	12,346	321	0,359	2,786	0,114	8,772	228	13
14	0,245	4,082	0,078	12,820	359	0,346	2,890	0,110	9,091	255	14
15	0,236	4,237	0,075	13,333	400	0,334	2,994	0,106	9,434	283	15
20	0,205	4,878	0,065	15,385	615	0,289	3,460	0,092	10,870	435	20

$\beta = 4t.$

	Gusseiserne Welle.					Schmiedeeiserne Welle.					
$\frac{R}{d_T}$	$\frac{t}{d_T}$	$\frac{d_T}{t}$	$\frac{t/\pi}{d_T}$	$\frac{d_T}{t/\pi}$	Z	$\frac{t}{d_T}$	$\frac{d_T}{t}$	$\frac{t/\pi}{d_T}$	$\frac{d_T}{t/\pi}$	Z	$\frac{R}{d_T}$
1,5	0,699	1,431	0,223	4,484	13	0,989	1,011	0,315	3,175	10	1,5
1,75	0,648	1,543	0,266	4,854	17	0,915	1,092	0,291	3,436	12	1,75
2,0	0,606	1,650	0,193	5,181	21	0,856	1,168	0,273	3,663	15	2,0
2,25	0,571	1,751	0,182	5,494	25	0,807	1,239	0,257	3,891	18	2,25
2,5	0,542	1,845	0,172	5,814	29	0,766	1,305	0,244	4,098	21	2,5
2,75	0,516	1,938	0,164	6,097	34	0,730	1,370	0,232	4,310	24	2,75
3,0	0,494	2,024	0,157	6,369	38	0,699	1,431	0,223	4,484	27	3,0
3,5	0,458	2,183	0,146	6,849	48	0,648	1,543	0,206	4,854	34	3,5
4,0	0,428	2,337	0,136	7,353	59	0,606	1,650	0,193	5,181	41	4,0
4,5	0,404	2,475	0,128	7,812	70	0,571	1,751	0,182	5,494	49	4,5
5,0	0,383	2,611	0,122	8,197	82	0,542	1,845	0,172	5,814	58	5,0
5,5	0,365	2,740	0,116	8,621	95	0,516	1,938	0,164	6,097	67	5,5
6,0	0,350	2,857	0,111	9,009	108	0,494	2,024	0,157	6,369	76	6,0
6,5	0,336	2,976	0,107	9,346	121	0,475	2,105	0,151	6,623	86	6,5
7,0	0,324	3,086	0,103	9,709	136	0,458	2,183	0,146	6,849	96	7,0
7,5	0,313	3,195	0,100	10,000	150	0,442	2,262	0,141	7,092	106	7,5
8,0	0,303	3,300	0,097	10,309	165	0,428	2,337	0,136	7,353	118	8,0
8,5	0,294	3,401	0,094	10,638	181	0,415	2,410	0,132	7,576	129	8,5
9,0	0,286	3,497	0,091	10,989	198	0,404	2,475	0,128	7,812	140	9,0
9,5	0,278	3,597	0,088	11,364	216	0,393	2,545	0,125	8,000	152	9,5
10	0,271	3,690	0,086	11,628	233	0,383	2,611	0,122	8,197	164	10
11	0,258	3,876	0,082	12,195	268	0,365	2,740	0,116	8,621	190	11
12	0,247	4,049	0,079	12,658	304	0,350	2,857	0,111	9,009	216	12
13	0,238	4,202	0,076	13,158	342	0,336	2,976	0,107	9,346	243	13
14	0,229	4,367	0,073	13,699	384	0,324	3,086	0,103	9,709	272	14
15	0,221	4,525	0,070	14,286	429	0,313	3,195	0,100	10,000	300	15
20	0,192	5,208	0,061	16,393	656	0,271	3,690	0,086	11,628	465	20

Ist $n > 50$, so hat man bei Anwendung der Formeln a und b (s. Taf. 31) t noch mit $\sqrt{\frac{k}{3}}$, bei Anwendung der Formeln c mit $\sqrt{k/3}$ zu multipliciren, oder, bei den Formeln mit d_T einen mit $\sqrt[3]{\frac{k}{3}}$ multiplicirten Torsionswellendurchmesser einzuführen.
k bestimmt sich hierbei aus der Formel:

$$n = 40(k - \sqrt{k}),$$

welche die nachstehende Tabelle liefert:

k	n	$k/3$	$\sqrt{k/3}$	$\sqrt[3]{\frac{k}{3}}$	k	n	$k/3$	$\sqrt{k/3}$	$\sqrt[3]{k/3}$	k	n	$k/3$	$\sqrt{\frac{k}{3}}$	$\sqrt[3]{k/3}$
2,0	0	0,67	0,82	0,87	6,0	142	2,0	1,41	1,26	15	445	5,0	2,24	1,71
2,5	sehr klein	0,83	0,91	0,94	6,9	171	2,3	1,52	1,32	18	550	6,0	2,45	1,82
3,0	50	1,0	1,0	1,0	7,8	200	2,6	1,61	1,38	21	657	7,0	2,65	1,91
3,6	68	1,2	1,10	1,06	8,7	230	2,9	1,70	1,43	24	764	8,0	2,83	2,0
4,2	86	1,4	1,18	1,12	9,6	260	3,2	1,79	1,47	27	872	9,0	3,0	2,08
4,8	104	1,6	1,26	1,17	10,8	300	3,6	1,90	1,53	30	980	10,0	3,16	2,15
5,4	123	1,8	1,34	1,22	12,0	342	4,0	2,0	1,59	36	1200	12,0	3,46	2,29

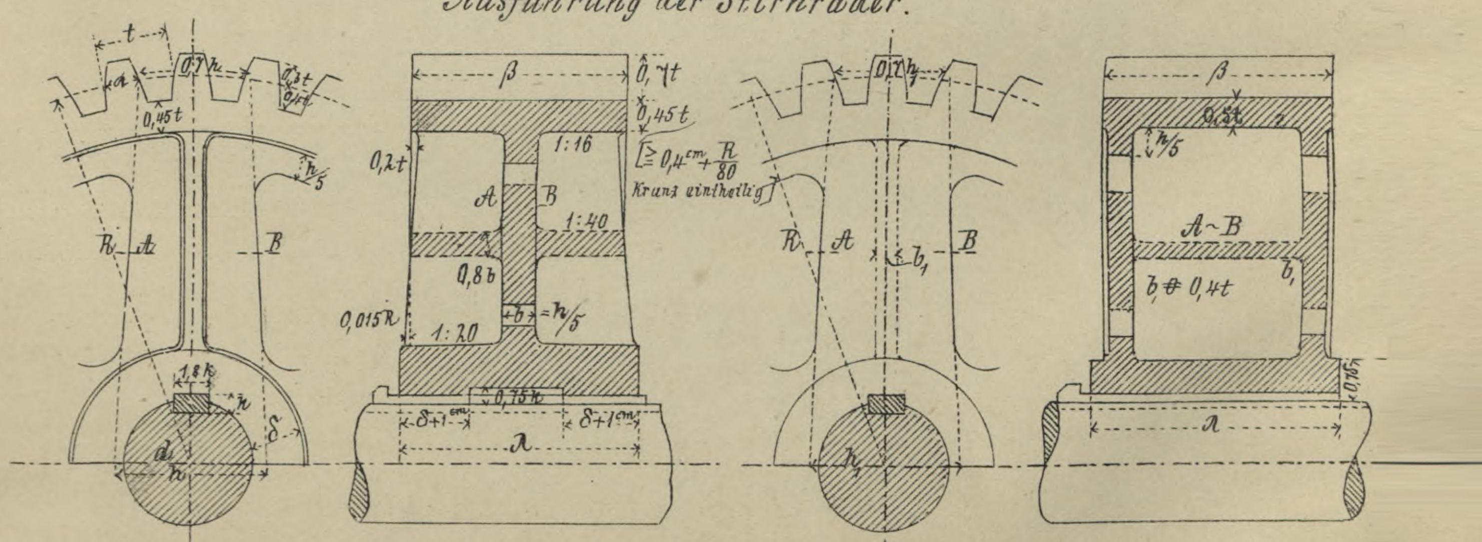
Anmerkung: Die Rechnung ist hierbei immer in Bezug auf das kleinere Rad und bei Holzeisenrädern in Bezug auf das Holzkammrad zu führen.

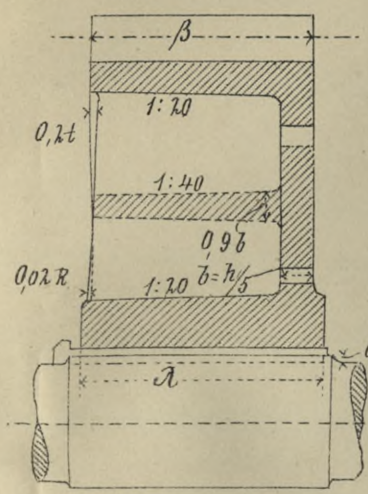
Ausnahmefälle. Reductionscoefficienten für die $\underbrace{\text{Formeln a und b}}$: $\underbrace{\text{für die Formeln c}}$:

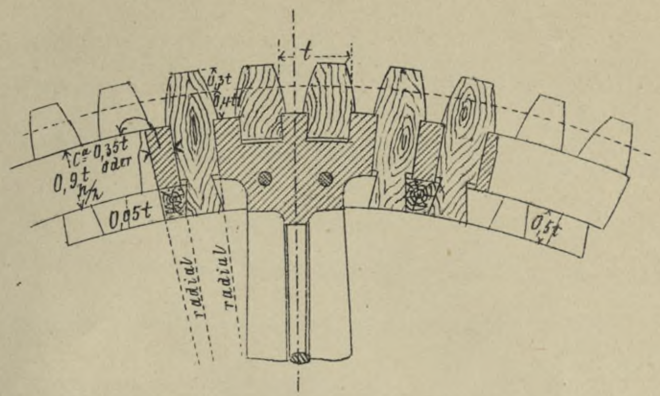
Räder für Aufzugmaschinen	0,7	0,8
Räder, bei denen Stöße vorkommen	1,4	1,25
Räder mit sehr starken Stößen oder in der Nähe grosser Schwungräder	1,73	1,44

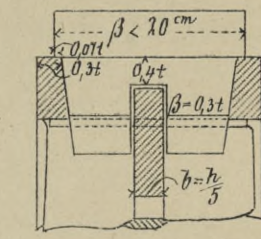
Anmerkung: Auch hier kann man bei Anwendung der Formeln b und c die Correction durch Einführung eines mit 0,8 bezw. 1,25 und 1,44 multiplicirten Torsionsdurchmessers bewirken. — Eine geringere Theilung als $1^{cm} + \frac{R}{40}$ für Eisen in Eisen und $1,4^{cm} + \frac{R}{30}$ für Holz in Eisen wird selten bei grossen Rädern ausgeführt.
Wenn $t > 14^{cm}$ wird, so sind mehrere Räder neben einander zu setzen.

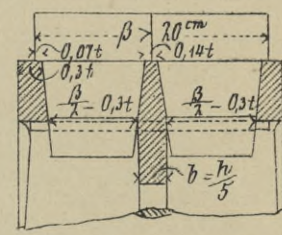
Ausführung der Stirnräder.

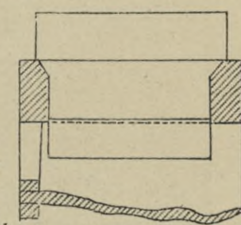










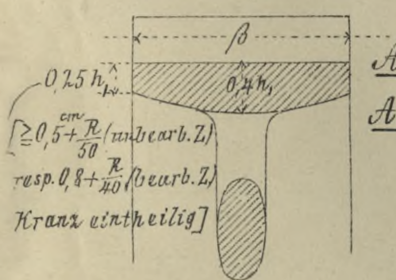


$\lambda = \beta + 0{,}06\,R_1$;

$\delta = 0{,}8^{cm} + \frac{d_T}{5} + \frac{d}{8}$ (Gußeiserne Welle).

$\delta = 0{,}8^{cm} + \frac{d_T}{4} + \frac{d}{8}$ (Schmiedeeiserne Welle).

$k = 0{,}3\delta + 0{,}2^{cm}$



__Armzahl:__ $\mathfrak{N} = 2{,}5 + 0{,}6\frac{R}{d_T}$ (G. W.); $\mathfrak{N} = 2{,}5 + 0{,}5\frac{R}{d_T}$ (S. W.).

__Armhöhe:__ Wird die Armstärke $b = h/5$ genommen, so hat man

$\frac{h}{d_T} = \frac{2}{\sqrt[3]{\mathfrak{N}}}$ (Welle und Arme aus gleichem Material).

$\frac{h}{d_T} = \frac{2{,}5}{\sqrt[3]{\mathfrak{N}}}$ (Welle aus Schmiedeeisen, Arme aus Gußeisen)

Hiernach ist folgende Tabelle berechnet:

$\mathfrak{N} =$	2	3	4	5	6	8	10	12
h/d_T (Guss) =	1,59	1,39	1,26	1,17	1,10	1,0	0,93	0,87
h/d_T (Schm.) =	1,98	1,73	1,58	1,46	1,38	1,25	1,16	1,09

Bei Holzkammrädern soll $\frac{h}{2}$ $c^a = 0{,}9t$ sein.

b darf nicht sehr von der Kranzstärke abweichen.

Bei Annahme der Armstärke b (ungefähr = der Kranz- oder Zahnstärke = $0{,}45t$). ergiebt sich die Armhöhe h nach den Formeln:

$\frac{h}{d_T} = \frac{5}{4}\sqrt{\frac{d_T}{\mathfrak{N} b}}$ (Welle u. Arme aus gl. Mat.) $\frac{h}{d_T} = \frac{7}{4}\sqrt{\frac{d_T}{\mathfrak{N} b}}$ (Welle aus Schm., Arme aus Guss.)

oder mit Hülfe der nach diesen Formeln berechneten Tabelle:

$\frac{\mathfrak{N} \cdot b}{d_T} =$	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
$\frac{h}{d_T}$ (Guss.) =	1,40	1,25	1,14	1,06	0,99	0,93	0,88	0,84	0,81	0,78	0,75	0,72
$\frac{h}{d_T}$ (Schm.) =	1,96	1,75	1,60	1,48	1,38	1,30	1,24	1,18	1,13	1,09	1,05	1,01

Die Höhe h_1 der Arme mit doppelter Hauptrippe, deren jede $b/2 = b_1 \# 0{,}4t$ zu machen ist, wird $h_1 = 1{,}1h$. {ausgeführt.

Elliptische Arme erhalten die Dimensionen $h_1 = 0{,}9h$, $b_1 = \frac{h_1}{2}$.

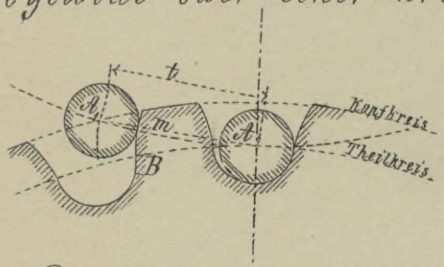
Das Gewicht der Zahnräder ist annähernd in Kilogramm:

$$G = 0{,}4R^m\,t^2\left\{8\frac{\beta}{t} + 2{,}5 + \left(0{,}8 + 0{,}6\frac{\beta}{t}\right)\mathfrak{N}\right\}$$

Verzahnung der Stirnräder.

1. Triebstockverzahnung.

Dem getriebenen Rade giebt man zweckmässig die cylindrischen Triebstöcke. Die Zahnform des andern Rades ist die in der Entfernung des Triebstockhalbmessers liegende Aequidistante derjenigen Rolllinie, welche der Triebstockmittelpunkt beschreibt beim Rollen seines Theilkreises auf dem Theilkreise des gezahnten Rades; also bei Aussenberührung der Räder einer Epicycloide, bei Innenberührung einer Hypocycloide und bei einer Zahnstange einer gemeinen Cycloide oder einer Kreisevolvente.



Der Zahneingriff erfolgt nur auf einer Seite der Centrallinie; um ihn continuirlich zu erhalten, stelle man einen Triebstock A_1 um eine Theilung $\widehat{AA_1}$ vom Theilpunkte A ab, verbinde A_1 mit A, wodurch sich der Berührungspunkt m der Zähne durch den Durchschnitt von $\widehat{AA_1}$ mit dem Triebstockkreise findet, und mache die Zähne etwas länger als $\overline{Bm}$.

2. Epicycloidenverzahnung.

a. Allgemeine Epicycloidenverzahnung. Zwei Zahncurven arbeiten richtig zusammen, wenn sie durch Wälzen desselben Rollkreises von beliebiger Grösse auf, resp. in den Theilkreisen der Räder erzeugt sind.

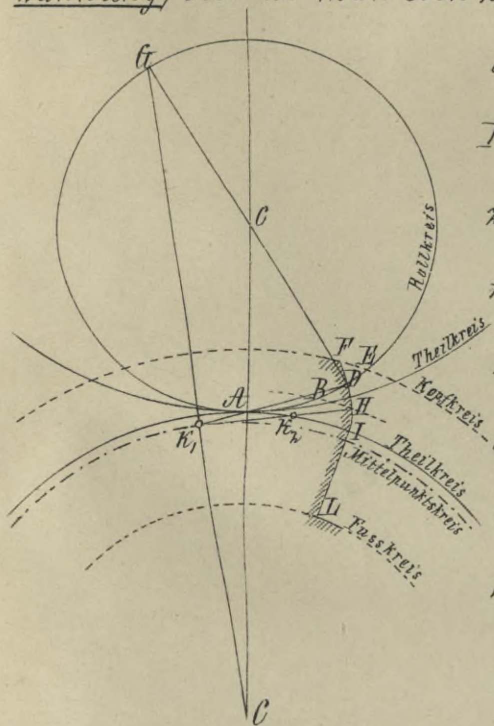
b. Specielle Epicycloidenverzahnung. Der Rollkreishalbmesser wird gleich der Hälfte der Theilkreishalbmesser genommen, wodurch die Zahnflanken innerhalb der Theilkreise (Hypocycloiden) geradlinig und radial ausfallen, während der äussere Theil der Zahnflanke durch Wälzen des Rollkreises gleich der Hälfte des Theilkreises des andern Rades gebildet wird.

c. Satzräderverzahnung erhält man durch Annahme eines constanten

Rollkreises für alle Räder derselben Theilung, dessen Halbmesser $r = 0{,}875t = 2{,}75\frac{t}{\pi}$ genommen werden kann.

Für die praktische Ausführung kann man sich statt der genauen Zahnform einer <u>annäherungsweisen</u> durch <u>Kreisbögen</u> bedienen, indem man für passende Punkte der Zahncurven Krümmungskreise construirt.

Für <u>geringe Zähnezahlen</u>, namentlich bei der speciellen <u>Epicycloidenverzahnung</u>, bediene man sich zweier Kreisbögen, welche folgendermassen gefunden werden:



Mache $\widehat{AB}=\widehat{BE}$ und $\widehat{BD}=\widehat{DE}$, bestimme für D den Krümmungshalbmesser K_1D, indem man DG und CG zieht; der Durchschnittspunkt K_1 der letzteren mit der Zahnnormalen DAK_1 ist der Mittelpunkt der Zahncurve FH (vom Kopfkreise bis zu einem Kreise durch B). Der Durchschnitt K_2 von K_1H mit dem Theilkreise liefert den zweiten Krümmungsmittelpunkt für den Zahnflankentheil HI, an welchen sich das radiale Stück IL anschliesst.

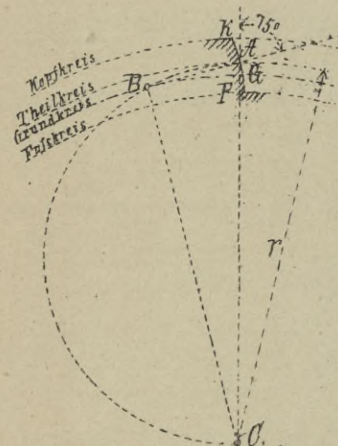
Zur Verzeichnung sämmtlicher Zähne schlägt man durch K_1 einen Mittelpunktskreis aus C.

Für <u>grössere Zähnezahlen</u> ist es ausreichend, namentlich bei der <u>Satzräderverzahnung</u>, <u>einen</u> Kreisbogen für die Zahnflanken vom Theilkreise ab zu nehmen. Ziehe DoG unter 30° gegen die Centrallinie und die Normale D_eAD_h; die Durchschnittspunkte K_e und K_h der letzteren mit CG sind die Krümmungsmittelpunkte, D_eK_e ist Krümmungshalbmesser der Epicycloide, D_hK_h der Hypocycloide. Zur Verzeichnung der Zahnprofile an den betreffenden Stellen bediene man sich der Kreise durch K_e und K_h aus C.

Taf. 41.

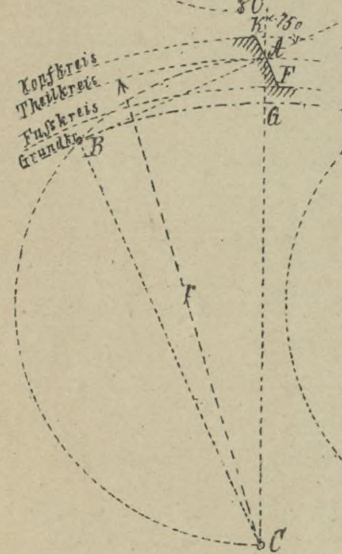
3. Evolventen - Verzahnung.

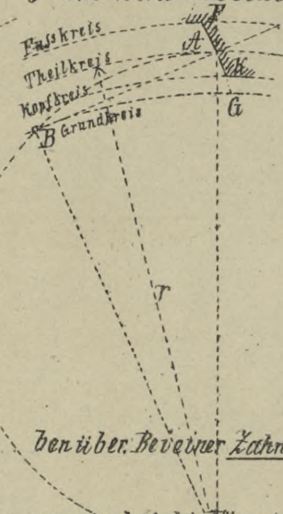
Die Zahnflanken bestehen aus Kreisevolventen, welche durch Abwickelung von Grundkreisen entstanden sind, deren Halbmesser in demselben Verhältniss stehen, wie die Theilkreise. (Die gemeinschaftliche Tangente der Grundkreise geht alsdann durch den Theilpunkt.) Bei Satzrädern ist das Verhältniss des Grund- zum Theilkreishalbmesser oder die Neigung der Grundkreis-Tangente zur



Centrallinie constant und zwar zweckmässig = 75° zu nehmen.

Ausführung der Verzahnung. Man ziehe zur Centrallinie AC die Linie AB unter 75° und BC ⊥ AB (B liegt in einem Halbkreise über AC), so ist BC der Halbmesser des Grundkreises, durch dessen Abwickelung die Evolvente KAG entsteht. Bei Rädern unter 56 Zähnen liegt der Grundkreis um mehr als 0,1t über dem Fusskreise und wird das Stück GF der Zahnflanke bis zum Fusskreise durch eine ra-

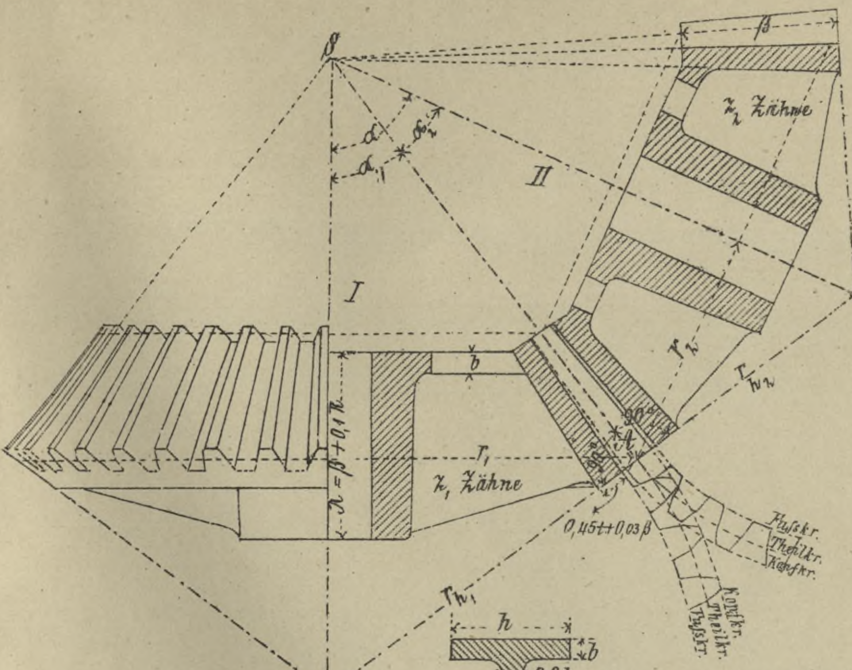




diale Gerade und eine Ausrundung gebildet. Zwischen 56 und 72 Zähnen (wobei Grund- u. Fusskreis zusammenfallen) bleibt nur die Ausrundung u. bei Rädern über 72 Zähnen liegt der Grundkreis innerhalb des Fusskreises u. geht die Evolvente KAF bis zum Fusskreis hinab u. durch eine Ausrundung in denselben über. Bei einer Zahnstange wird die Evolvente zu einer Geraden, welche zu AB normal steht. Für ein Innenrad ist die Zahncurve FAKG dieselbe, wie bei dem Aussenrade, nur liegt das Metall auf der andern Seite.

Kreisbögen zum Ersatze der Kreisevolvente: Für Räder mit mehr als 56 Zähnen genügt ein Kreisbogen, dessen Halbmesser AB ist. Bei einer kleineren Zähnezahl als 56 nehme man 2 Kreisbögen, deren Mittelpunkte M_1 und M_2 auf dem Grundkreise liegen. Man mache AD = DE, beschreibe über CD einen Halbkreis DM_1C und ziehe M_1D, so ist dies der Halbmesser des Bogens KDA, vom Kopfkreis bis zum Theilkreis. Der Durchschnittspunkt M_2 von M_1A mit dem Grundkreise giebt den Mittelpunkt des zweiten Bogens AG bis zum Grundkreise.

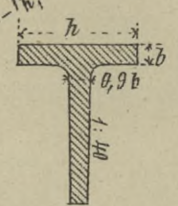
II. Kegelräder.

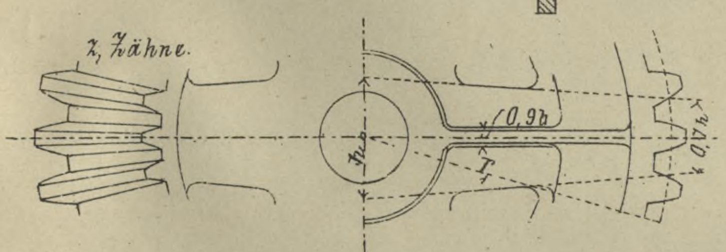


Die Bezeichnung Theilkreis u.s.w. bezieht sich hier auf den Grundkreis der Kegel, deren Halbmesser r_1 resp. r_2 sind. Die Übersetzungszahl ist:

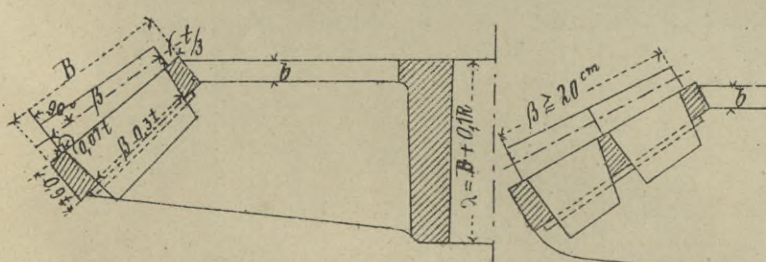
$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{z_1}{z_2}.$$

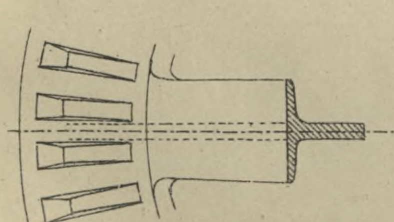
Die Bestimmung der Zähnezahlen, Theilung, Halbmesser, Armdimensionen u.s.w. geschieht wie bei den Stirnrädern mit denselben Halbmessern oder Zähnezahlen.





Verzahnung. Man errichte in A zur Kegelseite AS die Normale C_1AC_2, so sind AC_1 und AC_2 die Seiten r_{h_1} und r_{h_2} der Ergänzungskegel mit den Spitzen in C_1 u. C_2, auf deren Oberfläche man die Zahnprofile aufwickelt von Stirnrädern (Hülfsstirnräder) mit der Theilung t, den Halbmessern r_{h_1} und r_{h_2} und den





Zähnezahlen z_{h_1} und z_{h_2}. Durch Rechnung findet man:

$$z_{h_1} = \frac{z_1}{z_2+z_1\cos\alpha}\sqrt{z_1^2+z_2^2+2z_1z_2\cos\alpha}\,;\quad r_{h_1} = \frac{r_1}{r_2+r_1\cos\alpha}\sqrt{r_1^2+r_2^2+2r_1r_2\cos\alpha} = \frac{z_{h_1}}{2}\cdot\frac{t}{\pi}.$$

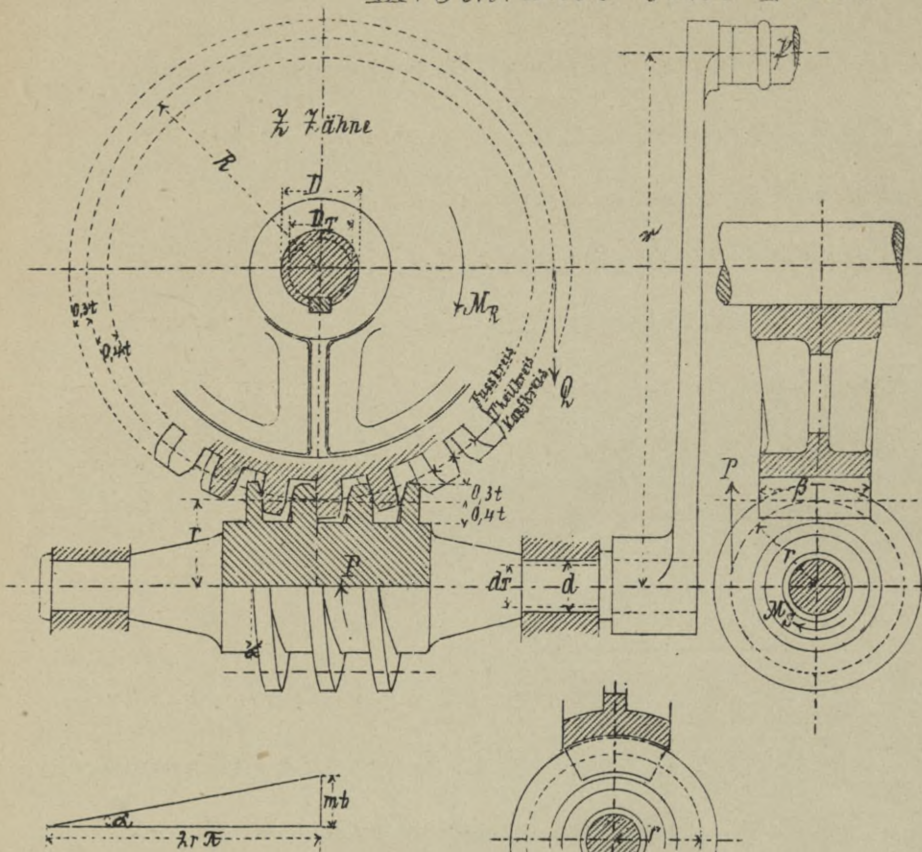
$$z_{h_2} = \frac{z_2}{z_1+z_2\cos\alpha}\sqrt{z_1^2+z_2^2+2z_1z_2\cos\alpha}\,;\quad r_{h_2} = \frac{r_2}{r_1+r_2\cos\alpha}\sqrt{r_1^2+r_2^2+2r_1r_2\cos\alpha} = \frac{z_{h_2}}{2}\cdot\frac{t}{\pi}$$

Für $\alpha = 90°$ wird:

$$z_{h_1} = \frac{z_1}{z_2}\sqrt{z_1^2+z_2^2}\,;\quad r_{h_1} = \frac{r_1}{r_2}\sqrt{r_1^2+r_2^2} = \frac{z_{h_1}}{2}\cdot\frac{t}{\pi}$$

$$z_{h_2} = \frac{z_2}{z_1}\sqrt{z_1^2+z_2^2}\,,\quad r_{h_2} = \frac{r_2}{r_1}\sqrt{r_1^2+r_2^2} = \frac{z_{h_2}}{2}\cdot\frac{t}{\pi}.$$

III. Schraube ohne Ende.



Die Bezeichnungen sind in der Skizze eingetragen.

Giebt m die Anzahl der Gänge der Schraube und g das Güteverhältniß des Mechanismus an, so ist ungefähr zu nehmen bei:

$m = 1$ und schlechter Ölung $g = \frac{1}{4}$;

$m = 1$ „ guter „ $g = \frac{1}{3}$;

$m = 2$ „ „ „ $g = \frac{1}{2}$.

Zur Berechnung des Mechanismus hat man folgende Formeln:

$$Z = \frac{m}{g} \cdot \frac{M_R}{M_S};$$

$$d_T = 0{,}234 \sqrt[3]{M_S} \text{ u. } D_T = 0{,}234 \sqrt[3]{M_R}$$

$$\text{oder } \frac{D_T}{d_T} = \sqrt[3]{\frac{M_R}{M_S}} = \sqrt[3]{g \cdot \frac{Z}{m}};$$

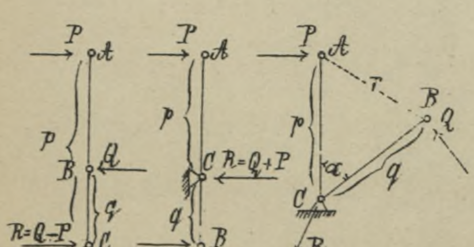
$$\frac{t}{d_T} = 2{,}17 \sqrt[3]{\frac{Z}{m}}, \quad \beta = 2t; \quad \frac{R}{d_T} = \frac{Z}{2\pi} \frac{t}{d_T} \text{ oder } R = \frac{Z}{2} \cdot \frac{t}{\pi}; \quad r \geq 1{,}6\,t,$$

deren Resultate in folgender Tabelle enthalten sind:

g/m	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$
D_T/d_T	$0{,}63 \sqrt[3]{Z}$	$0{,}69 \sqrt[3]{Z}$	$0{,}79 \sqrt[3]{Z}$
t/d_T	1,37	1,5	1,72
R/d_T	$0{,}22\,Z$	$0{,}24\,Z$	$0{,}27\,Z$

Man zeichne zunächst in der Mittelebene des Rades die Verzahnung einer Zahnstange und des eingreifenden Stirnrades vom Radius R mit der Theilung t; von der Zahnstange sind nur die Zähne in der Eingriffstrecke erforderlich. Das Stangenzahnprofil wird nun um den Schraubencylinder als Gangprofil herumgeführt mit einer Steigung $= t$ bei der eingängigen, $= 2t$ bei der doppelgängigen etc. Schraube, während das Radzahnprofil gegen die Achse mit gleicher Schiefe, die sich aus der Abwickelung eines Schraubenganges findet, um den Radcylinder zu winden ist.

Hebel.



Die an dem Hebel wirkenden Kräfte sind aus den Gleichgewichtsbedingungen zu ermitteln:

$$P.p = Q.q; \quad R = \sqrt{P^2 + Q^2 - 2PQ\cos\alpha}.$$

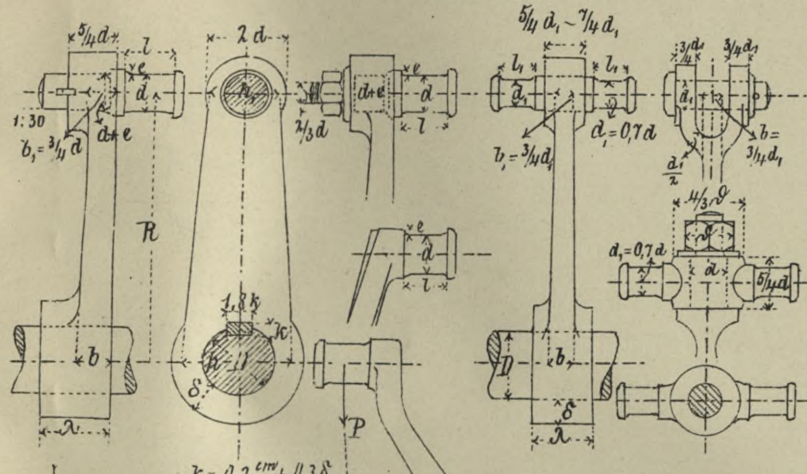
Drückt q die Grösse von P aus, so giebt p die Grösse von Q und $r = AB$ die von R an.

Die Zapfen der Hebel sind aus ihren Belastungen nach den Formeln der Tafel 10 zu bestimmen, wenn die Kräfte nicht mit plötzlich umsetzender Richtung wirken. Bei plötzlich umsetzender Richtung werden die folgenden Formeln benutzt:

$d = 0{,}18\sqrt{P}$, $l = 1{,}1\,d$ (Gusseisen); $d = 0{,}14\sqrt{P}$, $l = 1{,}25\,d$ (Schmiedeeisen); $d = 0{,}11\sqrt{P}$, $l = 1{,}25\,d$ (Stahl).

Die Welle eines Hebels bestimmt sich nach den Formeln auf Taf. 23; bei plötzlich umsetzenden Kräften sind die Dimensionen um $1/7$ zu erhöhen. Bei einigermassen langen Hebeln ist die Berechnung von D aus D_T und D_B überflüssig; es genügt dann für freitragende Hebel $D = 1{,}1\,D_T$ zu nehmen und bei Hebeln, welche die Torsion nicht durch den Zapfen leiten, kann $D = D_T$ gemacht werden.

Schmiedeeiserner Hebelarm.



Man wähle: $b = b_1$ bei kurzen Hebeln,

$b = b_1 + 0{,}015\,R$ bei längeren "

und bestimme h nach der Formel:

$h/d = \sqrt{\frac{R}{b}}$ bei einseitigen Zapfen,

$h/d = 0{,}86\sqrt{\frac{R}{b}}$ bei zweiseitigen und Gabelzapfen

oder man nehme h an und berechne b aus:

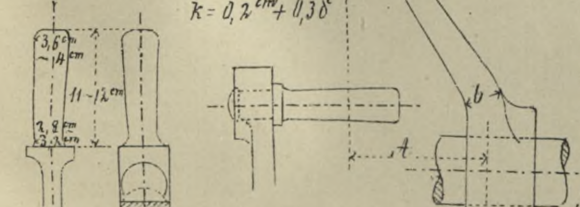
$b/d = \frac{R}{h} \cdot \frac{d}{h}$ (einseitiger Zapfen),

$b/d = 3/4 \cdot R/h \cdot \frac{d}{h}$ (zweiseitiger oder Gabelzapfen).

Für $b_1 = b$ ist $h_1 = h/2$ und für $b_1 < b$ $h_1 = \frac{2}{3}h$ zu machen.

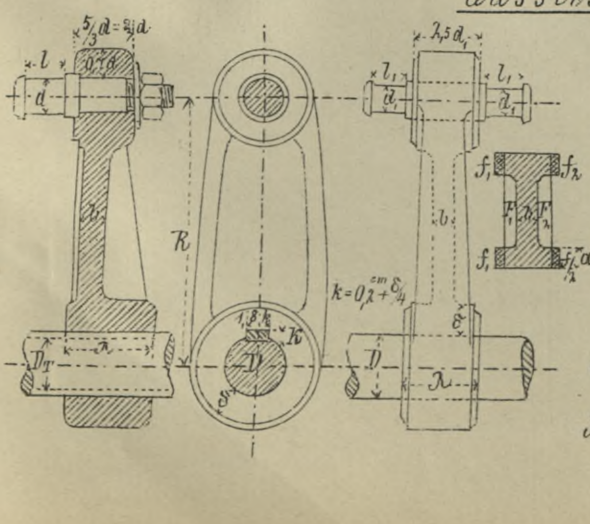
$\delta = 0{,}6^{cm} + 0{,}2\,D_{T\,(Schm.)} + 0{,}1\,D$ bezw. $= 0{,}6^{cm} + 0{,}16\,D_{T\,(Guss)} + 0{,}1\,D$

$\lambda = 1{,}25\,d + 0{,}08\,R$ (einseitiger Z.) $= \frac{3}{2}d_1 + 0{,}08\,R$ (zweiseit. oder Gabelz.)



Stark gekröpfte Hebelarme müssen nach der Formel: $PA = \frac{\tau}{3} \cdot \frac{b^2 h^2}{\sqrt{b^2 + h^2}}$ mit $\tau = 3/4$ des sonst für einfache Torsion zulässigen Werthes berechnet werden.

Gusseiserner Hebelarm.



Bei einem rechteckigen Querschnitte erhält der gusseiserne Arm die doppelte Breite eines schmiedeeisernen von gleicher Höhe. Die Verwandlung des ▯ in den I Querschnitt kann geschehen, indem man eine Stärke für $b = 1{,}4^{cm} + \frac{d}{3}$ und a (meistens $= b$) annimmt u. dann $f_1 + f_2 = \frac{F_1 + F_2}{6}$ macht oder genauer nach den Formeln auf Taf. 61.

$\delta = 0{,}8^{cm} + 0{,}25\,D_{T\,(Schm.)} + 0{,}125\,D$ bezw. $= 0{,}8^{cm} + 0{,}2\,D_{T\,(Guss)} + 0{,}125\,D$.

$\lambda = 5/3\,d + 0{,}08\,R$ (einseitiger Z.), $= 2\,d_1 + 0{,}08\,R$ (zweiseit. oder Gabelz.)

Kurbelmechanismus.

1.) Kurbel.

Bezeichnungen:

P = Kurbelzapfendruck.
N = Zahl der zu übertragenden Pferdekräfte.
n = Umdrehungszahl pro Minute.
d = Durchmesser des Kurbelzapfens.
l = Länge 〃 〃
R = Kurbelhalbmesser.
D_T = Torsionsdurchmesser. ⎫
D_B = Biegungsdurchmesser ⎬ der Kurbelwelle.
D = ausgeführter Durchmesser ⎭

Kurbelzapfen von Schmiedeeisen:

$$d = 0{,}14\sqrt{P}; \qquad l = 1{,}25\, d.$$

Kurbelzapfen von Stahl:

$$d = 0{,}11\sqrt{P}; \qquad l = 1{,}25\, d.$$

$$\left.\begin{aligned} D_T &= 0{,}234\sqrt[3]{PR} \\ &= 11{,}3\sqrt[3]{\frac{N}{n}} \end{aligned}\right\} \text{Schmiedeeisen Welle} \qquad \left.\begin{aligned} D_T &= 0{,}294\sqrt[3]{PR} \\ &= 14{,}2\sqrt[3]{\frac{N}{n}} \end{aligned}\right\} \text{Gusseisen Welle.}$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{D_T}{d} &= 0{,}874\sqrt[3]{\frac{R}{d}} \\ \frac{d}{D_T} &= 1{,}22\sqrt{\frac{D_T}{R}} \end{aligned}\right\} \text{Schmiedeeisen Welle und Zapfen.} \qquad \left.\begin{aligned} \frac{D_T}{d} &= 1{,}1\sqrt[3]{\frac{R}{d}} \\ \frac{d}{D_T} &= 0{,}87\sqrt{\frac{D_T}{R}} \end{aligned}\right\} \text{Gusseisen Welle und Schmiedeeisen Zapfen.}$$

Diese Formeln liefern nachstehende Tabelle:

	R/d =	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Schm. Welle u. Zapfen	D_T/d =	1,19	1,26	1,33	1,39	1,44	1,49	1,54	1,59	1,67	1,75	1,82	1,88	2,0	2,11	2,20	2,29	2,37
	d/D_T =	0,84	0,79	0,75	0,72	0,69	0,67	0,65	0,63	0,60	0,57	0,55	0,53	0,50	0,47	0,45	0,44	0,42
	R/D_T =	2,12	2,37	2,62	2,88	3,10	3,35	3,57	3,78	4,20	4,56	4,95	5,30	6,00	6,58	7,20	7,92	8,40
Guss-Welle u. Schm.-Zapfen	D_T/d =	1,49	1,59	1,67	1,75	1,82	1,88	1,94	2,00	2,11	2,20	2,29	2,37	2,52	2,65	2,77	2,89	2,99
	d/D_T =	0,67	0,63	0,60	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	0,47	0,45	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36	0,35	0,33
	R/D_T =	1,67	1,89	2,10	2,28	2,47	2,75	2,86	3,00	3,29	3,60	3,96	4,20	4,80	5,32	5,76	6,30	6,60

Stahlwellen erhalten einen Durchmesser = 0,85 D Schmiedeeisen.

$$\frac{D_B}{D_T} = 1{,}17\sqrt[3]{\frac{A}{R}}$$ Bedeutung von A s. aus der Figur auf d. folgenden Seite.

$$\frac{D}{D_T} = \sqrt[3]{3/8\left(\frac{D_B}{D_T}\right)^3 + \sqrt{\left\{\frac{5}{8}\cdot\left(\frac{D_B}{D_T}\right)^3\right\}^2 + 1}}, \quad \text{mindestens} = 1{,}34\sqrt[3]{\frac{A}{R}}$$

Hiernach erhält man folgende Tabelle:

A/R =	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5
D_B/D_T =	0,86	0,93	0,99	1,04	1,09	1,13	1,17	1,26	1,34
D/D_T =	1,09	1,13	1,16	1,19	1,24	1,29	1,34	1,44	1,53

Wird die Kurbel dicht neben das Lager gesetzt, so kann man für die Rechnung nehmen:
$A = 2{,}2\, d + 0{,}08\, R + 0{,}75\, D_T$ (Schmiedeeisen-Kurbel); $A = 2{,}4\, d + 0{,}08\, R + 0{,}75\, D_T$ (Gusseisen-Kurbel)

Kurbeln von Schmiedeeisen.

$\delta = 1^{cm} + 0{,}3\,D_T + 0{,}16\,D$ (Schm. W.)

$\delta = 1^{cm} + 0{,}25\,D_T + 0{,}16\,D$ (Guss. W.)

$\lambda = 1{,}4\,d + 0{,}08\,R.$

$\left.\begin{array}{l} B = b = 9\,d \\ H = 1{,}65\,d + 0{,}25\,R \end{array}\right\}\ R < 3{,}4\,d$

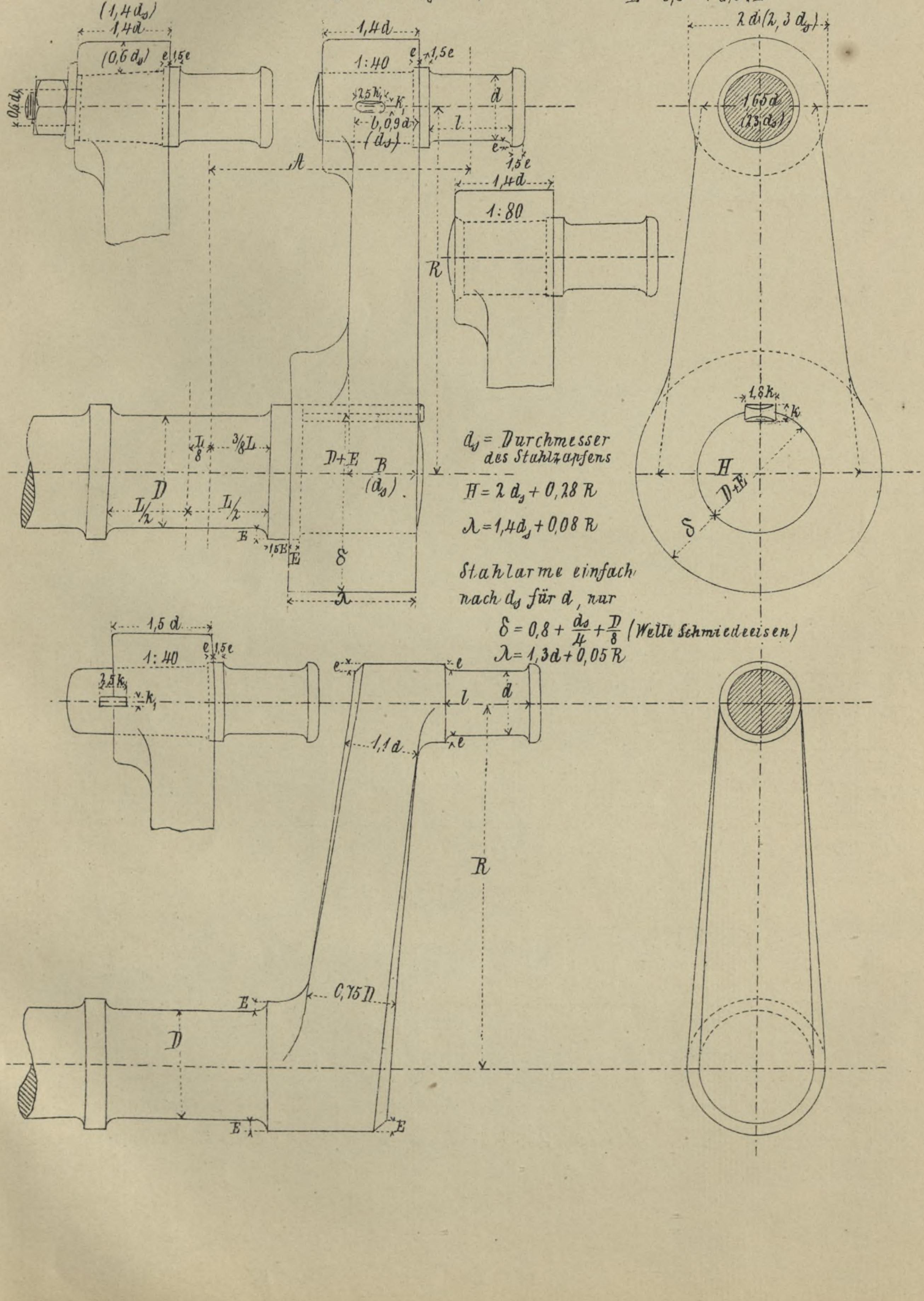
$\left.\begin{array}{l} B = 0{,}7\,d + 0{,}06\,R \\ H = 2\,d + 1/8\,R \end{array}\right\}\ R > 3{,}4\,d$

$k = 0{,}2^{cm} + 0{,}3\,\delta$

$k_1 = 0{,}4^{cm} + 0{,}12\,d$

$e = 0{,}3^{cm} + 0{,}07\,d$

$E = 0{,}3^{cm} + 0{,}07\,D$



d_s = Durchmesser des Stahlzapfens

$H = 2\,d_s + 0{,}28\,R$

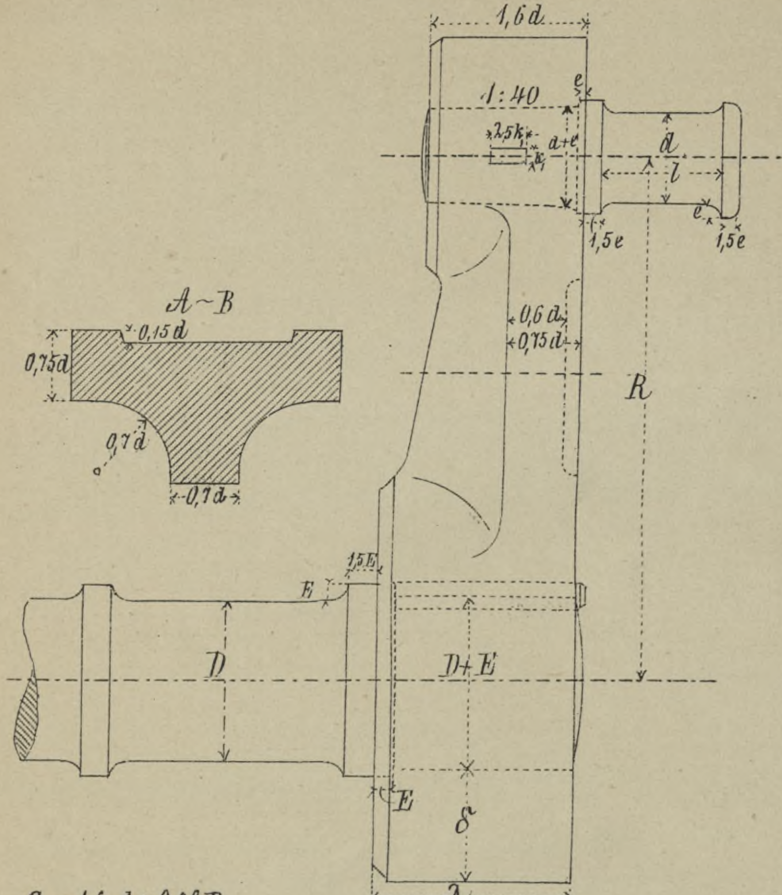
$\lambda = 1{,}4\,d_s + 0{,}08\,R$

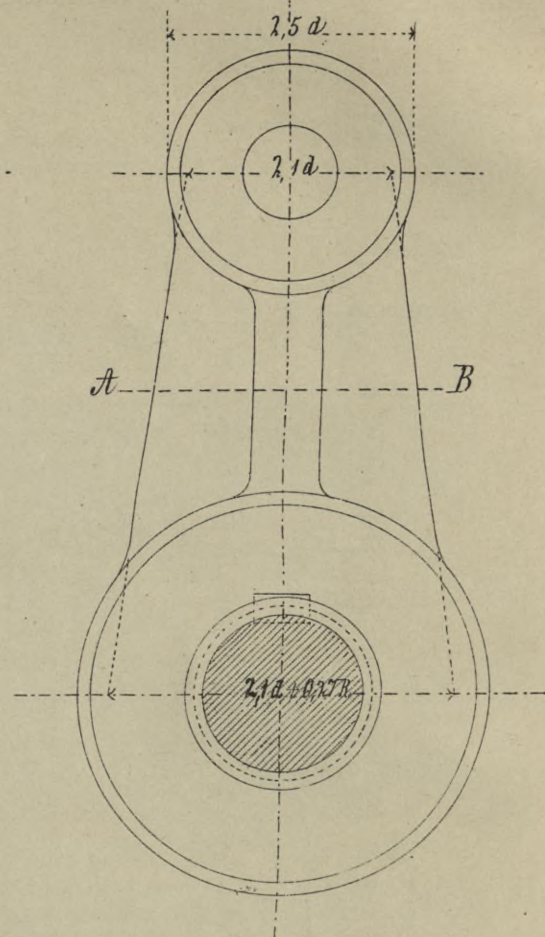
Stahlarme einfach nach d_s für d, nur

$\delta = 0{,}8 + \frac{d_s}{4} + \frac{D}{8}$ (Welle Schmiedeeisen)

$\lambda = 1{,}3\,d + 0{,}05\,R$

Kurbeln aus Gusseisen.





$\lambda = 1{,}6\ d + 0{,}08\ R$

$\delta = 1{,}2^{cm} + 0{,}4\ D_T + 0{,}2\ D$ (Schm. W.)

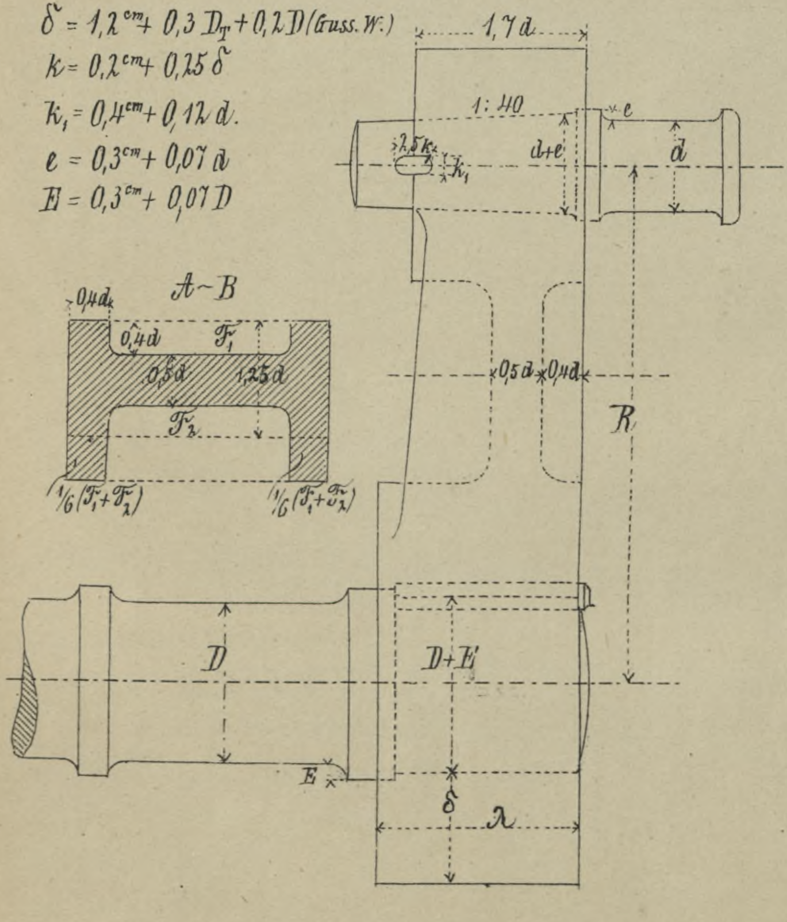
$\delta = 1{,}2^{cm} + 0{,}3\ D_T + 0{,}2\ D$ (Guss. W.)

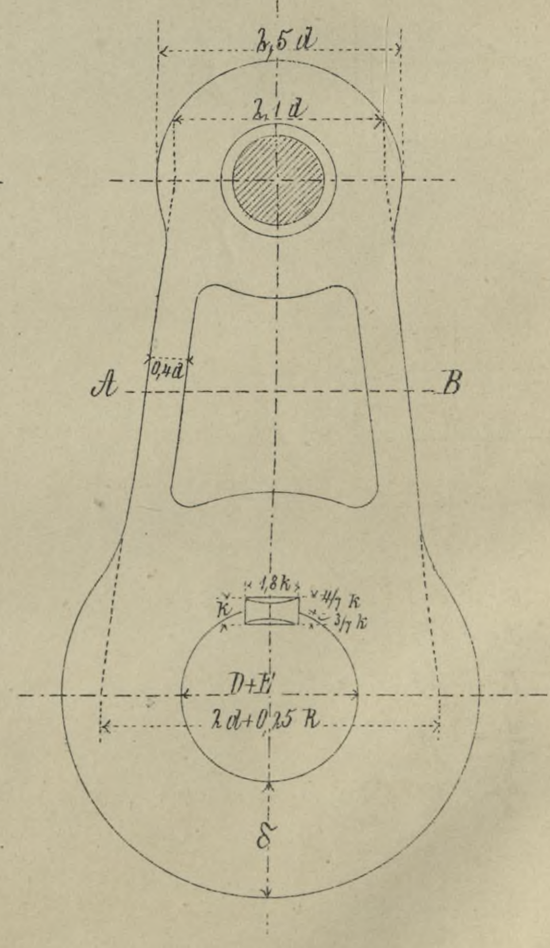
$k = 0{,}2^{cm} + 0{,}25\ \delta$

$k_1 = 0{,}4^{cm} + 0{,}12\ d.$

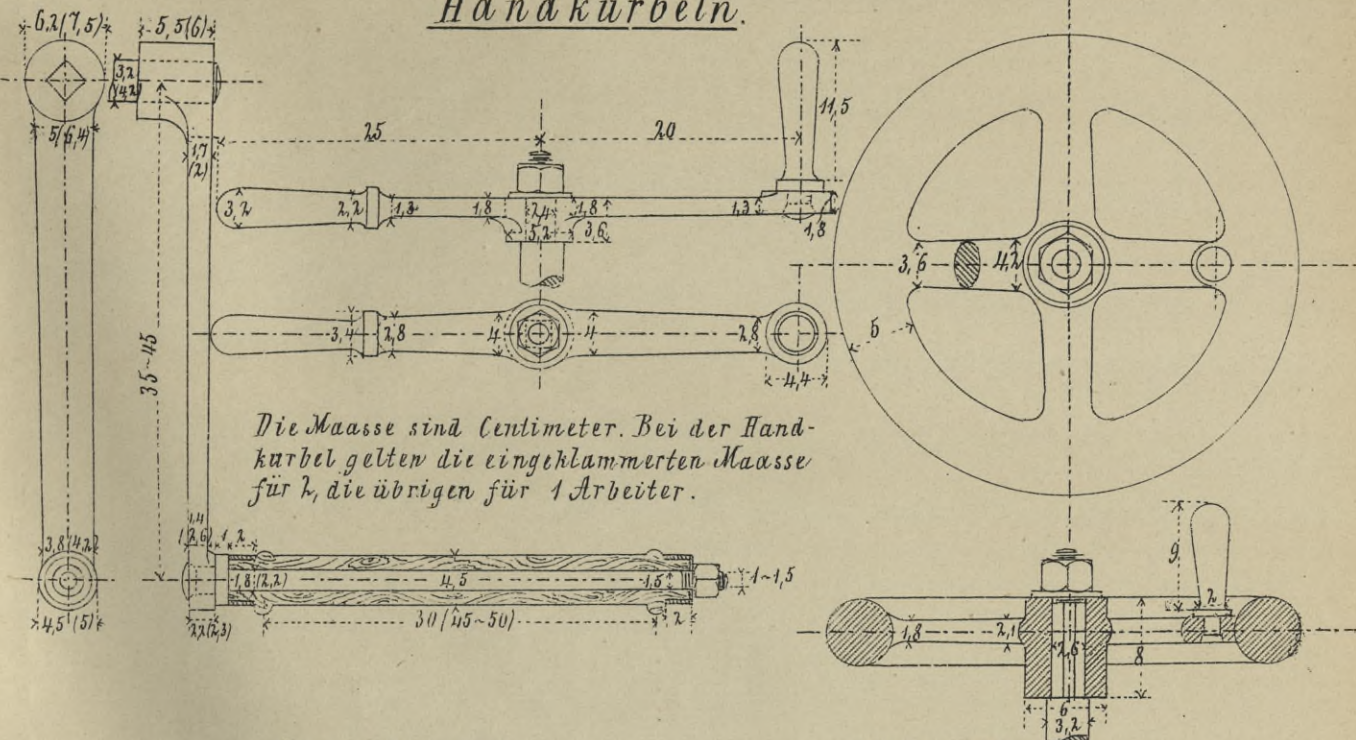
$e = 0{,}3^{cm} + 0{,}07\ d$

$E = 0{,}3^{cm} + 0{,}07\ D$



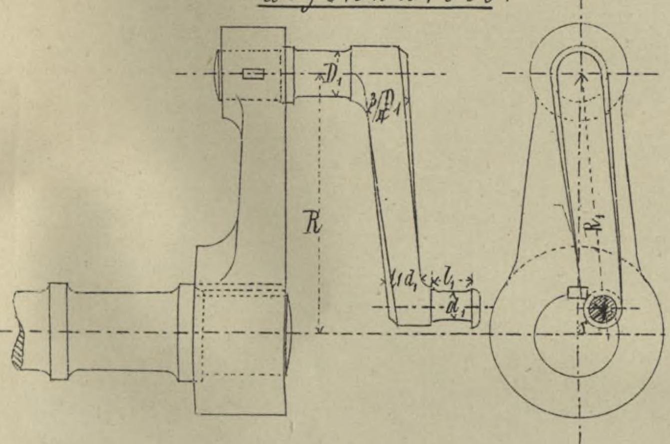


Handkurbeln.

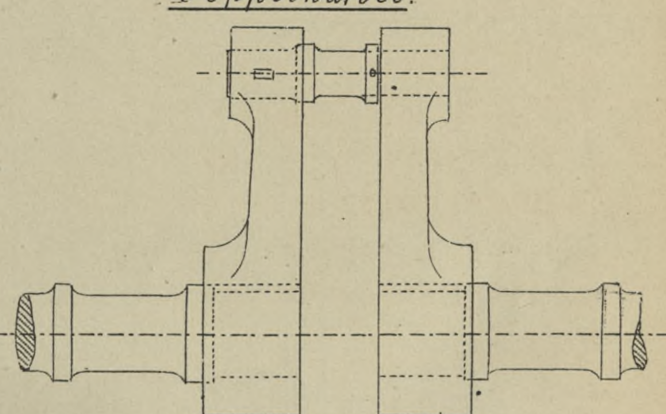


Die Maasse sind Centimeter. Bei der Handkurbel gelten die eingeklammerten Maasse für 2, die übrigen für 1 Arbeiter.

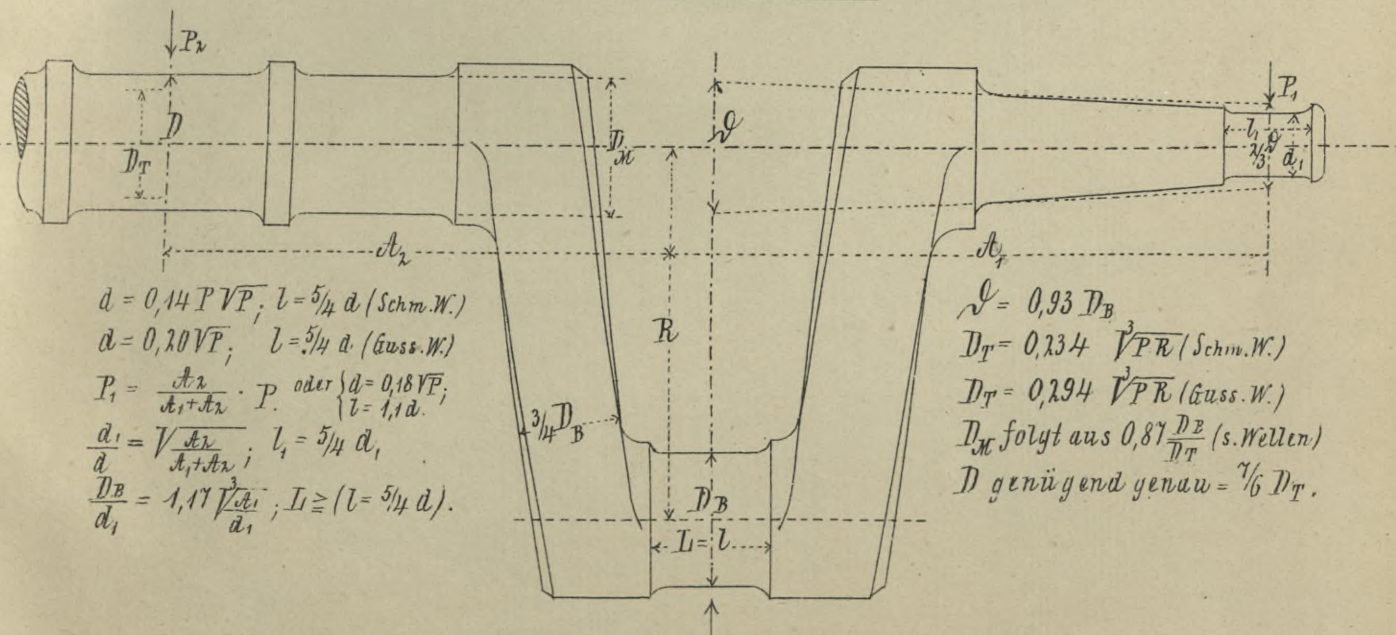
Gegenkurbel.



Doppelkurbel.



Kurbelachse.



$d = 0{,}14\,P\sqrt{P}$; $l = 5/4\,d$ (Schm. W.)

$d = 0{,}20\sqrt{P}$; $l = 5/4\,d$ (Guss. W.)

$P_1 = \frac{A_2}{A_1 + A_2} \cdot P.$ oder $\begin{cases} d = 0{,}18\sqrt{P}; \\ l = 1{,}1\,d. \end{cases}$

$\frac{d_1}{d} = \sqrt{\frac{A_2}{A_1 + A_2}}$; $l_1 = 5/4\,d_1$

$\frac{D_B}{d_1} = 1{,}17\sqrt[3]{\frac{A_1}{d_1}}$; $L \geqq (l = 5/4\,d)$.

$\vartheta = 0{,}93\,D_B$

$D_T = 0{,}234\,\sqrt[3]{PR}$ (Schm. W.)

$D_T = 0{,}294\,\sqrt[3]{PR}$ (Guss. W.)

D_M folgt aus $0{,}87\,\frac{D_B}{D_T}$ (s. Wellen)

D genügend genau $= 7/6\,D_T$.

2) Schubstange.

Bezeichnungen.

d = Kurbelzapfendurchmesser (von Schmiedeeisen).

Δ = grösster Durchmesser der Schubstange mit rundem Querschnitt.

δ = kleinster " " " " " "

L = Schubstangenlänge.

Für Schubstangen mit geschwungenem Profil ist:

$$\frac{\Delta}{d} = \mathfrak{a}\sqrt{\frac{L}{d}}\ ; \qquad \delta = 0,7\ \Delta,\ \text{mindestens} = \alpha d.$$

und zwar ist für Schubstangen von:

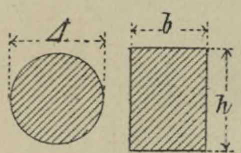
	Schmiedeeisen u. gew. Stahl.	Gussstahl.	Gusseisen.	Holz.
$\mathfrak{a}$ =	$0,2\ (\frac{R}{L}$ normal.) $= 0,16\ (\frac{R}{L}$ klein)	0,18	0,26	0,4
α =	0,45	0,35	0,64	4/3

Hieraus folgt nachstehende Tabelle:

L/d =	≦ 5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	36	40	45	50
$\frac{\Delta\ \text{Schm.}}{d}$ =	0,45	0,49	0,57	0,63	0,69	0,75	0,80	0,84	0,89	0,94	0,98	1,02	1,06	1,10	1,13	1,20	1,26	1,34	1,41
$\frac{\Delta\ \text{Guss}}{d}$ =	0,64	0,64	0,74	0,82	0,90	0,97	1,04	1,10	1,16	1,22	1,27	1,32	1,37	1,42	1,47	1,56	1,64	1,74	1,83

Bei geradlinigem Schubstangenprofile ist der Durchmesser in der Mitte $\Delta_1 = 1,05\Delta$ und an den Enden $\delta = 0,8\ \Delta$ zu machen.

Verwandlung des runden Schubstangenquerschnittes.

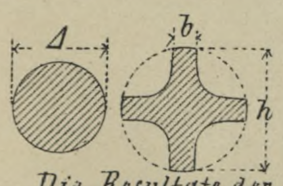


a) in den rechteckigen Querschnitt.

$$b/\Delta = 0,876\ \sqrt[4]{b/h}\ ;\quad b/h = 2/3 \sim 3/4 \text{ gewählt, oder } h \text{ resp. } b \text{ angenommen.}$$

Hiernach erhält man folgende Tabelle:

b/h =	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
b/Δ =	0,59	0,62	0,65	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,77	0,79	0,80	0,82	0,83	0,84	0,86	0,87	0,88
h/Δ =	2,94	2,49	2,17	1,93	1,75	1,60	1,48	1,38	1,29	1,21	1,15	1,09	1,04	0,99	0,95	0,91	0,88
h/b =	5,0	4,0	3,33	2,86	2,50	2,22	2,00	1,82	1,67	1,54	1,43	1,33	1,25	1,18	1,11	1,05	1,0



b) in den kreuzförmigen Querschnitt.

$$\Delta/h = b/h\ \sqrt[4]{\frac{16}{3\pi}\left\{\left(\frac{h}{b}\right)^3 + \left(\frac{h}{b}\right) - 1\right\}}$$

$$h \text{ zweckmässig} = 1,15\ d + 0,03\ L$$

Die Resultate der Formel für Δ/h sind in nachstehender Tabelle enthalten:

b/h =	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
Δ/h =	0,605	0,643	0,673	0,700	0,724	0,748	0,768	0,816	0,855	0,894	0,928	0,958	0,987
h/Δ =	1,653	1,555	1,486	1,429	1,381	1,337	1,302	1,225	1,170	1,119	1,078	1,044	1,013

Bei Schubstangenköpfen mache man die Querschnitte bei einer Inanspruchnahme auf

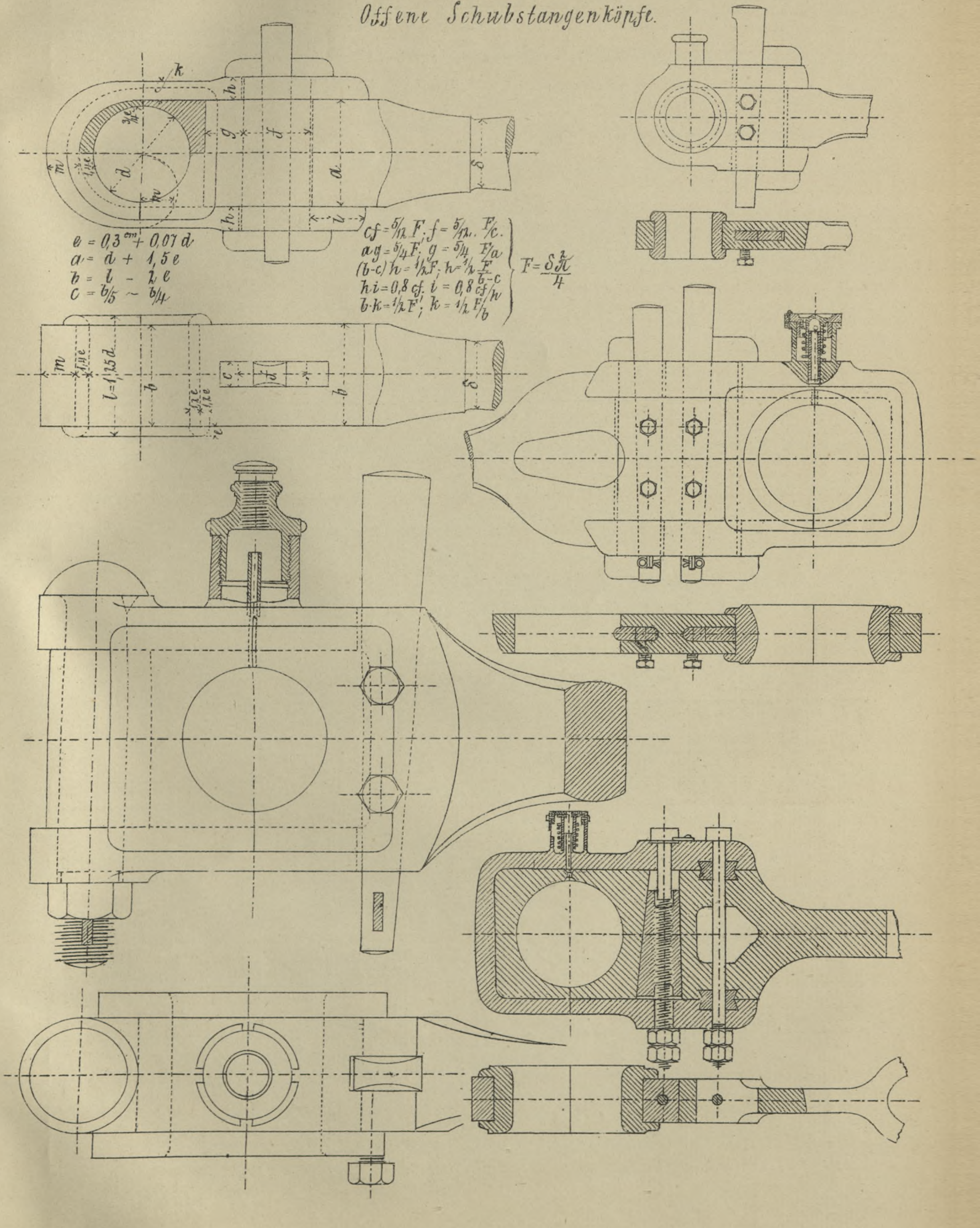
Zug- und Druckfestigkeit $= \frac{\delta^2\pi}{4}$ Schubfestigkeit n. beid. Richt. $= \frac{5}{4}\,\frac{\delta^2\pi}{4}$ } Stange u. Kopf aus gleichem Material.

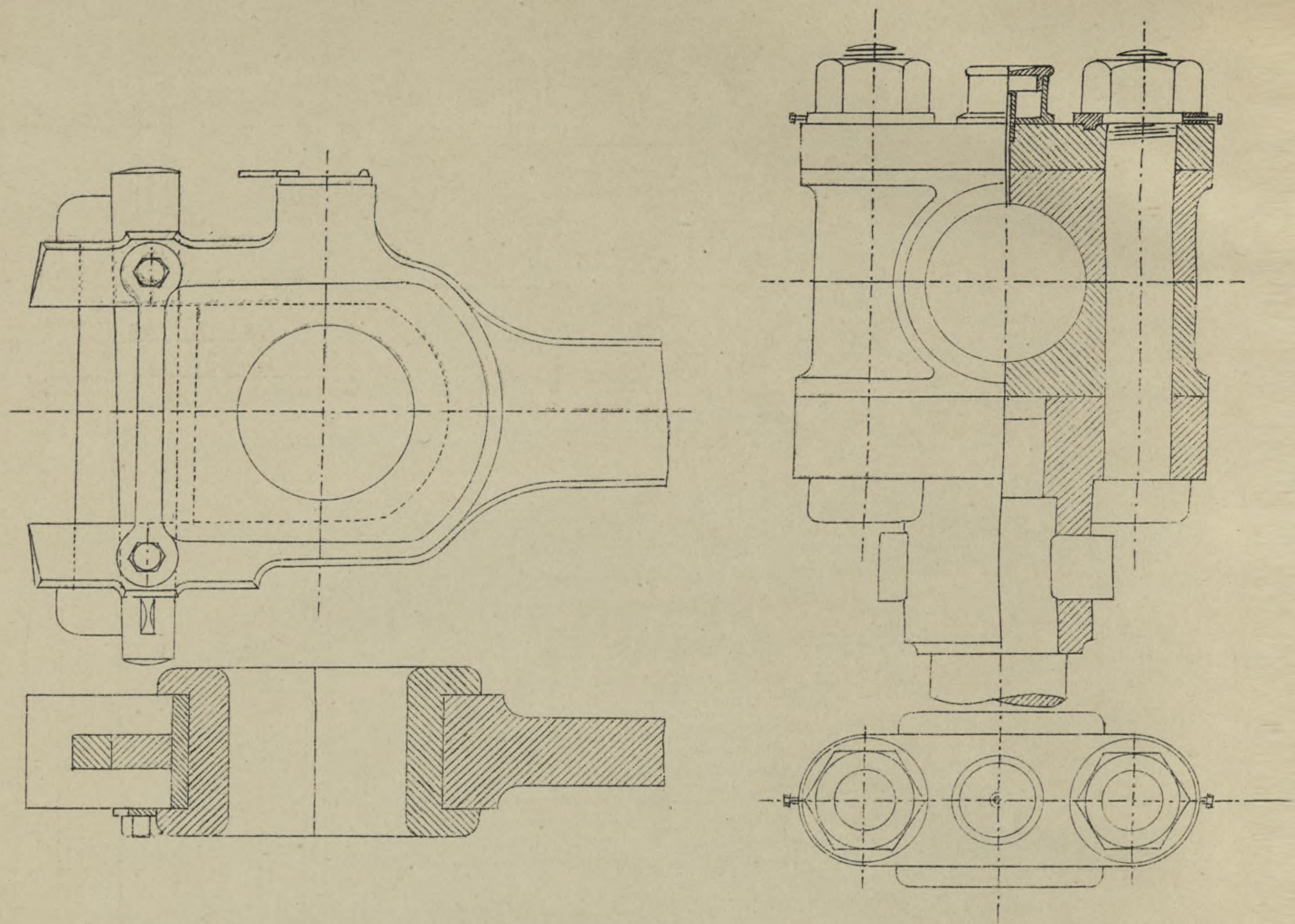
" oder " $= \frac{2}{3}\cdot\frac{\delta^2\pi}{4}$ " nach einer Richtung $= \frac{2}{3}\cdot\frac{5}{4}\,\frac{\delta^2\pi}{4}$

Für gusseis. Schubstangen sind die schm. Querschnitte 0,6 so gross zu nehmen.

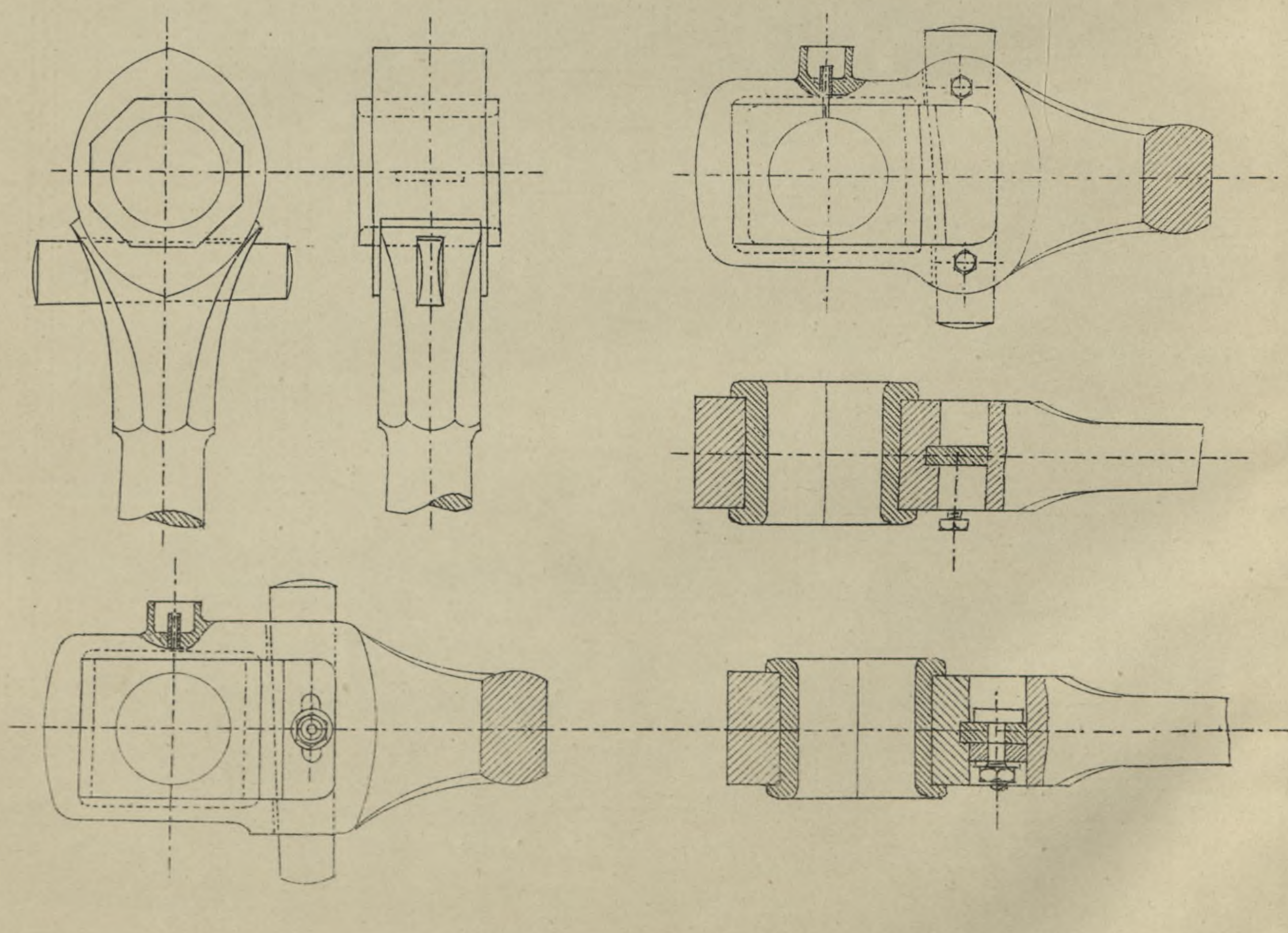
Köpfe für Schmiedeeisen- und Stahl-Schubstangen.

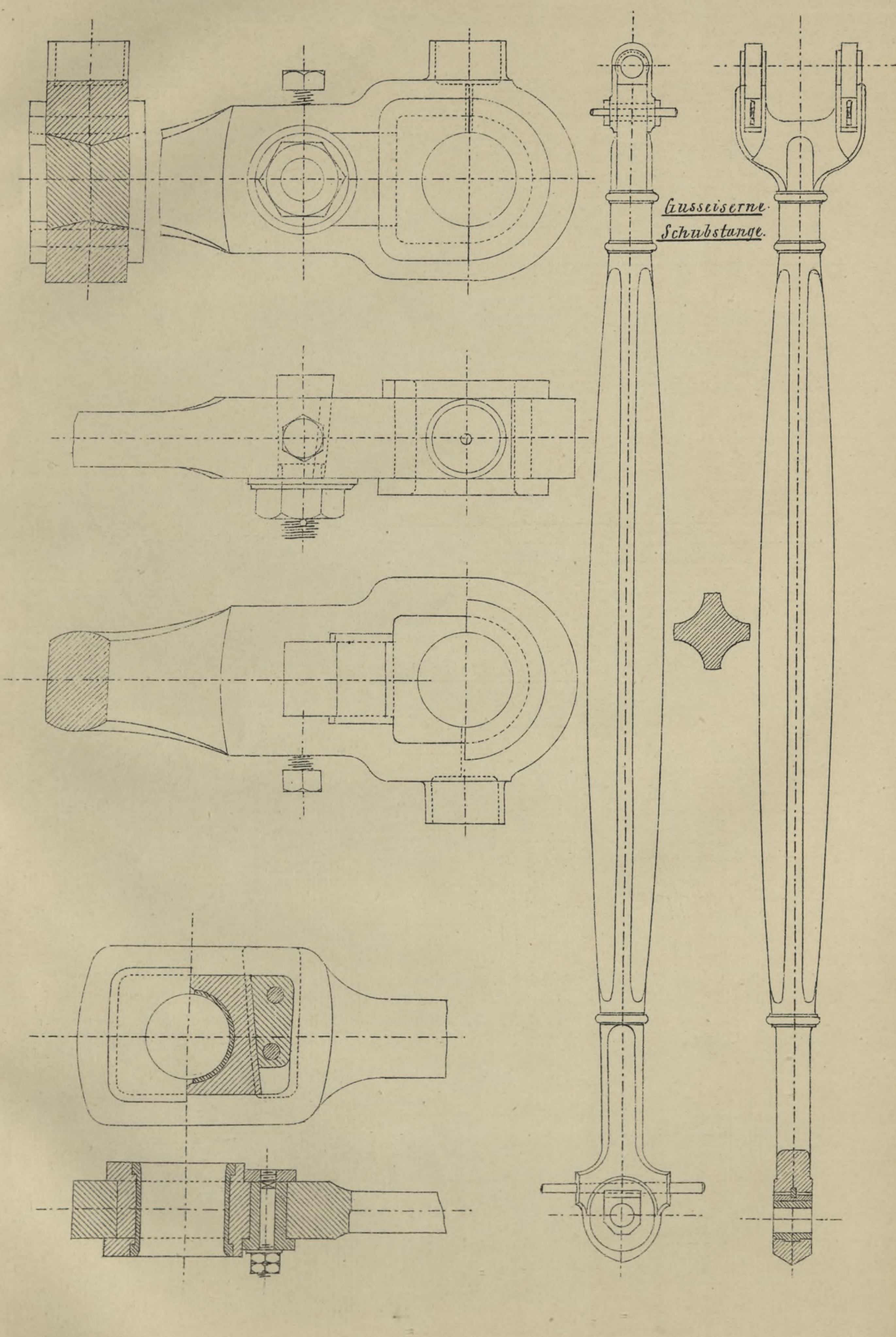
Offene Schubstangenköpfe.



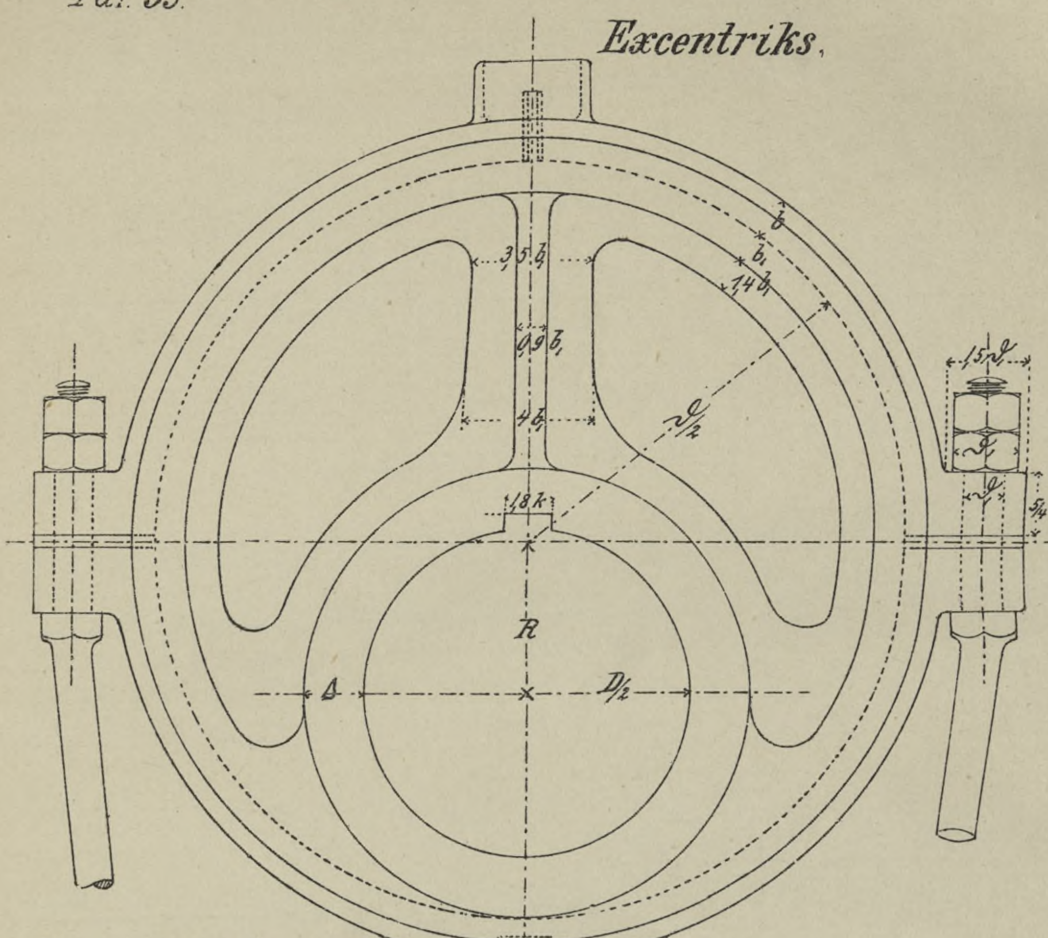


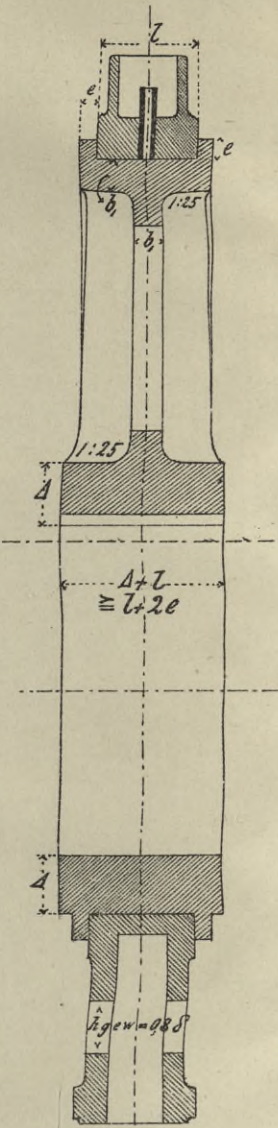
Geschlossene Schubstangenköpfe.

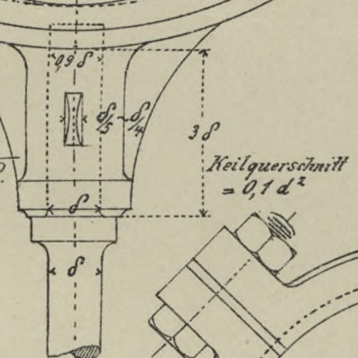



Gusseiserne
Schubstange.

Excentriks.







P = durch das Excentrik zu übertragende Kraft.

d = Durchm. eines gleichbelast. schmied. Kurbelzapfens $= 0{,}14\sqrt{P}$.

$l = 0{,}2\sqrt{P}$.

$\Delta = 0{,}6^{cm} + 0{,}16\,l + 0{,}1\,D$

$\vartheta/2 = R + D/2 + \Delta$

$b_{Schm.} = 0{,}22\,l + 0{,}035\,\vartheta$

$b_{Guss} = 0{,}3\,l + 0{,}05\,\vartheta$

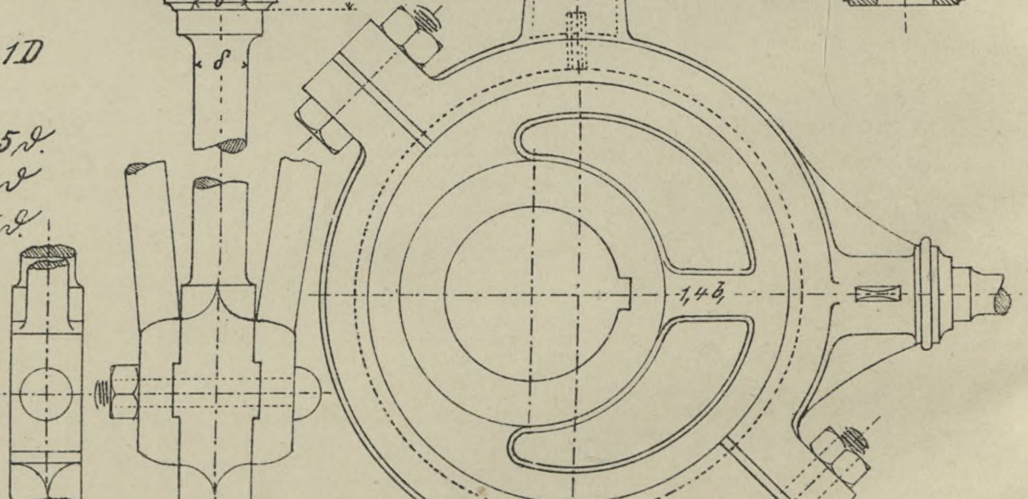
$b_{Bronce} = 0{,}4\,l + 0{,}065\,\vartheta$

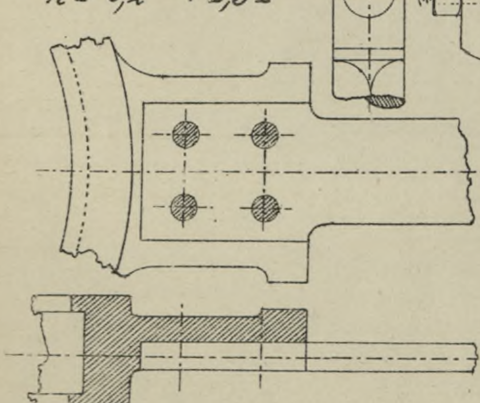
$b_1 = 0{,}2\,l + 0{,}03\,\vartheta$

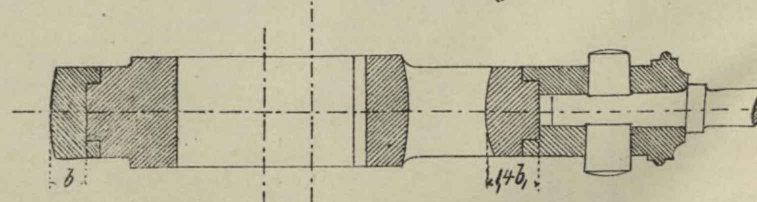
$e = 0{,}4^{cm} + 0{,}08\,l$

$\vartheta_1 = 0{,}4^{cm} + l/3$

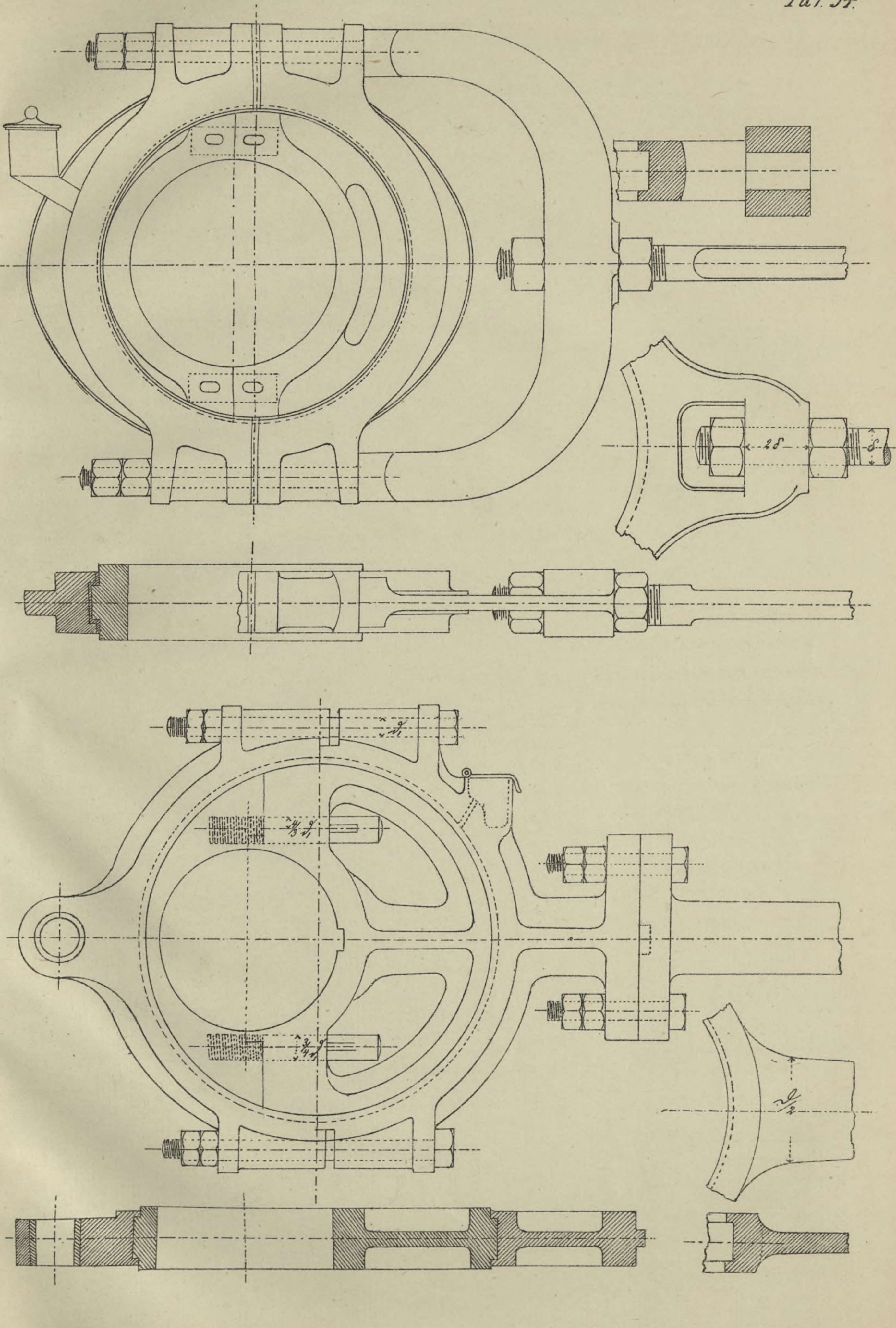
$k = 0{,}2^{cm} + 0{,}3\,\Delta$







Taf. 54.



3. Kolbenstange.

Bezeichnungen:

P = Kraft in der Richtung der Kolbenstange.
d = Durchmesser des auf P berechneten schmied. Kurbelzapfens $= 0{,}14\sqrt{P}$.
δ = „ der schmiedeisernen Kolbenstange.
λ = gröſste aus dem Cylinder hervorragende Länge derselben.
h = Höhe des Keiles zur Befestigung der Kolbenstange im Kreuzkopfe.
b = Breite desselben.

Es ist: $$\frac{\delta}{d} = 0{,}18\sqrt{\frac{\lambda}{d}} \quad \text{(verticale Masch.)}$$

Diese Formel liefert folgende Tabelle:

λ/d =	≤ 6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
δ/d =	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,62	0,67	0,72	0,76	0,80

$$\frac{\delta}{d} = 0{,}2\sqrt{\frac{\lambda}{d}} \quad \text{(horizontale Masch.)}$$

$$\frac{\delta}{d} = 0{,}23\sqrt{\frac{\lambda}{d}} \quad \text{(oscillirende „)}$$

Fehlt die Führung im Kreuzkopfe, so ist in diesen Formeln λ zu vertauschen mit 2λ.

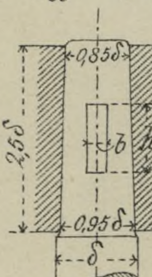
Gussstahlkolbenstangen werden 0,9 so stark gemacht wie Schmiedeisenkolbenstangen.

Die Dimensionen des Keiles folgen bei einer Inanspruchnahme desselben auf Schubfestigkeit nach beiden Richtungen aus:

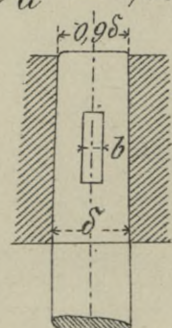
$$\frac{h}{\delta} = 0{,}1\left(\frac{d}{\delta}\right)^2\frac{\delta}{b}\,; \qquad h \text{ gewöhnlich} = 0{,}8\delta \sim \delta$$

Bildung des Stangenendes, wenn:

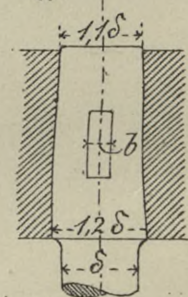
$\delta/d \geq 0{,}585$



$\delta/d \geq 0{,}55$



$\delta/d < 0{,}55$



Hierbei ist zu nehmen:

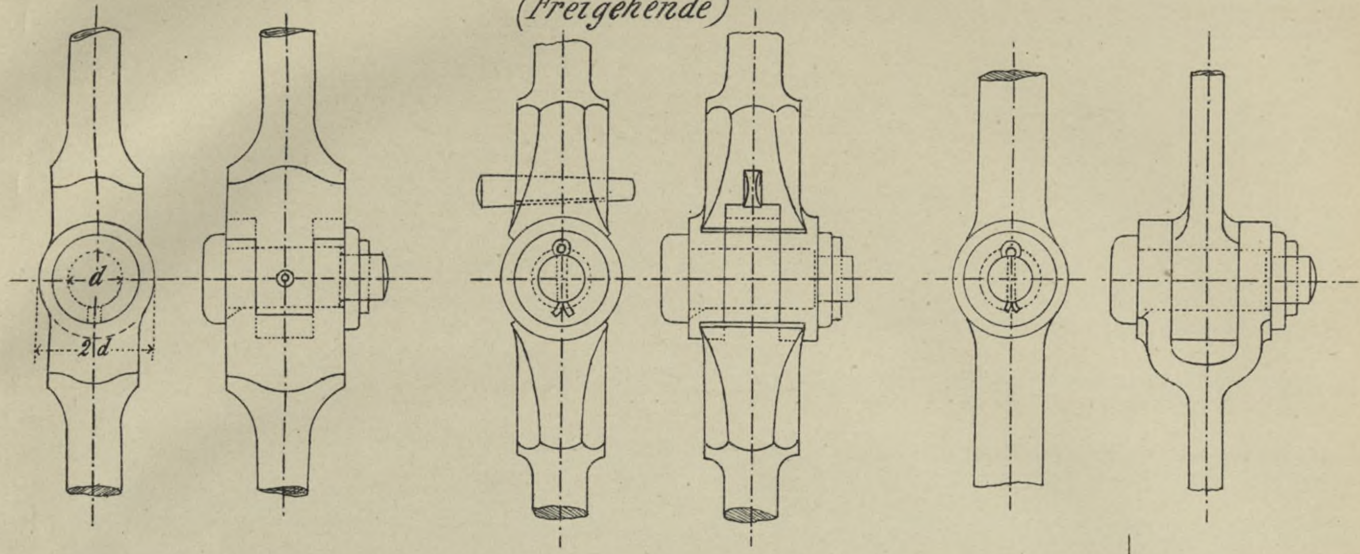
$b/\delta = 0{,}25$ für $\delta/d \geq 0{,}62$; $b/\delta = 0{,}25$ für $\delta/d \geq 0{,}58$; $b/\delta = 0{,}25$.

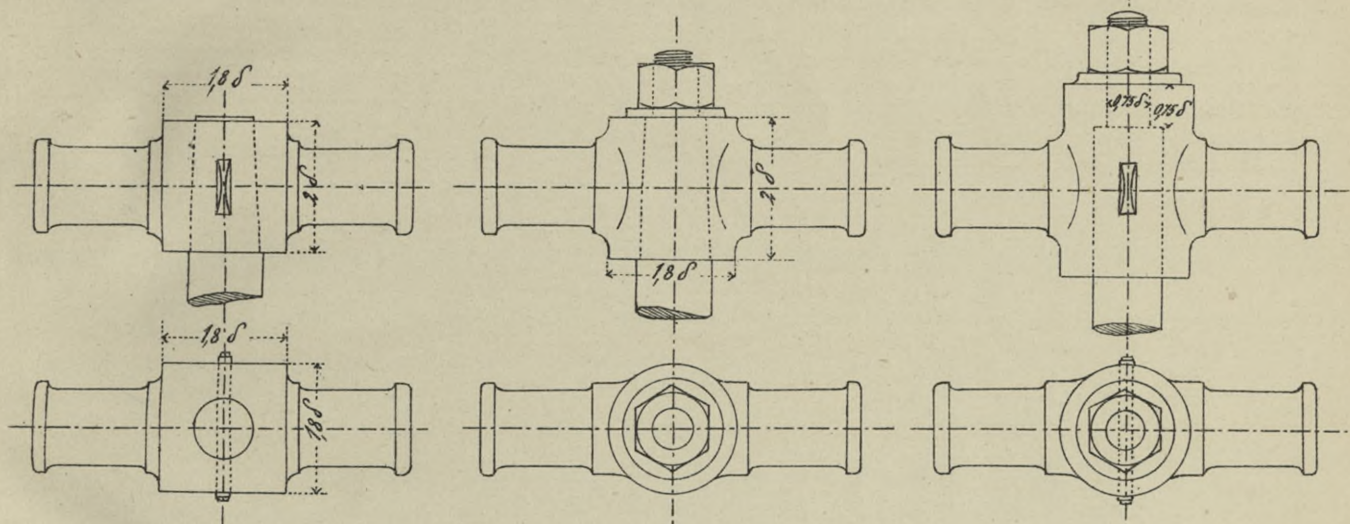
$b/\delta = 0{,}2$ „ $\delta/d \geq 0{,}585$; $b/\delta = 0{,}2$ „ $\delta/d \geq 0{,}55$;

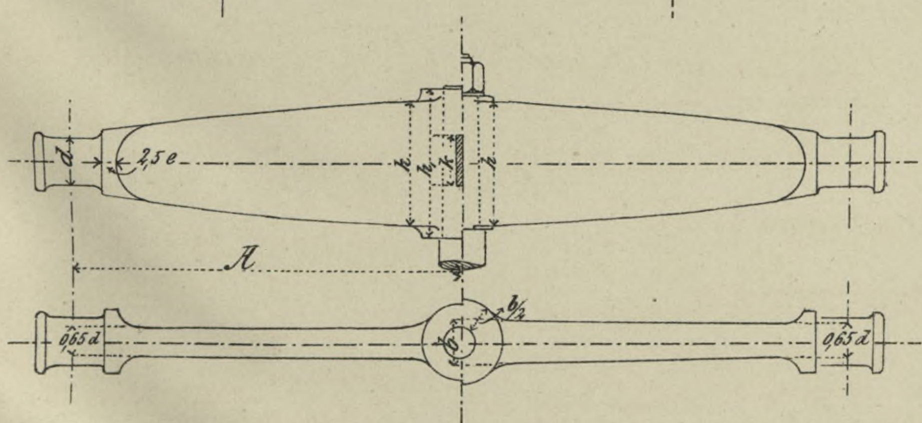
Wird der Keil nur nach einer Richtung auf Schubfestigkeit beansprucht, so ist der Keilquerschnitt $\frac{2}{3}$ so groſs zu nehmen wie oben angegeben.

4. Kreuzköpfe.

(Freigehende)







Traverse.

$b = 0,65\,d$ (Breite const.)

$b = 0,65\,d + 0,02\,A$ (Breite veränderlich)

$$\frac{h}{d} = 0,86\,\sqrt{\frac{A}{b}}$$

Diese Formel liefert folgende Tabelle:

$A/b =$	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18.	20	25	30	35	40
$h/d =$	1,72	1,92	2,10	2,27	2,43	2,58	2,72	2,98	3,22	3,44	3,65	3,85	4,30	4,71	5,09	5,44

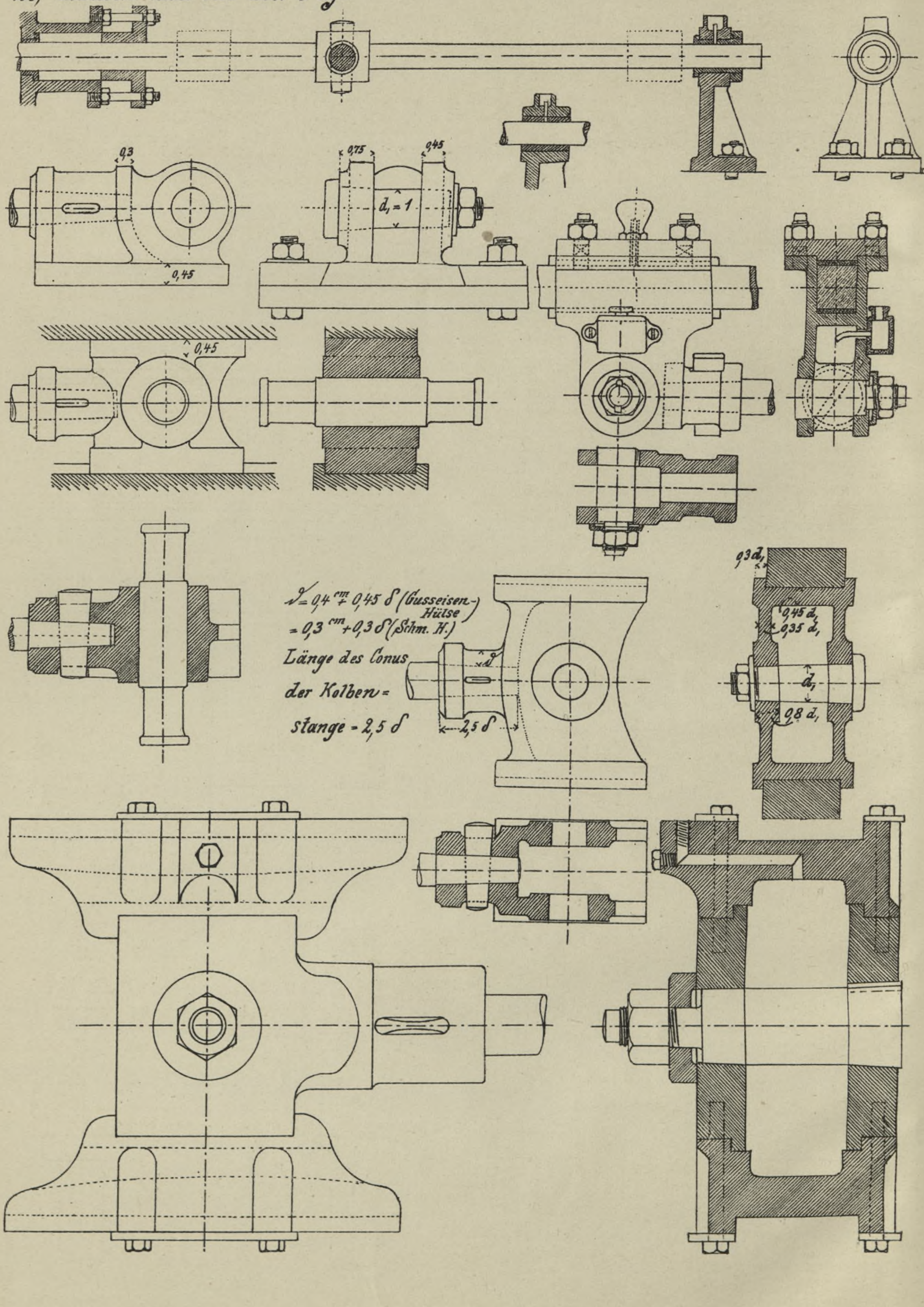
Statt h hat man in der Hülse die Höhe:

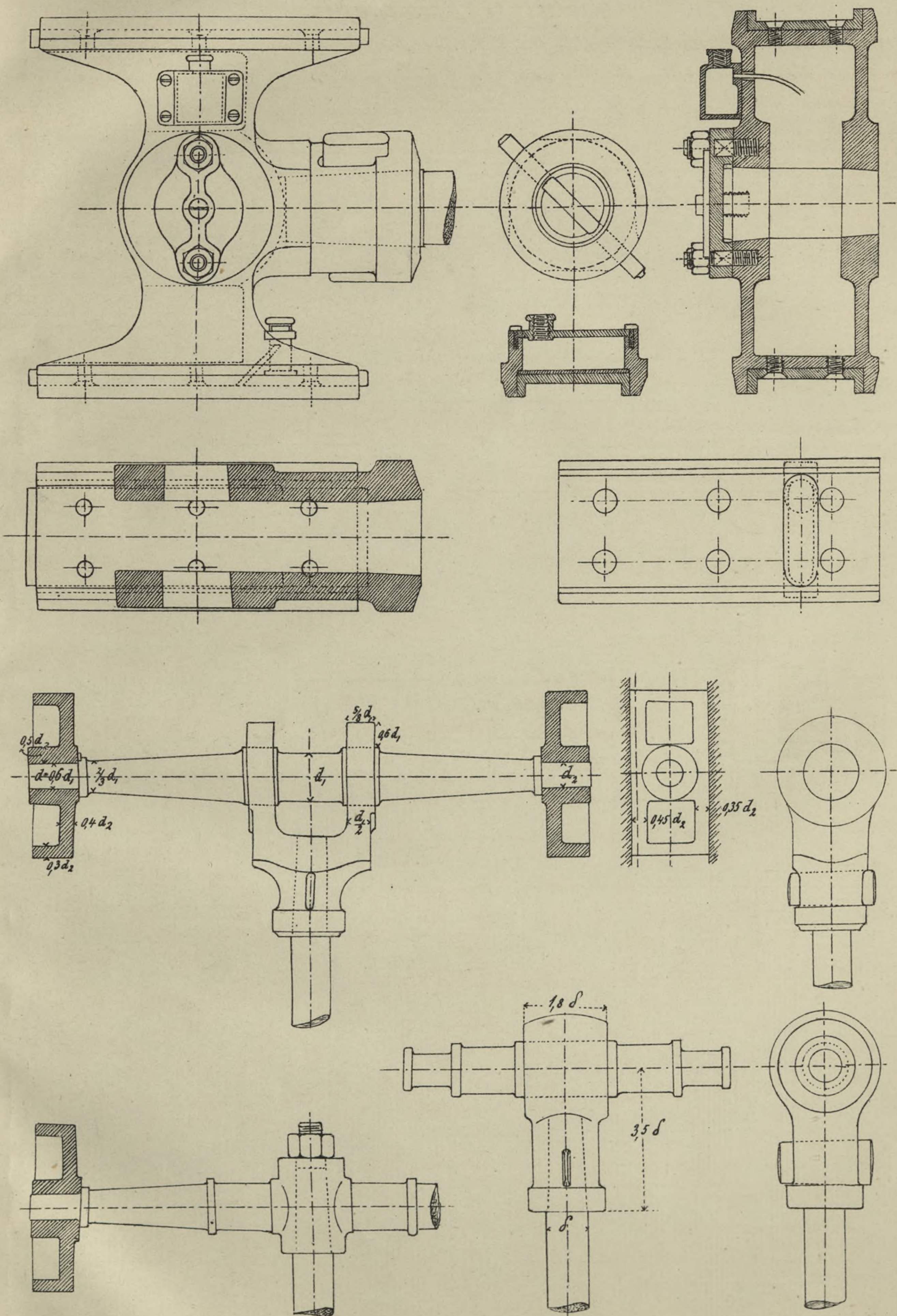
$$h_1 = \sqrt{h^2 + \left(\frac{k}{h}\right) k^2}$$

auszuführen, wenn eine durch ein Keilloch hervorgebrachte Schwächung der Traverse auszugleichen ist.

Gestützte Kreuzköpfe

Druckfläche der Gleitschuhe $20\, d^2 \frac{R}{L}$ für Kolbengeschwindigkeiten von ungefähr 1^m, für grosse Geschwindigkeiten $\frac{50}{p}\, d^2 \frac{R}{L}$, wobei $p = \frac{1}{3} \frac{d}{v}$ kg. (v in Metern pro Secunde) zu nehmen ist, indessen nicht viel über 3 kg.




0,5 d2
d=0,6 d1
⅓ d1
0,4 d2
0,3 d2
⅝ d1
0,6 d1
d1
d/2
d2
0,45 d2
0,35 d2
1,8 δ
3,5 δ
δ

Geradführung durch Gleitbahnen.

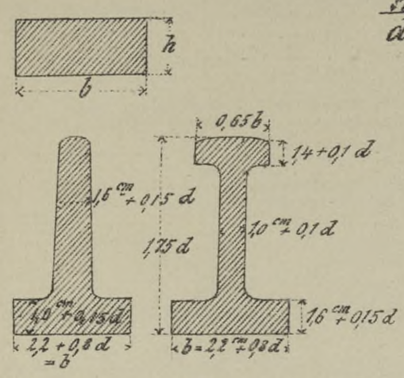
Der Gleitbahnquerschnitt folgt aus:

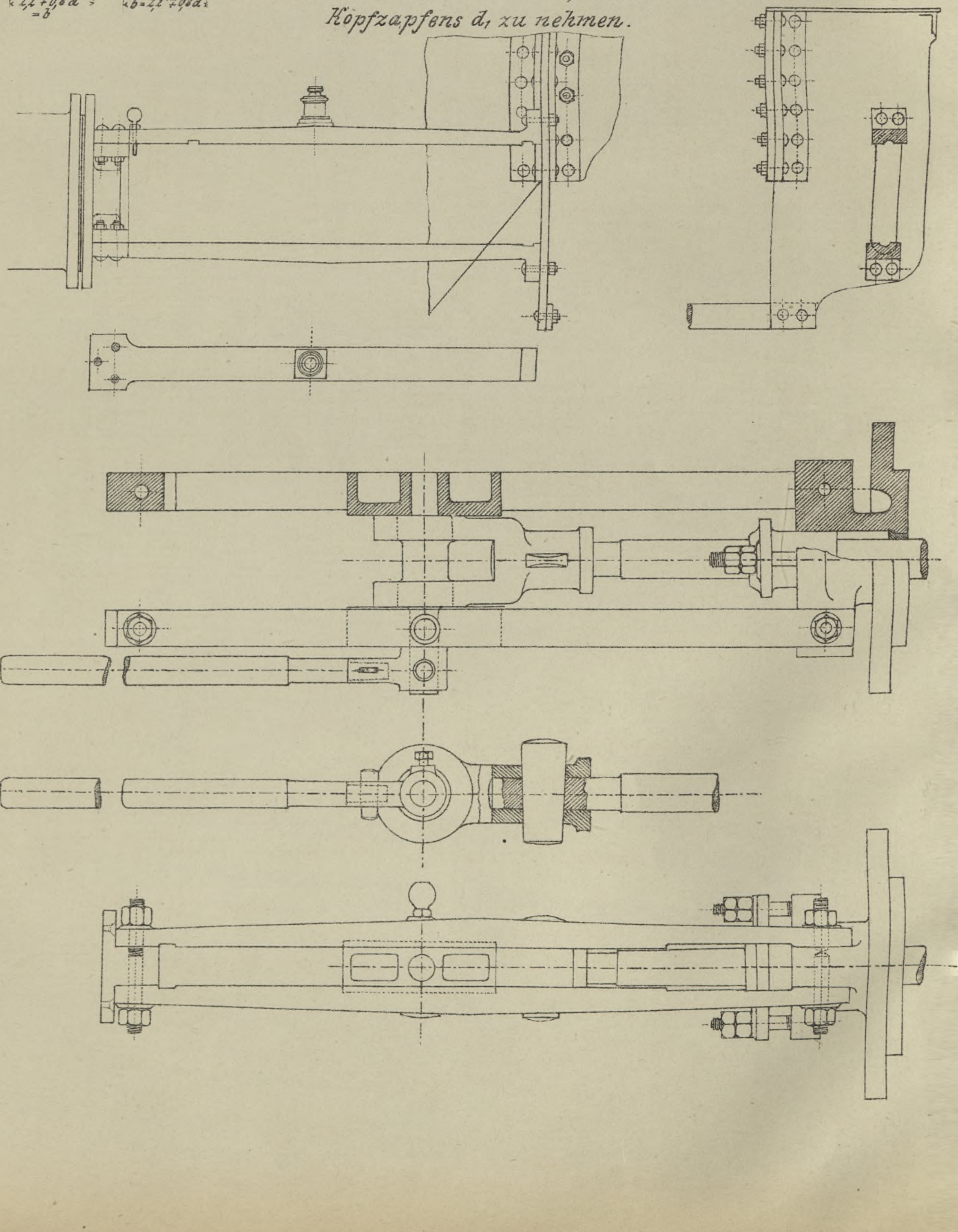
$$\frac{h}{d} = 0{,}25 \sqrt[3]{\frac{R}{L} \cdot \frac{L_1}{b} \cdot \frac{L_1}{d}} \quad \text{(Schmiedeeisen).}$$
$$= 0{,}22 \sqrt[3]{\frac{R}{L} \frac{L_1}{b} \frac{L_1}{d}} \quad \text{(Gußstahl)}$$
$$= 0{,}32 \sqrt[3]{\frac{R}{L} \cdot \frac{L_1}{b} \frac{L_1}{d}} \quad \text{(Gußeisen).}$$

d = Kurbelzapfendurchmesser.
R = Kurbelhalbmesser.
L = Schubstangenlänge.
L_1 = Gleitbahnlänge.

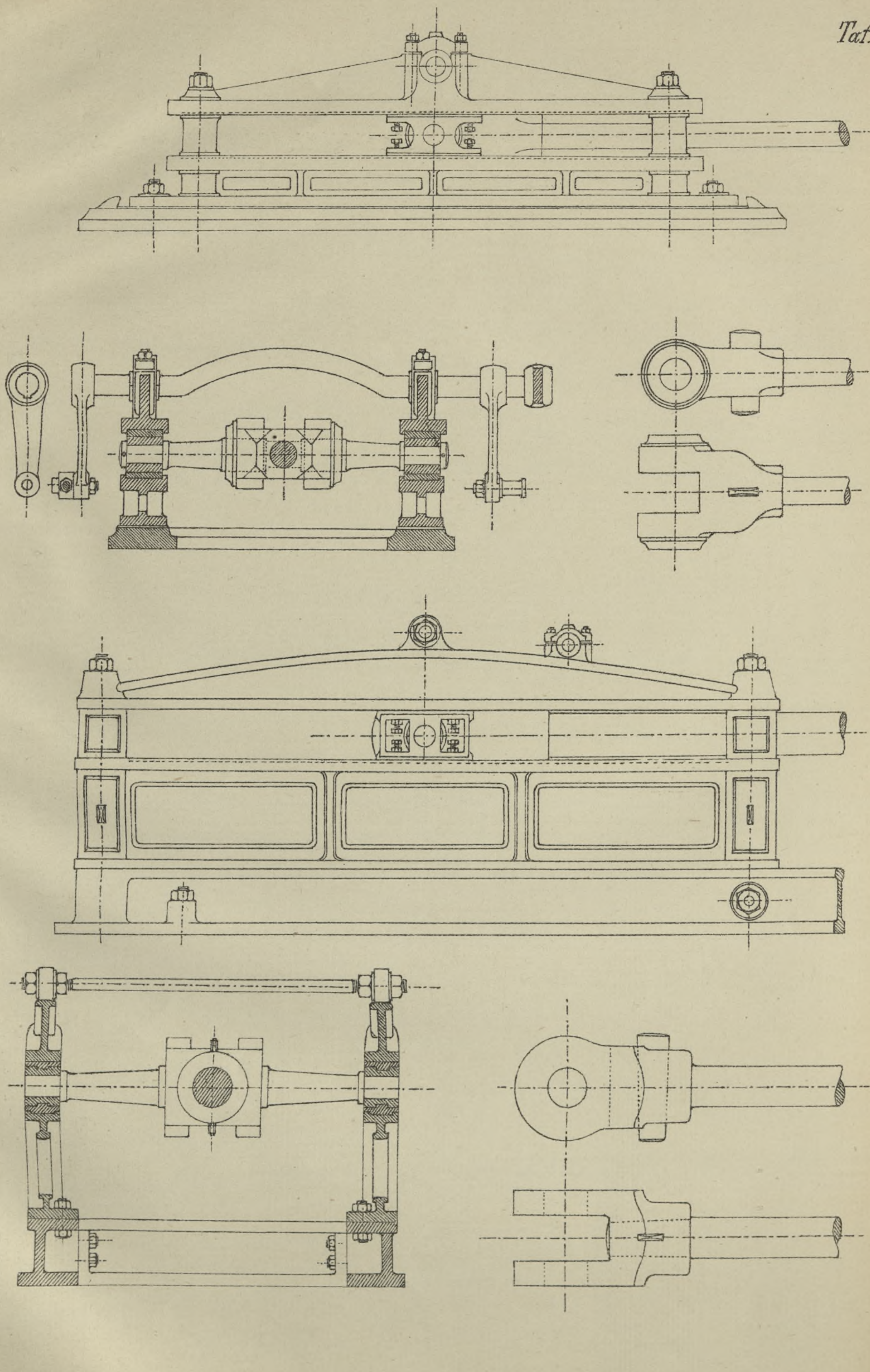
h muß stets $\leq \frac{1}{8} L_1$ sein. Sind 2 Gleitbahnpaare vorhanden, so ist bei gleicher Breite die Höhe der Gleitbahnen 0,8 h zu machen.

Gußeiserne Gleitbahnen erhalten eins der nebenstehenden Profile. Die eingeschriebenen Maaße gelten für 1 Gleitbahnpaar, sind 2 Paare vorhanden, so ist statt d der Durchmesser des Kreuzkopfzapfens d_1 zu nehmen.





Taf. 60.



5. Balanciers.

Gusseiserne Balanciers.

d = Durchmesser des schmiedeisernen Stirn-(Kurbel-)Zapfens, entsprechend der Kraft am Balancierkopfe;

A = Armlänge des Balanciers;

b = Metallstärke des Balancierschildes $= 2^{cm} + \frac{d}{4}$;

h = Höhe des Balancierschildes in der Mitte $= 3\,d + 0{,}2\,A$ (zwischen $0{,}25\,A$ u. $0{,}35\,A$).

Man berechne zunächst $m = \frac{\text{Trägheitsmoment des I Querschnitts}}{\text{Trägheitsmoment des | Querschnitts}}$ nach der Formel.

$$m = 1{,}57\,\frac{A}{b}\left(\frac{d}{h}\right)^2,$$

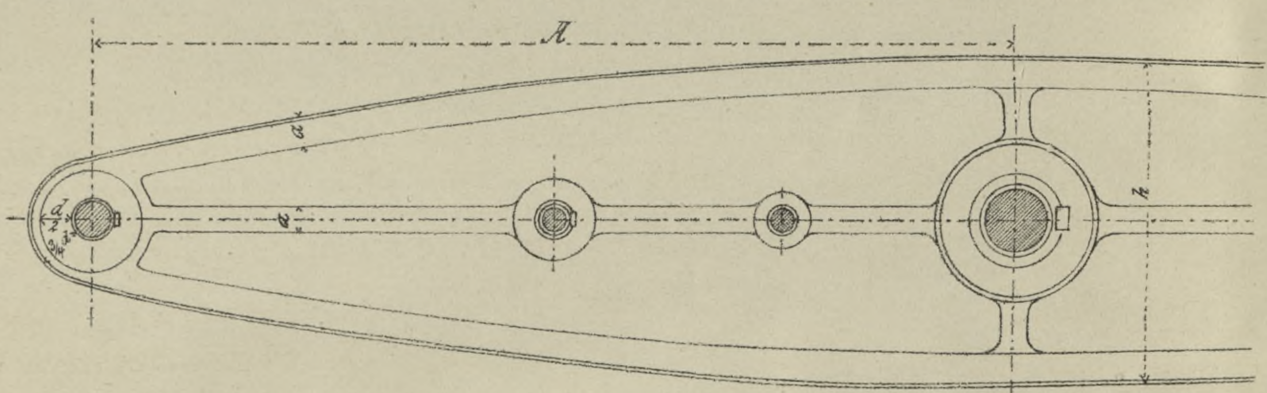
wähle dann die Höhe a der Saumnerve $= 0{,}8\,b \sim b$ und bestimme ihre Breite c aus:

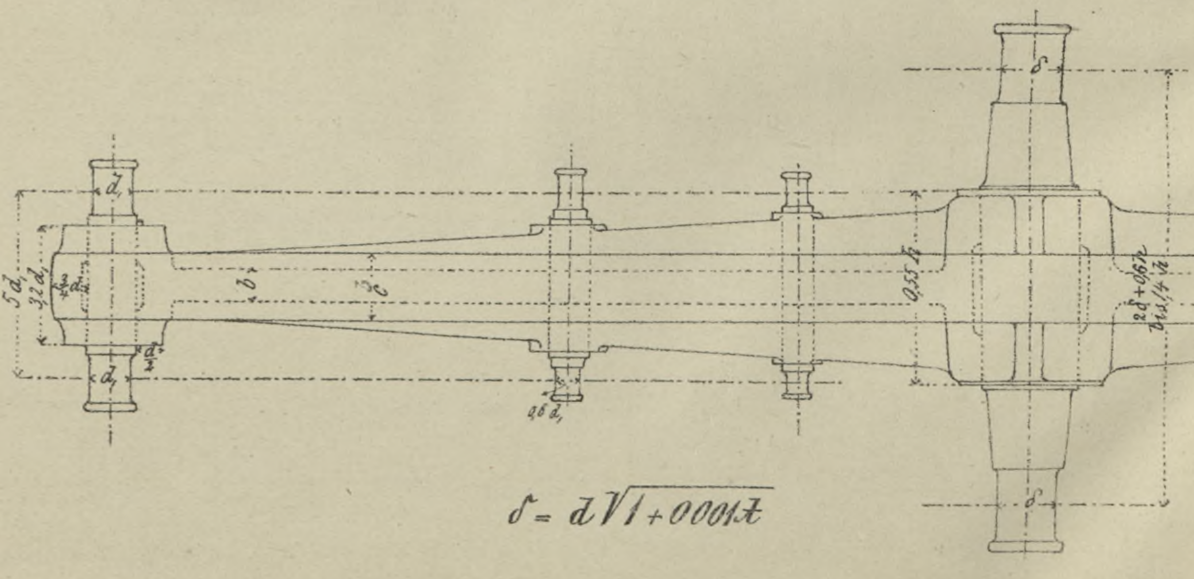
$$\frac{c}{b} = 1 + \frac{m-1}{6\left(\frac{a}{h}\right) - 12\left(\frac{a}{h}\right)^2 + 8\left(\frac{a}{h}\right)^3}$$

mit Hülfe der folgenden Tabelle:

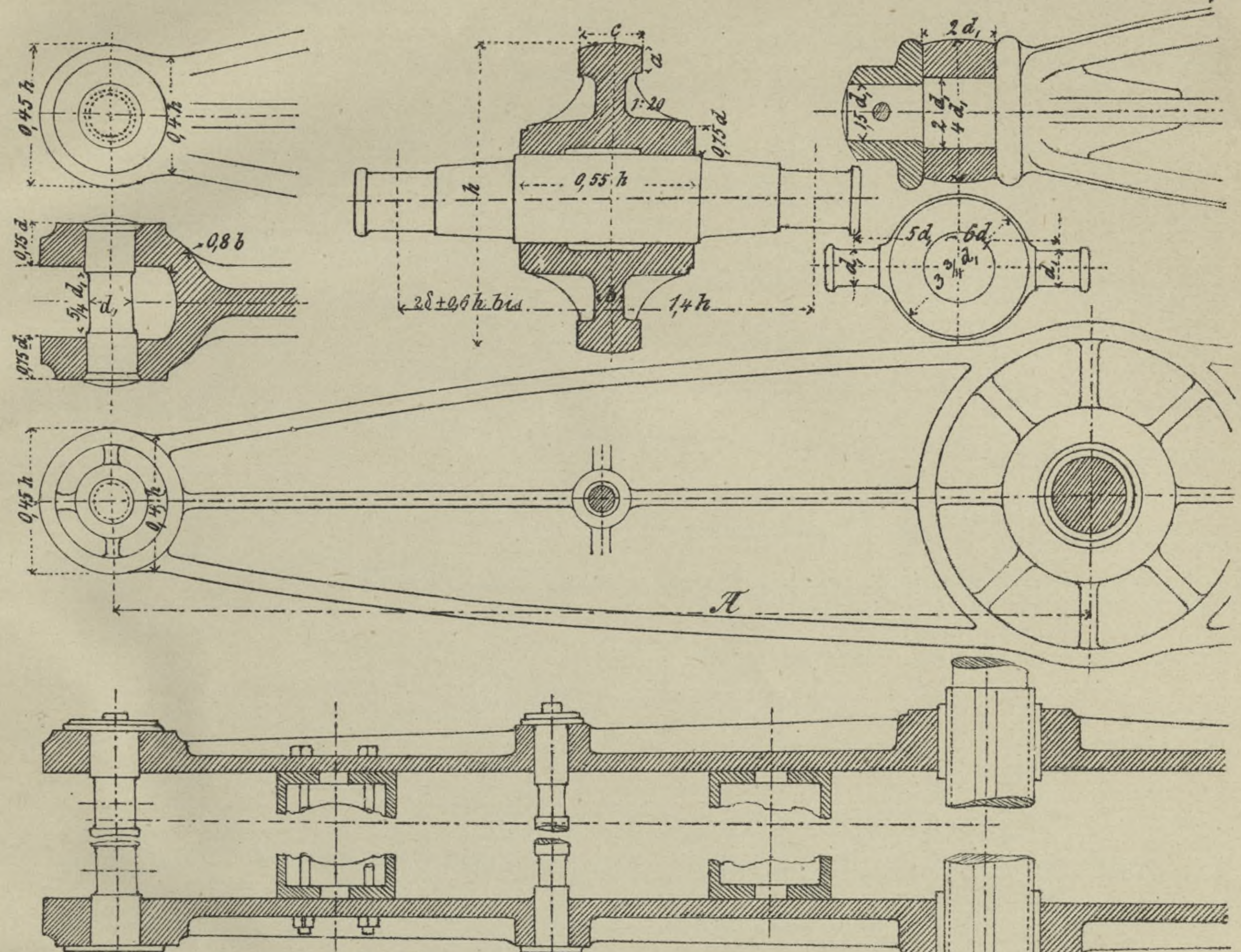
$\frac{h}{a} =$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	25
$6\left(\frac{a}{h}\right) - 12\left(\frac{a}{h}\right)^2 + 8\left(\frac{a}{h}\right)^3$	0,784	0,704	0,637	0,578	0,529	0,488	0,452	0,421	0,394	0,370	0,349	0,330	0,313	0,297	0,271	0,221
$\frac{1}{6\left(\frac{a}{h}\right) - 12\left(\frac{a}{h}\right)^2 + 8\left(\frac{a}{h}\right)^3}$	1,27	1,42	1,57	1,73	1,89	2,05	2,21	2,37	2,54	2,70	2,36	3,03	3,19	3,37	3,69	4,52

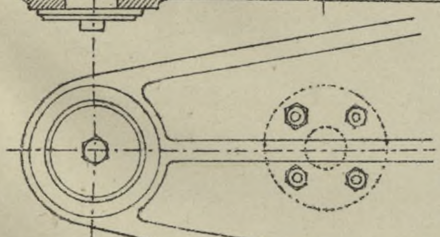
c soll kleiner als $1{,}8\,d$ bleiben, nöthigenfalls ist a oder b grösser zu nehmen.





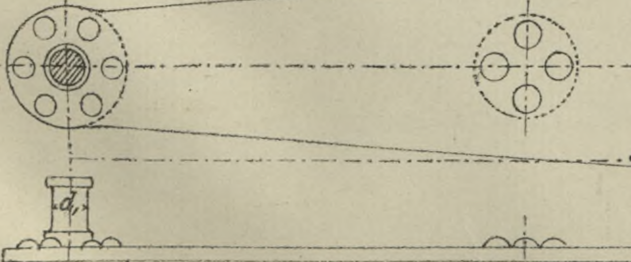
$$\delta = d\sqrt{1 + 0{,}001\,A}$$





Bei einem doppelschildigen Balancier setze man in die Formeln für b und h statt d d_1 ein; bei h wird auch wohl d beibehalten, wenn einseitige Saumnerven ausgeführt werden sollen. (Bei starken Wasserhaltungsmaschinen findet sich h bis 1,1 des Formelwerthes vor.

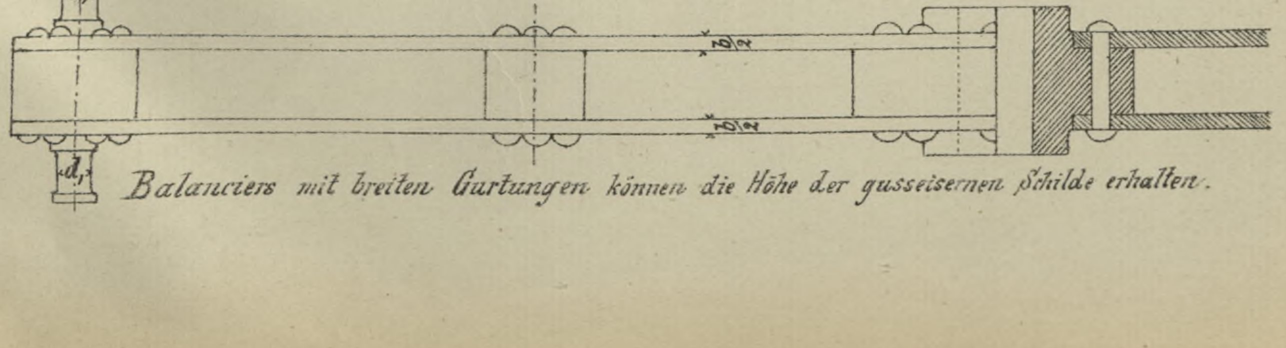
Schmiedeeiserne Balanciers.



Hier ist: $h = 2{,}5\,d + \frac{A}{6}$

und für den einfachen Rechteckquerschnitt.

$$\frac{b}{d} = 0{,}785\,\frac{A}{h}\cdot\frac{d}{h}$$



Balanciers mit breiten Gurtungen können die Höhe der gusseisernen Schilde erhalten.

Röhren und deren Verbindungen.

Berechnung der Wandstärke.

Bezeichnungen.

D = innerer Durchmesser } des Rohres, n Pressungsdifferenz der Rohrwandung in
δ = Wandstärke } Atmosphären oder in kg pro qcm,

$\mathfrak{T}$ zulässige Anspannung des Materials pro qcm.

I. Röhren mit innerem Druck.

1. Formeln für geringen Druck (bis etwa $\frac{n}{\mathfrak{T}} = 0,05$)

Rohrmaterial:		Allgemein:	Gewöhnlich für $n \leqq 10$:
Gusseisen	, stehend gegossen (für Wasser, Gas etc.)	$\delta = 0,00167\, nD + 0,8^{cm.}$;	$\delta = 0,0167\, D + 0,8^{cm.}$
"	, liegend gegossen, Façonstücke . . .	$\delta = 0,002\, nD + 1^{cm.}$;	$\delta = 0,02\, D + 1^{cm.}$
"	, Dampfröhren		$\delta = 0,0167\, D + 1,2^{cm.}$
"	, Ausgebohrte Cylinder		$\delta = 0,0167\, D + 1,6^{cm.}$
			Für $n \leqq 100$ (gezogene Röhren)
Schmiedeisen	, ohne Vernietung	$\delta = 0,00083\, nD + 0,2^{cm.}$;	$\delta = \frac{D}{12} + 0,2^{cm.}$
"	genietete Dampfkessel etc.	$\delta = 0,0012\, nD + 0,2^{cm.}$	
Gussstahlkessel	. . . .	$\delta = 0,0009\, nD + 0,15^{cm.}$	Gewöhnlich für $n \leqq 10$:
Messing (Bronce)	gegossen	$\delta = 0,002\, nD + 0,25^{cm.}$;	$\delta = 0,02\, D + 0,25^{cm.}$
"	, ausgebohrt		$\delta = 0,02\, D + 0,5^{cm.}$
"	, gezogen, auch Kupfer	$\delta = 0,002\, nD + 0,1^{cm.}$;	$\delta = 0,02\, D + 0,1^{cm.}$
Blei	. . . .	$\delta = 0,01\, nD + 0,1^{cm.}$	

Bei kugelförmigen Gefässtheilen ist statt D der Radius der Kugel einzusetzen.

2. Formeln für starken Druck.

Genau: $\delta = \frac{D}{2}\left(\sqrt{\frac{4\mathfrak{T} + 3n}{4\mathfrak{T} - 5n}} - 1\right)$; Annäherungsweise für nicht zu starken Druck: $\delta = \frac{D}{2}\,\frac{n}{\mathfrak{T}}\left(1 + \frac{3}{4}\,\frac{n}{\mathfrak{T}}\right)$.

Hierbei darf für $\mathfrak{T}$ eingesetzt werden bei Gusseisen 375 ~ 500 kg, Schmiedeisen 750 ~ 1000 kg, Gussstahl 1200 ~ 1600 kg, Bronce 300 ~ 400 kg.

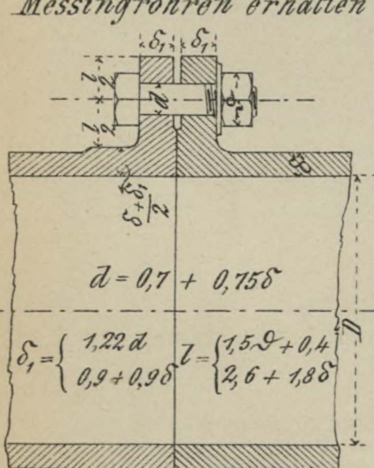
Für kugelförmige Gefässtheile ist $\delta = R\left(\sqrt[3]{\frac{8\delta + 4n}{8\mathfrak{T} - 5n}} - 1\right)$, worin R den Radius der Kugel bezeichnet.

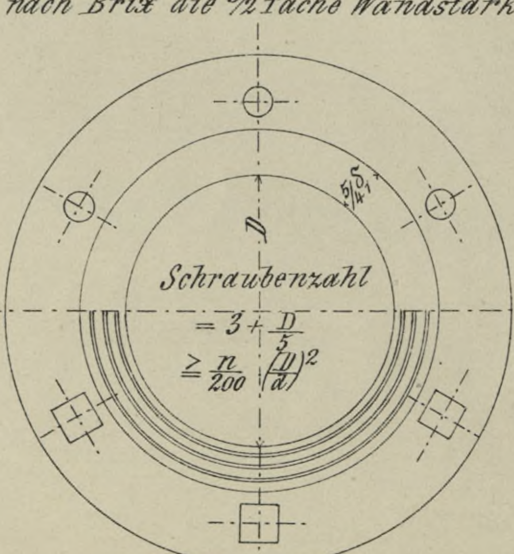
II. Röhren mit äusserem Druck.

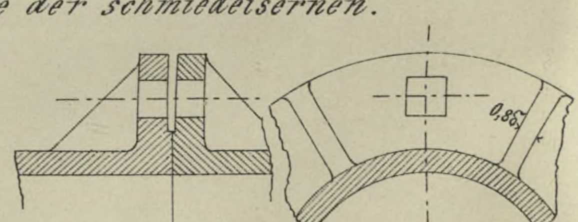
Schmiedeisen: $\delta = 0,0067\,\sqrt[3]{n} + 0,13^{cm.}$ (nach Brix) oder

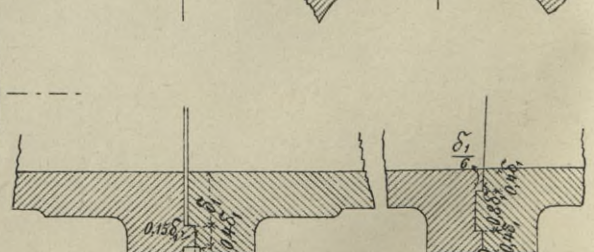
$\delta = 0,0027\,\sqrt{LDn}$ (nach Fairbairn), worin L die Länge des Rohres (event. zwischen Absteifungen) bezeichnet.

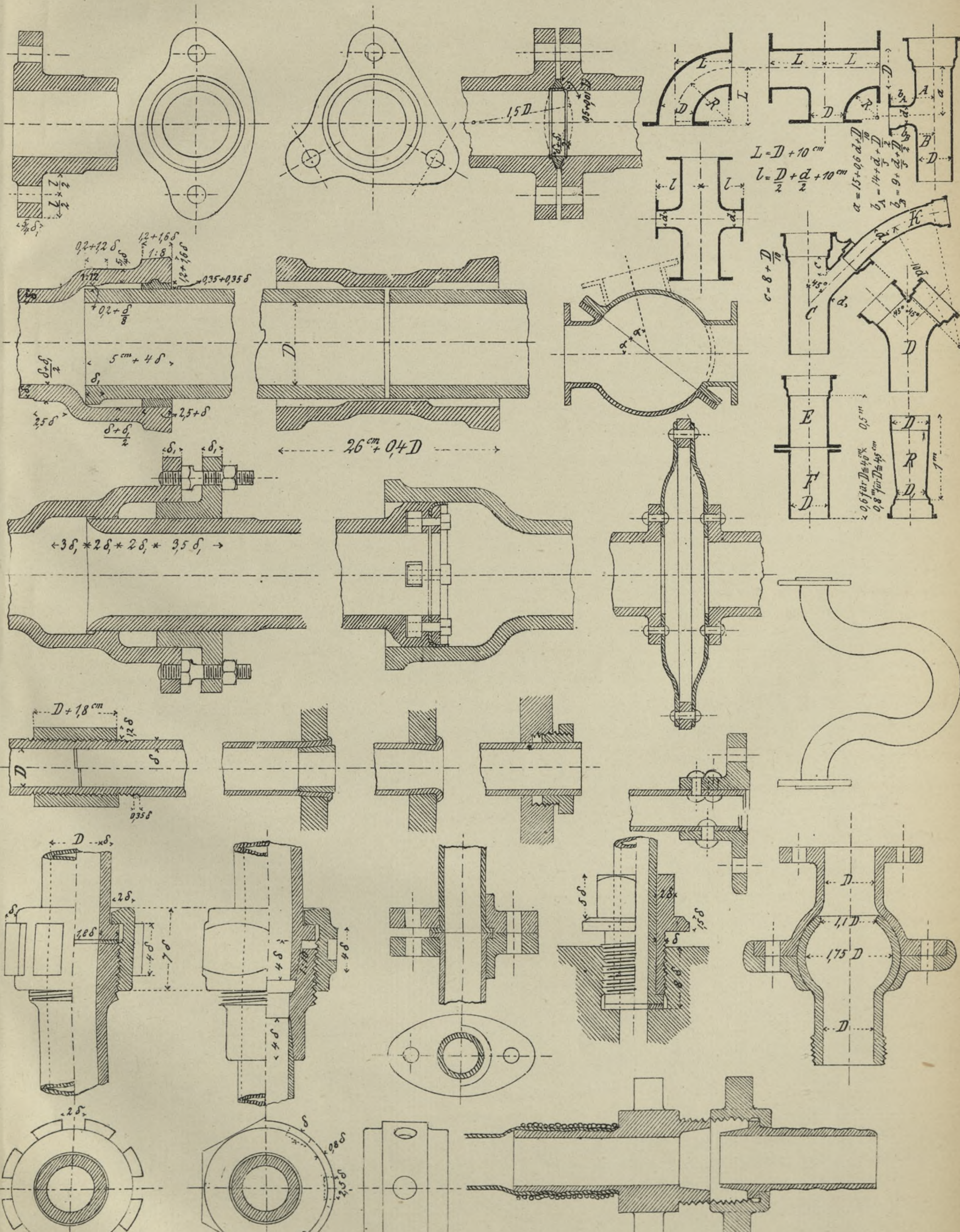
Messingröhren erhalten nach Brix die $\frac{3}{2}$ fache Wandstärke der schmiedeisernen.











L = D + 10 cm
l = D/2 + d/2 + 10 cm
26 cm + 0,4 D
D + 1,8 cm
1,5 D
1,75 D

Ventile.

$\delta = \begin{cases} 0{,}5^{cm} + 0{,}02\,D & \text{Bronce.} \\ 1^{cm} + 0{,}0167\,D & \text{Gusseisen.} \end{cases}$

Wasser (Pumpen)

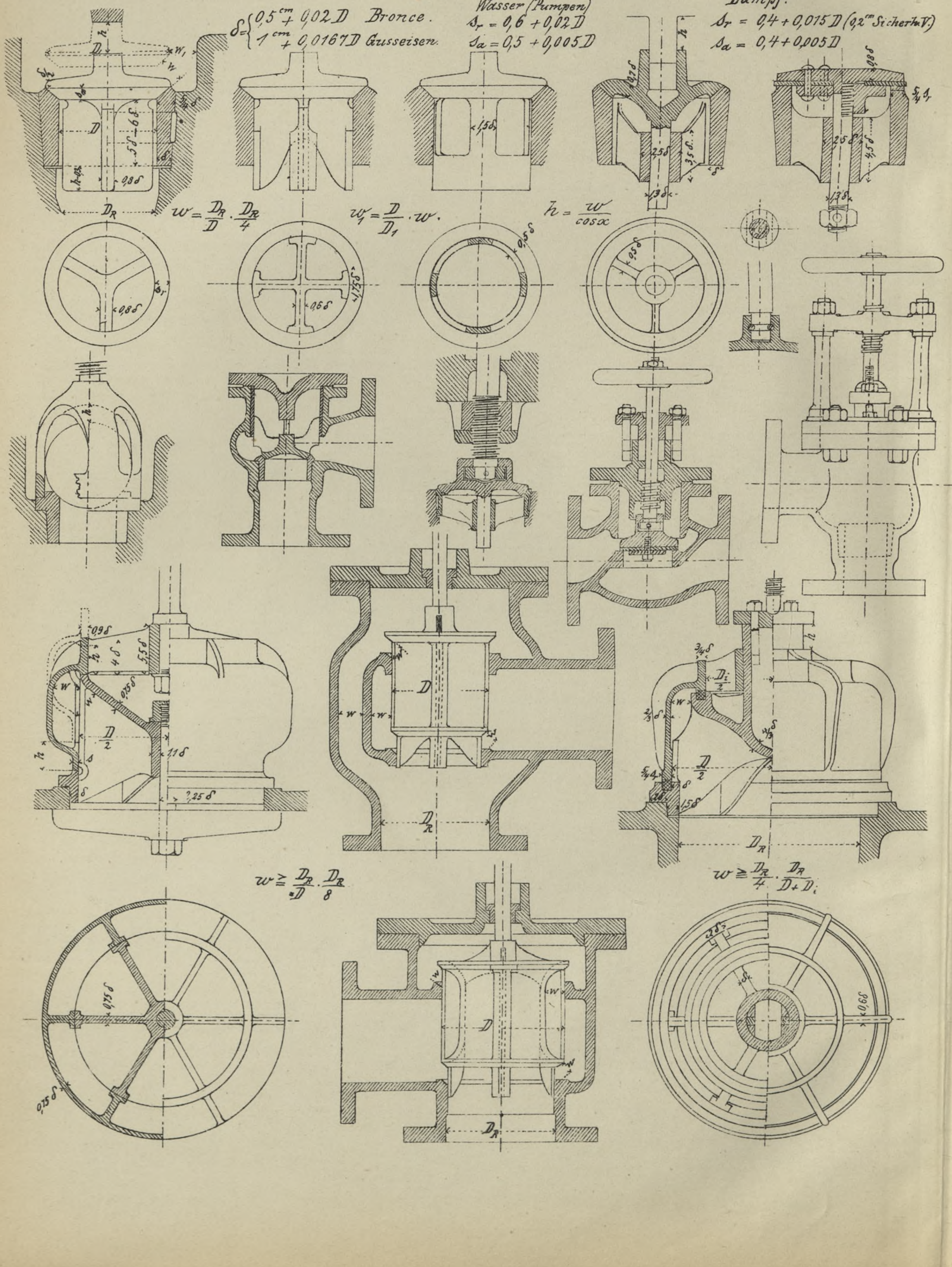
$\delta_r = 0{,}6 + 0{,}02\,D$

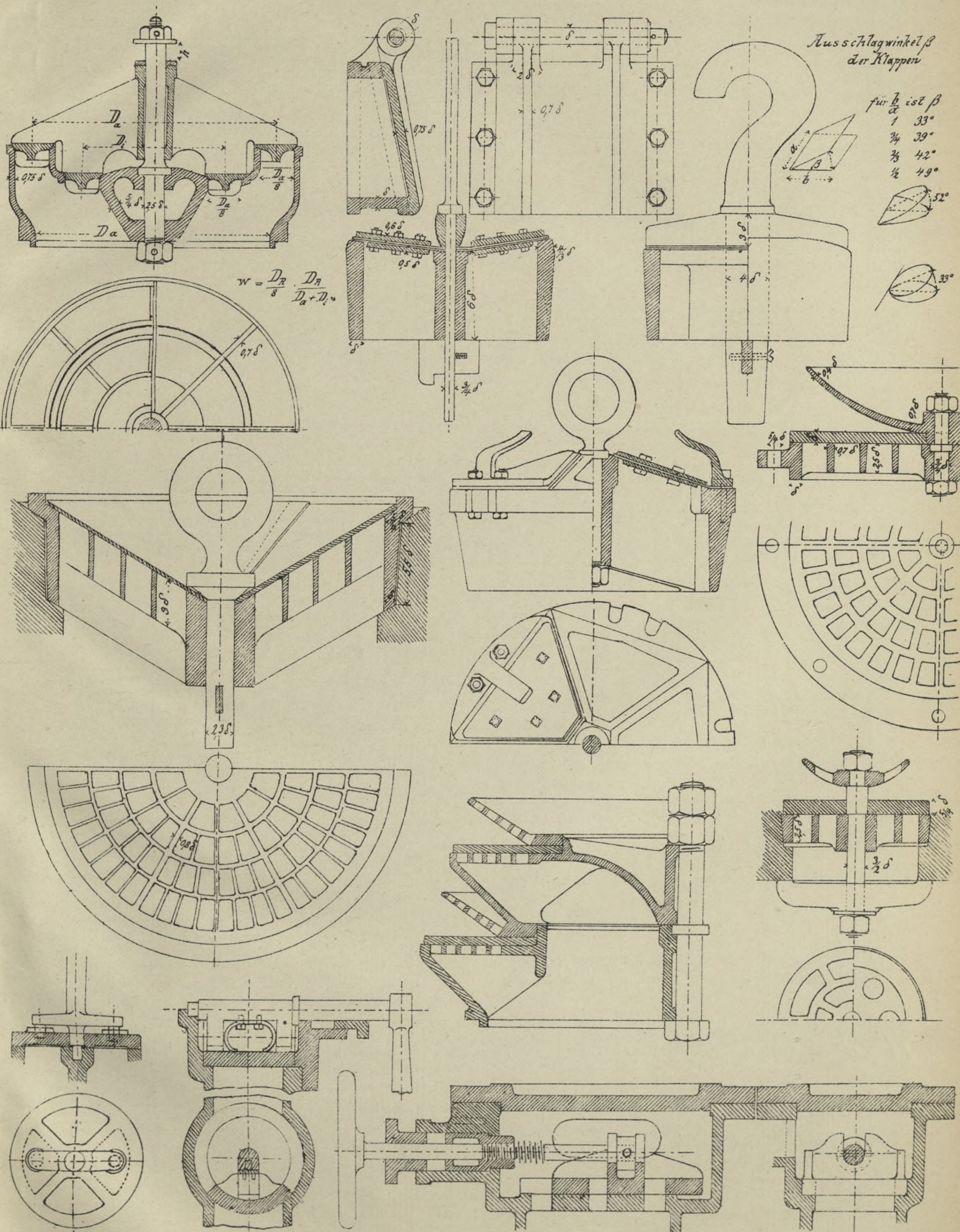
$\delta_a = 0{,}5 + 0{,}005\,D$

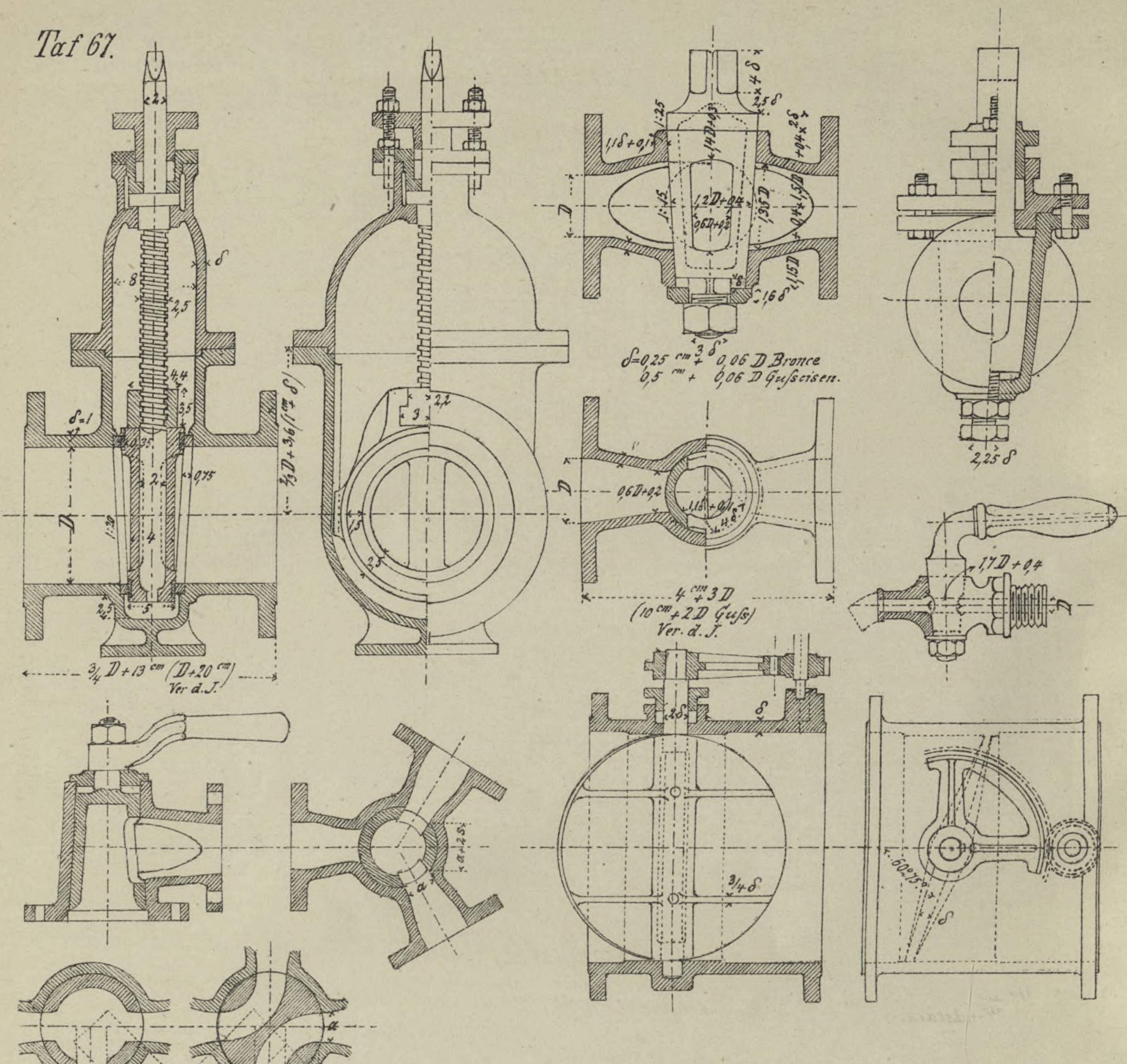
Dampf:

$\delta_r = 0{,}4 + 0{,}015\,D$ ($0{,}2^{cm}$ Sicherh. V.)

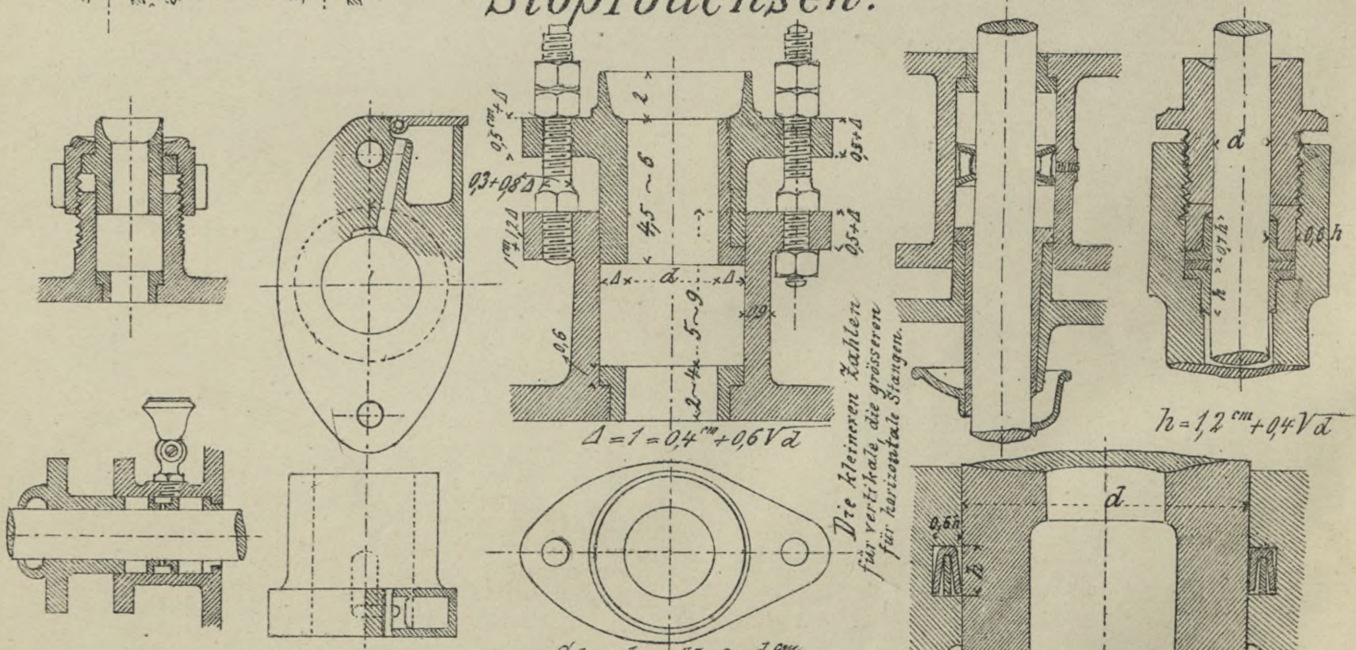
$\delta_a = 0{,}4 + 0{,}005\,D$




Ausschlagwinkel β der Klappen
für b/a ist β
1 33°
3/4 39°
2/3 42°
1/2 49°
52°
33°
w = D_R/8 · D_R/(D_a + D_i)
D_a
D_i
Da
0,75 δ
2,5 δ
D_a/8
0,7 δ
0,75 δ
2 δ
0,6 δ
0,5 δ
6 δ
3/4 δ
3 δ
4 δ
3 δ
5,5 δ
2,3 δ
0,8 δ
0,4 δ
0,7 δ
2,5 δ
3/2 δ

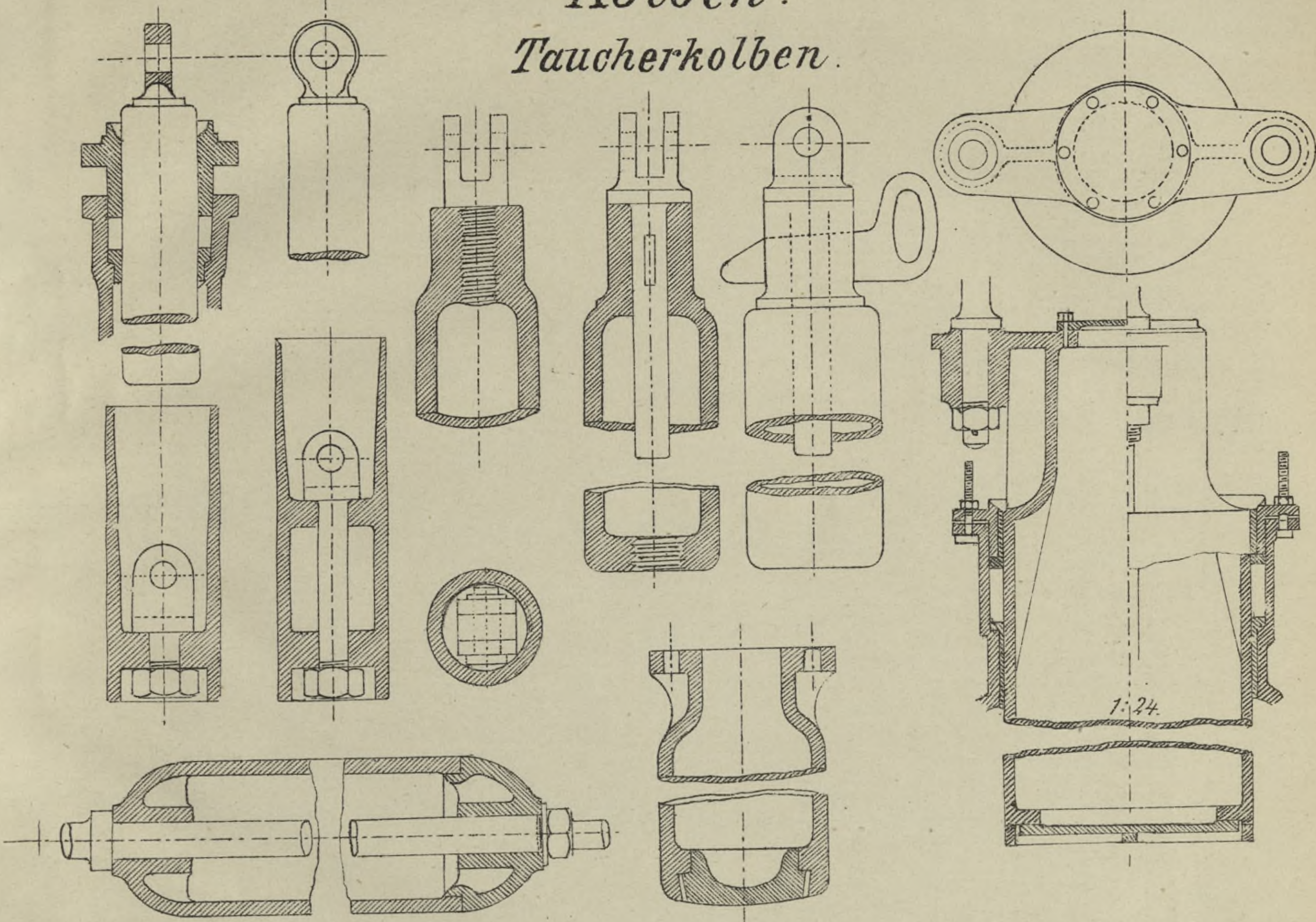


Stopfbüchsen.



Kolben.

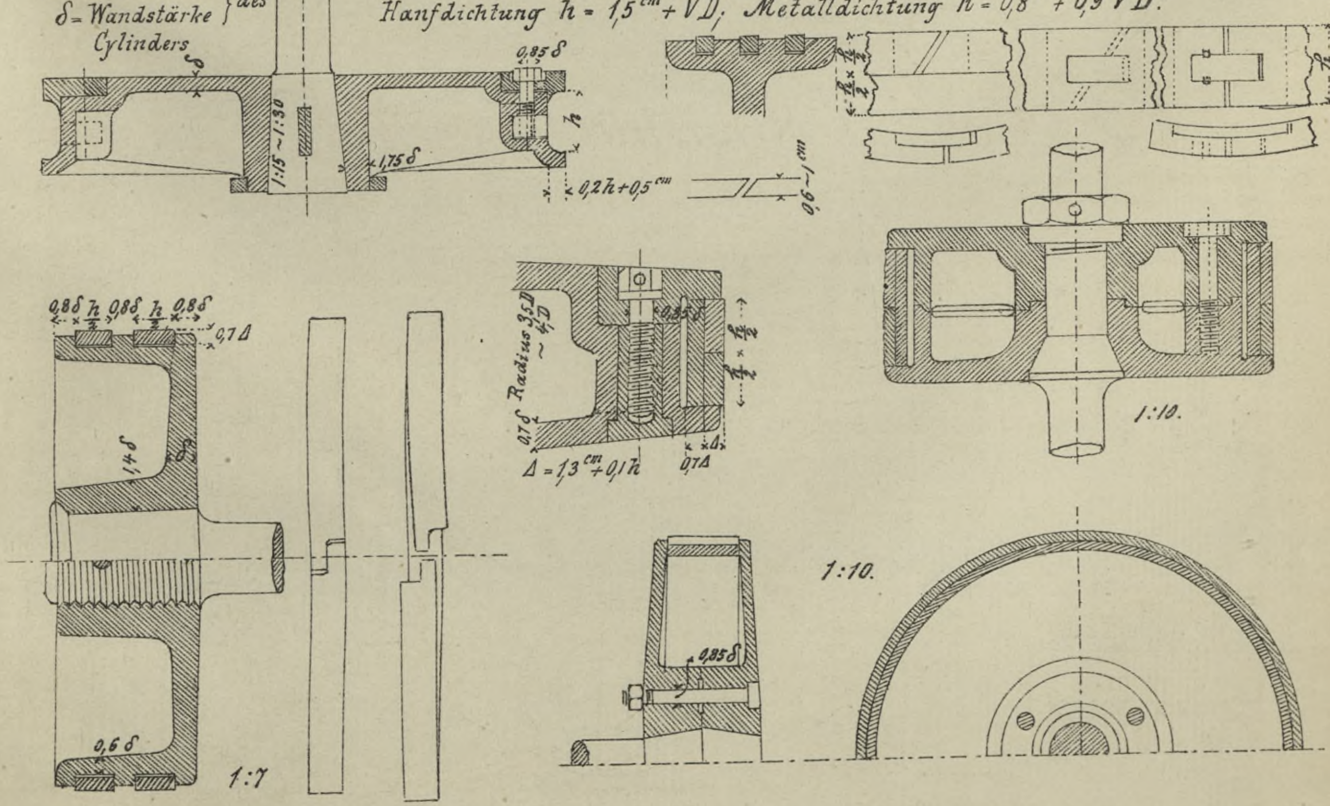
Taucherkolben.



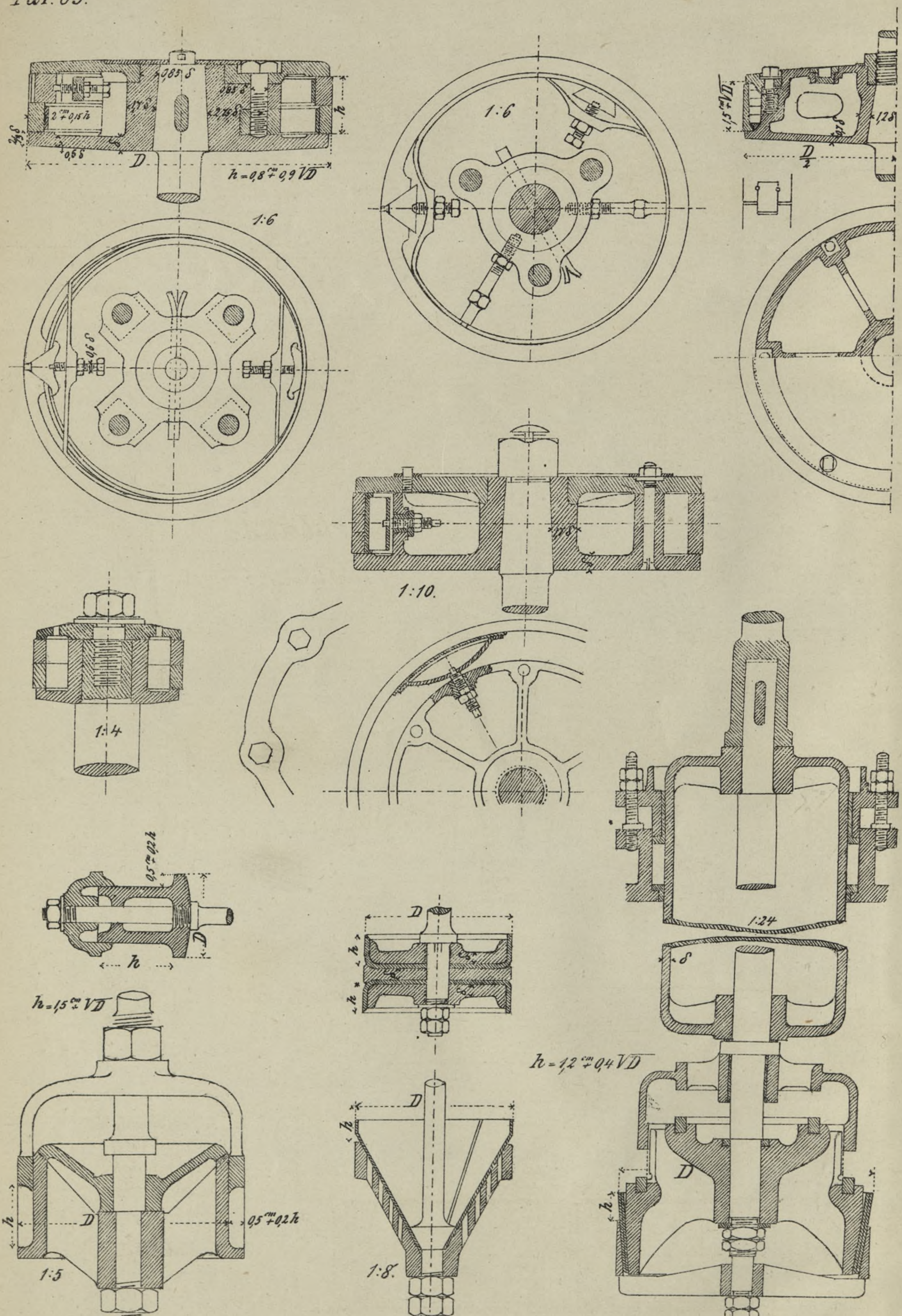
Dampfkolben.

D = Durchmesser } des
δ = Wandstärke } Cylinders

Hanfdichtung $h = 1{,}5^{cm} + \sqrt{D}$, Metalldichtung $h = 0{,}8^{cm} + 0{,}9\sqrt{D}$.



Taf. 69.



0,85 δ
1,7 δ
0,65 δ
2,75 δ
2 cm + 0,15 h
h
0,5 δ
D
h = 0,8 cm + 0,9 √D
1:6
1:6
1,5 cm + √D
1,28
D/2
1,75
1:10.
1:4
0,5 cm + 0,2 h
h
D
h = 1,5 cm + √D
D
0,5 cm + 0,2 h
1:5
D
h
h
D
h
1:8.
1:24
δ
h = 1,2 cm + 0,4 √D
D
h

Gebläse-Kolben.