Die Ingenieur-Mathematik in elementarer Behandlung

Enthaltend die statischen Momente und Schwerpunktslagen, die Trägheits- und Centrifugalmomente für die wichtigsten Querschnittsformen und Körper der technischen Mechanik in rechnender und graphischer Behandlung unter Berücksichtigung der Methoden von Nehls, Mohr, Culmann, Land und Reye

Holzmüller, Gustav

Leipzig, 1897

B. Bemerkungen und numerische Beispiele.

urn:nbn:de:hbz:466:1-76845

$$h_s = \frac{\frac{4a_1}{3\pi} \cdot \frac{a_1 b_1 \pi}{2} - \frac{4a_2}{3\pi} \frac{a_2 b_2 \pi}{2}}{\frac{a_1 b_1 \pi}{2} - \frac{a_2 b_2 \pi}{2}} = \frac{4}{3\pi} \frac{a_1^2 b_1 - a_2^2 b_2}{a_1 b_1 - a_2 b_2}.$$

In Bezug auf AB ist

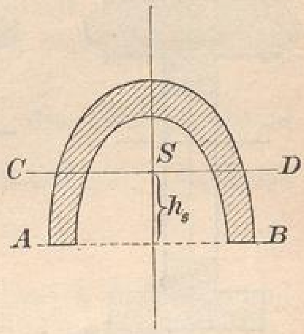
$$T = \frac{\pi}{8}\left(a_1^3 b_1 - a_2^3 b_2^3\right),$$

folglich in Bezug auf die Schwerpunktsachsen

$$T_1 = \frac{\pi}{8}\left(a_1^3 b_1 - a_2^3 b_2\right) - h_s^2 \cdot \frac{\pi}{2}\left(a_1 b_1 - a_2 b_2\right),$$

$$T_2 = \frac{\pi}{8}\left(a_1 b_1^3 - a_2 b_2^3\right); \quad T_p = T_1 + T_2.$$

Fig. 86a.



Auch der schräge (unsymmetrische) Halbring läſst sich im Anschluſs an Nr. 76) behandeln.

B. Bemerkungen und numerische Beispiele.

79) Eine groſse Anzahl weiterer Übungsbeispiele über die Querschnittsformen des praktischen Maschinenbaues lieſse sich hier anschlieſsen. Einige sind durch Zeichnungen angedeutet. Figur 86b, c, d, e. — In der Regel beschränkt sich aber die Praxis auf die behandelten rein schematisch aufzufassenden Formen.

Fig. 86b.

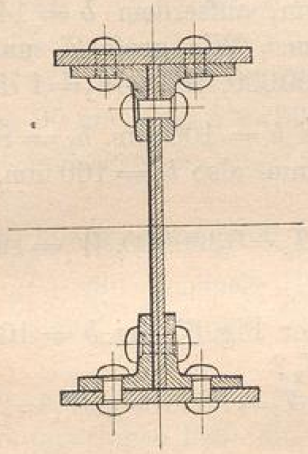
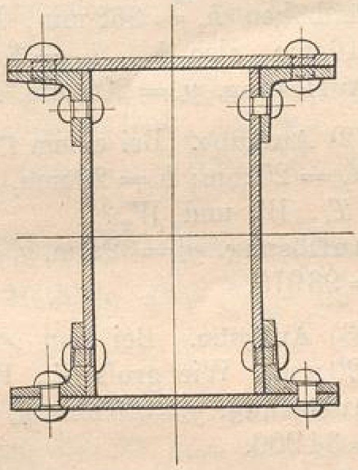


Fig. 86c.



Sind die Querschnitte nicht einheitlich, sondern in ihren Teilen durch Nieten mit einander verbunden, so ist darauf zu achten, daſs mindestens der Einfluſs der Nietlöcher berücksichtigt werden muſs. An einigen der Zeichnungen ist dies angedeutet. Bei Gurtungen, die groſse Entfernungen von der neutralen Achse haben, kann der

Einflufs sehr grofs werden. Die Nieten werden in möglichst geringer Zahl in denselben Querschnitt gelegt, damit die Festigkeit nicht zu stark vermindert werde. In den Zeichnungen ist dies durch Schraffierung angedeutet.

Fig. 86 d.

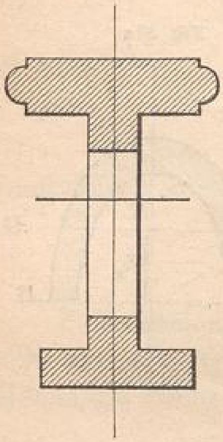
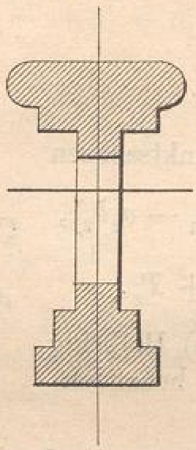


Fig. 86 e.



Die nachstehenden Übungsaufgaben sollen nicht etwa die Festigkeitslehre ersetzen, sondern sie setzen diese voraus. Es soll nur gezeigt werden, wie mannigfaltig die Anwendung der bisher erläuterten Begriffe ist. Die Mafse sind in Millimetern gegeben. Neuerdings wird auch mit Centimetern gerechnet.

80) **Aufgabe.** Bei einem T-Träger sei $h_1 = 160$ mm, $h_2 = 20$ mm, $b_1 = 20$ mm, $b_2 = 100$ mm. Wie grofs ist das wichtigste Trägheitsmoment und wie grofs sind die Widerstandsmomente (oder Querschnittsmoduln)?

Auflösung. $y_s' = 115$ mm, also $y_s'' = 65$ mm, $T_s = 17\,040\,000$, $W_1 = \frac{T_s}{y_s'} = 262\,200$, $W_2 = \frac{T_s}{y_s''} = 148\,200$.

81) **Aufgabe.** Bei einem I-Träger sei die Gesamthöhe $h = 400$ mm, die Teilhöhen $h_1 = 368$ mm, $h_2 = 16$ mm, aufserdem $b = 140$ mm, $b_2 = 16$ mm, also $b - b_2 = b_1 = 124$ mm. Wie grofs T_s und W?

Auflösung. $y_s = 200$ mm, $T_s = 231\,690\,000$, $W_1 = W_2 = 1\,158\,000$.

82) **Aufgabe.** Bei einem ⊓-Eisen sei $h = 100$ mm, $h_1 \doteq 80$ mm, also $h_2 = 20$ mm; $b = 20$ mm, $b_1 = 200$ mm, also $b_2 = 160$ mm. Wie grofs T_s, W_1 und W_2?

Auflösung. $y_s' = 32$ mm, $y_s'' = 68$ mm, $T_s = 6\,390\,000$, $W_1 = 197\,000$, $W_2 = 93\,970$.

83) **Aufgabe.** Bei dem ⋀-Eisen der Fig. 65 sei $b = 100$ mm, $b_2 = 20$ mm. Wie grofs T_s, W_1 und W_2?

Auflösung. $y_s' = 46$ mm, $y_s'' = 39$ mm, $T_s = 1\,360\,000$, $W_1 = 29\,600$, $W_2 = 34\,900$.

84) **Aufgabe.** Eine schmiedeeiserne Achse von 2 m Länge soll bei einer zulässigen Spannung von 5 kg eine Last von 20 000 kg in der Mitte tragen. Wie stark ist sie bei kreisförmigem Querschnitt zu nehmen?

Die Festigkeitslehre giebt die elementar abzuleitende Gleichung $\frac{P}{2} \cdot \frac{l}{2} = W \cdot S$. Daraus folgt $\frac{Pl}{4} = \frac{\pi d^3}{32} S$, also

$$d = \sqrt[3]{\frac{8Pl}{\pi S}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 20000 \cdot 2000}{\pi \cdot 5}} = \sim 274 \text{ mm.}$$

85) **Aufgabe.** Ein I-Träger von den Dimensionen $h = 400$ mm, $h_2 = 30$ mm, also $h_1 = 340$ mm, $b = 200$ mm, $b_2 = 25$ mm, also $b_1 = b - b_2 = 175$ mm, habe 6 m Länge. Wie stark darf er, zweifach frei aufliegend, in der Mitte belastet werden, wenn die zulässige Spannung 7,5 kg betragen darf?

Auflösung. Die Festigkeitslehre giebt die Traggleichung $P = \frac{4SW}{l}$, und zwar ist $W = \frac{bh^3 - b_1 h_1^3}{6h} = 2\,468\,000$. Es folgt $P = \backsim 12\,340$ kg.

86) **Aufgabe.** Eine schmiedeiserne Achse von 2 m Länge und 274 mm Durchmesser sei bis zur Hälfte des Radius ausgebohrt. Wie stark darf sie bei 5 kg zulässiger Spannung belastet werden?

Auflösung. Zunächst ist $W = \frac{\pi(d^4 - d_1^4)}{32d} = 1\,890\,000$. $P = \frac{4WS}{l}$ giebt 18 900 kg.

87) **Bemerkung.** Bei gleichmäfsiger Belastung über die ganze Länge gilt für den frei aufliegenden Träger die Formel $P = \frac{8SW}{l}$. Der Krümmungsradius des Trägers wird an jeder Stelle berechnet aus $\varrho = \frac{TE}{M} = \frac{aE}{S}$, wo T das Trägheitsmoment, E der Elastizitätsmodul des Materials, M das biegende Moment ist.

Hat z. B. ein schmiedeiserner Freiträger rechteckigen Querschnitts von $b = 50$ mm und $h = 90$ mm am freien Ende die dem Tragmodul entsprechende Probelastung ($S = 15$ kg), so ist $\varrho = \frac{45 \cdot 20000}{15} = 60000$ mm $= 60$ m.

Für die Strebfestigkeit giebt die elementare Annäherungsmethode $P = \frac{2JE}{l^2}$, die genauere Eulersche Methode $P = \frac{\pi^2}{4}\frac{JE}{l^2}$ für den sogenannten ersten Fall.

88) **Aufgabe.** Der Querschnitt einer hohlen Säule mit vier Verstärkungsrippen habe die Dimensionen $d = 200$ mm, $d_1 = 160$ mm, also Wandstärke $\delta = 20$ mm, ferner sei für die Rippen $b = 20$ mm, $h = 60$ mm. Wie grofs ist das Trägheitsmoment T?

Auflösung.

$$T = \frac{\pi}{64}(200^4 - 160^4) + \frac{20}{12}\left[(200 + 120)^3 - 200^3\right] + \frac{120}{12} \cdot 20^3$$
$$= 87\,731\,000.$$

89) **Aufgabe.** Ein Schleifstein habe den Radius $r = 1$ m und das Gewicht 1000 kg. Wieviel Drehungsenergie besitzt er bei 1, 2, 3 Umdrehungen in der Sekunde?

Auflösung. Bei einer Umdrehung in der Sekunde ist die Energie

$$E_1 = m\frac{r^2}{2}\frac{\vartheta^2}{2} = \frac{1000}{9{,}81}\frac{1^2}{2}\frac{4\pi^2}{2} = 1006 \text{ mkg},$$

bei 2 Umdrehungen

$$E_2 = 4 \cdot 1006 = 4024 \text{ mkg},$$

bei 3 Umdrehungen

$$E_3 = 9 \cdot 1006 = 9054 \text{ mkg}.$$

90) **Aufgabe.** Ein Schwungring wiege 20 000 kg und habe die Radien $r = 4$ m und $r_1 = 3{,}6$ m bei einfach rechteckigem Querschnitt. Wie grofs ist seine Drehungswucht (Energie) bei 1, 2, 3 Umdrehungen in der Sekunde?

Auflösung.

$$T = \frac{m \,.\, (r^2 + r_1^2)}{2},$$

folglich

$$E_1 = \frac{m(r^2 + r_1^2)}{2}\frac{4\pi^2}{2} = \frac{20\,000}{9{,}81} \cdot \frac{4^2 + 3{,}6^2}{2} \cdot \frac{4\pi^2}{2} = 582\,720 \text{ mkg},$$

demnach

$$E_2 = 4 \cdot 582\,720 = 2\,330\,880 \text{ mkg}, \quad E_3 = 9 \cdot 582\,720 = 5\,244\,480 \text{ mkg}.$$

91) **Aufgabe.** Ein Schwungring habe die Radien $r = 3$ m und $r_1 = 2{,}8$ m und das Gewicht 10 000 kg. Jeder der sechs Radarme wiege 300 kg, je zwei davon mögen als ein Rechteck von der Diagonale $d = 2\,r_1$ betrachtet werden. Wie grofs ist die Drehungswucht bei 1, 2, 3 Umdrehungen in der Sekunde?

Auflösung.

$$T = \frac{m_1(r^2 + r_1^2)}{2} + 3 \cdot 600 \cdot \frac{m_2}{12}(2r_1)^2,$$

wo

$$m_1 = \frac{10\,000}{9{,}81}, \quad m_2 = \frac{600}{9{,}81}$$

ist. Es wird

$$E_1 = 26\,400 \text{ mkg}, \quad E_2 = 105\,600 \text{ mkg}, \quad E_3 = 237\,600 \text{ mkg}.$$

92) **Bemerkung.** Wirken an einer irgendwie gestalteten Scheibe drehende Kräfte $p_1, p_2, p_3 \ldots$ an den Radien $\varrho_1, \varrho_2, \varrho_3, \ldots$ und ist T das gesamte Trägheitsmoment, so wird die dem Radius 1 entsprechende Winkelbeschleunigung

$$\gamma = \frac{\Sigma p \varrho}{T}$$

und die Bewegungsformeln, die den drei Fallformeln entsprechen, werden

$$\vartheta = \gamma t, \quad \widehat{w} = \tfrac{1}{2}\gamma t^2, \quad \vartheta = \sqrt{2\gamma \widehat{w}}.$$

93) **Aufgabe.** Um die Achse einer Kreisscheibe sei ein Faden geschlungen, der am freien Ende festgehalten werde, so dass die Scheibe nur drehend fallen kann. Wie schnell fällt sie und wie grofs ist die Fadenspannung?

Auflösung. Arbeit der Schwerkraft gleich der Energiesumme aus der fortschreitenden und drehenden Bewegung, also

$$m\frac{v^2}{2} + T\frac{\vartheta^2}{2} = ph.$$

Die Drehungsgeschwindigkeit am Achsenradius ϱ ist gleich der Fallgeschwindigkeit v, folglich ist die erstere, am Radius 1 gemessen, $\vartheta = \frac{v}{\varrho}$, also wird

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{T}{2}\frac{v^2}{\varrho^2} = ph,$$

die dritte Fallformel wird also

$$v = \sqrt{2\left(\frac{m\varrho^2}{m\varrho^2 + T}g\right)h},$$

so dafs, wie aus $v = \sqrt{2g_1 h}$ folgt, die Beschleunigung des Falles wird

$$g_1 = \frac{m\varrho^2}{m\varrho^2 + T}g.$$

Die Fadenspannung wird gleich $g - g_1$.

94) **Aufgabe.** Eine Kreisscheibe werde mit den Achsenenden auf zwei schräge Leisten gelegt und rolle so, ohne zu gleiten, auf schiefer Ebene herab. Welcher Art ist die Bewegung?

Auflösung. Wie vorher wird

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{mr^2}{2}\frac{v^2}{2\varrho^2} = mgh$$

oder

$$\frac{v^2}{2}\frac{2\varrho^2 + r^2}{2\varrho^2} = gh,$$

also

$$v = \sqrt{2\left(\frac{2\varrho^2}{r^2 + 2\varrho^2}g\right)h} = \sqrt{2\left(\frac{2\varrho^2}{r^2 + 2\varrho^2}g \sin\alpha\right)l},$$

wo l die Länge, α den Neigungswinkel der schiefen Ebene bedeutet. Die fortschreitende Bewegung hat also die Beschleunigung

$$g_1 = \frac{2\,\varrho^2 \sin\alpha}{r^2 + 2\,\varrho^2}\,g.$$

95) **Aufgabe.** Eine Rechtecksscheibe schwinge als Pendel um eine senkrecht auf ihr stehende, durch den obersten Punkt der Mittellinie gehende Achse. Wie grofs ist die Schwingungsdauer?

Auflösung. Für ein mathematisches Pendel ist $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, hier ist $l = \frac{T_A}{M_A}$, wo T_A das polare Trägheitsmoment in Bezug auf den Drehungspunkt A, M_A das statische Moment in Bezug auf diesen Punkt bedeutet, also

$$l = \frac{m\frac{d^2}{12} + m\left(\frac{h}{2}\right)^2}{m\frac{h}{2}} = \frac{d^2 + 3h^2}{6h},$$

wo d die Diagonale des Rechtecks ist. Also wird

$$t = \pi\sqrt{\frac{d^2 + 3h^2}{6gh}}.$$

96) **Aufgabe.** Ein Pendel bestehe aus einer Scheibe vom Radius r und dem Gewicht p_1 und einer Stange von der Länge l und dem Gewicht p_2. Wie schwingt es?

Auflösung. Wird die Stange als Rechtecksscheibe betrachtet, so ist für sie in Bezug auf den obersten Punkt

$$T_2 = \frac{m_2 d^2}{12} + m_2\left(\frac{h}{2}\right)^2.$$

Ist das Rechteck sehr schmal, so ist $d = h$ zu setzen und man erhält

$$T_2 = \frac{m_2 h^2}{12} + m_2\frac{h^2}{4} = m_2\frac{h^2}{3} = m_2\frac{l^2}{3}.$$

Für die Scheibe ist

$$T_1 = \frac{m_1 r^2}{2} + m_1(r + l)^2 = \frac{m_1}{2}[r^2 + 2(r + l)^2].$$

Das gesamte Trägheitsmoment also wird

$$\frac{m_1}{2}[r^2 + 2(r + l)^2] + m_2\frac{l^2}{3}.$$

Das statische Moment wird $m_1(r + l) + m_2 \cdot \frac{l}{2}$, folglich ist die reducierte Pendellänge

$$l = \frac{T}{M} = \frac{\frac{m_1}{2}[r^2 + 2(r+l)^2] + m_2 \frac{l^2}{3}}{m_1(r+l) + m_2 \frac{l}{3}} = \frac{3\, p_1 [r^2 + 2(r+l)^2] + 2\, m_2 l^2}{3[2\, m_1 (r+l) + m_2 l]}.$$

Dies ist in $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ einzusetzen.

97) **Aufgabe.** Eine kurze cylindrische Triebwelle soll bei zulässiger Schubspannung S ein Moment $P \cdot R$ (in Kilogrammen und Millimetern) übertragen. Wie stark ist sie zu nehmen?

Auflösung. Die Festigkeit giebt die Traggleichung $PR = S\, W_p$, wo $W_p = \frac{1}{r} T_p$ ist. Also:

$$PR = S \cdot \frac{\pi d^4}{32} \cdot \frac{2}{d} = \frac{S \pi d^3}{16}.$$

Demnach mufs werden

$$d = \sqrt[3]{\frac{16\, PR}{\pi S}}.$$

Beispiel. Sind 10 000 kg am Kurbelradius 500 mm wirkend zu übertragen, und ist 6 kg pro qmm die zulässige Spannung, so wird $d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 10\,000 \cdot 500}{\pi \cdot 6}} = \sim 162$ mm. Läfst man nur 4 kg Spannung zu, so wird $d = 204$ mm.

98) **Bemerkung.** Die Kraft P wirke stets am Radius R, dann ist die Leistung bei einer Umdrehung $2 R \pi P$ in Millimeter-Kilogrammen, bei n minutlichen Umdrehungen hat man das n-fache, also auf die Sekunde reduciert die Arbeit $\frac{n \cdot 2 R \pi P}{60}$. Dividiert man durch 75 000, so hat man die Leistung in Pferdestärken. Ist die Anzahl der letzteren N, so ist also $N = \frac{2 R \pi P n}{60 \cdot 75\,000}$, also

$$PR = 716\,200 \frac{N}{n}.$$

Setzt man dies in die letzte Formel ein, so folgt als Wellenstärke

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 716\,200}{\pi S} \frac{N}{n}}.$$

99) **Aufgabe.** Eine kurze schmiedeiserne Welle soll 200 Pferdestärken bei 120 Touren übertragen. Wie stark mufs sie genommen werden, wenn 6 kg Spannung zugelassen werden?

Auflösung.

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 716\,200}{\pi \cdot 6} \cdot \frac{200}{120}} = \sim 100 \text{ mm}.$$

100) **Aufgabe.** Die Panzerfregatte „König Wilhelm“ hat eine Maschine von 8325 indicierten Pferdestärken bei 63,86 Touren. Wie stark müſste die schmiedeiserne Schraubenwelle zu nehmen sein bei 6 kg zulässiger Spannung?

Auflösung.

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 716\,200}{\pi \cdot 6} \cdot \frac{8325}{63{,}86}} = \sim 430 \text{ mm.}$$

Der Erbauer hat 457 mm genommen.

101) **Bemerkung.** Die Lehre von der Drehungsfestigkeit zeigt elementar, daſs die Verdrehung in Graden

$$\vartheta = \frac{360\, l S}{d \pi G}$$

wird, wenn l die Länge der Welle in Millimetern, S die Randspannung, d der Durchmesser und G der sogenannte Gleitungsmodul $\left(\frac{2}{5}\right.$ des Elasticitätsmoduls$\left.\right)$ ist. Nach Nr. 97) ist aber $S = \frac{16\, PR}{\pi d^3}$, setzt man dies in die vorige Gleichung ein, so wird

$$\vartheta = \frac{360 l\, 16\, PR}{d^4 \pi^2 G}, \quad \text{also} \quad d = \sqrt[4]{\frac{360 l\, 16\, PR}{\vartheta \pi^2 G}},$$

oder, wenn man die Tourenzahl und die Zahl der Pferdestärken einsetzt,

$$\vartheta = \frac{360 l\, 16 \cdot 716\,200}{d^4 \pi^2 G} \frac{N}{n}, \quad \text{also} \quad d = \sqrt[4]{\frac{360 l\, 16 \cdot 716\,200}{\vartheta \pi^2 G} \frac{N}{n}}.$$

Setzt man nun fest, daſs die Verdrehung einer längeren Transmissionswelle höchstens $\frac{1}{4}$ Grad auf das laufende Meter betragen soll, so ist für ϑ der Werth $\frac{1}{4}$, für l der Wert 1000 einzusetzen. Dann folgt als nötige Wellenstärke

$$d = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 360 \cdot 1000 \cdot 16\, PR}{\pi^2 G}},$$

oder, wenn Pferdestärken und Tourenzahlen eingesetzt werden,

$$d = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 360 \cdot 1000 \cdot 16 \cdot 716\,200}{\pi^2 G} \cdot \frac{N}{n}}.$$

102) **Aufgabe.** Eine schmiedeiserne Welle habe 5 m Länge und 120 mm Dicke, die Randspannung sei 6 kg. Um wieviel Grad verdreht sie sich dabei, und um wieviel auf das laufende Meter? ($G = 8000$ zu setzen.)

Auflösung.

$$\vartheta = \frac{360\, l S}{d \pi G} = \frac{360 \cdot 5000 \cdot 6}{120 \cdot \pi \cdot 8000} = \sim 3{,}58^0,$$

also um $0{,}716^0$ auf das laufende Meter.

103) **Aufgabe.** Eine schmiedeiserne Welle von 4 m Länge soll eine Kraft von 5000 kg am Radius 500 mm übertragen. Ihre Dicke sei 150 mm. Um wieviel Grad verdreht sie sich?

Auflösung.

$$\vartheta = \frac{360\, l\, 16\, P R}{d^4 \pi^2 G} = \frac{360 \cdot 4000 \cdot 16 \cdot 5000 \cdot 500}{150^4 \cdot \pi^2 \cdot 8000} = 1{,}44^0,$$

also um $0{,}36^0$ auf das laufende Meter.

104) **Aufgabe.** Eine schmiedeiserne Welle übertrage bei einer Länge von 3 m und einer Dicke von 200 mm 300 Pferdestärken bei 100 Touren. Um wieviel verdreht sie sich?

Auflösung.

$$\vartheta = \frac{360\, l\, 16 \cdot 716\,200}{d^4 \pi^2 G} \frac{N}{n} = \frac{360 \cdot 3000 \cdot 16 \cdot 716\,200 \cdot 300}{200^4 \cdot \pi^2 \cdot 8000} = 0{,}3^0,$$

also $0{,}1^0$ auf das laufende Meter.

105) **Aufgabe.** Eine schmiedeiserne Transmissionswelle soll bei $\frac{1}{4}$ Grad Verdrehung auf das laufende Meter 10 000 kg am Kurbelradius 500 mm übertragen. Wie stark ist sie zu nehmen?

Auflösung.

$$d = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 360 \cdot 1000 \cdot 16 \cdot 10000 \cdot 500}{\pi^2 \cdot 8000}} = \sim 195 \text{ mm}.$$

106) **Aufgabe.** Eine Schiffsschraubenwelle soll 10 000 Pferdestärken bei 70 Touren übertragen. Wie stark fällt sie aus bei der Berechnung auf Verdrehung $\frac{1}{4}$ Grad auf das laufende Meter? Wie stark bei Festigkeitsberechnung und 6 kg zulässiger Spannung?

Auflösung.

$$d = 415{,}6 \text{ mm bezw. } 442{,}85 \text{ mm}.$$

Letzteres ist zu wählen.

107) Bezüglich der Wellen von nicht kreisförmigem Querschnitt sei darauf hingedeutet, dafs man die polaren Trägheitsmomente, wie St. Venant bewiesen hat, nicht ohne weiteres anwenden darf. Der Grund liegt darin, dafs die Querschnitte bei der Verdrehung nicht

eben bleiben, was beim Kreisquerschnitt unter gewissen Voraussetzungen als richtig angenommen werden darf. Dagegen behalten die polaren Trägheitsmomente für andere dynamische Fragen ihre Bedeutung vollkommen bei.

108) Bezüglich der Biegungsfestigkeit sei noch hingewiesen auf die Zapfenberechnungen, auf die Profilbestimmung für Körper von überall gleicher Biegungsfestigkeit, z. B. auf die Kernkörper der Balanciers, Krummzapfen, Flügelachsen, Konsolen und dgl., auf die Formengebung der Haken, auf die Querschnitte gleicher Festigkeit für Gufseisen und anderes Material, bei dem die Tragmoduln für Zug und Druck verschieden sind. Auch hinsichtlich der Strebfestigkeit treten Profilbestimmungen entsprechender Art auf. Dies alles findet sich in den besseren Lehrbüchern über Festigkeit und Elasticität.

Es empfiehlt sich, für die gebräuchlichsten Querschnitte eine Tabelle anzufertigen, in der für jeden der Flächeninhalt, die Schwerpunktslage, das Trägheitsmoment, das Widerstandsmoment u. s. w. anzugeben sind. Jede Formel ist dabei möglichst weit auszurechnen, so dafs z. B. in $\frac{4}{3\pi}r$, $\frac{\pi}{32}d^4$, $\frac{11+8\sqrt{2}}{12}b^4$ die Faktoren von r, d^4 und b^4 durch die entsprechenden Zahlen ersetzt werden. Dabei genügt eine Genauigkeit auf drei Stellen für das praktische Bedürfnis vollkommen.

Reiches Übungsmaterial nebst Resultaten findet man in den Katalogen der Hüttenwerke und in den Tabellen einiger Lehrbücher der Festigkeitslehre.