

10. *Beispiel.* Die Schraube ohne Ende ist, wie schon angedeutet, ein besonderer Fall der Schraubenräder. Sie kommt, wenn auch selten, in noch zwei besonderen Formen vor, welche die Schraubenräder überhaupt durchgängig anzunehmen vermögen, nämlich unter Verwendung eines Hohlrades im Paare*). In Fig. 621 (a. v. S.) erscheint das gerad- oder schiefzahnige Stirnrad als Hohlrad**); bei der in Fig. 622 dargestellten Einrichtung ist die Schraube als Hohlrad, das Stirnrad mit äusserer Verzahnung ausgeführt***).

§. 222.

Verzahnung der Schraubenräder und Reibung derselben.

Die Schraubenräder werden meistens mit der Fräse geschnitten. Dies kann auf einer Leitspindelbank geschehen, auf deren Stichelträger man die schräg gesetzte Fräse aufstellt. Es wird ähnlich verfahren wie beim Schraubenschneiden. Die Steigung s der einzuschneidenden Schraubenfurche ist: $s = 2\pi Rtg\gamma$. Die zur Verfügung stehenden Wechselläder der Bank sind bei der Wahl der Steigungswinkel γ und γ_1 in Betracht zu ziehen†).

Die Zahnform wähle man entsprechend der Krümmung der Ergänzungsschraube der zu schneidenden Schraube, d. i. der rechtwinklig auf derselben stehenden. Die zu benutzenden Krümmungshalbmesser r und r_1 sind:

$$r = \frac{R}{\sin^2 \gamma}, \quad r_1 = \frac{R_1}{\sin^2 \gamma_1} \dots \dots \dots (208)$$

Diese werden als Halbmesser von Hülfrädern mit der Theilung τ benutzt; nach gewählter Verzahnungsform erhält man in der Zahnücke das Profil der Fräse.

*) Hohlräder werden erhalten, wenn man den Eingriffpunkt auf a ausserhalb der Achsen, statt zwischen dieselben legt.

***) An der Prager astronomischen Uhr angewandt, siehe Verh. des Vereins f. Gewerbfleiss 1868, S. 192.

****) An Stehelin's Bohrwerk angewandt, siehe Armengaud, Publ. industr. Bd. I, Taf. 40.

†) Vortreffliche Dienste bei der Zusammenstellung der Wechselläder leisten die Brocot'schen Tafeln. (Calcul des rouages par approximation, Paris 1862), auf des Verfassers Veranlassung mit Zusätzen deutsch herausgegeben von dem Verein Hütte.

1. *Beispiel.* Für die Räder aus dem 1. Beispiel des vorigen §. hat man: $r = 36,249 : \sin^2 60 = \frac{4}{3} 36,249 = 48,332 \text{ mm}$, $r_1 = 63,751 : \sin^2 80 = 63,751 : 0,9848^2 = 65,734 \text{ mm}$.

Wie sich r aus Formel (208) arithmographisch auffinden lässt, ist aus §. 29 abzuleiten.

Die Reibungswiderstände der Schraubenräder sind manchmal sehr bedeutend. Wären dieselben = Null, so hätte man für die Umfangskraft P am treibenden Rade bei der widerstehenden Umfangskraft Q am getriebenen Rade:

$$\frac{P}{Q} = \frac{\sin \gamma}{\sin \gamma_1} \dots \dots \dots (209)$$

Die gewöhnliche Zahnreibung ist die der Hülfräder und lässt sich nach den Angaben in §. 213 berechnen, viel grösser ist aber, so lange α nicht Null, meist die aus der Flankengleitung hervorgehende Reibung. Eine Vorstellung von der Grösse der letzteren gibt die oben ermittelte Gleitungsgeschwindigkeit c' . Zur Berechnung des entstehenden Effektverlustes dient die Formel:

$$\frac{P'}{P} = \frac{\sin \gamma_1 \sin(\gamma + \varphi)}{\sin \gamma \sin(\gamma_1 - \varphi)} \dots \dots \dots (210)$$

wobei noch φ den Reibungswinkel für den Koeffizienten f bezeichnet, also $\text{tg } \varphi = f$. Bei $f = 0,16$ ist $\varphi \sim 9^\circ$.

2. *Beispiel.* Für die obigen Räder ist hiernach $P' : P = \sin 80 \cdot \sin 69 : \sin 60 \cdot \sin 71 = 0,9848 \cdot 0,9336 : 0,8660 \cdot 0,9455 = 1,12$. (Hierzu gesellt sich die gewöhnliche Zahnreibung mit einigen Prozenten.)

Einen dritten Effektverlust rufen noch die in den Achsenrichtungen wirkenden Seitenkräfte K und K_1 hervor. Man hat für dieselben:

$$\frac{K}{P'} = \text{cotg}(\gamma + \varphi), \quad \frac{K_1}{Q} = \text{cotg}(\gamma_1 - \varphi) \dots \dots (211)$$

3. *Beispiel.* Für obiges Räderpaar wird $K = P' \text{cotg } 69 = 0,3839 P'$, $K_1 = Q \text{cotg } 71 = 0,3443 Q$, aus welchen Werthen bei bekannten Abmessungen der Zapfen sich der betreffende Kraftverlust bestimmen lässt.

Wenn $\alpha = \text{Null}$, d. h. die Achsen parallel, so wird die Flankengleitung Null, die Kraft P' aus (210) = P ; d. h. die Schraubenräder für parallele Achsen arbeiten ohne Flankengleitung; indessen bleibt die gewöhnliche Zahnreibung, wenn auch in etwas vermindertem Maasse, bestehen, ebenso die Kräfte K und K_1 . Die Zahnreibung lässt sich indessen bis auf einen verschwindend kleinen Rest wegschaffen, und zwar dadurch, dass man das Zahn-

profil an dem einen Rade auf einen Punkt einschränkt, nämlich seine Zahnflanke als scharfe Kante ausführt. Diese berührt dann die andere, als Fläche ausgeführte Zahnflanke geometrisch nur in einem Punkt des Theilcyllinders. Diese von Hooke angegebene Verzahnung kann nur für Präzisionsräder dienen, leistet aber für diese gute Dienste*)

Statt der scharfen Kante kann auch eine gewölbte Fläche angewandt werden, welche die Linie auf ihrem Scheitel enthält, wie schon Hooke angedeutet und Willis ausgeführt hat. Verzeichnet man zuerst die Zahnkurven für beide Räder wie üblich, als ob sie stetig greifen sollten, und bleibt dann bei beiden Rädern, oder auch nur bei einem derselben mit der Zahnkurve innerhalb des gezeichneten Profils, den Theilkreispunkt ausgenommen, s. Fig. 623, so berühren die so profilirten schraubenförmig gewundenen Zähne einander nur im Theilkreiscylinder und arbeiten beinahe reibungsfrei. Die Kopflänge k und die Fusslänge f können kleiner als üblich genommen werden. Immer ist jedoch dann vorauszusetzen,

Fig. 623.

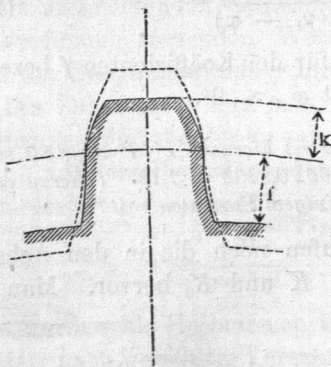
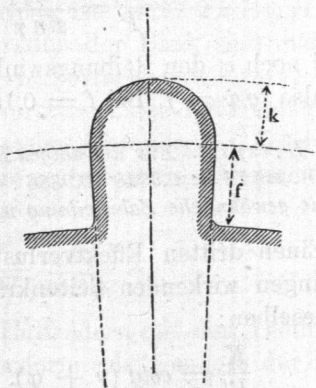


Fig. 624.



dass mehr als eine Theilung Schraubenwindung auf den Zahn treffe. Willis weist darauf hin, wie man hier unmittelbar zu brauchbaren Zahnprofilen dadurch gelangen kann, dass man an beiden Rädern die Fussflanken radial und die Kopf flanken nach einem für beide Zahnseiten gemeinsamen Halbkreis profilirt, Fig. 624. Da solche Zähne schmale Füße bekommen, auch bei geringem Auseinanderrücken starke Axialpressungen ausüben, empfiehlt sich

*) U. a. für physikalische Apparate von Bréguet, in welchen Umdrehungsgeschwindigkeiten bis über 2000, nach Haton sogar 8000 in der Sekunde oder 480 000 in der Minute hervorzubringen waren. Dow x 60

mehr die Zugrundelegung der Evolventenverzahnung, s. Fig. 625. Bei dieser nähert man die Evolvente durch einen Kreisbogen an, der einen geringeren Halbmesser hat als $BS = R \cos \alpha$, dessen Mittelpunkt B' aber auf der Berührungsnormale NN_1 liegt, genügende Schraubenwindung wieder vorausgesetzt.

Angenähert wird der reibungsfreie Gang durch die Räder mit Stufen- oder Staffelzähnen*), Fig. 626, die man bei Hobelmaschinen oft angewandt findet (Shanks, Collier u. A.). Auch hier

Fig. 625.

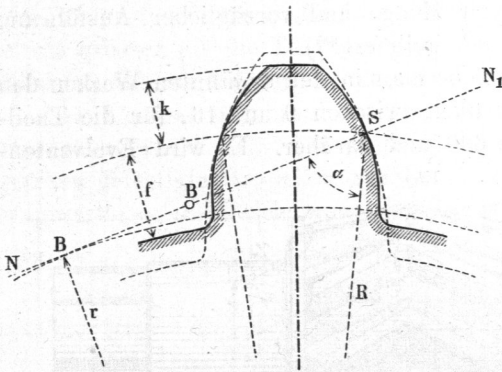
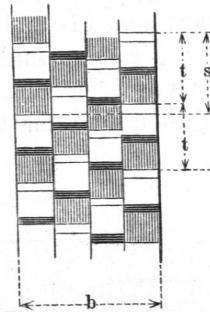


Fig. 626.



sind die Zahnprofile wie vorhin angegeben zu behandeln, wenn man den nahe reibungsfreien Gang erzielen will; doch muss die Stufenversetzung s so weit oder etwas weiter als eine Theilung gehen. Weniger als vier Staffeln sollte man bei Stirnrädern nicht machen.

Als Uebelstand tritt bei den erwähnten Schraubenrädern der axiale Druck K auf; dieser wird aber vermieden, wenn man die Räder aus zwei Schrauben von entgegengesetzter gerichteter Steigung zusammensetzt. Man erhält auf diesem Wege die Doppelschraubenräder, neuerdings bei uns Räder mit Winkelzähnen genannt**). Der Verfasser schlägt statt dieses Namens den aus der Pfeilspitzenform der Zähne abgeleiteten Namen Pfeilzahnräder

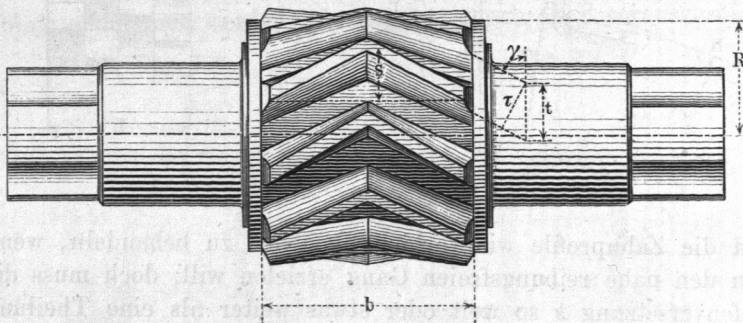
*) Gekreuzte Zahnung, „denture croisée“, sagt der Franzose. Solche Räder liefert sehr schön A. Piat fils, Paris, Rue St. Maur 48 & 49. Modelle enthält auch die Sammlung der königl. techn. Hochschule in Berlin.

***) Von den Engländern „mortice wheels“, also Nuthräder, von den Franzosen „roues à chevron“, d. i. etwa Geißfussräder genannt.

oder kurzweg Pfeilräder vor. Schon lange bekannt*) und für geringere Kräfte auch nicht ganz selten benutzt (u. a. in Spinnmaschinen, auch Grossuhren) sind diese Räder in den letzten Jahren wesentlich durch deutsche Fabriken in den Grossmaschinenbau eingeführt worden und finden darin eine rasch zunehmende Verwendung. Nachdem man in Amerika mit gusseisernen Rädern dieser Art gelungene Anwendungsversuche bei Kraus- oder Kammwalzen gemacht, wurden 1878 durch die „Hagener Gussstahlwerke, A.-G.“ Pfeilräder aus keinem geringeren Material als Gussstahl in die Walzwerke eingeführt und werden jetzt von den westfälischen Stahlgiessereien in grosser Menge und vorzüglicher Ausführung nach dem In- und Auslande geliefert**).

Die Zähnezahlen, welche man in den erwähnten Werken den Kammwalzen gibt, schwanken zwischen 9 und 16, für die Theilkreisdurchmesser 90 bis 600 und darüber. Es wird Evolventen-

Fig. 627.



verzahnung benutzt, wobei der Grundkreiswinkel α zwischen 62° und 69° gewählt wird. Zahnkopflänge k etwa $0,22 t$. Indem man die Evolventen recht genau annähert, erzielt man Zahnberührung

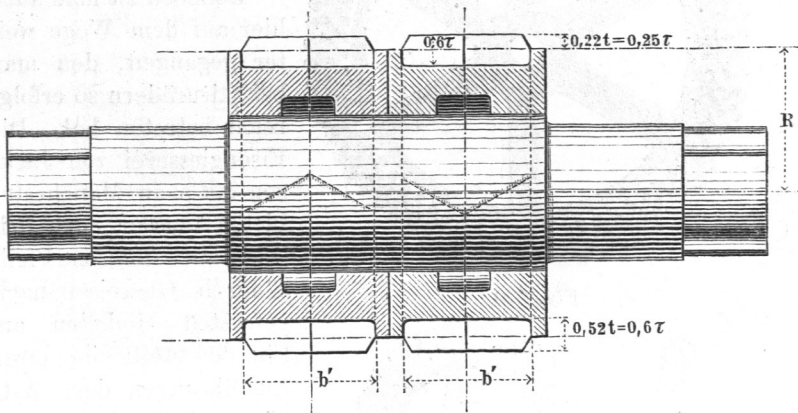
*) Von White schon 1808 dringend empfohlen. Wethli schlug ein solches Rad als Triebad für Berglokomotiven vor, das Gleis (Zahnstange) mit den Gegenzähnen, die aus zwei Schienenstücken bestanden, versehen.

**) Bis Herbst 1882 hatten die westfälischen Stahlgiessereien gegen 2 000 000 kg Räder mit Winkelzähnen geliefert. Daran sind die Hagener Gussstahlwerke mit 1 600 000 kg für Kammwalzen, mit 80 000 für andere Räder beteiligt; eine beträchtliche Ziffer kommt auf Asthöwer & Cie. in Annen; das Gussstahlwerk Witten lieferte gegen 55 000 kg an Kammwalzen, die Bochumer Gesellschaft ebenfalls ein nicht unbedeutendes Quantum. In allen Stahlhütten Westfalens ist eine Steigerung der Produktion in dem vorliegenden Gegenstand wie überhaupt der Herstellung von Maschinenteilen aus Stahl zu beobachten.

wie bei gewöhnlichen Stirnrädern, was durch eine Abnutzungskurve, die sich diagonal über die Zahnflanke zieht, erkennbar wird. Der nahezu reibungsfreie Gang ist indessen nicht vorhanden, wenn diese Abnutzungskurve sichtbar wird. Fig. 627 stellt eine zehnzählige gussstählerne Krauswalze dar. Die Dreh- und Kuppelzapfen sind mit dem Pfeilrade aus einem Stück gegossen; doch wird die Achse ebenso häufig getrennt von der Kammwalze hergestellt. Der Theilkreisbogen s , um welchen die Pfeilspitze der Zähne den Enden derselben voraus ist, wird von den westfälischen Fabrikanten sehr bezeichnend der Sprung der Zähne genannt. Will man nahezu reibungsfreien Gang erzielen, so muss der Sprung etwas grösser als die Theilung gemacht, und sollte bei der Verzahnung ähnlich wie vorhin angegeben wurde, verfahren werden*).

Sehr grosse Kammwalzen werden wohl aus zwei Pfeilrädern zusammengesetzt. Fig. 628 zeigt eine in den Hagener Gussstahlwerken gefertigte Doppelkammwalze für ein sogenanntes Reversirwalzwerk (welche Bezeichnung man kürzer durch „Kehrwalzwerk“

Fig. 628.



wiedergeben kann). Der Theilkreishalbmesser beträgt 550, die Theilung 216, die Zahnbreite b' jeder Halbwalze 500 mm, das Gewicht der ganzen Walze nebst Achse nahe 11 000 kg. Die Pfeilrichtungen der beiden Halbwalzen sind einander entgegengestellt, damit im Kehrwalzwerk beim Rück- und Vorwärtsgang die Bedingungen für die Kammwalze gleich werden. Maschinentheile wie der dargestellte sind Meisterstücke der Stahltechnik.

*) Bei unserm Beispiel ist der Sprung etwa $= 0,8t$, der Griffbogen der Zahnkurven an sich nahe $0,75t$, die ganze Eingriffdauer also $1,55$.