

1. *Beispiel.* Eine Krankette von 2700 k Belastung wirkt an einer Kettentrommel von 185 mm (gemessen bis zur Kettenmitte); wie dick ist die schmiedeiserne Achse der Trommel wegen der zu übertragenden Torsion zu nehmen? Hier ist $PR = 2700 \cdot 185 = 499\,500$, und deshalb, da hier nur die Festigkeit zu berücksichtigen ist, gemäss Spalte 2, Zeile 10 zu nehmen: $d = 75$ mm, welche Abmessung der Biegungsbelastung wegen noch um etwas zu erhöhen sein wird (vergl. §. 152).

2. *Beispiel.* Eine Turbine überträgt 92 Pferdestärken mittelst einer liegenden schmiedeisernen Welle von 114 minutlichen Umdrehungen und einer Länge von 2,6 m; die der Welle zu gebende Dicke wird gesucht. Hier ist $N : n = 92 : 114 = 0,807$. Dies gäbe bei blosser Rücksicht auf die Festigkeit nach Spalte 3, Zeile 10 bis 11 die Dicke $d =$ nahe 78 mm. Will man aber die Verwindung auf $\frac{1}{4}^\circ$ pro Meter, also im Ganzen auf $2,6 : 4 = 0,65^\circ$ einschränken, so hat man gemäss Spalte 5, Zeile 16 bis 17 $d = 115$ mm zu nehmen. Eine Ausführung*) für ganz ähnliche Urangaben zeigt $d = 135$ mm, sodass daselbst eine noch kleinere Verwindung vorgehen ist, wobei übrigens auch den biegenden Belastungen Rechnung getragen sein mag. Jedenfalls aber wäre bei $d = 115$ die Festigkeit schon $(115 : 78)^3$ d. i. 3,18 mal höher, als im ersten Falle.

§. 146.

Triebwerkwellen.

Bei der vorstehenden Berechnung der Wellendicken werden die etwa auftretenden biegenden Kräfte unberücksichtigt gelassen. In der That aber fehlen dieselben selten, nämlich nur dann, wenn reine Kräftepaare das verdrehende Moment liefern. Die Wellen der Fabriktriebwerke sind in den meisten Fällen biegenden Kräften durch Riemenspannungen, Zahnräderpressungen und -Gewichte ausgesetzt, deren genaue Inbetrachtziehung zu einer sehr verwickelten Berechnung führen würde; ausserdem aber ist es bei diesen Wellen praktisch, lange Stränge mit unveränderter Wellendicke auszuführen, um die Riemscheiben, mit welchen die Kräfte ausgeleitet werden, beliebig versetzen zu können. Man kommt in diesen Fällen zu einem ganz brauchbaren Resultate, wenn man einen solchen Wellenstrang nach der Verdrehungsformel (133) oder (134) berechnet. Wie wir sahen, ist dann die Festigkeit der Welle gelegentlich sehr hoch, sodass die verhältnissmässig geringen obengenannten biegenden Kräfte unbedenklich vernachlässigt werden können. Damit die Wellen dünn ausfallen, nimmt man n hoch

*) In der Spinnerei-Anlage in Oberursel.

an, und ist mit dieser Zahl von 60 und 80 gestiegen bis zu 120, 140, ja 200 und darüber, je nachdem die zu treibenden Maschinen schnell laufen. Die stehenden Triebwellen oder Königsbäume lässt man meistens langsamer laufen, als die kraftabgebenden liegenden Wellen, gibt ihnen auch eine der Kraftabgabe entsprechende Verdünnung von Stockwerk zu Stockwerk. Solche Königswellen finden sich noch manchmal aus Gusseisen hergestellt; auch gilt dies von langen liegenden Leitungen, welche unterwegs keine Kraft abgeben.

Die Praxis ist in der Wahl der Wellendicken nicht konsequent. Wellen, an deren Tüchtigkeit sehr viel gelegen ist, finden sich mit hohen Spannungen im Gebrauch, so z. B. die der Lokomotiven, wo Spannungen bis zu 9 und 10 kg in den schmiedeisernen Kurbelachsen vorkommen; Schraubenwellen der Dampfschiffe werden mit 5 bis 6 kg Spannung gebraucht. Daneben wird wieder bei manchen Triebwerkwellen eine ganz geringe Spannung — wohl sehr häufig in Berücksichtigung der Verdrehung — angewandt, namentlich in England, während andere Triebwerke grosse Verdrehungen, d. h. verhältnissmässig dünne Wellen besitzen. Die Erörterung solcher Fälle wird durch den Uebelstand erschwert, dass die Kraftangaben selten genau zu erhalten sind, indem aus der Zahl der „nominellen“ Pferdestärken, welche eine Welle überträgt, so gut wie gar kein Schluss auf die wirkliche Arbeitstärke zu ziehen ist. Bei Anwendung der obigen Verdrehungsformel für die Triebwerkwellen, und kleiner Erhöhung der erhaltenen Resultate bei sehr langen Wellensträngen kommt man auf mittlere Werthe, welche mit vielen Ausführungen eine gute Uebereinstimmung zeigen.

Einige Beispiele sollen das Gesagte erläutern; es mögen dann die vorstehenden Bemerkungen zusammen mit denen des folgenden Paragraphen dem Konstruirenden als Anhalt dienen.

1. *Beispiel.* Die Schraubenwelle eines grossen Kriegsdampfers von Indret wird durch zwei Dampfkolben von je 80 000 kg Druck an rechtwinklig stehenden Kurbeln von 550 mm Armlänge umgetrieben. Sie ist aus Schmiedeisen hergestellt und hat zwischen Krummachse und Schiffsschraube eine Länge von 22 m bei 380 mm Dicke. Berechnet man sie unter blosser Berücksichtigung der Festigkeit, so wäre nach Formel (133) zu nehmen, da $P R = 2 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 80\,000 \cdot 550 \sim 62216\,000 \text{ kg} \times \text{mm}$ ist: $d = 0,95 \sqrt[3]{62\,216\,000} = 376,4$, was einer Maximalspannung von 6 kg am Wellenumfang entspräche, und sehr nahe mit der Ausführung stimmt. Die Maximalspannung der Welle berechnet sich zu 5,77. Wollte man $\frac{1}{4}^{\circ}$ Verdrehung auf den Meter, also im Ganzen $\frac{22}{4}^{\circ}$ gestatten, so hätte man nach (133) zu nehmen

gehabt $d = 4,13 \sqrt[3]{62 \cdot 216 \cdot 000} = 367 \text{ mm}$, was weniger ist, als die Rücksicht auf die Festigkeit fordert. Man hat also hier eine etwas kleinere Verwindung als $5\frac{1}{2}^0$ zu gewärtigen, wovon weiter unten mehr.

2. Beispiel. In der Spinnerei von Saltair überträgt eine gusseiserne stehende Königswelle bei 92 minutlichen Umdrehungen 300 PS; sie hat 10 Zoll engl. oder 254 mm Durchmesser. Wir würden derselben nach der Verdrehungsformel (134) die Dicke $d = 143 \sqrt[3]{300 : 92} = 192,2 \text{ mm}$ geben, während die Ausführung das $\frac{4}{5}$ fache zeigt. In ähnlicher Weise schwer sind die übrigen Wellen derselben Fabrik gehalten.

3. Beispiel. In dem Walzwerk am Rheinfall überträgt eine schmiedeiserne 68 m lange Welle 120 PS von einer Turbine zu den Walzenstrassen. Die Umlaufzahl ist 95, der Effektquotient $N : n$ also $= 120 : 95 = 1,263$. Wegen der Verdrehung würden wir nach Spalte 5, Zeile 17 bis 18 $d = 126 \text{ mm}$, bei blosser Berücksichtigung der Festigkeit nach Spalte 3, Zeile 13 bis 14 $d \sim 92 \text{ mm}$ nehmen. Die Ausführung zeigt $d = 96 \text{ mm}$ in den, 32 an der Zahl betragenden Wellenhälsen, und 100 mm in den Schäften. Die eintretende Spannung berechnet sich zu 5,2 kg für die Lagerhülse und 4,6 kg für die Schäfte. Der Erbauer der Saltairmühle*) würde wenigstens etwa 200 mm Wellendicke angewandt, d. h. die Welle Smal so fest konstruirt haben, als geschehen ist.

4. Beispiel. In der Spinnerei in Logelbach überträgt eine gusseiserne 210 mm dicke Welle bei 27 minutlichen Umdrehungen 140 PS (mit dem Zaum gemessen). Der Effektquotient $N : n$ ist $140 : 27 = 5,19$. Suchen wir bei dem doppelten Werthe in unserer Tabelle nach, da es sich um eine gusseiserne Welle handelt, so finden wir gemäss Spalte 5, Zeile 25 bis 26, d zwischen 200 und 220; eine genauere Rechnung ergibt $d = 215 \text{ mm}$, was sehr nahe mit der Ausführung stimmt. Die blosser Berücksichtigung der Festigkeit hätte gemäss Spalte 3, Zeile 23 bis 24 $d \sim 185 \text{ mm}$ ergeben.

5. Beispiel. Dieselbe Anlage hat an einer anderen Stelle eine 25,5 m lange gusseiserne Wellenleitung, welche 270 PS (mit dem Zaume gemessen) bei 50 minutlichen Umdrehungen überträgt, also den Effektquotienten 5,4 besitzt. Die Wellenhülse haben 175 mm Durchmesser, im Schaft ist der Querschnitt von der in Fig. 416 angegebenen Form und das Profil etwas geschwellt; man kann ihn annähernd durch einen cylindrischen Schaft von 215 mm Dicke ersetzt denken, der dann ungefähr die Festigkeit des ausgeführten besitzen würde. Unsere Tabelle würde für die Wellenhülse, wenn man sie nur mit genügender Festigkeit versehen wollte, gemäss Spalte 3, Zeile 23 bis 24 (beim doppelten Werth von $N : n$ wegen des Materials Gusseisen) 180 bis 190, genauer 187 mm Dicke, also mehr als die Ausführung zeigt, ergeben. Dem wirklich angewandten Durchmesser 175 entspricht eine Spannung $\mathcal{S} = 3,67 \text{ kg}$. Für den Schaft würden wir ohne Frage, da die Welle sehr lang ist, die Rechnung auf Verdrehung beziehen, demgemäss in Spalte 5 bei $N : n = 2 \cdot 5,4 = 10,8$ zu suchen haben. Wir

*) Fairbairn, der in ähnlichen Fällen die Formel $d = 160 \sqrt[3]{N : n}$ angewandt wissen will und benutzt hat.

finden d zwischen 200 und 220, genauer nach (134) $d = 143 \sqrt[5]{5,4} = 143 \cdot 1,52 = 217 \text{ mm}$, was ebenfalls sehr nahe mit der Ausführung übereinstimmt.

§. 147.

Berechnung des Verdrehungswinkels der Wellen.

Bei einer cylindrischen Welle von der Dicke d , welche durch ihre ganze Länge L das verdrehende statische Moment PR überträgt, ist, wenn das Material den Drehungsmodul G hat, nach §. 13 Nro. I. der Verdrehungswinkel

$$\vartheta^0 = \frac{32 \cdot 360}{2 \pi^2} \frac{PR}{d^4} \frac{1000 L}{G} = \frac{360 \text{ S}}{\pi G} \frac{1000 L}{d} \quad \dots \quad (136)$$

woraus für Schmiedeeisen, wo $G = 8000$:

$$\vartheta^0 = 72,95 \frac{PRL}{d^4} = 14,32 \text{ S} \frac{L}{d} \quad \dots \quad (137)$$

und für Gusseisen das Doppelte oder

$$\vartheta^0 = 155,9 \frac{PRL}{d^4} = 28,65 \text{ S} \frac{L}{d} \quad \dots \quad (138)$$

folgt. Hierbei ist L wieder ausnahmsweise in Meter eingeführt; zugleich bedeutet S wieder die Spannung am Wellenumfang. Man sieht, dass man bei bekanntem S den Winkel ϑ sehr leicht berechnen kann. Hierbei ist nicht zu vergessen, dass S und d von einander abhängen, dass also z. B. d unter Annahme von S berechnet sein muss.

Die Abgebung des verdrehenden Momentes kann auch so erfolgen, dass einzelne Abgabestellen über die Welle vertheilt sind. Man kann aber auch dann von den obigen Formeln Gebrauch machen (vergl. §. 13, S. 38 und 39), wenn man nämlich für L setzt:

a. die ganze Wellenlänge (in Meter), wenn die Triebkraft an dem einen Ende eingeleitet, am andern ganz abgeleitet wird;

b. die halbe Wellenlänge, wenn die Kraftabgabe gleichförmig über die ganze Welle vertheilt ist, was in langen Wellensträngen in der Regel der Fall ist;

c. ein Drittel der Wellenlänge, wenn die Kraftabgabe gleichförmig abnehmend vom Krafteinleitungspunkte bis zum Wellenende vertheilt ist (siehe Fall III. in §. 13), was in Fabriksälen mit