

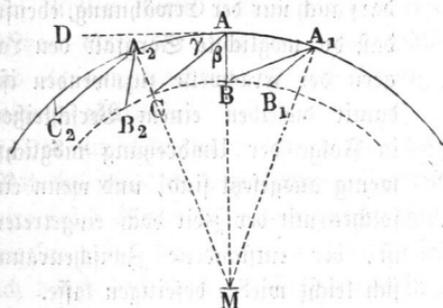
Formen und Abmessungen zu erzeugen, wie dies überhaupt nur möglich ist. Gerade für solche Zwecke sind denn auch die Fräsen zuerst in größere Verwendung gebracht, und zwar ist der Ausstoß hierfür vornehmlich von den amerikanischen Werkstätten ausgegangen.

Es kommt hierbei insbesondere noch der Umstand in Betracht, daß diese Herstellung in genau übereinstimmender Form durch Fräsen ermöglicht wird, ohne daß der die Arbeit überwachende Arbeiter genöthigt ist, durch wiederholt vorzunehmende Messungen die Uebereinstimmung zu sichern, wie solche, immer mit großem Zeitverlust verbundene Messungen bei der Verwendung von Drehbänken und Hobelmaschinen unerlässlich sind, und wobei die unvermeidlich dabei unterlaufenden kleinen Ungenauigkeiten das angestrebte Ziel selten erreichen lassen. Alle die hier angeführten Vortheile der Fräsen sind denn auch in der neueren Zeit mehr und mehr zur Geltung gekommen, so daß die Verbreitung dieser Maschinen eine fortwährend zunehmende gewesen ist und noch ist. Wenn trotzdem noch vielfach Vorurtheile gegen die Anwendung der Fräsen bestehen, so dürften dieselben hauptsächlich darin ihren Grund haben, daß mit Fräsen von unzuweckmäßiger Form und mangelhafter Ausführung nur schlechte Ergebnisse erzielt wurden, die dann das Urtheil ungünstig beeinflusst haben, die aber bei geeigneter Ausführung der Fräsen sowohl wie der Fräsmaschinen zu vermeiden sind. Es möge, bevor die Einrichtung der verschiedenen Fräsmaschinen angeführt wird, zunächst noch die Wirkungsweise der Fräsen besprochen werden.

§. 197. **Wirkungsweise der Fräsen.** Die gute Wirkung einer Fräse hängt natürlich zunächst von der geeigneten Form der einzelnen Zähne ab, von denen jeder einzelne in ähnlicher Weise wie ein Stichel nach §. 148 zu beurtheilen ist. Verschiedene, bei der Fräse in Betracht kommende Eigenthümlichkeiten bedingen indessen, daß die für die gewöhnlichen Dreh- und Hobelstichel als zweckmäßig erkannten Verhältnisse nicht ohne weiteres auch für die Fräsen als maßgebend angenommen werden können. In jedem Falle wird ein solcher Zahn *A*, Fig. 754, in eine scharfe Kante auslaufen müssen, an welcher der Keilwinkel *BAC* durch β bezeichnet sein möge. Ebenso ist es wie bei Sticheln nöthig, daß die Rückfläche *AC* dieses Keiles um einen gewissen, dem Anstellungswinkel der Stichel entsprechenden Winkel $CAD = \gamma$ von der hergestellten Fläche, die hier mit dem Umfange des durch *A* gelegten Kreises übereinstimmt, abweichen muß, damit die Reibung am Umfange der Fräse nicht unnöthig groß werde, was um so mehr nöthig erscheint, als diese Reibung wegen der großen Umfangsgeschwindigkeit sonst eine beträchtliche Arbeit aufzehren würde. Der für die Wirkung des Zahnes in Betracht kommende Schneidwinkel $BAD = \beta + \gamma = \alpha$ wird indessen bei den Fräsen immer erheblich größer als bei gewöhnlichen Sticheln,

und zwar meistens gleich 90 Grad oder nur wenig kleiner gewählt, indem man die Vorderfläche AB des Zahnes in der Regel durch eine radial gerichtete Ebene begrenzt. Der Grund hierzu ist nicht bloß in der Möglichkeit eines bequemen Nachschärfens durch eine passende Schmirgelscheibe gegeben, sondern auch darin zu erkennen, daß bei einer gewissen, passend angenommenen Zähnezahl die Tiefe der Zahnlücken genügend groß ausfallen muß und gleichzeitig die Zähne hinreichende Widerstandskraft gegen Abbrechen behalten. Man erkennt nämlich leicht, daß bei einer Entfernung zweier auf einander folgenden Zahnspitzen, etwa gleich $AA_1 = AA_2$, und für eine Richtung der Vorderfläche, wie A_1B_1 oder A_2B_2 , entweder die radiale Tiefe nur sehr klein werden würde, wenn man die Rückfläche wie in A_2C_2 nur wenig von dem Umfange abweichen lassen wollte, oder aber, daß bei einer Neigung der Rückfläche wie A_1B , welche eine genügende radiale Tiefe der Lücken ergibt, der Zahn sehr dünn werden und dem Ab-

Fig. 754.



brechen leicht unterworfen sein würde. Dies ist der Grund, warum man die Vorderfläche der Zähne in der Regel radial annimmt, auch ist diese Richtung, wie in §. 174 gezeigt wurde, bei den hinterdrehten Fräsen erforderlich, wenn deren Profilform durch das Nachschärfen nicht verändert werden soll, in welchem

Falle die Rückfläche nach einer archimedischen Spirale zu begrenzen ist, wie dies u. a. für die Zahnradfräse Fig. 745 gilt. Bei den gewöhnlichen Mantel- und Stirnfräsen mit geradlinigem Profile dagegen wird die Rückfläche der Zähne meistens eben begrenzt, so daß der Anstellungswinkel $\gamma = CAD$ dafür eine Größe von etwa 30 bis 40° annimmt.

In Folge der radialen Stellung der vorderen Begrenzungsebene wird allerdings die Wirkung des Zahnes mehr eine schabende als schneidende sein, indessen ist der hiermit verbundene Nachtheil deshalb weniger ins Gewicht fallend, weil die Dicke der von jedem einzelnen Zahne abzulösenden Späne wegen der großen Umfangsgeschwindigkeit und der größeren Zahl der Schneidzähne immer nur sehr gering ist. Es wird allerdings anzunehmen sein, daß die Fräsen zur Bildung eines bestimmten Gewichtes von Spänen einer größeren Arbeit bedürfen, als die mit einem Stichel wirkenden Drehbänke und Hobelmaschinen, indessen kann dieser Uebelstand gegenüber den großen anderweiten Vortheilen der Fräsen in den meisten Fällen außer Betracht gelassen werden.

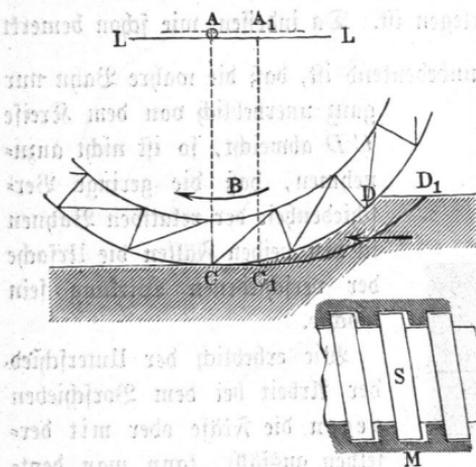
der Umdrehung um die Ase A und aus deren Verschiebung um $AA_1 = w$ hervorgehende verlängerte Cycloide, die man entstanden denken kann durch die Rollung eines kleinen Kreises vom Halbmesser $\rho = \frac{w}{2\pi}$ auf einer Geraden LL , welche von der Mitte diesen Abstand ρ hat. Da nun aber die Verschiebung der Ase im Vergleich zu der Geschwindigkeit der letzteren an ihrem Umfange immer nur sehr klein ist, indem das Verhältniß der beiden Geschwindigkeiten meistens zu weniger als $\frac{1}{500} = 0,002$ angenommen werden kann, so folgt hieraus, daß auch der Halbmesser ρ des anzunehmenden rollenden Kreises in demselben Verhältniß kleiner ausfällt, als der Halbmesser der Fräse $AC = r$. Beispielsweise würde der Halbmesser ρ des Rollkreises bei einem Verhältniß der beiden Geschwindigkeiten von 0,002 für eine Fräse von dem Durchmesser gleich 100 mm nur den winzigen Betrag von 0,1 mm haben. Es ist hieraus ersichtlich, daß man die einzelnen Schleifen der entstehenden verlängerten Cycloide, die ein Punkt C bei dem Rollen dieses kleinen Kreises erzeugt, mit genügender Annäherung erzeugen kann durch Kreise vom Halbmesser r , deren Mittelpunkte A und A_1 von einander um den Betrag der Verschiebung w bei einer Umdrehung abstehen.

Das im Querschnitt durch die besagte Fläche $CD D_1 C_1$ dargestellte Material wird bei einer ganzen Umdrehung der Fräse abgelöst, und daher wird bei z Zähnen, die sich gleichmäßig an dieser Arbeit betheiligen, jeder einzelne Zahn nur den z ten Theil dieses Materials entfernen. Denkt man sich daher den Abstand $CC_1 = w$ in z gleiche Theile zerlegt, und durch die Theilpunkte ebenfalls die Kreise zum Halbmesser r gezeichnet, so erhält man offenbar in dem schmalen Streifen zwischen zwei solchen benachbarten Kreisen den Querschnitt der von einem Zahne abgelösten Materialmenge. Aus der Form dieser Streifen, deren Breite im allgemeinen nur sehr gering ist, erkennt man, daß die Dicke jedes von einem Zahne abgeschobenen Zahnes im Beginn, d. h. im tiefsten Punkte C gleich Null ist und daß diese Dicke bis zu der Stelle des Austrittes bei D allmählich zunimmt bis zu dem größten Betrage, der indessen immer nur sehr klein sein wird. Beispielsweise beträgt die in der Verschiebungsrichtung $D_1 D$ gemessene Dicke jedes solchen Spanes bei 25 Zähnen der Fräse, wenn während einer Umdrehung eine Verschiebung von $w = 0,5$ mm gewählt wird, nur $\delta = \frac{0,5}{25} = 0,02$ mm. Die normal, d. h. in radialer Richtung gemessene Dicke ist noch entsprechend kleiner.

Man erkennt hieraus, daß die gebildeten Späne außerordentlich fein ausfallen, womit die verhältnißmäßige Glätte aller gefrästen Flächen im Zusammenhange steht. Allerdings muß, streng genommen, diese Fläche mit

und 757 kurzweg als Verschiebung des Arbeitsstückes gegen die Fräse, Fig. 755, oder mit der Fräse, Fig. 757, bezeichnet werden. Die Gründe, warum das letztere Arbeiten mit der Fräse mangelhaft sein muß, sind uns schwer einzusehen. Hierbei beginnt jeder Zahn, sobald er gegen die Oberfläche DD_1 trifft, seine Arbeit, indem er den wegzunehmenden Span in seiner größten Dicke abzuschleifen sucht, und es muß daher ein diesem größten Widerstande entsprechender Stoß des schnell umlaufenden Zahnes gegen das Arbeitsstück stattfinden. Daß diese in schneller Aufeinanderfolge eintretenden Stoßwirkungen den ruhigen Gang der Fräsenaxe trotz der sichersten Lagerung derselben, beeinträchtigen müssen, ist ersichtlich. Andererseits erkennt man aus Fig. 755, daß bei dem Vorschieben gegen die Fräse derartige

Fig. 757.



Stöße deswegen nicht vorkommen, weil, wie bemerkt wurde, der Widerstand jedes Zahnes von dem anfänglichen Werthe Null sich nur allmählich auf den größten Betrag erhebt.

Hierzu kommt, daß die Oberfläche des rohen Arbeitsstückes sich in den meisten Fällen durch besondere Härte auszeichnet, indem bei gegossenen Gegenständen diese Oberfläche mit einer harten Sandkruste und bei geschmiedeten mit einem Ueberzuge von hartem Eisensinter bedeckt ist, in Folge wovon ein schnelles Abstumpfen der Fräsenzähne herbeigeführt wird, wenn die Fräse wie in Fig. 757 arbeitet. Bei dem Arbeiten nach Fig. 755 dagegen ist die Beschaffenheit dieser Oberfläche für die Schärfe der Zähne unbedenklich, da die einzelnen Späne dabei von unten her weggebrochen werden, ehe die Schneide an diese Oberfläche tritt. Ein wesentlicher Grund endlich für die schlechtere Arbeit bei einem Vorschube mit der Fräse nach Fig. 757 muß in der Einwirkung des schädlichen Raumes oder todten Ganges¹⁾ erkannt werden, welcher zwischen den Gewindegängen der zur Vorführung des Arbeitsstückes dienenden Schraube, sowie in deren Lagern und den Führungstheilen des Schlittens besteht. Stellt nämlich S in Fig. 755 und 757 diese Schraube und M deren Mutter vor, so werden die Muttergewinde bei der Bewegung gemäß

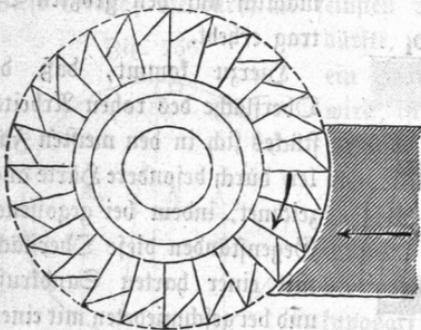
¹⁾ Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1893, S. 839.

Fig. 755 durch den von der Fräse gegen das Arbeitsstück ausgeübten Druck stetig an die Gewinde der Schraubenspindel angepreßt. Bei der Arbeit dagegen nach Fig. 757 kann der von den Fräszähnen auf das Arbeitsstück ausgeübte Zug die Mutter zeitweilig von den Schraubengewinden abziehen, so daß die Schraube bei ihrer Umdrehung eine kurze Zeit leer geht, worauf dann ein unregelmäßiges ruckweises Vorschieben stattfindet. Hierin dürfte einer der hauptsächlichsten Gründe für die ungenügende Arbeit bei dem Vorschube mit der Fräse zu suchen sein.

Man kann allerdings auch bemerken, daß bei dieser Anordnung nach Fig. 757 die relative Bahn jedes Zahnes eine verlängerte Cycloide ist, wie sie der Punkt *C* bei einem Abrollen längs der geraden Linie *LL* beschreibt, die jetzt im Gegensatze zu Fig. 755 nicht oberhalb, sondern um den Betrag $\rho = \frac{w}{2\pi}$ unterhalb der Mitte gelegen ist. Da indessen, wie schon bemerkt

worden, diese Größe ρ immer so unbedeutend ist, daß die wahre Bahn nur

Fig. 758.



ganz unerheblich von dem Kreise *CD* abweicht, so ist nicht anzunehmen, daß die geringe Verschiedenheit der relativen Bahnen in den beiden Fällen die Ursache der verschiedenen Wirkung sein möchte.

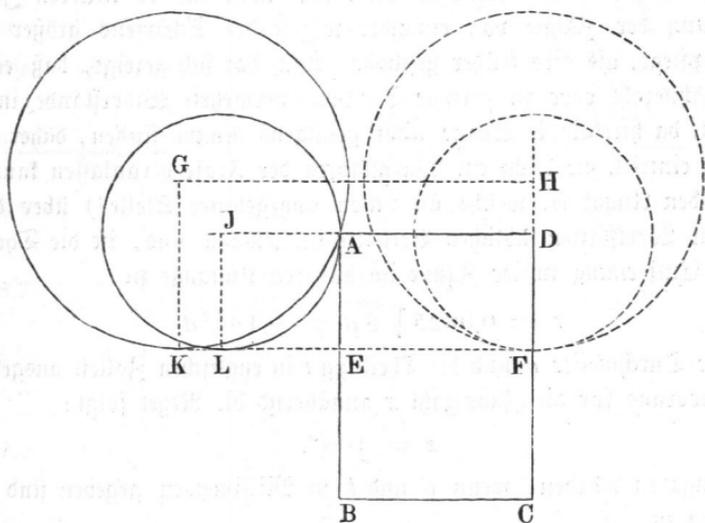
Wie erheblich der Unterschied der Arbeit bei dem Vorschieben gegen die Fräse oder mit derselben ausfällt, kann man deutlich bemerken, sobald man mit einer cylindrischen Mantelfräse *J*, Fig. 751, gleichzeitig die beiden Wandungen *K* und *K*₁ einer schlitzförmigen Durchbrechung bearbeitet. Hierbei zeigt sich immer diejenige Seite, auf welcher der Vorschub mit der Bewegungsrichtung der Zähne übereinstimmt, weniger vollkommen, als die andere, wo gegen die Fräse vorgeschoben wird. Es empfiehlt sich daher in solchen Fällen immer, wie schon bemerkt wurde, unter Anwendung einer kleineren Fräse wie *J*₁ vermittelst eines Hin- und Herganges jede Seite für sich zu bearbeiten.

Nur in gewissen Fällen mag ein Vorschub mit der Fräse zweckmäßig sein, z. B. wenn man ein dickes Arbeitsstück durch zwei Stirnfräsen auf beiden Seiten bearbeiten will, Fig. 758, in welchem Falle das Arbeitsstück dann durch den Druck der Zähne fest gegen die unterstützende Tischfläche gedrückt wird, während bei dem Vorschieben gegen die Fräse das Arbeitsstück bestrebt sein würde, sich von der Tischplatte abzuheben. In solchen

Fällen soll man nach der Angabe von Brown & Sharpe die Führungsschraube für den Schlitten fest anziehen, um die oben gedachten Uebelstände des todten Ganges zu vermeiden, weil sonst leicht ein Fangen der Fräse und Abbrechen der Zähne eintritt. Auch wird für solche Fälle die Anwendung eines Gegengewichtes empfohlen, durch welches die Muttergewinde immer in derselben Richtung gegen die Schraubengänge gepreßt gehalten werden.

In Betreff des Durchmessers, den man einer Fräse zu geben hat, kann man bemerken, daß es im allgemeinen anzurathen ist, diesen Durchmesser so klein zu wählen, wie es mit der Festigkeit der Axe nur verträglich ist, wenn nicht durch besondere Umstände der Durchmesser von vornherein bestimmt

Fig. 759.



wird. Der Grund, warum kleinere Durchmesser größeren vorzuziehen sind, ist nicht bloß in der leichteren Herstellung der Fräsen, sondern namentlich auch in der größeren Leistungsfähigkeit kleinerer Fräsen zu suchen, die sich aus Fig. 759 ergibt. Soll hier das Arbeitsstück $ABCD$ bis zu einer Tiefe EF bearbeitet werden, so muß eine Fräse von dem Halbmesser GK aus ihrer Anfangsstellung in G , wo ihre Wirkung bei dem Punkte A beginnt, bis zu der Endstellung H , also um die Länge GH , an dem Arbeitsstücke entlang geführt werden, während eine kleinere Fräse, wie J , deren Halbmesser nicht kleiner als die Tiefe AE ist, nur auf dem Wege JD an dem Arbeitsstücke entlang geführt zu werden braucht. Die Firma Brown & Sharpe in Providence, welche durch ihre ausgezeichneten Fräsen weltbekannt ist, macht in dieser Beziehung die Angabe, daß nach ihren Er-

fahrungen ein Unterschied von nur $\frac{1}{2}$ Zoll in dem Durchmesser der Fräsen schon einen solchen von 10 Proc. in den Betriebskosten bedingt habe. Andererseits wird jedoch ein größerer Durchmesser ein längeres Scharfbleiben der Fräsen im Gefolge haben, und zwar nicht bloß deshalb, weil bei einer größeren Fräse mit entsprechend mehr Zähnen jeder Zahn im Verhältniß der Zähnezahlen weniger Arbeit zu verrichten hat, sondern auch deswegen, weil jeder Zahn, nachdem er zur Wirkung gekommen ist, während der längeren Zeit seines leeren Umlaufes mehr Gelegenheit zur Abkühlung findet, so daß ein Warmlaufen der Fräsen unter sonst gleichen Verhältnissen, d. h. bei gleicher Umfangsgeschwindigkeit und gleicher Zahntheilung um so weniger leicht zu befürchten ist, je größer der Durchmesser ist.

Was die Zahl der einer Fräse zu gebenden Zähne, oder die Theilung derselben betrifft, so wurde schon bemerkt, daß man in der neueren Zeit die Entfernung der Zähne von einander wegen des Schärfens größer anzunehmen pflegt, als dies früher geschah. Auch hat sich gezeigt, daß eine zu große Zähnezahl oder zu geringe Theilung vermehrte Widerstände im Gefolge hat, da hierbei die Späne nicht genügend Raum finden, daher große Reibung eintritt, die leicht ein Warmlaufen der Fräse veranlassen kann.

Nach den Angaben, welche an unten angegebener Stelle¹⁾ über die in englischen Werkstätten üblichen Verhältnisse gemacht sind, ist die Theilung oder die Entfernung zweier Zähne im äußeren Umfange zu

$$t = 0,0625 \sqrt{8d} = 0,18 \sqrt{d},$$

wenn der Durchmesser d und die Theilung t in englischen Zollen ausgedrückt werden, woraus für die Zähnezahl z annähernd die Regel folgt:

$$z = 100t.$$

Diese Angaben würden, wenn d und t in Millimetern gegeben sind, sich umrechnen in

$$t = 0,9 \sqrt{d} \text{ und } z = 4t.$$

In den amerikanischen Werkstätten dagegen pflegt man die Theilung meist größer, etwa anderthalbmal so groß zu wählen; die Firma Brown & Sharpe z. B. giebt ihren Fräsen von

2 3 6 und 8 Zoll Durchmesser
18 24 32 und 36 Zähne.

Als allgemeine Regel wird von derselben Quelle angegeben, daß die Zähnezahl so bemessen werde, daß bei der Arbeit ein Zahn fortwährend wirkt und zwei Zähne während der Hälfte der Zeit zum Angriff kommen.

Bezüglich der den Fräsen zu gebenden Umfangsgeschwindigkeit können außer den in §. 147 gemachten Angaben noch die hier folgenden angeführt

¹⁾ Institution of Mechanical Engineers, London, October 30, 1890.

werden. G. Addy¹⁾ macht über die Umfangsgeschwindigkeit v und die Vorschub w für verschiedene Materialien die in der folgenden Zusammenstellung enthaltenen Angaben:

mm in Sekunden	Stahl	Schmiedeeisen	Guß Eisen	Meßing
Umfangsgeschwindigkeit . .	180	240	300	600
Vorschiebegegeschwindigkeit . .	0,2	0,4	0,7	1,1

In dieser Beziehung möge auch noch die folgende, von Brown & Sharpe für ihre Maschinen gültige Zusammenstellung angeführt werden.

Durchmesser der Fräse d mm	Tiefe des Schnittes mm	Vorschub für eine Um- drehung	Breite des Schnittes 25 bis 200 mm			
			S t a h l		G u ß e i s e n	
			Um- drehungen in 1 Min.	Vorschub in 1 Min. mm	Um- drehungen in 1 Min.	Vorschub in 1 Min. mm
12,5	1,5	0,225	490	110	600	135
	12,5	0,225	430	97	460	100
18,7	1,5	0,275	320	88	400	110
	18,7	0,275	270	74	300	83
25	1,5	0,35	245	86	300	105
	25	0,35	175	61	230	81
37,5	1,5	0,40	160	64	200	80
	25	0,40	115	46	160	64
50	1,5	0,525	120	63	150	79
	25	0,525	85	44	120	63
75	1,5	0,775	80	62	100	78
	25	0,775	50	39	88	62
100	1,5	0,775	65	50	80	62
	25	0,775	40	31	60	47
150	1,5	0,775	40	31	50	39
	25	0,775	30	23	40	31
Umfangsgeschwindigf. in 1 Secunde in Millimetern			225 und 325		300 und 400	

¹⁾ Construction and Use of Milling Machines, Brown & Sharpe, Manufacturing Co., Providence.