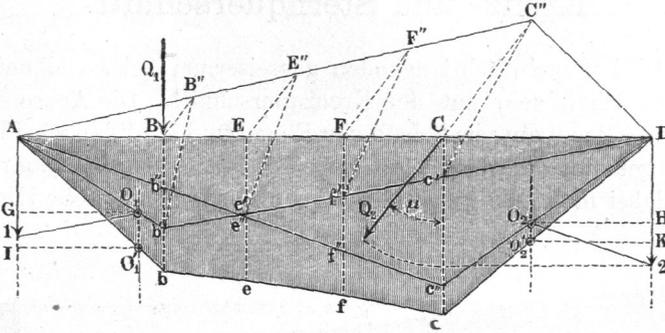


$AbefcD$, so geben dessen Vertikalordinaten (nach §. 44) die wie bisher zu benutzenden biegenden Momente für die Achse an. Die

Fig. 415.



Linie $befc$ ist eine Kurve (Hyperbel), Ab und cD dagegen sind geradlinig. Zieht man noch $O_1 O_1' \parallel A1$, $O_2 O_2' \parallel D2$, und fällt die Lothe $O_1' J$ und $O_2' K$, so ist AJ die Zapfenkraft P_1 , DK die Zapfenkraft P_2 , beide mit dem in den Kräftepolygone benutzten Maassstab zu messen. Ihre Richtungen sind durch Zusammensetzung von beziehlich AG mit $H2$ und von DH mit $G1$ unter dem Winkel μ zu ermitteln.

B. Die Querschnitte sind zusammengesetzt.

§. 138.

Kreisringquerschnitt.

Will man eine Achse mit dem Kreisringquerschnitt, also rohrförmig ausführen, so berechne man vorerst die Zapfen als hohle Zapfen nach den Angaben in §. 90 und beziehe dann, unter Beibehaltung des bei den Zapfen angewandten Hohlungsverhältnisses, sämtliche Abmessungen ebenso auf die Dicke der hohlen Zapfen, wie es bisher für die vollen gezeigt wurde. Das gebräuchlichste Hohlungsverhältniss ist 0,6. Oder: man bestimme sämtliche Dimensionen der Achse unter Zugrundelegung des vollen Kreisquerschnittes, wähle sodann das Hohlungsverhältniss, und vergrössere alle einzelnen Durchmesser nach Maassgabe des aus Formel (95) zu entnehmenden Koeffizienten. Vergl. übrigens auch §. 141.

§. 139.

Kreuz- und Sternquerschnitt.

Bei den mehrfach tragenden gusseisernen Achsen eignet sich für den Schaft sehr gut der Kreuzquerschnitt. Die Achse erhält bei seiner Benutzung im Schaft vier Flügel und wird danach Flügelachse genannt (vergl. „Flügelzapfen“ §. 102). Den Schenkeln gibt man dabei meist die gewöhnliche konoidische Form, siehe Fig. 416.

Fig. 416.

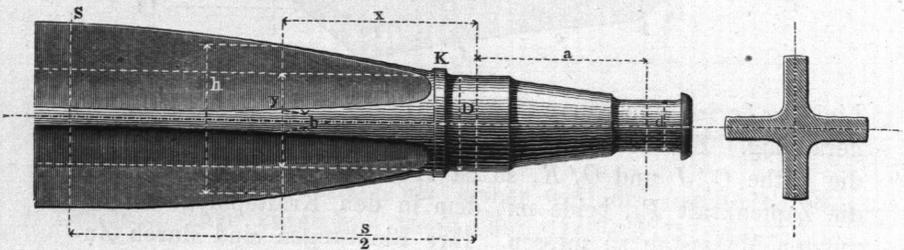
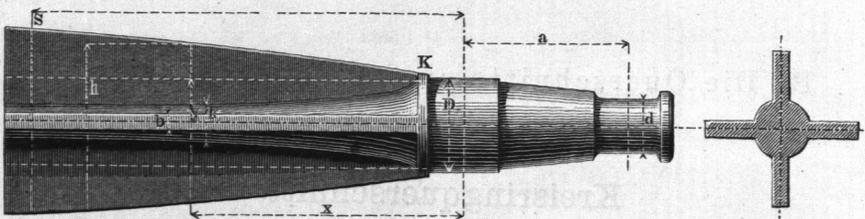


Fig. 417.



Die hier sichtbare Anschwellung der Flügeldicke nach den Köpfen hin wird manchmal durch Einschaltung eines runden Kernes ersetzt, Fig. 417.

Beim Entwerfen wird der Schaft zuerst (punktirt) so verzeichnet, als ob er den vollen Kreisquerschnitt erhalten solle, darauf das Profil $KS \dots$ der Flügel, in K an den Achsenkopf anschließend, mit einer Anschwellung (s. §. 142) von dem einen Schenkel zum anderen geführt. Ist dann für irgend eine Stelle (x) des Schaftes

y der Durchmesser der ideellen runden Achse oder des gleichwerthigen Konoids,

h die Rippenhöhe, b die Rippen-, k die Kerndicke,

so wähle man die Abmessungen derart, dass:

$$\frac{y}{h} = \sqrt[3]{\left(\frac{k}{h}\right)^4 + \frac{16}{3\pi} \left\{ \left(\frac{b}{h}\right)^3 \left(1 - \frac{k}{h}\right) + \frac{b}{h} \left(1 - \left(\frac{k}{h}\right)^3 \right) \right\}}. \quad (127)$$

welche Formel auch für den reinen Kreuzquerschnitt genügend genaue Resultate gibt, wenn man $k = b$ einführt. Die Zahlen-ergebnisse unterscheiden sich zudem dann kaum von denjenigen für $k = 0,2h$, weshalb die folgende Tabelle für beide Querschnitte dienen kann.

$\frac{b}{h}$	Werthe von $\frac{h}{y}$, wenn $\frac{k}{h}$												
	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	1,30	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

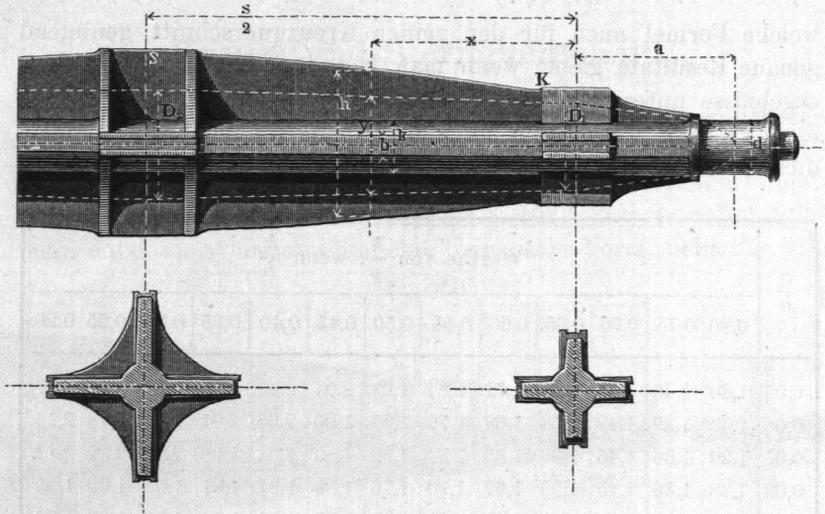
1. *Beispiel.* Reiner Kreuzquerschnitt. Hat das Flügelprofil an irgend einer Stelle das Zweifache des Durchmessers y des ideellen Konoids zur Höhe, so ist daselbst gemäss Zeile 3, letzte und erste Spalte die Rippendicke $b = 0,07$ der Rippenhöhe zu nehmen.

2. *Beispiel.* Ist ein Kern anzuwenden und ist diesem an einer Stelle, wo $h = 1,5y$ die Dicke $k = 0,6h$ gegeben, so ist daselbst gemäss Z. 8, Spalte 6 und 1 die Rippendicke $b = 0,12$ der dort gewählten Rippenhöhe h zu nehmen.

3. *Beispiel.* Man kann auch b konstant wählen und die Kerndicke k entsprechend ermitteln, oder auch k konstant wählen und die Rippendicke ermitteln. Letzteres ist bei der in Fig. 418 (a. f. S.) dargestellten Achse vorausgesetzt. Hier sind auch die Schenkel in Sternquerschnitt aus-

geführt. Die Köpfe erhalten, wie die beiden Durchschnitte verdeutlichen, eine Verdickung zur Aufnahme der Keilbahnen, ausserdem gibt man auch

Fig. 418.



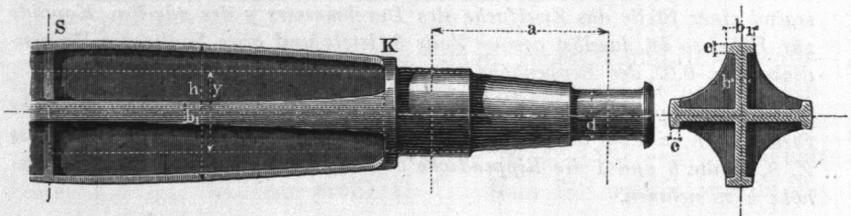
gern an den höchsten Profilstellen den Rippen Versteifungen, wie hier angegeben. Dem Zapfen ist ein kleiner Hilfszapfen, welcher beim Aufstellen sehr nützlich ist, angegossen gedacht.

§. 140.

Die beränderte Flügelachse.

Sehr brauchbar für stark belastete Achsen ist die in Fig. 419 angewandte Querschnittform, bei welcher die Flügel der Achse

Fig. 419.



eine Saumnerve erhalten. Fairbairn hat bei seinen ausgezeichneten Wasserrädern diese Form benutzt. Auch Rieter & Co. in Winterthur haben schöne Wasserräder mit solchen Achsen gebaut.

Man wählt auch hier wieder nach geschehener Bestimmung des ideellen runden Schaftes von den Dicken y das Profil, also die Höhen h für alle Querschnitte. Wir machen alsdann in jedem Querschnitte die Randdicke $c =$ der Flügeldicke b , und haben darauf bei Anwendung der Form Fig. 419 für die Saumbreite b_1 zu nehmen:

$$\frac{b_1}{b} = 1 + \frac{\frac{3\pi}{16} \left(\frac{y}{h}\right)^3 - \frac{b}{h} - \left(\frac{b}{h}\right)^3}{6 \left(\frac{b}{h}\right)^2 - 12 \left(\frac{b}{h}\right)^3} \dots \dots (128)$$

nach welcher Formel die folgende Tabelle berechnet ist.

$\frac{b}{h}$	Werthe von $\frac{b_1}{b}$, wenn $\frac{h}{y}$									
	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00
0,05	—	—	—	—	—	7,94	6,17	4,81	3,64	2,75
0,06	—	—	—	—	6,99	5,38	4,13	3,17	2,34	1,07
0,07	—	—	—	6,70	5,12	3,91	3,45	2,24	1,61	1,01
0,08	—	—	6,82	5,16	3,91	2,96	2,22	1,65	1,17	—
0,09	—	—	5,45	4,11	3,10	2,33	1,73	1,01	—	—
0,10	—	6,00	4,48	3,37	2,53	1,89	1,39	—	—	—
0,11	—	5,05	3,77	2,82	2,11	1,57	1,15	—	—	—
0,12	6,56	4,34	3,23	2,42	1,80	1,34	—	—	—	—
0,13	5,73	3,78	2,81	2,10	1,56	1,15	—	—	—	—
0,14	5,06	3,34	2,48	1,85	1,38	1,01	—	—	—	—

Ueber 6 bis 7 und unter 1 wird $b_1 : b$ nicht gemacht, weshalb die Tabelle nicht über diese Werthe hinausgeht. Man sucht einige Saumprofilpunkte auf und verbindet sie durch eine stetige Linie.

§. 141.

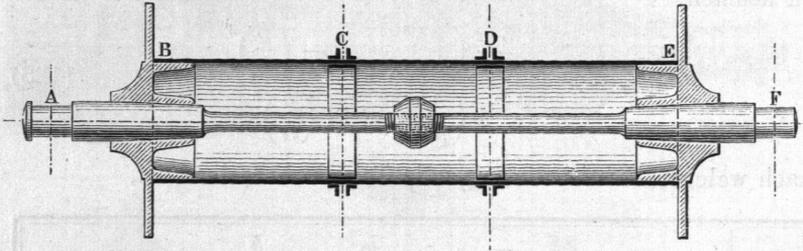
Zusammengesetzte Wasserradachse.

Die Fig. 420 (a. f. S.) stellt eine aus Guss- und Schmiedeisen zusammengesetzte Wasserradachse dar, welche bei einem Wasserrad von 10 m Höhe und 6 m Breite an die Stelle einer gebroche-

nen schmiedeisernen Achse gesetzt worden ist*). Die Belastungen betragen an den vier Tragpunkten

<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
16 090	5420	5420	10 390 kg,

Fig. 420.



zusammen 37 320 kg**). Der Schaft ist eine Trommel aus Eisenblech von 10 mm Dicke und 1120 mm äusserem Durchmesser und ist aus drei Schüssen zusammengesetzt, die durch Laschennietung bei den Mittelrosetten verbunden sind. Die Zapfenstiele sind in die gusseisernen Endrosetten schwach konisch eingepasst und haben jeder eine Verlängerung, die bis zur Achsenmitte reicht, woselbst die beiden Stiele mit Links- und Rechtsgewinde in eine Mutter treten. Zapfendicke und -Länge 200 und 280 mm. Den Verbindungslaschen gegenüber stehen auf der Aussenwand der Trommel Winkeleisen, welche zur Befestigung der Rosetten dienen. Die durch die Biegung in der Trommelwand hervorgerufene Spannung beträgt nur 2,2 kg, in der Nietnath indessen etwa 4,5 kg.

§. 142.

Verzeichnung der Flügelprofile.

Zur Verzeichnung der schwachgekrümmten Linie, nach welcher die Profile der Achsenflügel begrenzt werden, kann man sich einer der folgenden Methoden bedienen. In den zugehörigen Fi-

*) Das Rad gehört der Société des Eaux du Rhône in Genf. Siehe Annales du Génie civil 1866 und ebenda 1872; der Neubau ist durch Ingenieur Achard in Genf ausgeführt worden.

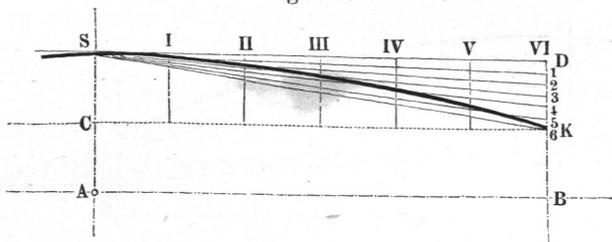
**) Vergl. das Diagramm Fig. 412, wo vorstehende Verhältnisse zu Grunde gelegt sind.

guren bezeichnet AB die geometrische Achse des Stückes, S den (bekannten) Scheitelpunkt der Profilkurve, K den ebenfalls bekannten oder gewählten Ansatzpunkt derselben am Achsenkopf.

1) Kreisbogen. Nur bei Zeichnungen in kleinem Maassstab ist derselbe, wenn er mit dem Zirkel oder nach Kreisschablonen gezogen werden kann, zweckmässig und empfehlenswerth.

2) Parabel. (Fig. 421.) $SD \parallel AB \parallel CK$; theile SD in n , z. B. in sechs gleiche Theile, ebenso DK ; fälle von den Theil-

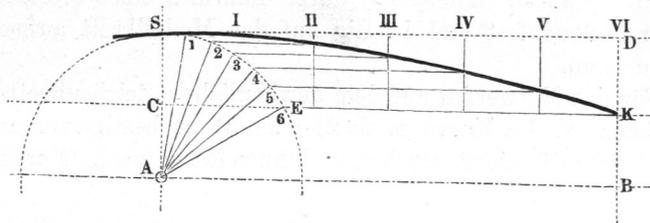
Fig. 421.



punkten I, II, III ... Lothe auf CK , und ziehe aus S die Geraden $S1, S2, S3 \dots$, so liefern deren Schnittpunkte mit den Lothen I, II, III ... die gesuchten Parabelpunkte.

3) Sinoide. (Fig. 422.) $SD \parallel AB \parallel CK$; beschreibe mit AS einen Kreis um A , theile den durch CK abgeschnittenen Bogen

Fig. 422.



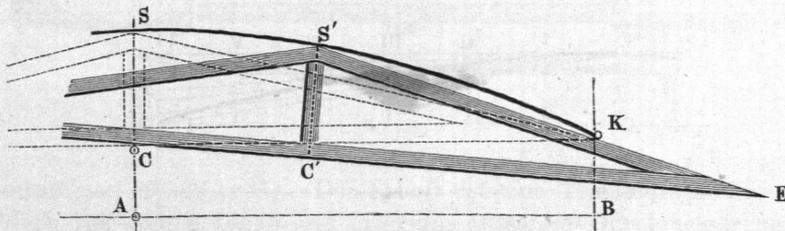
SE desselben in n , z. B. sechs gleiche Theile, ebenso die Gerade SD , ziehe aus den Theilpunkten 1, 2, 3 ... Parallelen zu AB , und aus I, II, III... Lothe zu AB , so liefern die Schnitte der letzteren mit den ersteren die gesuchten Sinoidenpunkte.

4) Elastische Linie. Man biege eine sorgfältig prismatisch gearbeitete Ruthe von quadratischem Querschnitt durch Druck an den Punkten K_1, K_2 und S derart, dass die Pfeilhöhe CS die verlangte Grösse erhält, und verzeichne dann die Kurve, indem man die Ruthe als Lehre benutzt. Für grosse Ausführungen ist die Ruthe etwa 20 bis 30 mm dick zu nehmen und unter Wasser

aufzubewahren. Bei kleinen Zeichnungen für das gewöhnliche Zeichenbrett ist zu empfehlen, sie nicht unter 5 mm dick zu wählen.

5) Kardioide. Die folgende in vielen Fabriken gebräuchliche Methode eignet sich vorzugsweise gut zum Aufreißen der Kurve auf das zum Modell vorgerichtete Brett. Man fertigt behufs der Verzeichnung eine hölzerne Schablone $S'KEC$ (Fig. 423) an, bei welcher EC und ES' gerade Kanten sind, und deren Ab-

Fig. 423.



messungen $C'S' = CS$ und $CE = CK$ durch die Lage der zu verbindenden Punkte S und K gegeben sind. Man bringe sodann in C und K feste Stifte an, und führe die Kante CE längs dem Stift C , die Kante $S'E$ längs dem Stift K , so beschreibt der Punkt S' der Schablone von S nach K einen Bogen einer verkürzten (Peri-) Kardioide, welches Bogenstück sich sehr gut zu dem vorliegenden Zwecke eignet, und durch Führung eines Bleistiftes in S' unmittelbar fest und kräftig auf das Modellbrett aufgerissen werden kann.

Für das Entwerfen auf dem gewöhnlichen Zeichenbrett ist es sehr bequem, die Kurve nach 2) oder 3) zu bestimmen und sie darauf mit Hilfe einer angelegten dünnen Ruthe nach 4) zu ziehen.

§. 143.

Hölzerne Achsen.

Die Wasserräder erhalten noch vielfach Achsen aus Eichenholz, denen man ein regelmässiges Vieleck zum Querschnitt gibt. Sie werden bis auf die, durch die anzuwendende Zapfenverbindung (siehe §. 102) vorgeschriebenen Schenkelenden prismatisch und demnach so dick gemacht, wie die stärkst beanspruchte Stelle es verlangt. Man findet für die Eichenholz-Achse die Dicke, indem

man für die gleichbelastete gusseiserne Achse die Achsenkopfdicke aufsucht (siehe §. 130 ff.) und diese mit 1,55 (d. i. mit der $\sqrt[3]{\frac{1}{2}}$ aus dem Verhältniss der Tragmodel 7,5 für Gusseisen, 2 für Holz) multipliziert. Der so erhaltene Durchmesser kann für einzelne Fälle zu klein ausfallen, wenn nämlich etwa die Arme in den Achsenkörper eingesteckt, überhaupt der Baum verschwächt werden muss, reicht aber bei Belastung des vollen Querschnittes aus. Fällt er kleiner aus, als es die Zapfenverbindung, siehe §. 102, verlangt, so ist der von dieser geforderte Durchmesser des Achsenchenkels für die ganze Achse maassgebend. Die Wahl zwischen eisernen und hölzernen Wasserradachsen muss sich nach lokalen Preisen und Verhältnissen richten.

Beispiel. Eine Wasserradachse von 2700 mm Schenkellänge sei so belastet, dass sie gusseiserne Zapfen von 90 mm Dicke und danach von 135 mm Länge erhalten müsse. Gemäss §. 130 ist dann die Achsenkopfdicke zu nehmen: $D = 90 \cdot \sqrt[3]{2700 : 68} \sim 90 \cdot \sqrt[3]{40} = 308 \text{ mm}$. Bei der Ausführung in Holz ist daher mindestens zu machen: $D' = 1,55 \cdot 308 = 477 \text{ mm}$.

Neuntes Kapitel.

W E L L E N.

§. 144.

Berechnungsart der cylindrischen Wellen.

Der Maschinenbau versteht unter Wellen diejenigen Achsen, welche verdrehende Kraftmomente zu übertragen bestimmt sind. Dieselben müssen für diesen Zweck solche Abmessungen erhalten, dass sie 1) fest genug sind, und dass sie 2) durch die verdrehende Kraft nicht zu stark verwunden werden. In der Regel erfahren die Wellen ausser der Beanspruchung auf Drehung auch noch solche auf Biegung durch die Gewichte und Pressungen der auf ihnen sitzenden Räder, Rollen, Hebel u. s. w. Vorerst soll indessen hierauf keine Rücksicht genommen und auch nur für die vollen cylindrischen schmied- und gusseisernen Wellen die Berechnungsart angegeben werden.