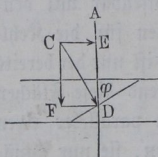


werden, daß der Winkel φ , unter welchem die schrägen Zähne gegen die parallelen Axen geneigt sind, ganz beliebig angenommen werden kann, wogegen bei den spiraloïdischen Zähnen windschiefer Axe die erzeugende Linie ein für allemal durch die Lage der Momentanaxe M gegeben ist, also durch die Beziehung $\alpha \sin \delta_1 = \beta \sin \delta_2$, wenn wie früher α und β die Umdrehungswinkel und δ_1 und δ_2 die Neigungen der Momentanaxe gegen die Axen bezeichnen.

Es ist übrigens leicht ersichtlich, daß bei den Rädern mit schrägen Zähnen wegen der schrägen Stellung der letzteren unter dem Winkel φ gegen die Axen die letzteren mit einem gewissen Drucke in ihrer Axenrichtung gegen die Lager gepreßt werden. Ist, Fig. 292, $CD = P$ der Normaldruck, welchen zwei Zähne auf einander ausüben, so ist die in die Richtung der Axe fallende Componente

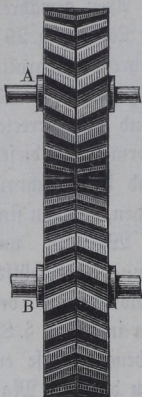
Fig. 292.



$$CF = P \sin \varphi,$$

welche eine Reibung an der Stirn der Zapfen erzeugt. Die auf Axendrehung wirkende Componente ist natürlich $CE = P \cos \varphi$. Wenn man die Räder nach Art der Fig. 293, mit Zähnen versehen, welche von der Mitte aus nach beiden Seiten hin gleiche Neigung haben, so heben sich die in die Axenrichtungen fallenden Componenten und damit die gedachten Reibungen an den Stirnen oder Halsringen der Zapfen auf.

Fig. 293.



In ähnlicher Weise, wie hier für Stirnräder gezeigt, könnte man auch conische Räder mit schrägen Zähnen versehen, indem man als Erzeugungslinie der Zahnflächen auf der Umfangsfläche des wälzenden Kegels eine conische Schraubenlinie annähme, welche bei der Evolventenverzahnung in eine auf dem abzuwälzenden Planrade befindliche Spirale übergehen würde, doch hat man derartige schräge Zähne bei conischen Rädern nicht angewandt. Auch für Stirnräder haben die schrägen Zähne nur sehr geringe Anwendung finden können.

§. 89. **Construction der Zahnräder.** Die Zahnräder werden fast immer aus Gußeisen, nur die kleinsten aus Stahl, Schmiedeeisen oder Messing gemacht, und zwar aus einem Stücke bis zu mittlerer Größe (2 bis 3 Meter Durchmesser), aus mehreren Stücken nach Art der Wasserräder bei größerem Durchmesser. Hölzerne Räder wendet man heute wegen ihrer Ungenauigkeit

und geringen Beständigkeit kaum mehr an. Dagegen ist die Anwendung hölzerner Zähne bei dem einen von zwei zusammenarbeitenden schnellgehenden Rädern zur Erreichung eines sanften und geräuschlosen Ganges sehr zu empfehlen. Die Gestalt der Zähne für ein äußerlich verzahntes Stirnrad zeigt Fig. 294, und für innere Verzahnung Fig. 295, während Fig. 296

Fig. 294.

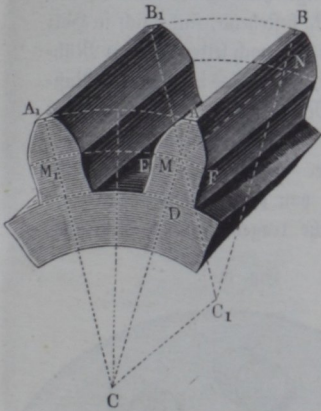


Fig. 295.

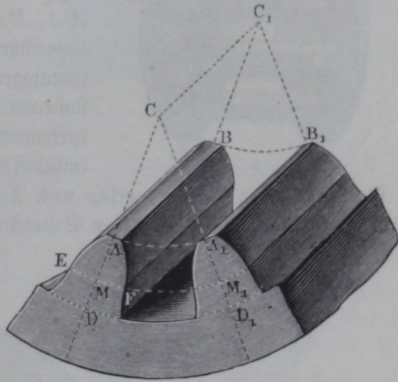


Fig. 296.

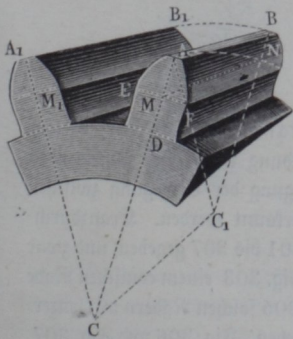
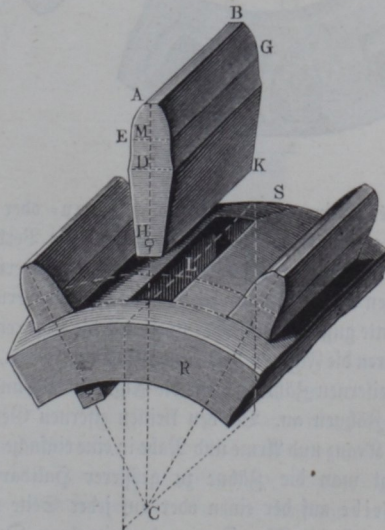


Fig. 297.



einem conischen Rade entspricht. einem eisernen Radkranzes mit hölzernen

Fig. 298.

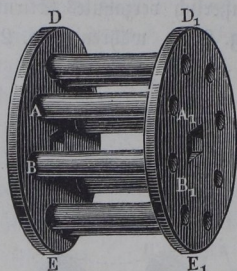


Fig. 297 (a. v. S.) zeigt ein Stück eines eisernen Radkranzes mit hölzernen Zähnen, welche durch eiserne, durch die Löcher *H* geschlagene Stifte festgehalten werden. Das Stockgetriebe, auch Drehling oder Drilling genannt, Fig. 298, aus den beiden Scheiben *DE* und *D1E1* mit zwischengesetzten cylindrischen Stöcken *A A1, B B1* bestehend, findet sich in Holz ausgeführt nur noch selten in alten Mühlenanlagen, während es in kleinerem Maßstabe aus Metall gefertigt vielfach in Uhren vorkommt. Die Verwendung derartiger cylindrischer Stockgetriebe im Eingriffe

mit scheibenförmigen Rädern, welche nach Art von Fig. 299 und 300 ihre Zähne oder Stöcke auf der ebenen Seitenfläche tragen und im Gegensatze

Fig. 299.

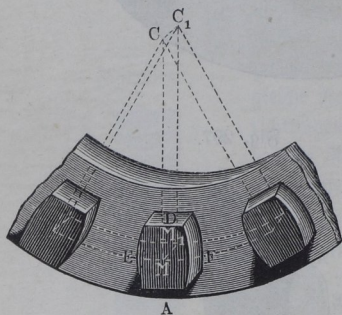
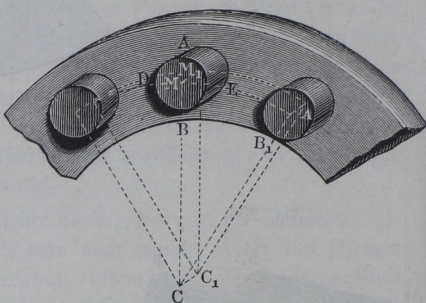


Fig. 300.



zu den Stirnrädern den Namen Kron- oder Kammräder führen, ist eine jetzt gleichfalls veraltete Einrichtung zur Verbindung zweier sich schneidenden Axen. Das einzig correcte Mittel zur Uebertragung der Bewegung zwischen solchen Axen kann nur in den conischen Rädern erkannt werden. Kranzdurchschnitte gußeiserner Räder sind durch die Figuren 301 bis 307 gegeben, und zwar gehören die Figuren 301 und 302 Stirnrädern, Fig. 303 einem conischen Rade mit eisernen Zähnen, sowie die Figuren 304 und 305 solchen Rädern mit hölzernen Zähnen an. Bei den kleinen eisernen Getrieben, Fig. 306 und Fig. 307, sind Kranz und Arme und Nabe in eine einfache Hülse zusammengeschrumpft und pflegt man die Zähne zu größerer Haltbarkeit durch eine angegossene Scheibe auf der einen oder auf jeder Seite zu fassen. In diesen Figuren sind auch die Abmessungen der einzelnen Querdimensionen als Functionen

einer gewissen Größe δ angegeben, welche Größe zu $\delta = 0,4 t + 3 \text{ mm}$ angenommen ist, wenn t die Theilung in Millimetern bezeichnet.

Fig. 301.

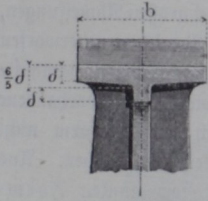


Fig. 302.

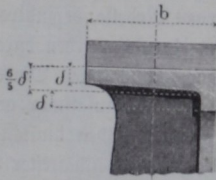


Fig. 303.

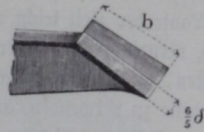


Fig. 304.

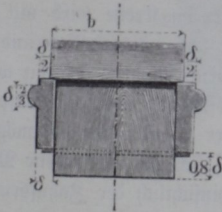


Fig. 305.

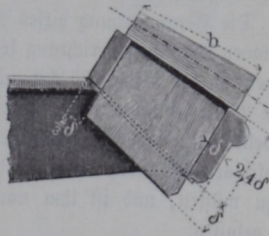


Fig. 306.

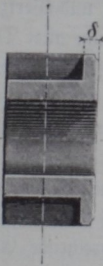
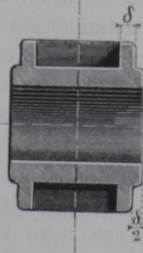


Fig. 307.



Den Nabadmen, deren Zahl je nach der Größe des Rades zwischen 3 und 8 variiert, giebt man meist einen gerippten Querschnitt, die Nabe erhält nach Redtenbacher eine Länge $L = b + 0,06 r$ und eine Wandstärke $s = 5 \text{ mm} + 1/3 d$, wenn b die Zahnbreite, r den Radhalbmesser und d die Wellenstärke bezeichnet. Im Uebrigen muß hinsichtlich der Construction der Zahnräder auf die speciellen Handbücher der Constructionstheorie verwiesen werden.

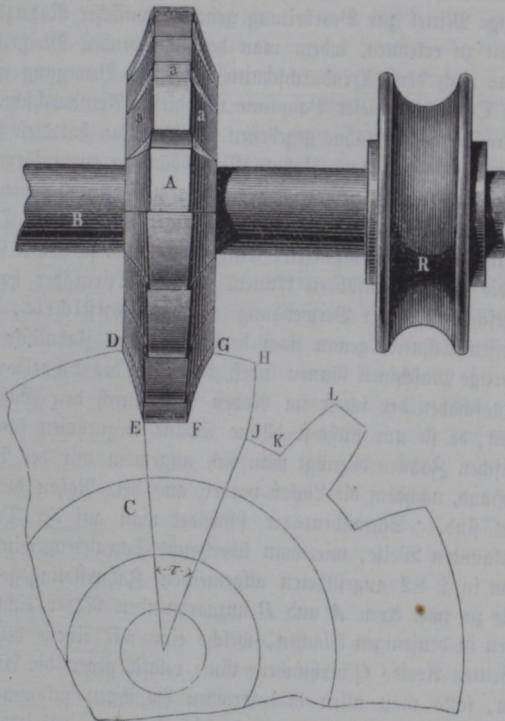
Die Ausführung der Räder, wenigstens der größeren sogenannten Triebwerksräder für schwerere Transmissionen geschah bis vor kurzer Zeit fast ausschließlich durch den Abguß nach hölzernen, möglichst genau gearbeiteten Modellen. Mit dieser Methode sind große Uebelstände verbunden, denn abgesehen davon, daß die hölzernen Modelle, besonders bei großen Abmessungen, im Laufe der Zeit leicht einem Unrichtigwerden durch Verziehen unterworfen sind, verursacht die Anfertigung reichhaltiger Modellsammlungen namhafte Kosten, wodurch gar häufig die Veranlassung geboten wird, vorhandene Modelle zu verwenden, auch wenn dieselben hinsichtlich der Zahnform nicht den zu stellenden Bedingungen in vortheilhaftester Weise entsprechen. Aus diesen Gründen haben sich in neuerer Zeit die sogenannten Formmaschinen mehr und mehr Eingang verschafft, welche die Ausarbeitung der Form für den Zahnkranz mit Hilfe eines Modellstücks bewirken, welches nur einen oder einige Zähne von sehr genauer Ausführung enthält. Die Herumtragung dieses Modellstücks im Kreise wird mit Hilfe einer genauen Kreistheilvorrichtung leicht ermöglicht, während Nabe und Armsystem meist in der bisherigen Art mittelst hölzerner Modelle geformt werden. Auf diese Weise ist neben der sehr exacten Ausführung möglichste Ersparung an Modellkosten erreicht. Gleichzeitig ist der Constructeur vermöge der Formmaschinen der Nothwendigkeit überhoben, sich an vorhandene Modelle binden zu müssen, und ist ihm namentlich hinsichtlich der Zahnform volle Freiheit gelassen.

Während eine derartige Darstellung der Zähne durch einfachen Abguß für die größeren Triebwerksräder meist eine genügende Genauigkeit gewährt, so macht sich bei den kleineren Rädern der Arbeits- und Werkzeugmaschinen, deren Product wesentlich von dem gleichmäßigen Gange aller Theile abhängt, in der Regel eine genauere Ausarbeitung der Zahnflächen erforderlich. Abgesehen von der immerhin unsicheren und theureren Handbearbeitung wendet man hierzu hauptsächlich zwei Mittel der Bearbeitung an, nämlich das Fräsen und das Hobeln.

Bei dem Fräsen dient als Werkzeug ein stählerner Umdrehungskörper *A*, Fig. 308, dessen Profil mit demjenigen *DEFG* einer Zahnücke genau übereinstimmt, und dessen Oberfläche durch entsprechende Einschnitte mit einer größeren Anzahl von Schneiden *aa* versehen ist, deren schneidende Kanten genau in der gedachten Umdrehungsfläche liegen. Wird nun die auf ihrer Ase *B* befestigte Fräse durch ihre Rolle *R* in schnelle Umdrehung gesetzt, und langsam parallel zu der Ase des zu schneidenden Rades *C* entlang geführt, so nehmen die schneidenden Kanten der Fräse alles Material fort, welches in der zu erzeugenden Lücke *DEFG* enthalten ist. Es ist klar, daß nach Vollendung einer Lücke durch eine Wiederholung desselben Arbeitsprocesses nach vorheriger Drehung des Rades *C* um den Theil-

winkel τ die folgende Zahnfläche $HJKL$ in gleicher Art hergestellt wird, u. s. f.

Fig. 308.



Diese Methode der Bearbeitung, welche durchweg gleiche Weite der Zahnflächen, also prismatische resp. cylindrische Form derselben voraussetzt, ist aus diesem Grunde nur für Stirnräder und deren Zahnstangen geeignet und für dieselben auch in ausgedehnter Anwendung. Für die Zähne conischer Räder kann das Fräsen niemals zu einer correcten Form führen, denn wenn man auch in diesem Falle unter Anwendung von nur einseitig geschärften Schneidrädern jede Zahnfläche durch zweimaliges Fräsen bearbeitet, so zeigen die bearbeiteten Flächen doch in allen Axenabständen gleiche Krümmung des Profils, was bei der conischen Gestalt der hierfür nöthigen Zähne nicht der Fall sein darf. Es kann nur als eine sehr unvollkommene Abhülfe dieses Uebelstandes angesehen werden, wenn man eine Fräse für die conischen Räder verwendet hat, deren Profil mit dem engsten (inneren) Profil der

Lücke übereinstimmt, und welcher man durch oscillirende Bewegung der Fräsaue die Fügigkeit ertheilt hat, die Lücken nach außen hin in größerer Weite auszuarbeiten.

Das einzige Mittel zur Bearbeitung genauer conischer Näderzähne ist in dem Hobeln zu erkennen, indem man der schneidenden Meißelspitze fortwährend eine nach dem Axendurchschnitte gerichtete Bewegung giebt unter gleichzeitiger Oscillation dieser Bahnlinie um diesen Axendurchschnitt in der durch die Profilform der Zähne gegebenen Weise. Man hat diese Oscillation mehrfach durch eine von dem Zahnprofile abhängige curvenförmige Leitschiene oder Schablone zu erreichen gesucht, und es sind dementsprechend verschiedene sehr sinnreiche Hobelmaschinen*) angegeben worden. Da dieselben aber sämmtlich von sehr complicirter Einrichtung sind, so haben sie sich nur wenig in die Praxis einführen können. Auch Stirnräder hat man zu hobeln vorgeschlagen, unter Verwendung eines Façonstichels, d. h. eines Meißels, dessen Schneide genau nach dem Profil der Zahnfläche geschliffen ist**); derartige Maschinen können indeß, der Natur des Schneidorgans nach, nur zum Ausschaben der schon im Rohen etwa durch den Guß erzeugten Lücken dienen, da sie nur äußerst dünne Späne wegnehmen können. Bei hyperboloidischen Zähnen begnügt man sich allgemein mit der Bearbeitung aus freier Hand, nachdem die Lücken vorher aus dem Rohen durch Fräsen vorgearbeitet sind. Schraubnräder schneidet man auf der Drehbank in derselben bekannten Weise, wie man überhaupt Schraubengewinde herstellt.

Nach dem in §. 82 angeführten allgemeinen Zahnbildungsgesetze erhält man für die zu zwei Axen A und B anzuordnenden Räder richtige Zahnbegrenzungen in denjenigen Flächen, welche eine mit einem beliebigen zugehörigen dritten Axoide C verbundene Linie relativ gegen die Axen A resp. B beschreibt, falls man allen drei Axoiden die ihnen zukommenden Umdrehungen ertheilt. Hieraus folgt nun sogleich, daß man auf jeder beliebigen Hobelmaschine alle diejenigen Zahnflächen genau richtig herstellen kann, welche durch eine gerade Erzeugungslinie entstehen. Denkt man sich nämlich zu dem einen Axoid, etwa A , das dritte Axoid C , und seien deren respective Drehungswinkel wieder mit α und γ bezeichnet, so kann man dem ganzen Systeme, d. h. der Axe A sowohl wie derjenigen C , eine zusätzliche Drehung im Betrage $-\gamma$ ertheilt denken, ohne daß dadurch an der relativen Bewegung der beiden gegen einander etwas geändert wird. Hierdurch kommt offenbar das Hilfsaxoid C und mit ihm die erzeugende Gerade in absolute Ruhe, während die Axe A und das auf ihr befindliche Rad zweien Drehungen

*) S. u. a. Dingler's polyt. Journ., Bd. 209 (1873), S. 24. Civ.-Ing. Bd. 10, S. 27. Bd. 18, S. 141 u. a. a. D.

**) S. Hardt, Werkzeugmaschinen.

ausgesetzt sind, einer im Betrage α um die Aze A selbst und einer anderen — γ um die Aze C . Betrachtet man daher die in einer und derselben festen Geraden gelegene Bahn, welche die Meißelspitze einer gewöhnlichen Hobelmaschine beschreibt, als die Erzeugende, so muß dieselbe die genau richtige Zahnfläche hervorbringen, sobald man das zu bearbeitende Rad in solcher Weise unterstützt, daß es außer einer Drehung um die eigene Aze noch einer anderen um die Aze C des zu Grunde gelegten Hülsaxoids fähig ist, und sobald man dafür sorgt, daß ihm diese beiden Drehungen gleichzeitig und in dem Verhältnisse $\alpha : -\gamma$ mitgetheilt werden. Zu diesem Behufe hat man nur nöthig, die betreffende Hobelmaschine, welche übrigens von gewöhnlicher Einrichtung sein kann, mit einem geeigneten Support oder Apparat zur Aufnahme des Rades zu versehen, um ganz automatisch die Zahnflächen anhobeln zu können. In dieser Weise ist die Bearbeitung der Zähne sowohl für Stirnräder wie für conische, hyperboloidische und Schraubenräder ohne Schwierigkeit möglich, und können ebensowohl Cycloiden- wie Evolventenformen erzeugt werden. Es ist hierzu keinerlei Schablone oder Façonstichel erforderlich, ja es bedarf nicht einmal einer vorherigen Aufzeichnung des Zahnprofils, wenn man nur das erzeugende Hülsaxoid angenommen hat. Es muß ferner bemerkt werden, daß die auf solche Weise erzeugten Zähne conischer Räder die exacten Formen (Kegel mit sphärischen Cycloiden und sphärischen Evolventen als Grundflächen) an sich tragen, während bei der seitherigen Darstellungsweise conischer Räder wegen der Nothwendigkeit, eine Schablone anzufertigen, immer nur die Annäherungsformen mit Hülfe der Ergänzungsregel zur Verwendung gekommen sind. In Betreff der gedachten Apparate zur Unterstützung der zu hobelnden Räder sei hier auf eine Abhandlung des Verfassers in den Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbleißes, Jahrgang 1877, verwiesen.

Kettenräder. Gemäß der in §. 40 angegebenen Eintheilung der §. 90. Räder wären schließlich noch die sogenannten Kettenräder zu besprechen. Dieselben stimmen mit den Riemscheiben darin überein, daß die Bewegungsübertragung wie bei jenen nicht durch directe Berührung der Radflächen, sondern mittelst eines Zwischengliedes, nämlich einer Kette, bewirkt wird. Mit den Zahnradern andererseits haben sie das Vorhandensein gewisser zahnartiger Vorsprünge gemein, welche, zwischen die Lücken der Kettenglieder tretend, unter allen Umständen die Bewegungsübertragung sichern, indem durch die Zähne ein Gleiten der Ketten über die Rollenumfänge verhindert wird, wie es beim Riemenbetrieb in Folge ungenügender Spannung eintreten kann. Demgemäß erfordert die Kette auch keine besondere Anspannung, und es werden daher die an den Zapfen der Kettenräder auftretenden Reibungen nur durch die zu übertragende Kraft, also durch den einfachen Kettenzug hervorgerufen, da das nicht treibende Kettenstück ganz schlaff sein kann.