

Handbuch der Fräsertei

Kurzgefaßtes Lehr- und Nachschlagebuch
für den allgemeinen Gebrauch

Gemeinverständlich bearbeitet

von

Emil Jurthe und **Otto Mietzschke**
Ingenieure

Sechste, durchgesehene und vermehrte Auflage

Mit 351 Abbildungen, 42 Tabellen und einem Anhang über
Konstruktion der gebräuchlichsten Zahnformen an
Stirn-, Spiralzahn-, Schnecken- und Kegelrädern



Berlin
Verlag von Julius Springer
1923

ISBN-13:978-3-642-89406-0 e-ISBN-13:978-3-642-91262-7
DOI: 10.1007/978-3-642-91262-7

Alle Rechte, insbesondere das der
Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.
Copyright by Julius Springer in Berlin.
Softcover reprint of the hardcover 6th edition 1923

Aus dem Vorwort zur dritten Auflage.

Mit vorliegendem Werk „Handbuch der Fräserei“ übergeben wir der Öffentlichkeit ein Hilfs- und Nachschlagebuch, dessen Zweck darin bestehen soll, den Techniker, Meister und strebsamen Maschinenbauer in das wichtige Gebiet der Fräserei einzuführen.

Das Werk behandelt alles Wissenswerte, was zur gründlichen Kenntnis der Herstellung, Erhaltung und Anwendung der Fräser und zur Bedienung der dazu erforderlichen Maschinen und Vorrichtungen unbedingt nötig ist. Die heute so vielseitige Anwendung des Fräasers gebot uns, auch kurz auf die gesamte Entwicklung von Fräser und Fräsmaschinen einzugehen und zugleich darauf hinzuweisen, daß für die weitere Entwicklung der Frästechnik die wirtschaftliche Frage ausschlaggebend sein wird. Bei der Neubearbeitung der vorliegenden 3. Auflage hat deshalb die wirtschaftliche Seite in den Vordergrund gestellt werden müssen. Die durch die allgemeine Einführung des Schnellstahles bedingten größeren Betriebsmittel erfordern eine wesentlich höhere Ausnutzung von Maschinen und Werkzeugen und zwingen sehr oft neue Wege einzuschlagen.

Die Neuerungen sind bis auf die letzte Zeit berücksichtigt, so daß die Abbildungen und Beschreibungen dem neuesten Stande dieses Metallbearbeitungsgebietes entsprechen.

Besonderen Dank sind wir allen denen schuldig, die uns ihre Erfahrungen in Fräsereibetrieben des In- und Auslandes durch mündliche und schriftliche Berichte bereitwillig zur Verfügung stellten.

Ebenso wie bei der ersten und zweiten Auflage wurde uns wiederum die weitgehendste Unterstützung seitens der ersten Firmen zu teil; ihnen, sowie auch der Verlagsbuchhandlung, die für eine zeitgemäße Ausstattung Sorge trug, sei an dieser Stelle ebenfalls gedankt.

Frankfurt a. Main, im November 1911.

Die Verfasser.

Vorwort zur fünften Auflage.

Das Erscheinen der fünften Auflage fällt in die Zeit der Übergangswirtschaft zum Frieden und es ist deshalb notwendig auch auf dem wichtigen Gebiete der Fräserei eine erschöpfende Übersicht des Vorhandenen und alles dessen zu geben, was zum Aufbau der Friedenswirtschaft dienlich sein könnte.

Die Kriegswirtschaft hat die Vorteile der Massen- und Reihenfertigung allgemein erkennen lassen und die daraus gezogenen Lehren sollten auch fernerhin weitgehendste Anwendung finden. Sie werden in Verbindung mit den allerorten aufgegriffenen Normenbestrebungen auf die Fertigung unserer Werkstätten grossen Einfluß haben und in höheren Leistungen alsbald erkennbar werden. Die noch immer anhaltende Knappheit wichtiger Rohstoffe drängt dazu, Mittel und Wege zu finden, durch Sparen und Einführen von Ersatzstoffen den gestellten Aufgaben gerecht zu werden.

Bei der Neubearbeitung des Buches wurde zu diesen wichtigen Fragen überall Stellung genommen und so ließ sich, obwohl manches gekürzt und Unwesentliches weggelassen wurde, eine Vermehrung des Stoffes um so weniger umgehen, als auch wieder eine Anzahl Neukonstruktionen aufgenommen werden mußte.

Frankfurt a. Main, im Juli 1919.

Die Verfasser.

Vorwort zur sechsten Auflage.

Seit Erscheinen der letzten Auflage sind auf den großen Gebieten der Frästechnik und des Fräsmaschinenbaues wertvolle Fortschritte gemacht worden. Die Richtung, die der amerikanische Fräsmaschinenbau für die Zwecke: größte Massenfertigung, eingeschlagen hat, ist noch weiter von der des deutschen Fräsmaschinenbaues: Herstellung von Maschinen für beschränkte Massenfertigung, abgewichen. Dies drückt sich vor allem sehr deutlich in dem Bau der Fräsmaschinen für ununterbrochenes Fräsen aus. Der amerikanische Fräsmaschinenbau fertigt hierfür Fräsmaschinen für derartig hohe Leistungen an, wie sie für uns nicht in Frage kommen können. Unsere heutigen Fertigungsweisen gestatten uns nicht die gleichen Wege zu gehen.

Besondere Bedeutung hat in letzter Zeit die mit dem Fräser verwandte Räumnadel erlangt, die als vielschneidiges Werkzeug deshalb nicht übergangen werden konnte. Die dazugehörige Räumnadelziehmaschine mußte in der Neuauflage Aufnahme finden. Es ist zu erwarten, daß dieses wertvolle Ergänzungswerkzeug des Fräasers sehr rasch Eingang finden wird.

Frankfurt a. Main, im Oktober 1922.

Die Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Das Fräsewerkzeug	1
1. Das Fräsewerkzeug und seine Arbeitsweisen	1
a. Der mehrschneidige Fräser im Vergleich zu den einschneidigen Dreh- und Hobelstählen	1
b. Die Fräser für hohe Schnittgeschwindigkeiten (Schnellstahlfräser)	9
2. Die Einteilung der Fräser	11
a. Die Entwicklung der Fräser	11
b. Die Fräserarten	17
c. Die Einspannarten der Fräser	26
3. Die Konstruktion der Fräser und ihre Schnitt- und Schalt- geschwindigkeiten	33
a. Die Form und Teilung der Schneidzähne	33
b. Die spiralgewundenen Schneidzähne	39
c. Die Schnitt- und Schaltgeschwindigkeiten der Fräser	43
4. Die mechanische Bearbeitung der Fräser	53
a. Allgemeines	53
b. Die Bearbeitung der Fräser auf den Werkzeugmaschinen	54
c. Das Hinderdrehen der Fräser	58
Die Universal-Hinderdrehbank von J. E. Reinecker	60
d. Hinterschleifen der Fräser	68
Die Universal-Hinderdrehbank von Schaerer & Co.	68
5. Die Feuerbehandlung der Fräser	70
a. Das Erwärmen des Stahles zum Schmieden und Glühen	70
b. Das Härten der Fräser	72
6. Das Schleifen und Schärfen der Fräser	88
a. Die Wirkungsweise und Leistungsfähigkeit der Schleifarbeit	88
Grundsätze, betr. den Betrieb von Schmirgelscheiben vom Jahre 1897; Änderungen lt. Erlaß vom 8. Oktober 1909	93
b. Das Rundschleifen der Fräser und die dazu erforderlichen Schleif- maschinen	94
Die Universalrundschleifmaschine der Naxos-Union	97
c. Das Schärfen der Fräser und die dazu erforderlichen Fräserschärf- maschinen	103
1. Die Fräserschärfmaschinen von J. E. Reinecker	109
2. Die Fräserschärfmaschinen der Naxos-Union	114
3. Die Metallkreissäge-Schärfmaschine der Naxos-Union	121
II. Die Fräsmaschinen	123
7. Die Entwicklung der Frästechnik	123
Die Räumnadelziehmaschine von Forst	139
8. Richtlinien für den Bau der Fräsmaschinen	142
a. Der Einfluß der Kriegserfahrungen	142
b. Die wichtigsten Konstruktionsteile der Fräsmaschinen	145

	Seite
9. Die Aufspannvorrichtungen für Fräsmaschinen	148
a. Die Maschinenschraubstöcke	148
b. Die Aufspannvorrichtungen	151
10. Die Fräsmaschinen für allgemeine und besondere Arbeiten in der Metallbearbeitung	159
a. Die Einteilung der Fräsmaschinen	159
b. Die Beschreibungen der Fräsmaschinen	161
1. Die Wagerechtfräsmaschinen	161
Die Universalfräsmaschine mit Vorschubrüderkasten von L. Löwe & Co.	162
Die Universalfräsmaschine mit selbsttätigem Teil- und Schalt- apparat von L. Löwe & Co.	163
Die Universalfräsmaschine der Wanderer-Werke	165
Die schwere Universalfräsmaschine von Reinecker	168
Die Wagerecht-Hochkraft-Fräsmaschine von Biernatzki & Co.	172
Die einfache Wagerechtfräsmaschine von Schütte	180
Die Langfräsmaschine von Droop & Rein	180
Die Wagerecht- und Senkrechtfräsmaschine von Reinecker	181
Die einfache Wagerechtfräsmaschine von Zimmermann	182
Die Doppelfräsmaschine von Reinecker	183
2. Die Senkrechtfräsmaschinen	183
Die Senkrechtfräsmaschine von Reinecker	183
Die große Senkrechtfräsmaschine von Reinecker	187
Die Senkrecht-Hochkraftfräsmaschine von Biernatzki & Co.	189
Die Senkrechtfräsmaschinen von Droop & Rein	189
Die Senkrechtfräsmaschine von Schütte	194
Die Parallelfräsmaschine von Reinecker	194
3. Die Sonderfräsmaschinen	194
Die doppelte Keillochfräsmaschine von Droop & Rein	194
Die Spiralbohrerfräsmaschine von Biernatzki & Co.	197
11. Die Berechnungen für Teil- und Spiralarbeiten	198
a. Die Teilvorrichtungen	198
b. Das Teilen und die Teilscheiben	204
c. Die Herstellung spiralgewundener Nuten, Zähne und Riefen	218
d. Das Schrägstellen der Supporte	240
12. Das Kopieren und die dazu erforderlichen Kurvenfräsmaschinen und -vorrichtungen	242
a. Die Kurvenarten	242
b. Die Kopier- und Kurvenfräsmaschinen	245
Die doppelte Kopierfräsmaschine von L. Löwe & Co.	245
Die Fassonfräsmaschine von Nube	247
Die Kurvenfräsmaschine von Reinecker	248
Die Kurvenfräsmaschinen von Nube	248
c. Die Kurvenfräsvorrichtungen	251
1. Die Längskurven	251
2. Die Stirnkurven	253
3. Die Mantelkurven	255
13. Das Fräsen der Schraubengewinde	257
a. Allgemeines	257
b. Die Gewindefräsmaschinen	260
Die Universalgewindefräsmaschine der Wanderer-Werke	261
Die Gewindefräsmaschinen von Schilling und Krämer	262

	Seite
14. Das Fräsen der Zahngetriebe	265
a. Die Erzeugung richtiger Zahnformen	265
b. Das Fräsen der Zahnräder auf der Universalfräsmaschine	279
c. Die Zahnräderfräsmaschinen	283
Die selbsttätige Stirnräderfräsmaschine von Reinecker	283
Die selbsttätige Räderfräsmaschine von Biernatzki	285
Die Stirnräderfräsmaschine nach dem Wälzverfahren von Reinecker	288
Die Schneckenräderfräsmaschine von Reinecker	289
Die selbsttätige Räderfräsmaschine von Pfauter	294
Die Zahnstangenfräsmaschine von Reinecker	300
Die Kegelradvorfräsmaschine nach dem Wälzverfahren von Reinecker	302
III. Anhang	
15. Die Zahnräder	302
a. Allgemeines	302
b. Die Bestimmung der Abmessungen	304
1. Die Stirnräder	304
2. Die Spiralzahn- und Schraubenräder	307
3. Die Schneckengetriebe	312
4. Die Kegelräder	316
c. Die Vor- und Nachteile der gebräuchlichen Verzahnungsarten	320
d. Die Aufzeichnung der normalen Evolventenverzahnung	325
e. Die Diametral-pitsch-Teilung	328
Sachregister	332

Tabellenverzeichnis.

	Seite
1. Bearbeitungstabelle	7
2. Tabelle der Schnellstahl-Analysen	10
3. Tabelle für Fräserringe	26
4. Tabellen der Morsekegel	31
5. Tabellen der metrischen Kegel	32
6. Tabelle der Längskeile für Fräser und der Fräserbohrungen	32
7. Tabelle der Mitnehmer für Fräser	33
8. Tabelle der Mitnehmer für Reibahlen und Senker	33
9. Tabelle der Zahnteilungen für geriefte Fräser	36
10. Tabelle für die Zähnezahleriefter Fräser	37
11. Tabelle für hinterdrehte, geradlinige Fräser	38
12. Tabelle für die Zähnezahler Schnellstahlfräser (Cincinnati-Comp.)	39
13. Tabelle der Spirallängen bei gegebenen Winkeln.	40
14. Gradtabellen für Zahnwinkel bei gegebenen Spirallängen	41
15. Tabelle für Schnitt- und Schaltgeschwindigkeiten	47
16. Tabelle für Versuche bei wechselnder Geschwindigkeit und gleichbleibendem Vorschub	48
17. Tabelle für Versuche bei gleichbleibender Geschwindigkeit und wechselndem Vorschub	49
18. Schnittgeschwindigkeitstabelle für Werkzeugstahlfräser	50
19. Schnittgeschwindigkeitstabelle für Schnellstahlfräser	51
20. Bearbeitungstabelle	52
21. Tabelle der Glühfarben	74
22. Tabelle der Schmelzpunkte der Salze	84
23. Tabelle der Anlaßfarben	88
24. Tabelle für Umlaufzahlen der Schleifräder	95
25. Tabelle der Einstellmaße	106
26. Teiltabelle für $e = 40$	209
27. Teiltabelle für $e = 60$	210
28. Sinus- und Kosinustabelle	225
29. Tangens- und Kotangententabelle	228
30. Formeltabelle für die Spiralarbeiten	234
31. Gradtabelle für die Supportstellungen	236
32. Gradtabelle für die Schrägstellung beim Fräsen der Schneckenräder nach Zoll	238
33. Gradtabelle für die Schrägstellung beim Fräsen der Schneckenräder nach Millimeter	238
34. Gradtabelle für die Schrägstellung beim Fräsen der Schneckenräder nach Modulteilung	240
35. Wechselradertabelle für Modulsteigung bei $\frac{1}{2}$ Zoll engl. Leitspindelsteigung	314
36. Maßtabelle für korrigierte Zahnformen	323
37. Grants-Tabelle für normale Evolventenverzahnung	327
38. Tabelle für den achteiligen Zahnradfräsersatz	328
39. Tabelle für den fünfzehnteiligen Zahnradfräsersatz	328
40. Tabelle für Diametral-pitch	331
41. Tabelle für circular pitch	331
42. Tabelle für Modulteilung	331

I. Das Fräsewerkzeug.

1. Das Fräsewerkzeug und seine Arbeitsweisen.

a. Der mehrschneidige Fräser im Vergleich zu den einschneidigen Dreh- und Hobelstählen.

Das Fräsewerkzeug, kurz der Fräser genannt, hat nach und nach so durchgreifende Verbesserungen erfahren, seine Widerstandsfähigkeit ist so vervollkommenet, seine Anwendung ist, dank der vortrefflich konstruierten Maschinen, eine so vielseitige geworden, daß es keinen Zweig der Metallbearbeitung gibt, auf dem er sich nicht mit Erfolg verwenden ließe. Es ist daher unbedingtes Erfordernis eines jeden Technikers, Meisters und Maschinenbauers, sich mit der Herstellung, Anwendung und Erhaltung der Fräser durchaus vertraut zu machen.

Als kreisendes Werkzeug mit vielen Schneidzähnen hat der Fräser eine ganz bedeutende Überlegenheit gegenüber den einschneidigen Dreh- und Hobelstählen. Dieselben sind am Ende ihrer Leistungen, wenn sich die arbeitenden Schneidspitzen so weit erwärmt haben, daß sie ausglühen, d. h. weich werden. Selbst der leere Rücklauf bei den Hobelmaschinen hebt nicht ganz die Erwärmung des Hobelstahles auf. Er wird nach und nach immer wärmer und durch die zunehmende Abnutzung bald stumpf. Nicht so der Fräser, dessen viele Schneidzähne nicht unausgesetzt zu arbeiten haben, sondern sich in die Arbeit teilen. Bei ihm kühlen sich die Schneidzähne genügend ab. Sie sind nur einen verhältnismäßig kleinen Teil einer Umdrehung der Arbeitswärme ausgesetzt, die durch das Abtrennen der Späne erzeugt wird. Es ergibt sich daraus von selbst, daß den Fräsern höhere Schnittgeschwindigkeiten zugemutet werden können als den Dreh- und Hobelstählen.

Durch die eigentümliche Art der Spanabhebung ergeben sich beim Fräser besonders günstige Eigenschaften. Der arbeitende Fräserzahn greift stets auf reinem Material an und hebt die harte Guß- oder Schmiedekruste, ohne daß sie berührt wird, mit seinem Span ab. Die Dreh- und Hobelstähle schleifen sich dagegen an den Krusten stumpf. Der Fräserzahn beginnt ferner seine Arbeit mit einer Leistung, die gleich Null ist.

Abb. 1 zeigt seinen Span, der in der Fortsetzung allmählich stärker wird und einem kreisbogenförmig auslaufenden Dreieck abc gleicht¹⁾. Hervorgerufen wird diese Eigentümlichkeit durch die Schaltrichtung

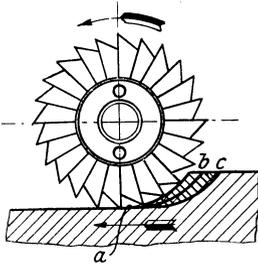


Abb. 1. Das Abheben der Späne.

des zu bearbeitenden Werkstückes zum Fräser, welche stets der Umdrehungsrichtung des Fräasers entgegen erfolgt. Eine Schaltrichtung gleichlaufend mit der Umdrehungsrichtung des Fräasers ist falsch, da der Fräserzahn an der harten Guß- oder Schmiedekruste angreift, mit seiner größten Leistung beginnt und dadurch sich in das Werkstück förmlich einhakt.

Der Fräser verrichtet seine Arbeit auch wesentlich anders als die einschneidigen Dreh- und Hobelstähle. So vollzieht sich das Hobeln einer Platte, Abb. 2, durch aufeinanderfolgende Gänge, mit der für das Hobeln üblichen Schnittgeschwindigkeit (70—100 mm in der Sekunde für Werkzeugstahl, 150—250 mm für Schnellstahl). Dabei gleitet die Platte a unter dem Hobelstahle b durch und dessen Schneide arbeitet

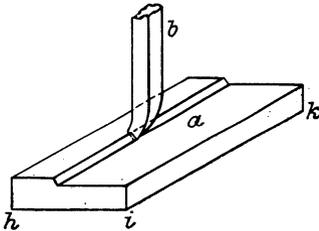


Abb. 2. Das Hobeln einer Platte.

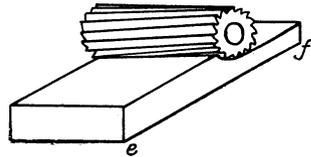


Abb. 3. Das Fräsen einer Platte.

das ihr entgegengeführte Material weg. Nach jedem Durchgange wird der Hobelstahl — senkrecht zu der Arbeitsbewegung $i-k$ — in Richtung $i-h$ weitergeschoben (geschaltet), um bei dem nächsten Durchgang neues Material wegschneiden zu können. Diesen Vorgang, dem Werkzeug immer neues Material zuzuteilen, nennt man Schalten, und den dadurch zurückgelegten Weg $h-i$ Schaltweg. Der Fräser dagegen greift diese Platte zwecks Bearbeitung in ihrer ganzen Breite an (Abb. 3). Die Arbeitsbewegung wird hierbei vom Fräser ausgeführt, dem ununterbrochen durch Schalten in der Richtung $e-f$ neues Material zugeführt wird.

Durch das Fräsen werden viele Arbeiten erheblich vereinfacht, weil sich das Profil eines Werkstückes auf den Fräser übertragen läßt. So

¹⁾ Sog. kommaähnliche Späne. Vgl. Fischer, Werkzeugmaschinen. Berlin 1901. Bd. I. S. 11.

würde das Hobeln eines Tischeschlittens, Abb. 4, eine ganze Anzahl Schaltwege ergeben, während das Fräsen mit dem zusammengesetzten Fräser nur einen benötigt.

Endlich hat der Fräser den Vorteil, daß sich bei ihm der Schneidwinkel nicht ändert, wenigstens nicht in dem Maße, daß seine Schneid-

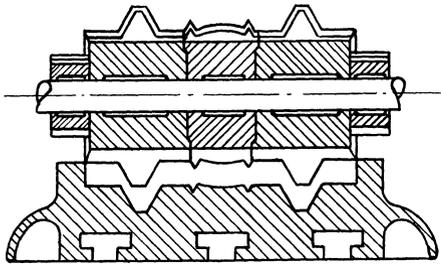


Abb. 4. Das Fräsen eines Tisches.

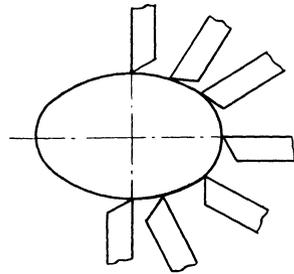


Abb. 5. Das Verändern der Schneidwinkel beim Drehen von Kurven.

fähigkeit dadurch beeinflußt wird, wie es beispielsweise bei dem Drehen von Ellipsen und Kurven der Fall ist. Vgl. Abb. 5¹⁾.

Als hauptsächlichste Vorteile des Fräasers gegenüber anderen Werkzeugen müssen genannt werden:

die unzähligen Arten der Anwendung,
die hohe Leistungsfähigkeit und
der geringe Kraftverbrauch.

Die unzähligen Anwendungsarten zur Erzeugung der vielseitigen und zusammengesetzten Formen beruhen größtenteils im folgenden:

1. Der Fräser kann eine Form erhalten, mit der er imstande ist, profilierte Werkstücke zu erzeugen, die mit keinem anderen Werkzeuge auch nur annähernd so vorteilhaft hergestellt werden können.

2. Das Werkstück kann zum Bearbeiten unter jedem nur denkbaren Schaltwege dem Fräser zugeführt werden, sofern der letztere mit geeigneten Schneidzähnen versehen ist.

Die Leistungsfähigkeit²⁾, verbunden mit der einfachsten Bedienung ergibt sich aus den schon erwähnten günstigen Eigenschaften des Fräasers, durch die er eben sehr viel höheren Anforderungen gerecht werden kann. Außerdem gestattet die einfachere Bedienung ein gleichzeitiges Arbeiten an zwei und mehreren Fräsmaschinen.

Nachstehend sei an einigen Beispielen die Arbeitsdauer der Fräsmaschinenarbeit mit der von anderen Werkzeugmaschinen verglichen.

¹⁾ Fischer, Werkzeugmaschinen. Bd. I. S. 33.

²⁾ Vgl. auch Zeitschrift für Werkzeugmaschinen und Werkzeuge. Bd. III. S. 320.

1. Vergleich zwischen Hobelmaschine und Fräsmaschine.

Es sollen eine größere Anzahl schmiedeeiserner Platten bearbeitet werden. Die Abmessungen sind: 1000 mm Länge, 150 mm Breite und 30 mm Dicke. Für die Hobelmaschine sollen folgende Mittelwerte angenommen werden. Die Schnittgeschwindigkeit betrage 200 mm in der Sekunde, der Rücklauf der Maschine das Doppelté und das Schalten 0,5 mm. Bei einer Länge von 1000 mm brauchte demnach die Hobelmaschine 5 Sekunden für den Vorlauf und 2,5 Sekunden für den Rücklauf des Tisches. Zugunsten der Hobelmaschine sei angenommen, daß sie für das Darüberlaufen an beiden Enden des Werkstückes und für das Umsteuern beim Vor- und Rücklauf nur 2 Sekunden brauche. Ein Arbeitsgang würde demnach 9,5 Sekunden beanspruchen. Rechnet man noch 5 Arbeitsgänge für das richtige Einstellen des Stahles hinzu, so stellt sich die Zahl der Arbeitsgänge für einen Schnitt bzw. einmal Überhobeln der Platte auf 305. Die hierfür nötige Arbeitszeit ist demnach $9,5 \text{ Sekunden} \times 305 = 2897 \text{ Sekunden} = 48 \text{ Minuten und } 17 \text{ Sekunden}$.

Der Fräser würde dazu beim minutlichen Schalten von nur 40 mm $1000 : 40 = 25 \text{ Minuten}$ brauchen. Rechnet man für das Anstellen des Fräasers noch 120 Sekunden hinzu, so ergibt sich eine Dauer von 27 Minuten.

Es steht somit für diese einfache Arbeit eine Überlegenheit der Fräsarbeit von 21 Minuten der der Hobelarbeit gegenüber. Dies entspricht einer Mehrleistung von 75%.

Die Leistung des Fräasers ist noch günstiger, sobald es sich darum handelt, die Platten nochmals zu überschlichten. Alsdann kann über die oben angenommene minutliche Schaltgeschwindigkeit weit hinaus gegangen werden. Die Schrupp- und Schlichtarbeit wird dabei mit demselben Fräser verrichtet. Dagegen wird der Hobelstahl ausgewechselt werden müssen und sein ebenfalls vergrößertes Schalten kann an das des Fräasers nicht heranreichen. Bei breiteren Flächen wird das Verhältnis für die Fräsmaschine noch günstiger, während es sich bei langen schmalen Flächen zugunsten der Hobelmaschine verschiebt.

Das angeführte Beispiel läßt sich noch erweitern, wenn wir annehmen, daß außer der oberen Fläche auch die beiden Seitenflächen von 30 mm Dicke gehobelt werden sollen. In diesem Falle kommt zu der bereits festgestellten Arbeitsdauer der oberen Fläche noch die der beiden Seitenflächen hinzu, die bei den oben gegebenen Verhältnissen eine Zeit von 19 Minuten beansprucht. Außerdem erfordert das zweimalige Umspannen des Stahles 1 Minute.

Der Fräser kann nun diese Arbeit auf mehrere Arten verrichten. Am vorteilhaftesten ist es, wenn an dem Fräser, der die obere Fläche bearbeitet hat, links und rechts noch ein größerer Fräser gesteckt wird, wie Abb. 6 zeigt. Dieser zusammengesetzte Fräser kann auch diese

gesteigerte Arbeitsleistung in 27 Minuten bewältigen und erreicht dadurch einen weiteren Vorsprung von 20 Minuten, die der Hobelstahl mehr braucht.

Zu alledem kommt noch, daß der eingestellte Fräser fast gar keiner Bedienung bedarf und infolgedessen ein Arbeiter bei den Planfräsarbeiten 3—4 solcher Maschinen bedienen kann, wohingegen ein Hobler bei

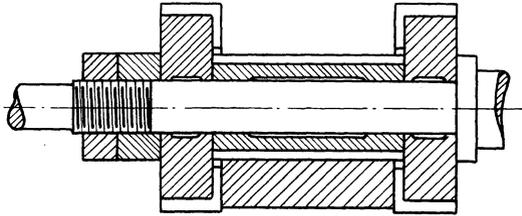


Abb. 6. Das Fräsen einer Platte.

diesen und ähnlichen Arbeiten nicht mehr wie 2 Hobelmaschinen bedienen kann. Denn während auf einer Maschine die obere Fläche bearbeitet wird, hat der Hobler seine volle Aufmerksamkeit auf das Bearbeiten der Seitenflächen auf der zweiten Maschine zu richten.

Dieser Vergleich behandelte gerade Flächen, also solche, die sich noch am günstigsten für die Hobelarbeiten stellen. Weniger günstig stellen sich diese Vergleiche, sobald es sich um Werkstücke handelt, die Schweifungen oder Radien enthalten. Abb. 7 zeigt eine Schwalbung, welche früher von Hand ausgehobelt wurde. Daß hierbei der Fräser noch erheblich bessere Ergebnisse beim Vergleiche erzielt, bedarf wohl keiner Beweisführung.

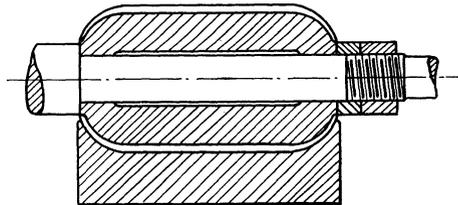


Abb. 7. Das Fräsen einer Schwalbung.

Es soll damit durchaus nicht gesagt werden, daß das Fräsen bei allen Arbeiten wirtschaftlicher als das Hobeln ist. Bei profilierten Flächen z. B. wird immer zu entscheiden sein, ob die Anzahl der herzustellenden Teile die Anschaffung eines Sonderfräasers lohnt. Bei den Führungsbahnen an Drehbankbetten, Schleifmaschinen und ähnlichen Werkstücken, die eine sehr große Genauigkeit erfordern und geschabt werden, müßte, um ein Verziehen während des Fräsens zu verhindern, und um eine zum Schaben fertige Fläche zu erhalten, der Vorschub so weit herabgesetzt werden, daß die Wirtschaftlichkeit ebenfalls in Frage gestellt würde. Es hat sich daher für derartige Werkstücke eine Arbeitsteilung herausgebildet, und zwar: Vorschruppen auf der Fräsmaschine, Schlichten auf der Hobelmaschine.

2. Vergleich zwischen Stoßmaschine und Fräsmaschine.

Als Beispiel sei das Bearbeiten der Kurbel einer Dampfmaschine gewählt. Die Mitten der Kurbelwelle und des Kurbelzapfens haben eine Entfernung von 600 mm und die ganze zu bearbeitende Bahn beträgt 2100 mm. Das Bearbeiten geschieht bei zweimaligem Aufspannen; das eine Mal an der großen Rundung *a* und den beiden Längsflächen *c* und das andere Mal an der kleinen Rundung *b* (Abb. 8).

Die Stoßmaschine arbeitet unter ähnlichen Schnitt- und Schaltgeschwindigkeiten wie die Hobelmaschine, so daß ein Arbeitsgang bei 200 mm Hubhöhe rund 2,5 Sekunden in Anspruch nimmt. Bei Abnahme von 2 Schnitten dauert demnach das Stoßen über 11 Stunden. Hierzu käme die Zeit für zweimaliges Aufspannen und Ausrichten, die wir mit 1 Stunde annehmen wollen, und zwar sowohl für die Stoßmaschine als auch für die Fräsmaschine.

Zum Fräsen dieser Kurbel einschließlich des Aufspannens brauchen wir bei Abnahme von 2 Schnitten und einem minutlichen Schalten von 30 mm eine Gesamtarbeitsdauer von $3\frac{1}{2}$ Stunden.

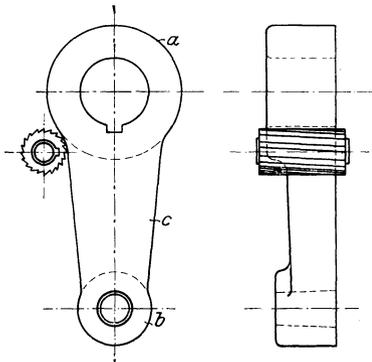


Abb. 8. Das Fräsen einer Kurbel.

3. Vergleiche zwischen Drehbank und Fräsmaschine.

Obwohl das von der Hobel- und Stoßarbeit Gesagte nicht im gleichen Maße von dem ununterbrochenen Drehen gilt, muß doch festgestellt

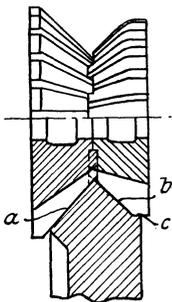


Abb. 9.

Das Rundfräsen
eines Kegelrades.

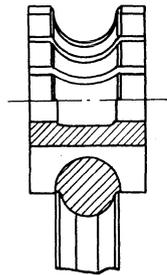


Abb. 10.

Das Rundfräsen
eines Handrades.

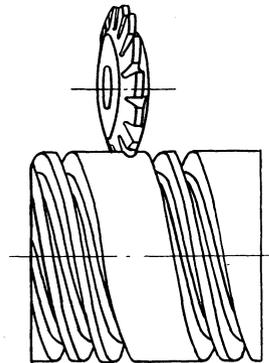


Abb. 11.

Das Fräsen einer Schnecke.

werden, um wieviel vorteilhafter sich das Fräsen gegenüber dem Drehen bei den dazu sich eignenden Werkstücken stellt.

Für das Bearbeiten des in Abb. 9 dargestellten Triebes an den Flächen *abc* braucht die Drehbank 45—50 Minuten, während das Bearbeiten auf der Rundfräsmaschine höchstens 30 Minuten dauert. Das Bearbeiten des Handrades, Abb. 10, dauert auf der Drehbank 60 bis 70 Minuten und auf der Fräsmaschine nur 35—38 Minuten. Das Schneiden der in Abb. 11 dargestellten viergängigen Schnecke¹⁾ dauert auf der Drehbank 7—8 Stunden und auf der Schneckenfräsmaschine nur 2 Stunden.

Im großen Maßstabe hat die Massenfertigung das Rundfräsen von Werkstücken anstatt des Drehens aufgenommen und damit bedeutende Erfolge erzielt. Sie beruhen dort weniger auf der Arbeitsdauer selbst, als vielmehr in der großen Genauigkeit, die die mit Profilfräsern hergestellten Teile besitzen. Ferner sind dazu keine geschulten Dreher erforderlich, da die Fräsmaschine, einmal auf den richtigen Durchmesser des Werkstückes eingestellt, nur noch des Auswechselns der fertigen Teile bedarf.

Der geringe Kraftverbrauch der Fräser findet seine Erklärung in dem geringen Trennungswiderstand der kleinen Spänchen. Dadurch wird zugleich der so schädlichen Wärmeentwicklung der Boden entzogen.

Ausführliche Untersuchungen über Kraftverbrauch legt W. v. Knabbe in seinem Werke: „Der Fräser“²⁾ nieder, aus dem auch zwei nachstehende Vergleichsergebnisse zwischen Fräsmaschinen und anderen Werkzeugmaschinen entnommen sind. Danach stellen sich die einzelnen Zahlen wie folgt:

	I.		II.	
	Bearbeiten der Lokomotivrahmen		Bearbeiten der Schwungradrinnen	
	Stoßmaschine	Fräsmaschine	Drehbank	Fräsmaschine
Der größte Wert der für die Maschine erforderlichen Bewegungskraft in Pferdestärken	1,26	1,37	4,72	6,3
Die (theoretische) Zeitdauer der Bearbeitung in Stunden	104	46	6,5	3,25
Der volle Verbrauch an Betriebskraft für die Stunde in Pferdestärken . .	94,23	63	18,61	14,4
Das volle Gewicht des abgenommenen Spanes in Kilogramm	485	485	511	511
Das von einer Pferdekraft für die Stunde abgenommene Spangewicht in Kilogramm	5,15	7,7	27,4	35,4
Die Anzahl der Pferdestärken, welche zur Abnahme eines Kilogrammes Späne für die Stunde erforderlich ist (den Arbeitsverbrauch der Maschine bei dem Lehrgange inbegriffen) . .	0,19	0,13	0,04	0,03

¹⁾ Vgl. Zeitschrift für Werkzeugmaschinen und Werkzeuge. Jahrg. VI: Vorrichtung zum Fräsen kleiner Schneckenwindeln.

²⁾ W. v. Knabbe, Der Fräser und seine Rolle bei dem derzeitigen Stande des Maschinenbaues. 2. Aufl. Berlin 1896.

Die in der Tabelle niedergelegten Werte sind rein rechnerisch ermittelt. In neuerer Zeit vorgenommene praktische Versuche mit Schnellstahl-Fräsern, bei denen der Kraftverbrauch am Antriebsmotor genau gemessen wurde, ergaben Höchstleistungen von 10 bis 12 kg Spangewicht für Pferdestärke und Stunde bei weichem Gußeisen, und 5 bis 8 kg bei Schmiedeeisen bzw. Stahl von 40 kg/qmm Festigkeit. Dies entspricht einem Arbeitsaufwand von $0,08 \div 0,1$ bzw. $0,13 \div 0,2$ PS für 1 kg Spangewicht für die Stunde. Es entspricht dies den in Spalte I angegebenen errechneten Werten, während der in Spalte II errechnete Kraftverbrauch zu niedrig ist¹⁾.

Die Leistungsfähigkeit der Fräser ist hauptsächlich auch in der geringen Abnutzung, dem leichten Nachschärfen und der langen Arbeitsdauer zu suchen. Von ihr geben nachstehende Beispiele deutliche Beweise. Die beiden ersten Fräser wurden in der Werkzeugfabrik von J. E. Reinecker, Chemnitz, hergestellt und befinden sich in dem Museum dieser Firma.

Ein Zahnradfräser Modul 2,5 fräste für 185 Drehbänke je ein Rad mit

120	}	Zähne
110		
94		
80		

zusammen 404 und fräste somit $404 \times 185 = 74740$ Zähne, d. i. bei einer Zahnbreite von 28 mm eine Fräslänge von $74740 \times 28 = 2092720$ mm = 2,09 Kilometer.

Der zweite Fräser fräste 200000 Stück Gewehrabzüge aus besonders hartem Material. Bei einer Stärke von 6 mm ergibt dies eine gesamte Fräslänge von 200000×6 mm = 1,2 Kilometer.

Ein dritter Fräser (Walzenfräser) aus Böhler-Rapid-Stahl für hohe Schnittgeschwindigkeit bearbeitete, ohne daß er geschärft wurde, 68 m Zahnstangen aus Bessemerstahl 40 mm breit, beim Schalten von 60 mm in der Minute. Die Spanstärke schwankte zwischen 3 und 5,5 mm. Der Fräser zeigte nach dieser Arbeit eine kaum merkliche Abnutzung.

Leider treten die eingangs genannten Vorzüge des Fräasers nicht überall zutage, da die Natur des Fräasers genaues Einhalten der durch die Arbeitsweise gegebenen Bedingungen erfordert. In erster Linie muß der Fräser genau rundlaufen. Ist dies nicht der Fall, so muß die für alle Fräserzähne bestimmte Arbeit von nur einigen Schneidzähnen verrichtet werden. Dies hat zur Folge, daß die Arbeit nicht sauber wird und die Fräsmaschine unter der stoßweisen Beanspruchung leidet.

Als weitere Bedingung muß das Scharfhalten des Fräasers genannt werden, auf welches ganz besonders zu achten ist. Lassen sich

¹⁾ Vgl. Z. d. V. d. I. Jahrg. 1913. Seite 1409: F. Nickel, Die neue Senkrechtfräsmaschine von J. E. Reinecker, ferner Z. f. p. Maschinenbau 1913. Heft 49: P. V. Vernon, Fräsversuche. Siehe auch Seite 47.

schon mit einem nicht ganz scharfen, breiteren Fasson- oder Schlichtstahl nur ungenügende Ergebnisse erzielen, so läßt sich letzteres von einem nicht geschärften Fräser noch im bedeutend weiteren Maße behaupten. „Zur richtigen Zeit schärfen“ ist deshalb eine ernste Mahnung, die jeder beherzigen soll, der mit Fräsern zu arbeiten hat. Veranlaßt durch diese Erfahrung, versehen darum auch die meisten Werkzeugfabriken ihre Fräser mit dem Stempel: „Oft schärfen“.

b. Die Fräser für hohe Schnittgeschwindigkeiten (Schnellstahlfräser).

Eine Folgeerscheinung der bekannten Drehstähle aus Schnellstahl¹⁾ sind die Fräser für hohe Schnittgeschwindigkeiten. Sie bearbeiten weiches Flußeisen und Gußeisen mit sekundlichen Schnittgeschwindigkeiten bis zu 750 mm. Auch die dabei in Betracht kommenden Schaltgeschwindigkeiten übersteigen weit das bisher übliche Maß. Die Ursachen der hohen Leistungsfähigkeit dieser Schnellstähle liegen sowohl in ihrer besonderen Zusammensetzung als auch in dem eigentümlichen Temperverfahren, dem sie unterworfen werden, wodurch sie die besondere Fähigkeit erhalten, erst bei einer viel höheren Temperatur auszuglühen als gewöhnliche Stahllarten. Nach übereinstimmenden Versuchen bewirkt eine Erhitzung von selbst 400° noch keine Verluste an Härte. Das erklärt auch, warum solche Fräser, ohne Schaden zu leiden, selbst dann noch weiter arbeiten können, wenn die abgenommenen Späne durch die Trennungswärme blau angelaufen sind. Es würde zu weit führen, auf die Entwicklung dieser Stahllarten näher einzugehen, es sei mit der Anführung der betreffenden literarischen Quellen²⁾ Genüge getan.

Über die Wirtschaftlichkeit dieser Fräser sind heute die Meinungen geklärt. Manche überschwengliche Hoffnung, die beim ersten Auftauchen der Schnellstahlfräser entstand und einen gewaltigen Umsturz der ganzen Frästechnik erwarten ließ, ist zwar unerfüllt geblieben, aber als bleibende Werte sind doch große unverkennbare Fortschritte zu verzeichnen.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß diese hochwertigen Fräser auch auf gewöhnlichen Fräsmaschinen eine wesentlich größere Leistung ergehen und daß sie den Schnitt die vier- und fünffache Zeit eines gewöhnlichen Fräsers aushalten. Der Mehrpreis des Stahlmaterials zehrt somit nur einen kleinen Teil des erzielten wirtschaftlichen Gewinnes auf.

Die volle Ausnutzung dieser Fräser kann natürlich nur auf besonders kräftig gebauten Fräsmaschinen erfolgen. Hier sind die anfangs gemachten Versprechungen noch übertroffen worden. Der Werkzeug-

¹⁾ Außer dieser Bezeichnung finden sich in der Praxis noch die folgenden: „Schnelldreh-, Schnellschnitt-, Schnelldreht- und Schnellauf-Stahl“.

²⁾ Thallner, Werkzeugstahl. 2. Aufl. Freiberg 1904. — Dr.-Ing. Otto A. Böhler, Wolfram- und Rapidstahl. Wien 1904. — Brearley-Schäfer, Die Wärmebehandlung der Werkzeugstähle. Berlin 1913.

maschinenbau hat durch sie wohl den stärksten Impuls für die heutige, auf höchster Stufe stehende Entwicklung der Fräsmaschine erhalten.

Aber noch auf einem anderen Gebiete möchten wir heute den Schnellstahlfräser nicht mehr missen, und zwar für das Bearbeiten der hochwertigen Chromnickelstähle, die vorzugsweise der Motorwagen- und Flugzeugbau im großen Umfange verwendet. Freilich kommt es hierbei nicht so sehr auf die hohe Schnittgeschwindigkeit als auf die überaus große Härte und Widerstandsfähigkeit der Schneidzähne an.

Auch in einer anderen Richtung haben diese neuen Fräser nützlich gewirkt. Bekanntlich verwendet man mit Vorliebe Fräser größeren Durchmessers, weil sich diese nicht so leicht erwärmen und infolgedessen eine längere Schneiddauer besitzen. Diesen Vorteil mußte man aber sehr teuer erkaufen. Denn erstens braucht ein größerer Fräser bedeutend mehr Kraft — was leicht aus den verschiedenen großen Hebelarmen q , p der Abb. 12 ersichtlich ist — erfordert also eine kräftigere Fräsmaschine mit starkem Antriebe, und zweitens ist die zu bearbeitende Strecke bei einem größeren Fräser eine um den Betrag x längere. Bei den Fräsern für hohe Schnittgeschwindigkeiten kann man nun bedeutend kleinere Durchmesser verwenden, da auch deren

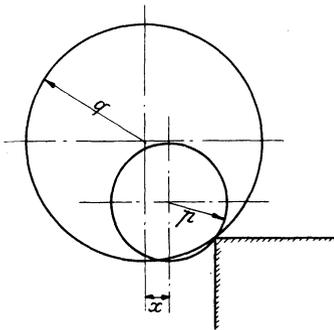


Abb. 12. Der Fräseranschnitt.

Schneiddauer eine bedeutend längere als die der gewöhnlichen Fräser mit großen Durchmessern ist. Dadurch werden außer den eben bezeichneten Vorteilen: geringerer Kraftverbrauch und kürzere Arbeitsstrecke, auch die Mehrkosten dieses Stahles teilweise aufgewogen.

Die obigen Vorteile sind mehr und mehr erkannt worden, so daß heute der Schnellstahlfräser in keinem Betriebe fehlt; die meisten großen Werke verwenden ihn ausschließlich und mit bestem Erfolge.

Zum Schluß seien von einigen der bekanntesten dieser Stahlsorten die die Härte bestimmenden Zusätze angegeben:

Kohlenstoff	Silicium	Mangan	Chrom	Wolfram	Molybdän	Vanadium
C	Si	Mn	Cr	Wo	Mo	Va
0,45	0,09	0,05	6,44	21,65	—	—
0,73	0,10	0,02	3,62	19,20	—	—
0,50	0,05	0,03	5,10	18,09	1,60	0,15
0,48	0,10	0,04	5,48	15,17	3,38	0,22
0,60	0,10	0,11	3,10	12,50	—	—

2. Die Einteilung der Fräser.

a. Die Entwicklung der Fräser.

Das Vorbild des Fräasers¹⁾ war die Feile. Kreisende Feile war auch für die erste Zeit der Beiname des neuen Werkzeuges, das mehr zum Ersatz der Schlosser- (Hand-)arbeit für profilierte, geschweifte oder abgesetzte Flächen als zum Ersatz der Maschinenarbeit für gerade oder ebene Flächen gedacht war. Infolgedessen beschäftigten sich die einschlägigen Kreise hauptsächlich mit der Verbesserung des Profilfräasers.

Zwar erscheint es auf den ersten Augenblick, als ob zuerst der einfache Fräser seiner Verbesserung entgegengegangen sein müßte, doch ist dem nicht so. Es leuchtet auch ein, wenn man die Sache vom Stande der damaligen Werkstatttechnik aus betrachtet.

Das Bearbeiten der ebenen Flächen oblag den Hobelmaschinen. Man war weit entfernt, daran zu denken, den Fräser als besseren Ersatz

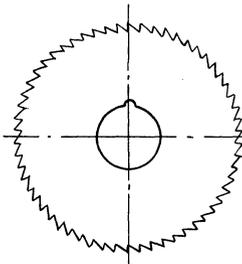


Abb. 13.
Der Urfräser.

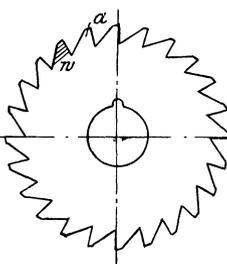


Abb. 14.
Der gerieft Fräser.

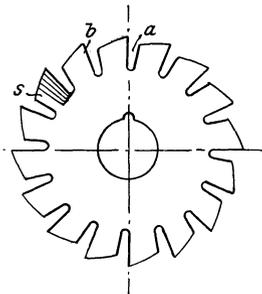


Abb. 15.
Der hinterdrehte Fräser.

dafür zu verwenden, denn seine großen Mängel waren zu bekannt. Der Fräser hatte zu enge, kleine Zähne, mit denen natürlich keine Leistungen erzielt werden konnten. Zudem konnte man die künstlichen Schleifsteine, die Schmirgelräder noch nicht. Ein Schärfen nach dem Härten war also unmöglich. Sobald der Fräser stumpf war, mußte er von neuem ausgeglüht und aufgearbeitet werden. Darunter litt besonders die Qualität des Stahles. Das wiederholte Härten führte sehr oft zum Bruche des Fräasers.

Nur wenn es sich um eine größere Anzahl profilierter Teile handelte, die untereinander gleich sein sollten, sah man ein, daß man mit der Hobelarbeit von Hand bei weitem nicht die Qualität und Menge herstellen konnte als mit dem, wenn auch mit vielen Mängeln behafteten Fräser.

Besonders unangenehm war das Verziehen der Fräser. Da man diesem Übelstand nicht abhelfen konnte, kamen beim Arbeiten immer

¹⁾ Der Name stammt aus dem Französischen: Fraise = Erdbeere, entsprechend der Form und der vielen kleinen Zähnen.

nur einige Zähne zur Wirkung. Dies beeinträchtigte in hohem Maße die Sauberkeit der Arbeit.

Der Urfräser Abb. 13 konnte infolge der schwächlichen Form seiner feilenartigen Schneidzähne nur eine dem Feilen oder Schaben ähnliche Arbeit leisten. Erst nach und nach haben die Schneidzähne ihre heutige Form erhalten, die allgemein als die geriefte oder spitzgezahnte bezeichnet wird, vgl. Abb. 14.

Die Amerikaner bedienten sich zuerst der Fräser mit weiten Zähnen und führten für das Nachschärfen ihrer Schneidzähne die künstlichen Schmirgelräder ein. Nach diesem ging die Frästechnik Schritt für Schritt vorwärts, wobei besonders die gewaltigen Anforderungen der Massenfertigung einen entscheidenden Einfluß auf die Weiterentwicklung und Verbesserung des Fräasers gewannen.

So führte J. E. Reinecker in Chemnitz das Schärfen der Schneidzähne durch die Topfschalen ein. Bis dahin geschah dies mit kleinen Schmirgelrädchen. Dadurch entstanden jedoch Rundungen bzw. Hohlräume an den Schneidfasen der Zähne, wodurch sie weniger widerstandsfähig wurden.

Der dann von Amerika eingeführte hinterdrehte Fräser Abb. 15 begann eine stetig zunehmende Umwälzung der gesamten Frästechnik einzuleiten. Namentlich wurde das große Gebiet der Profilmbearbeitung mit dieser Erfindung der Fräserei erschlossen.

Die Fräser lassen sich bezüglich der Form ihrer Schneidzähne in zwei große Gruppen scheiden. In Fräser mit spitzgezahnten oder geriefen Schneidzähnen und in Fräser mit hinterdrehten Schneidzähnen, deren lange Rücken gleichmäßig sinkende Profile darstellen.

Trotzdem der geriefte Fräser mehrfache Verbesserungen erfahren hat, ist er doch nicht imstande gewesen, das Vordringen des hinterdrehten Fräasers aufzuhalten. Vorübergehend schien es sogar, als sollte der geriefte Fräser ganz verdrängt werden.

Der Schneidzahn des geriefen Fräasers, Abb. 14, stellt ein unregelmäßiges Viereck dar, und er wird durch das Nachschärfen der Schneidfase nach und nach die schraffierte Form *w* annehmen. Einer Form, die eine sehr ungünstige Schnittwirkung ausüben muß und zwischen den Zähnen keinen Raum für die abgenommenen Späne frei läßt.

Beim hinterdrehten Fräser, Abb. 15, stellt zwar der Schneidzahn ebenfalls ein Viereck dar, jedoch ist seine Form bedeutend widerstandsfähiger, und sie läßt einen höheren Härtegrad zu. Zudem wird durch das Nachschärfen an der Brustkante die Zahnücke ständig breiter, so daß der Schneidzahn letzten Endes die schraffierte Form *s* erreicht.

Die Vorteile des hinterdrehten Fräasers sind in letzter Zeit durch Verstärken der Zähne des geriefen Fräasers ausgeglichen worden, so daß wir heute den wegen seines bequemen Schärfens beliebten geriefen Fräser wieder überall dort in Anwendung finden, wo es sich nicht um genaue Erhaltung der Profile handelt.

Nur auf dem Gebiete des Profilfräsens ist der geriefte von dem hinterdrehten Fräser vollständig verdrängt worden. Hier kommt es hauptsächlich darauf an, während der ganzen Arbeitsdauer des Fräasers ein gleichmäßiges Profil auf den Werkstücken zu erzeugen. Es dürfen also durch das Nachschärfen keine Profilverzerrungen entstehen, wie solche beim Schärfen der geriefeten Profilfräser vorkommen.

Zum Nachschärfen der geriefeten Profilfräser sind zwar die sinnreichsten Schärfmaschinen gebaut worden, ohne das zu erreichen, was eigentlich in der Natur des hinterdrehten Fräasers selbst liegt. Der Zahnrückten des hinterdrehten Fräasers steht in allen Punkten zum Radius in einem gleichen Winkel. Man kann sich nun einen Zahn (Abb. 16) aus lauter aneinandergereihten Scheiben denken, welche ein und dasselbe Profil haben. Wird also beim Nachschärfen eine solche gedachte Profilscheibe *c* weggeschliffen, so kommt die dahinterliegende zur Geltung. Es bleibt also bis zum letzten Teil des Schneidezahnes das ursprüngliche Profil gewahrt und das Nachschärfen, selbst der schwierigsten Profile, besteht nur im einfachen Schleifen der Brustkante *b*.

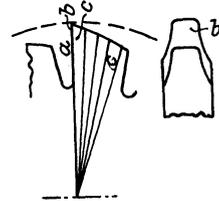


Abb. 16. Die hinterdrehte Zahnform.

Die wesentlichste Vervollkommnung, welche die Profilfräser noch erfuhren, war die des Schräghinterdrehens. Eine Erfindung, die von J. E. Reinecker ausging.

Erhebliche Zeit kannte man nur die hinterdrehten Fräser mit dem zur Achse senkrecht liegenden, sinkenden Profil, und solange es sich nicht um seitlich steil abfallende Schneidflächen handelt, erzielt man auch

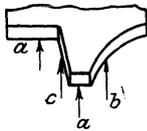


Abb. 17. Der geradhinterdrehte Fräser.

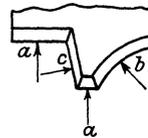


Abb. 18. Der schräghinterdrehte Fräser.

mit ihnen sehr günstige Schnittwinkel. Anders jedoch, wenn sich diese Schneidflächen mehr den Seitenflächen nähern, so daß sie nicht mehr parallel zur Achse liegen, sondern beinahe senkrecht auf sie fallen. Zum leichteren Vergleiche stellt die Abb. 17 einen Fräser nur von vorn (also senkrecht zur Achse) hinterdreht, und die Abb. 18 einen Fräser mit schräghinterdrehten Seitenflächen dar.

Die geraden Mantelflächen sind in beiden Figuren gleich. Die Schneidzähne der geschweiften Fläche erhalten aber schon weniger Hinter-

drehung, und die schräge Fläche bekommt nur eine verschwindend kleine Hinterdrehung.

Abb. 18 zeigt dagegen, daß dem schräghinterdrehten Fräser dieser Übelstand nicht anhaftet, weil seine Seitenflächen im entsprechenden Winkel zur Achse hinterdreht werden, und mithin alle Schneidflächen eine bessere Hinterdrehung erhalten.

Der Arbeitsdruck gegen den einzelnen Schneidzahn des Fräasers, hervorgerufen durch den Widerstand des abzunehmenden Spanes, wächst proportional der Schnittbreite. Obwohl er durch Verringerung der Spandicke oder durch Vermehrung der Zähnezahzahl vermindert werden kann, bleibt trotzdem ein wechselweises Belasten und Entlasten des Fräasers bestehen. Durch das Schräglegen der Mantelschneidzähne kann dieser Übelstand behoben werden, weil dann, während der erste Schneidzahn noch im Eingriff steht, schon der zweite seine Tätigkeit beginnt und somit ein ununterbrochenes, dem Schälen ähnliches Arbeiten stattfindet.

Bewegt sich ein Punkt auf einem Zylindermantel in der Richtung der Achse, während sich der Zylinder in Drehung befindet, so entsteht die spiralgewundene Linie. Denkt man sich als Punkt den einen Schneidzahn erzeugenden Fräser, so können wir uns die Erzeugung des spiralgewundenen Fräserzahnes vorstellen.

Die Vorteile des Spiralzahnfräasers, wie er kurz genannt wird, sind sehr schnell bekannt geworden, so daß man heute alle Fräser über 15 mm Breite mit spiralgewundenen Schneidzähnen versieht. Nur über den Winkel, den die Schneidzähne zur Fräserachse bilden, sind die Meinungen zu verschiedenen Zeiten auch immer verschiedene gewesen. Französische Firmen führten sehr früh stark gewundene Spiralzahnfräser ein. In Deutschland hat man sich meist darauf beschränkt, das Arbeiten von nur einem Zahn zu verhindern. Gegenwärtig wird aber allgemein die stärkere Spiralsteigung für zweckmäßiger gehalten¹⁾.

Obwohl der Spiralzahnfräser schon den sonst sehr breiten Span teilt, hat man ihn noch für das Schruppen mit besonderen Einrichtungen ausgestattet. Die Schneidzähne sind hierbei von kleinen Nuten unterbrochen (Abb. 42), die senkrecht zu den spiralgewundenen Schneidzähnen auf der Drehbank eingeschnitten werden. Geringerer Kraftverbrauch oder stärkere Schnittiefen werden diesen spanteilenden Fräsern nachgerühmt.

Die weitere Fortführung dieser Absicht führte dann zu den Fräserkörpern, auf deren Mantelflächen drehstahlartige Schneidspitzen eingesetzt wurden.

¹⁾ Durch D. R. P. Nr. 146933 wurde ein Fräser geschützt, dessen Spiralsteigung ein Gewinde darstellt, so daß seine Schneidzähne fast rechtwinklig zur Achse stehen. Die Arbeitsweise eines derartigen Fräasers ist dann ähnlich der einer Transportschnecke, da der Span fortlaufend axial hobelartig abgenommen wird.

Die vollkommenste Spanteilung dürfte jedoch der der Firma Fr. Krupp in Essen patentierte Fräser erreichen, der auf seinem Mantel zunächst ein grobes Spitzgewinde erhält und danach, wie ein gewöhnlicher Walzenfräser, mit spiralgewundenen Schneidzähnen versehen wird. Der einem großen Gasgewindbohrer ähnliche Fräser eignet sich zum Abschuppen großer Spanmengen, wenn auf saubere Schnittflächen kein Wert gelegt zu werden braucht.

Der Wunsch, den Fräser zu verbilligen, sei es an Material oder Lohn, führte zu den auswechselbaren Schneidmessern (s. Abb. 40).

Sie gelangten anfangs ausschließlich am Stirnfräser zur Anwendung, wurden aber auch sehr bald für schmale Walzenfräser eingeführt. Namentlich in Amerika setzte man sie gern zu Satzfräsern zum Bearbeiten von Drehbankbetten usw. zusammen. Ihrer Verwendung stand lange das Unvermögen, die Arbeitswärme rasch weiterzuleiten, hindernd im Wege. Erst nach Einführung der Schnellstähle gingen sie einer ausgedehnten Verbreitung entgegen.

Sehr billige Fräser lassen sich auch aus weichem Siemens-Martinstahl herstellen¹⁾. Nur ist ihre Verwendung auf eine kleine Zahl besonderer Fälle beschränkt. Zum Beispiel bei profilierten Werkstücken aus weichem Material, zu denen, obwohl davon nur kleine Mengen herzustellen sind, mit Rücksicht auf die Austauschbarkeit der Teile, besondere Fräser angefertigt werden müssen. Man will nicht in ein selten benötigtes Werkzeug erhebliche Materialkosten brach legen. Dazu kommt noch beim Härten die Gefahr des Zerspringens, was bei Siemens-Martinstahl ausgeschlossen ist, da er einen weichen Kern behält. Ausgedehnte Verwendung finden derartige Fräser in der Holz- und Lederbearbeitung.

Eine bedeutende Veränderung der Frästechnik brachte die Einführung der Schnellstähle. Die daraus hergestellten Fräser verlangten nicht nur andere Schneidzahn-Konstruktionen, sondern auch eine von der bisherigen Art abweichende Herstellung, auf die an späteren Stellen noch ausführlicher eingegangen wird.

Erwähnt seien an dieser Stelle bereits die sog. Hochleistungsfräser. Der ursprüngliche, von der Firma Alfred H. Schütte hergestellte Hochleistungsfräser, Abb. 19, Patent Koch, hat auf der Mantelfläche stark spiralgewundene, eingesetzte Schneidzähne, die von beiden Seiten \wedge -förmig zusammenstoßen.

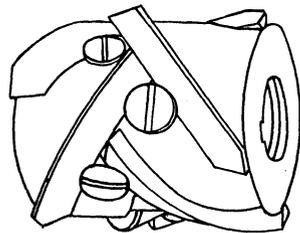


Abb. 19.
Der Hochleistungsfräser
„Patent Koch“.

¹⁾ Siehe unter „Härten der Fräser“ (S. 81) Ausführlicheres.

In neuerer Zeit wird dieser Fräser bei kleineren Durchmessern nicht mehr mit eingesetzten Messern, sondern wie Abb. 20 zeigt, zweiteilig mit aus dem Vollen gefrästen Zähnen hergestellt. Die beiden Hälften greifen dabei, um die Teilfuge zu überdecken, klauenartig übereinander¹⁾. Die Herstellung und den Vertrieb hat die Firma R. Stock & Co.

Die Versuche zwischen einem Hochleistungs- und einem gewöhnlichen Schnellstahlfräser mit 16 Zähnen hatten folgende Ergebnisse.

Beim gewöhnlichen Schnellstahlfräser wurden die großen Spanmengen mit herumgerissen und klemmten sich zwischen dem Werkstück und

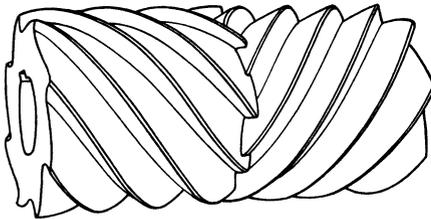


Abb. 20. Der neue Hochleistungsfräser „Patent Koch“.

den Schneidzähnen fest, so daß bei weiterer Steigerung des Vorschubes die Maschine stehen blieb. Die bearbeitete Fläche wies deutlich die Spuren der eingedrückten Späne auf und zeigte tiefe Risse. Der neue Fräser schob dagegen die abgenommenen Spanmengen sofort seitlich vom Werkstück hinunter, so daß die Schneidzähne frei

blieben. Die von ihm bearbeitete Fläche war bei starkem Vorschub von 100 bis 347 mm in der Minute sauberer als die vom gewöhnlichen Fräser

bearbeitete. Erst bei einem Vorschub von nur 80 mm in der Minute waren die bearbeiteten Flächen beider Fräser von gleichem Aussehen.

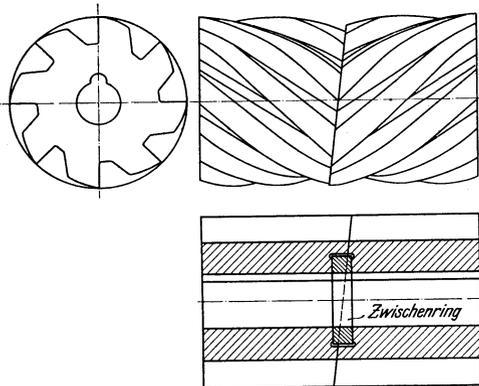


Abb. 21. Der Pfeilzahnfräser.

Eine andere Lösung zeigt die in Abb. 21 dargestellte Anordnung. Es werden hier zwei grobgezahnte, mit gegensätzlicher Spiralsteigung versehene Walzenfräser zusammengespannt. Um die Stoßstelle zu überdecken, werden die zusammenstoßenden Stirnenden et-

was schräg zur Achse ausgeführt. In die rechtwinklig zur Achse liegenden Aussparungen ist ein Zwischenring so eingepaßt, daß zwischen den Schrägflächen einige Zehntel-Millimeter Spiel bleibt. Es wird dadurch das Krummziehen des Dornes vermieden. Die Abschrägung beträgt

¹⁾ D. R. P. 229157 und 291181.

2—3 mm, je nach Größe des Fräasers; in der Abb. 21 ist die Schräge der Deutlichkeit halber übertrieben dargestellt. Beim Schärfen wird ein entsprechend breiterer Zwischenring verwendet, so daß das Schmirgelrädchen frei auslaufen kann.

In Abb. 22 ist der zum Patent angemeldete Tenax-Hochleistungsfräser der Firma R. Stock & Co., Berlin, dargestellt. Der Fräser ist aus einem Stück hergestellt, und in der Mitte überdecken sich die rechts und links spiralförmig verlaufenden Schneidzähne.

Abb. 23 zeigt den Doppelspiralfräser der Firma Gebr. Saacke in Pforzheim (D. R. P. Nr. 291 465). Um den in der Achsrichtung wirkenden Druck aufzuheben, ist dieser Fräser über seine ganze Länge mit sich kreuzenden Rechts- und Linksspiralen versehen. Durch die dadurch entstehenden kurzen Schneidzähne wird eine sehr gute Spanteilung erreicht.

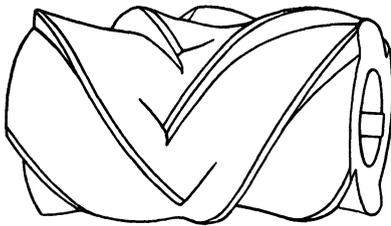


Abb. 22. Der Tenax-Hochleistungsfräser.

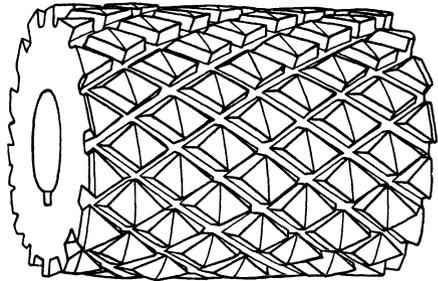


Abb. 23. Der Doppelspiralfräser.

Das Grundprinzip aller dieser Hochleistungsfräser ist: durch starke Spiralsteigung bei großer Zahnteilung ein ruhiges gleichmäßiges Arbeiten zu erzielen und durch zwei entgegengesetzte Spiralrichtungen der Zähne den durch die starke Spiralsteigung der Zähne hervorgerufenen Axialdruck im Fräser selbst aufzunehmen.

b. Die Fräserarten.

Die Fräser werden nicht nur nach ihrer Arbeitsweise und Verwendungsart, sondern auch nach ihrer äußeren Form benannt. Es ist dabei gleichgültig, welcher der beiden Hauptgruppen, gerietter oder hinterdreher Schneidzahnart, der Fräser angehört.

Der Fräser kann einzeln oder mit mehreren zusammengesetzt verwendet werden. Im letzteren Falle spricht man von Satzfräsern. Sie dienen dazu, gerade Flächen abzuplanen oder Profile zu erzeugen. Die Fräser für erstere Arbeiten nennt man Planfräser, die für letztere Profilfräser.

Je nach der Örtlichkeit der Verzahnung unterscheiden wir: Mantelfräser, Stirnfräser und Innen- oder Hohlfräser, wobei zu bemerken ist,

daß in den meisten Fällen ein Mantelfräser auch noch an der Stirnseite, ein Stirnfräser auch noch auf der Mantelfläche und ein Hohlfräser immer an der Stirnseite Schneidzähne trägt.

Am leichtesten lassen sich die Fräser nach ihren hauptsächlichsten Anwendungsgebieten ordnen, diese sind:

1. das Ausarbeiten von Nuten, Schlitzten, Kurvenbahnen, Vertiefungen und Rändern mit Nuten- oder Schlitzfräsern,
2. das Abplanen von Flächen mit Stirn- oder Mantelfräsern,
3. das Fräsen und Schneiden von profilierten Flächen mit Einzelfräsern oder Satzfräsern,
4. das Anfräsen von Einsenkungen und Aussparungen mit Hohlfräsern.

Der älteste und einfachste Fräser dürfte der bekannte Langlochbohrer (Abb. 24) sein, der lange Zeit das einzige Werkzeug zum Ausarbeiten (Langlochbohren) von Nuten in Wellen usw. war.

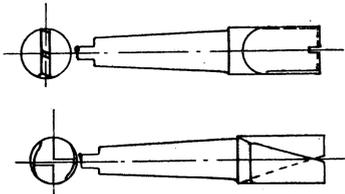


Abb. 24 und 25.
Die zweischneidigen Nutenfräser.

Einen neueren Nutenfräser, D. R. P. Nr. 127574, stellt die Abb. 25 dar. Seine Zahnlücken sind bis über die Mitte eingeschnitten, so daß sie

ebenfalls schneidend wirken und deshalb zum Bohren von Löchern zu verwenden sind. Der in der Mitte des Loches stehenbleibende kegelförmige Kern wird dann beim Seitlichschalten von den schneidenden Innenkanten weggenommen.

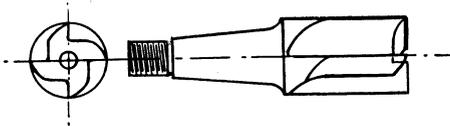


Abb. 26. Der vierschneidige Nutenfräser.

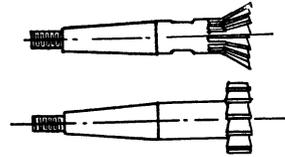


Abb. 27. Die Schlitzfräser.

Für den gleichen Zweck eignet sich auch sehr gut der in Abb. 26 abgebildete vierschneidige Nutenfräser.

Die in der Abb. 27 wiedergegebenen Schlitzfräser für konische und T-förmige Schlitzte sind ähnlich ausgebildet.

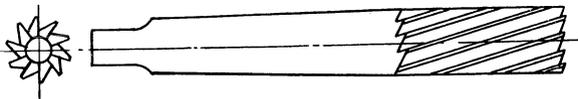


Abb. 28. Der Fingerfräser.

Der in Abb. 28 dargestellte Fingerfräser ist ein kleiner Mantelfräser. Da er vielfach zum Fräsen von breiteren Schlitzten, Vertiefungen

und Flächen benutzt wird, erhält seine Mantelfläche spiralgewundene Schneidzähne.

Eine wesentliche Verbilligung erreicht man durch das Aufschrauben des eigentlichen Fräsertheiles auf einen Schaft, wie in Abb. 29 dargestellt. Der Fräser wird nach dem Härten fest aufgeschraubt und mit dem Schaft bis zur nächsten Aufarbeitung oder bis zum Unbrauchbarwerden als ein Stück betrachtet, also zum Schleifen und Schärfen nicht abgeschraubt. Obwohl sie in der Haltbarkeit zweifellos dem vollen Fräser nachstehen, kann man doch mit ihnen recht ansehnliche Leistungen erzielen. Namentlich in Anbetracht der Umstände, daß sehr oft das Werkstück keine starken Schnitte aushält oder daß die erforderliche Genauigkeit darin Grenzen zieht. Obige Fräser haben sich besonders beim Ausarbeiten von Kurvenbahnen bewährt.

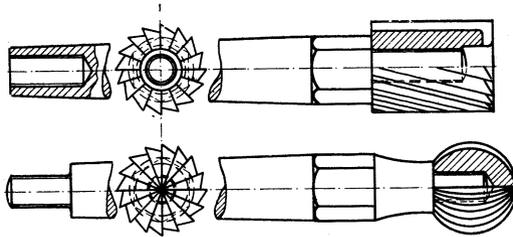


Abb. 29. Die aufgesetzten Nutenfräser.

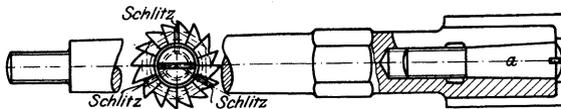


Abb. 30. Der nachstellbare Nuten-Schlittfräser.

Sollten die mit solchen Fräsern hergestellten Kurven austauschbar sein, so ergab sich ein überaus großer Fräserverschleiß, da wenige Hundertstel Millimeter Abnutzung die Weiterverwendung des Fräasers ausschlossen. Der nachstellbare Schlittfräser (Abb. 30) erwies sich daher als sehr sparsam. Vor jedesmaligem Schärfen wird durch den Konus der Schraube *a* der Fräser aufgespreizt und alsdann auf das richtige Maß überschleift und geschärft.

Die Abb. 31 zeigt einen größeren Schaftfräser, wie er noch vielfach an den Senkrechtfräsmaschinen für allgemeine Planarbeiten angewendet wird.

Sobald diese Fräser größere Durchmesser erhalten, wird auch hier die Trennung von Schaft und Fräser vorgenommen. Die Abb. 32 stellt einen solchen Aufsteck-Schaftfräser dar, der im Gegensatz zu Abb. 29 beim Schärfen vom Dorn genommen werden kann, um durch einen ge-

schärften Fräser ersetzt zu werden; sicherer ist auch hier, den Fräser auf seinem Schaft zu schärfen.

Ist der in Abb. 31 dargestellte Fräser etwas kürzer gehalten, so wird man ihn allgemein als Stirnfräser oder Kopffräser bezeichnen.

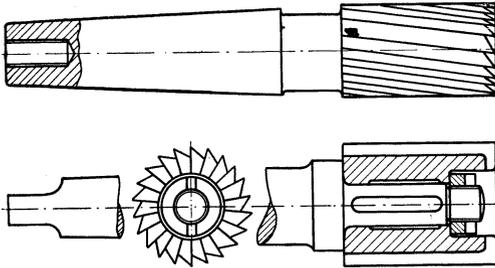


Abb. 31 und 32. Die Schaftfräser.

Fräser nach Abb. 33 aufgeschraubt, müßte man deshalb stets auf ihren Schäften sitzend schärfen.

Solche Fräser zeigen auch die Abb. 33 und 34, nur mit anderen Befestigungsarten. Während der Fräser in Abb. 33 keine einwandfreie Befestigung aufweist, da man bekanntlich die Gewinde nicht rundlaufend bekommt, gibt Abb. 34 eine sehr gute Befestigungsart wieder. Die Frä-

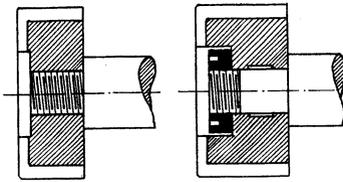


Abb. 33.

Abb. 34.

Die Stirnfräser.

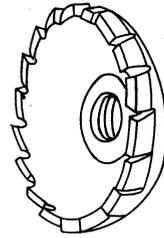


Abb. 35. Der Glockenfräser.

Abb. 36.

Abb. 37.

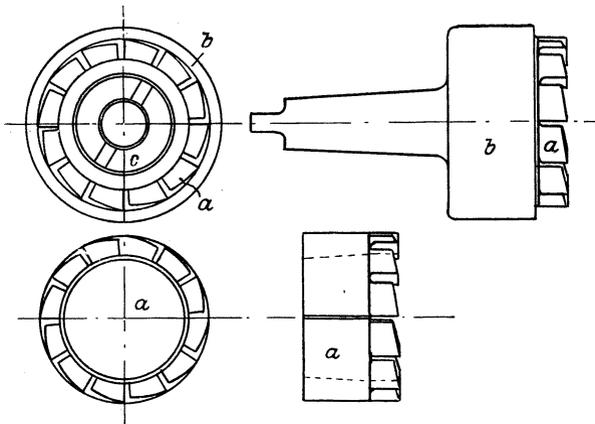


Abb. 38.

Abb. 39.

Abb. 36—39. Der Ringfräser von Droop und Rein.

Einen Stirnfräser, der nur ausschließlich zum Arbeiten mit der Stirnseite bestimmt ist, zeigt die Abb. 35. Er wird von Pekrun in Coswig in Sachsen unter dem Namen Glockenfräser in Handel gebracht. Die Zahnbrüste dieses Fräasers laufen nicht nach der Fräsermitte, sondern zeigen tangential gerichtet an ihr vorbei, um einen besseren und leichteren Schnitt zu erzielen.

In den Abb. 36—39 ist ein Ringfräser von Droop & Rein in Bielefeld dargestellt. Seine Schneidzähne sind in einen gebogenen Gußstahlring a eingeschnitten und hinterdreht. Der Stahlkörper b und die Mutter c umschließen und klemmen den Fräser fest. Der eigentliche Fräser erfährt dadurch eine erhebliche Verbilligung.

Ein ähnlicher, billiger Fräskopf ist in der Abb. 40 wiedergegeben. Die Fräsmesser werden nach Lehren bearbeitet, gehärtet, vorgeschliffen, in den Fräskopf eingesetzt, rund geschliffen und fertig geschärft. Die Messer werden am zweckmäßigsten aus Schnellstahl hergestellt.

Die Abbildung läßt drei der gebräuchlichsten Befestigungsarten dieser Messer erkennen. Das Messer a_1 wird vermittelst einer konischen Büchse b durch Schraube c festgeklemmt. (Ausführungsart von Löwe & Co., Berlin.) Die Messer a_2 und a_3 werden dadurch befestigt, daß zwischen ihnen ein Schlitz eingeschnitten ist, der durch einen schwach konischen Stift d auseinandergetrieben wird. Ähnlich werden die Messer a_4 und a_5 befestigt, nur daß hier ein konisches Klemmstück e durch Schraube f zwischen zwei Messer gezogen wird. Der bei kleinem Durchmesser aus Stahl, bei großem aus Guß bestehende Körper k wird entweder an einem Ring befestigt oder seine Bohrung wird zum Aufschauben auf die Frässpindel mit Gewinde versehen.

Bei schmalen Scheibenfräsern, die eine derartige Befestigung der Messer nicht zulassen, werden die Messer autogen oder elektrisch eingeschweißt. Man kann den Schnellstahl dann vollständig ausnützen, indem man die Zahnücke in dem weichen Körper nachfräst. Das gleiche Verfahren läßt sich auch auf große Walzenfräser anwenden, die dadurch wesentlich billiger hergestellt werden können.

Wir haben bisher nur solche Fräser kennen gelernt, die bei ihrer Arbeit die vordere Stirnseite frei haben mußten. Im folgenden soll nun auf diejenigen Fräser übergegangen werden, die vorzugsweise mit ihren Mantelschneidzähnen arbeiten, daher auf durchgehenden Fräsdornen sitzen und auf beiden Seiten eine Lagerung zur Aufnahme der Arbeitsdrücke zulassen. Mit den nachstehenden Fräsern lassen sich deshalb auch alle Zusammenstellungen zu Fräsersätzen ausführen, die heute als

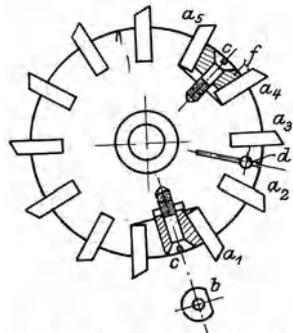


Abb. 40. Der Fräskopf.

ein überaus wichtiges Arbeitsmittel zur Herstellung schwieriger Profile die größte Beachtung verdienen.

Der Plan- oder Walzenfräser, den Abb. 41 zeigt, hat seine Namen einmal von der Planbearbeitung der Werkstücke, zum anderen von seiner walzenähnlichen Form. Ihm fällt für die allgemeinen Arbeiten in der Fräselei eine Hauptrolle zu. Seine Schneidzähne haben zwecks ruhigen Arbeitens eine Spirale¹⁾, dieselbe ist entweder so gestaltet, wie sie die Abb. 41 aufweist, oder durch gewindeförmige Nuten, wie in Abb. 42, durchbrochen. Die Durchbrechungen heben einerseits beim Härten die schädliche Spannung auf, andererseits dienen sie zur Spanteilung.

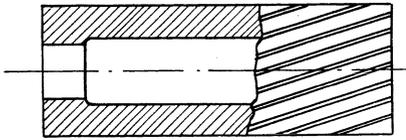


Abb. 41.

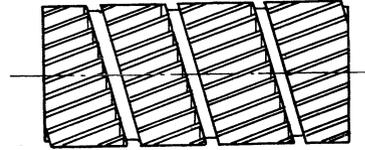


Abb. 42.

Der gewöhnliche und der spanteilende Walzenfräser.

Für die Bohrungen der Walzenfräser²⁾ dürften sich folgende Werte am günstigsten stellen:

Durchmesser in mm:	35—40	50—60	70—90	100—200
Bohrung in mm:	16	22	32	40.

Der Scheibenfräser (Abb. 43) wird so genannt, weil seine Höhe gegenüber dem Durchmesser verhältnismäßig gering ist und er mehr einer Scheibe gleicht. Seine Stirnseiten sind fast immer mit Schneidzähnen versehen, die den Zweck haben, das Freischneiden des sehr oft im Satz verwendeten Fräasers zu bewirken.

Für größere Durchmesser werden diese Scheibenfräser mit eingesetzten Messern, ähnlich wie Abb. 40, hergestellt. Der Körper wird

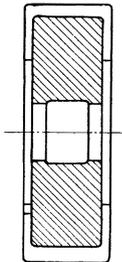


Abb. 43. Scheibenfräser.

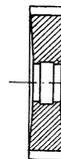


Abb. 44.

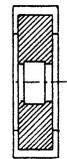


Abb. 45.

Die Nutenfräser.

dabei aus Maschinenstahl angefertigt. Die Messer werden dabei entweder eingeschweißt oder durch konische Stifte, die in dem ge-

¹⁾ Siehe 3 b: Die spiralgewundenen Schneidzähne.

²⁾ Vgl. D. I. Normen. Seite 29 u. f.

schlitzten Körper radial angeordnet sind, gehalten. Im letzteren Falle läßt sich durch wechselweises Versetzen der Messer die Fräsbreite leicht verändern, was sich namentlich bei dem Ausfräsen von Schlitzten und Gelenkgabeln vorteilhaft erweist.

Der Nutenfräser (Abb. 44 und 45) dient, wie schon sein Name sagt, zum Einfräsen der Nuten in den verschiedenen Werkstücken. Er ist vielfach nur auf der Mantelfläche mit Schneidzähnen versehen; seine Seiten werden dann zum Zwecke des leichteren Freischneidens etwas hohl gedreht. Das Freischneiden wird natürlich bedeutend verbessert, wenn die Seiten, wie Abb. 45 zeigt, ebenfalls Zähne haben. Leider haftet beiden Ausführungen der Fehler an, daß die Fräser beim Abnutzen der Seiten bzw. beim späteren Nachschärfen an ihrer Breite verlieren.

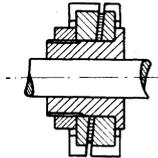


Abb. 46.

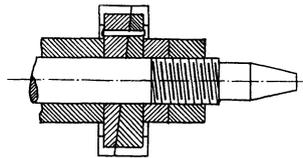


Abb. 47.

Die schräggeteilten Nutenfräser.

Um diesen Übelstand zu beseitigen, fertigt man die Fräser zweiseitig an, derart, daß die Teilflächen nicht senkrecht, sondern schräg zur Achse liegen, wie aus Abb. 46 ersichtlich. Erreicht wird dadurch, daß bis zur Breite der Fräserabweichung zwischen die beiden Fräserteile Blech oder Papier gelegt werden kann, um ihre Breite im Verhältnis des Verlustes beim Nachschärfen auszugleichen. Eine Büchse mit Mutter

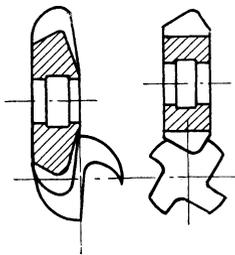


Abb. 48. Abb. 49.
Die Profilfräser.

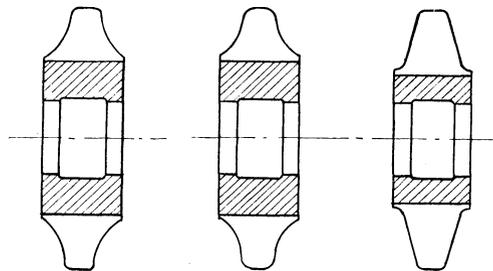


Abb. 50. Abb. 51. Abb. 52.
Die Zahnradfräser.

und Keil sichert die richtige Lage der Fräserteile, welche auf diese Art, solange nur noch einige Zähne über die Zwischenlagen reichen, eine vollkommen saubere Arbeit liefern.

Eine einfache Ausführung des obengenannten Fräasers ist der in Abb. 47 dargestellte, welcher in vielen Werkstätten angewendet wird.

Bei ihm fällt Büchse und Mutter weg. Zwei Stifte oder eine Keilnute mit Keil arretieren die Stellung, während das Zusammenhalten hier von der Mutter am Fräsdorn erfolgt.

Besser ist die Ausführung der Teilfuge nach Abb. 21. Der Ausgleich läßt sich dabei durch genau plan geschliffene Ringe viel leichter und genauer bewirken.

Sehr zahlreiche Fräserformen weist das überaus große Gebiet der Profilfräserei auf. Die bekanntesten sind der Spiralbohrerfräser (Abb. 48) der Gewindebohrerfräser (Abb. 49) und die Zahnradfräser (Abb. 50—52).

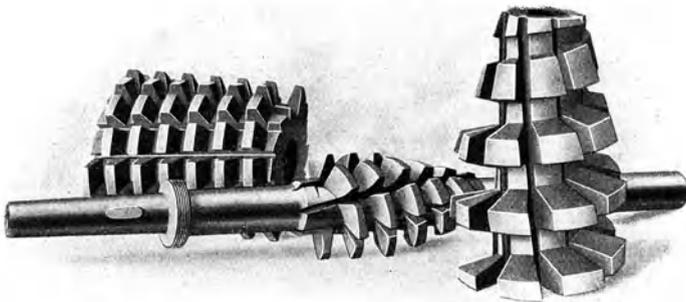


Abb. 53. Abb. 54. Abb. 55.
Der ältere und die neueren Schneckenradfräser.

Der Schneckenradfräser (Abb. 53) stellt eine besondere Gruppe von Fräsern dar. Er hat die Eigentümlichkeit, daß seine Schneidzähne nicht mit der Drehungsrichtung in einer Ebene laufen, sondern entsprechend der Schneckensteigung gangartig angeordnet sind. Beim Arbeiten muß sich daher auch das Werkstück (Schneckenrad) langsam mitdrehen. Der Schneckenradfräser ist deshalb mit einer gehärteten Stahlschnecke, deren Gänge als Schneidzähne ausgebildet sind, zu vergleichen.

Der neuere Schneckenradfräser von J. E. Reinecker, der in Abb. 54 und 55 dargestellt ist, arbeitet in derselben Weise wie der vorige, nur tritt hier noch hinzu, daß er ähnlich einem Gewindebohrer in das Werkstück geschaltet wird. Zu diesem Zwecke ist das vordere Ende stark verjüngt.

Der Wälzfräser¹⁾ (Abb. 56) ist im Grunde genommen der eingängige Schneckenradfräser mit vergrößertem Durchmesser, wodurch er einen recht geringen Zahnwinkel erhält. Er dient ausschließlich dazu, Zahnräder mit geraden oder spiralgewundenen Zähnen zu ver-

¹⁾ Die Berechnung der genauen Steigung des Wälzfräasers siehe unter 14 a., die Erzeugung richtiger Zahnformen 14 a.

sehen. Um besonders sauber genau geschnittene Zähne zu erzeugen, werden jetzt die Schneidzähne des Wälzfräasers nach dem Härten hintergeschliffen ¹⁾.

Erfordert das Profil eines Fräasers sehr große Durchmesserunterschiede oder eine zu große Breite, so teilt man den Fräser und setzt ihn mit schrägen Trennfugen (Abb. 57) oder Klauenüberdeckungen (Abb. 9) aneinander, damit sich die Teilstellen beim Schnitt überdecken. Diese zusammengesetzten Fräser haben sich sehr gut bewährt. Die Mehrkosten des Arbeitslohnes werden durch die Materialersparnis — weil jetzt verschieden große Stahlscheiben zu verwenden sind —, durch die größere Sicherheit beim Härten und durch den billigeren Ersatz — weil beim Bruch nur ein Teil verloren ist — wettgemacht. Außerdem lassen sich durch Zwischenlegen von Blech oder Papier die Breiten der Profile in beschränkten Grenzen ändern. Falls es der Fräserdurchmesser zuläßt, empfiehlt sich auch hier, die Trennfuge nach Abb. 21 auszuführen.

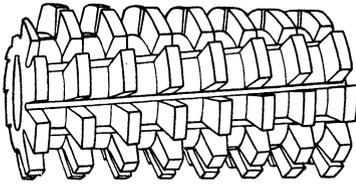


Abb. 56. Der Wälzfräser.

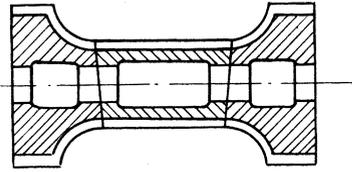


Abb. 57. Der schräggeteilte Profilfräser.

Eine Fortsetzung dieser zusammengesetzten Fräser bilden die im Satz vereinigten (Abb. 4 und 6). Mit ihnen lassen sich durch Zwischenlegen von Ringen und Scheiben die verschiedensten Profile herstellen. Auch kann in den Profilhöhen durch Auswechseln verschiedener Fräserdurchmesser eine große Verschiedenheit erzielt werden.

Beim Arbeiten mit zusammengesetzten Fräsern (vgl. Abb. 4 und 6) ergeben sich für die Zwischenabstände der Fräser geringe Maßunterschiede, die der bedienende Arbeiter durch Zwischenlegen von Papier- und Blechscheiben im zeitraubenden Ausprobieren beseitigen muß. Ein geeignetes Hilfsmittel sind die in der Tabelle, Seite 26, zusammengestellten Zwischenringe. Ergibt sich beim Anfräsen die Notwendigkeit, zwei Fräser um mehrere Zehntel-Millimeter zusammen- oder auseinanderzurücken, so kann man mit einem solchen Satz sofort den sich ergebenden Unterschied ausgleichen. Die Endflächen der Ringe müssen genau parallel geschliffen sein. Für kleinere Betriebe empfiehlt es sich diese Ringe von einer Werkzeugfabrik zu beziehen²⁾. Weniger zu empfehlen sind die durch Gewinde nachstellbaren Zwischenringe. Sie sind teuer in der Herstellung und verlieren sehr bald ihre Genauigkeit in bezug auf parallele Stirnflächen.

¹⁾ Ausführlicheres siehe Hinterschleifen der Fräser 4 d, S. 68.

²⁾ Wachenfeld & Fallier, Erfurt.

Tabelle für Fräserringe.

Vorhandene Ringbreiten: 1, 1,1, 1,2, 1,25, 1,3, 1,4, 1,5, 1,75, 2, 2,5, 3,25, 5, 6, 7,5, 8, 10, 20, 30, 40 und 50 mm.

Ge-suchte Milli- meter	Zu verwendende Ringe	Ge- suchte Milli- meter	Zu verwendende Ringe	Ge- suchte Milli- meter	Zu verwendende Ringe
1	1	3,55	1,3 +1,25+1	5,4	2,5 +1,5+1,4
1,1	1,1	3,6	2,5 +1,1	5,45	3,25+1,2+1
1,2	1,2	3,7	2,5 +1,2	5,5	3 +2,5
1,25	1,25	3,8	2,5 +1,3	5,55	3,25+1,3+1
1,3	1,3	3,9	2,5 +1,4	5,6	2,5 +2 +1,1
1,4	1,4	4	2,5 +1,5	5,65	3,25+1,4+1
1,5	1,5	4,05	1,75+1 +1,3	5,7	2,5 +2 +1,2
1,75	1,75	4,1	3 +1,1	5,75	3,25+2,5
2	2	4,15	1,75+1 +1,4	5,8	2,5 +2 +1,3
2,1	1,1 +1	4,2	3 +1,2	5,85	1,75+3 +1,1
2,2	1,2 +1	4,25	2,5 +1,75	5,9	2,5 +2 +1,4
2,25	1,25+1	4,3	3 +1,3	5,95	1,75+3 +1,2
2,3	1,3 +1	4,35	3,25+1,1	6	6
2,4	1,4 +1	4,4	3 +1,4	6,05	1,75+3 +1,3
2,5	2,5	4,45	3,25+1,2	6,1	5 +1,1
2,6	1,5 +1,1	4,5	3 +1,5	6,15	1,75+3 +1,4
2,7	1,5 +1,2	4,55	3,25+1,3	6,2	5 +1,2
2,75	1,75+1	4,6	2,5 +1 +1,1	6,25	3,25+3
2,8	1,5 +1,3	4,65	3,25+1,4	6,3	5 +1,3
2,85	1,75+1,1	4,7	2,5 +1 +1,2	6,35	3,25+2 +1,1
2,9	1,5 +1,4	4,75	3 +1,75	6,4	5 +1,4
2,95	1,75+1,2	4,8	2,5 +1 +1,3	6,45	3,25+2 +1,2
3	3	4,85	1,75+1,1 +2	6,5	5 +1,5
3,05	1,75+1,3	4,9	2,5 +1 +1,4	6,55	3,25+2 +1,3
3,1	2 +1,1	4,95	1,75+1,2 +2	6,6	3 +2,5+1,1
3,15	1,75+1,4	5	5	6,65	3,25+2 +1,4
3,2	2 +1,2	5,05	1,75+1,3 +2	6,7	3 +2,5+1,2
3,25	3,25	5,1	2,5 +1,5 +1,1	6,75	3,25+2 +1,5
3,3	2 +1,3	5,15	1,75+1,4 +2	6,8	3 +2,5+1,3
3,35	1,25+1,1+1	5,2	2,5 +1,5 +1,2	6,85	1,75+1,1+2,5+1,5
3,4	2 +1,4	5,25	3,25+2	6,9	2,5 +3 +1,4
3,45	1,25+1,2+1	5,3	2,5 +1,5 +1,3	6,95	1,75+1,2+2,5+1,5
3,5	2 +1,5	5,35	3,25+1 +1,1	7	5 +2

Zum Beispiel: $58,9 = 3,9 + 5 + 50$; 3,9 ist laut Tabelle 2,5 + 1,4; folglich ist $58,9 = 2,5 + 1,4 + 5 + 50$.

c. Die Einspannarten der Fräser und die dafür festgelegten Normen.

Sowohl die verschiedenen Verwendungsweisen der Fräser, als auch ihre Form und Größe bedingen zwei verschiedene Aufspan- oder Befestigungsarten: freiliegend oder zwischen zwei Lagern. Sie seien im nachfolgenden kurz beschrieben. Jede Art muß dem Fräser ein genaues Rundlaufen gewährleisten, da nur in solchen Fällen günstige

Leistungsergebnisse erzielt werden können, wo alle Schneidzähne des Fräasers gleichmäßig arbeiten, letzterer also genau rund läuft.

Die gebräuchlichste Befestigung der Schaft- und Fingerfräser und sehr vieler Fräsdorne ist die in Abb. 32 angegebene. Der konische Schaft wird in eine gleiche Hülse gesteckt, wobei die abgeflachten Enden des Schaftes eine Drehung verhindern. Durch mäßige Schläge vermittelt eines Holzhammers wird sodann der Fräser festgezogen. Auch bei stärkster Beanspruchung wird der Fräser nicht locker werden, wenn er gut zentriert ist. Leider ist dies selten der Fall. Schon vom Anfang an wird meist unterlassen, den Kegel samt den Schneidzähnen rund zu schleifen. Noch schlimmer sieht es sodann beim Nachschärfen aus. Die Körnerlöcher des Fräasers sind sehr oft durch die Stirnschneidzähne verdorben, so daß außer den Schneidzähnen auch der Kegel etwas schlägt. Obwohl durch das Nachschärfen das Unrundgehen der Zähne beseitigt wird, so kann der Fräser doch nicht rundlaufen, weil er ja mit dem nicht rundlaufenden Kegel in der Hülse befestigt ist. Die Folge ist, daß sich durch die einseitige Beanspruchung bzw. die wechselnden Arbeitsspannungen zwischen Arbeitsstück und Fräser der Fräserkegel lockert. Ein vollkommen zentrisches Nachschärfen des Fräasers kann nur dadurch ermöglicht werden, daß man den konischen Schaft in eine passende Hülse Futtert und ihn so freiliegend, wie er in der Fräsmaschine sitzt, Zahn für Zahn schärft. Wo angängig, sollten die Fräsmaschinenspindeln durchbohrt werden, so daß der Fräserdorn bzw. -schaft durch eine Schraube festgezogen und auch herausgedrückt werden kann

In der Abb. 58 sind weitere Befestigungsarten veranschaulicht. Der steile Kegel *a* bekommt seinen Halt von dem Gewinde *b*. Um einem Losdrehen des Fräasers während des Arbeitens vorzubeugen, muß das Gewinde *b* eine Gangrichtung haben, mit der sich der Fräser festziehen kann. Das sichere Rundgehen hängt natürlich auch hier von dem Rundschleifen des Kegels und der Zähne ab.



Abb. 58. Im Kegel befestigte Fräser.

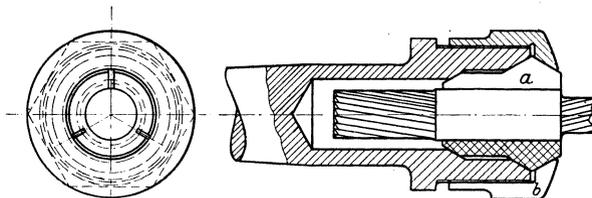


Abb. 59. Das Klemmfutter für zylindrische Fräferschäfte.

Für zylindrische Schäfte stellt die Abb. 59 eine gute Konstruktion dar. In der konischen Bohrung der Fräsmaschinenspindel findet der

Schaft des Aufnahmeftters Platz, in dessen, mit konischen Ansätzen versehener Bohrung, die geschlitzte Klemmhülse *a* sitzt, deren zylindrische Bohrung den geraden Schaft des Fräfers aufnimmt. Durch Anziehen der Überwurfmutter *b* wird die Klemmhülse *a* fest in das Futter gepreßt und zusammengezogen. In wirtschaftlicher Hinsicht kann diese Art der Befestigung nur bestens empfohlen werden.

In der Feinmechanik finden wir fast an allen Werkzeugmaschinen das bekannte Zangen-Einspannen. Ein Satz gleicher Zangen mit den verschiedensten Lochweiten ermöglicht das Einspannen sämtlicher Fräsergrößen, die schnell und sicher durch den Kegel der fast bis hinten geschlitzten Zange festgeklemmt werden. Die leicht verständliche Anordnung finden wir in der Abb. 60 wiedergegeben.

Die Befestigung der Stirn- und Kopffräser auf Dorne ist in den Abb. 31 und 32 dargestellt. Die Bohrung wird entweder mit Muttergewinde versehen oder sie wird vorn zur Aufnahme einer Mutter aus-

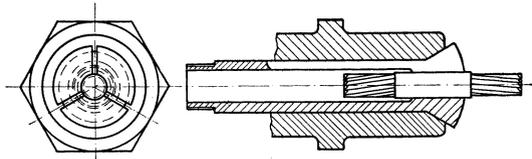


Abb. 60. Das Zangenfutter für kleine Fräser.

gespart, wobei eine Nase im Dorne eine Verdrehung des Fräfers verhindert. In derselben Weise werden auch die meisten mit einer Bohrung versehenen Schlitzfräser befestigt.

Eine andere Art des Einspannens der Fräser ist die auf einem doppelt gelagerten Dorn, Abb. 61. Der Fräsdorn wird durch eine Differentialschraube mit seinem schlanken Kegel in die hohle Hauptspindel der Fräsmaschine gezogen, oder er wird durch eine Differential- oder durch eine Überwurfmutter, die ihren Gegenhalt im Außengewinde der Hauptspindel hat, festgezogen. Durch Beilegeringe werden die Fräser auf dem Dorne in die gewünschte Stellung gebracht und durch einen Keil und eine Mutter vor Verdrehung gesichert. Der Fräsdorn endet entweder in einem Kegel, der in einem Gegenlager läuft oder in einem Gewindezapfen wie Abb. 61. In diesem Falle ist der letzte Beilegering entsprechend breit, daß er im Gegenlager laufen kann. Nicht zu empfehlen ist das Laufenlassen in einer Körnerspitze.

Auf vorgenanntem Fräsdorn werden alle mit Bohrung vorgesehenen Fräser, sofern es die Verhältnisse gestatten, aufgespannt. Er gestattet auch, daß man auf ihm mehrere Fräser zum Satz vereinigen kann, mit denen, je nach der Zusammenstellung der Fräser, die verschiedensten Formen hergestellt werden können.

Infolge der überaus starken Beanspruchungen auf Verdrehung, die nach Einführung der Schnellstahle eintraten, hat man die Übertragung der Kräfte nicht mehr dem Kegel allein überlassen können. So übertragen J. E. Reinecker (siehe *a*, *b* der Abb. 61), L. Löwe & Co., Wanderer u. a. die Umdrehung durch eine besondere Mitnehmerkonstruktion am Frässpindelkopf auf den dafür vorgesehenen Bund des Fräsdornes. Es ist augenscheinlich, daß dadurch nicht nur eine wesentliche Entlastung der Fräsmaschinenspindel erfolgt, sondern auch die Kräfteübertragung eine sehr viel bessere und sichere wird.

Seit Jahren wird in den Maschinenbauwerkstätten Klage geführt, daß die Werkzeugmaschinen nicht einheitliche Aufnahme-Einrichtungen für die darauf zur Verwendung gelangenden Werkzeuge besitzen. Während bei Bohrmaschinen überwiegend der Morsekegel zur Verwendung kam, wurden an den Fräsmaschinen die verschiedensten Kegel der einzelnen Werkzeugmaschinenfabriken ausgeführt.

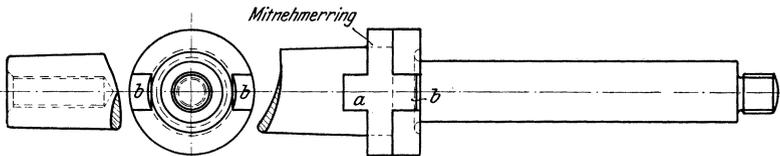


Abb. 61. Der Fräsdorn mit eingelegtem Mitnehmererring.

Vor Jahren hat der Verein Deutscher Werkzeug-Maschinenfabriken unter dem Namen „Metrische Konen“ eine Kegelreihe aufgestellt, die sich aber nicht allgemein einbürgerte. Ein Vergleich der nachfolgenden Tabellen über metrische Kegel und Morsekegel läßt ersehen, daß die beiden Kegelreihen in den Nummern 1—4 große Ähnlichkeit besitzen, so daß bei weniger hoher Anforderung z. B. bei den gewöhnlichen Bohrmaschinen solche Werkzeuge gegeneinander ausgewechselt werden können. An den Fräsmaschinen, wo der Kegel sehr genau sitzen muß, sofern der Fräser den erforderlichen Halt gewinnen soll, kommen diese Ausgleichmöglichkeiten nicht in Frage.

Die Gründe, an Stelle des Morsekegels einen anderen Kegel zu schaffen, waren hauptsächlich folgende:

1. Der Morsekegel hat keine einheitliche Konizität und ist in seinen Abmessungen öfter geändert worden.
2. Sämtliche Maße sind auf dem Zollsystem aufgebaut und ergeben in Millimeter umgerechnet schwer zu merkende Bruchteile.
3. Der Morsekegel hat in seinen größeren Abmessungen zu große Sprünge und wird nicht weit genug für die schweren Werkzeugmaschinen durchgeführt.

Andere Werkzeugmaschinenfabriken gingen von der Erwägung aus, daß der Morsekegel zu steil sei und wählten einen schlankeren Kegel,

zum mindesten aber eine längere Sitzfläche. In Amerika und England, auch zum Teil in Deutschland ist der von Brown & Sharpe, Amerika, eingeführte B- und S-Kegel, der eine Verjüngung 1:24 hat, viel in Anwendung.

Nachdem Professor Schlesinger¹⁾ nachgewiesen hat, daß die Fräsdorne nach Morsekegel oder metrischem Kegel hergestellt, auch während stärkster Beanspruchung der Fräsmaschinen festsitzen, fallen die Bedenken schlankere oder längere Kegel zu verwenden, weg. Als sehr wichtig ist dabei die Feststellung, daß der feste Sitz erst dann erreicht wird, wenn der Fräsdorn durch die Anzugschraube fest in die Frässpindel gezogen wird und ein leichter Schlag auf den Fräsdorn — also unter Spannung — gegeben wird.

Auch die Tatsache, daß heute alle besseren Fräsmaschinen an ihren Frässpindeln für Mitnehmerringe eingerrichtet sind, läßt die Bedenken gegen kürzere Kegel fallen, da durch die Mitnehmer die Frässpindeln bei der Übertragung der Arbeitskräfte entlastet werden.

Der Normen-Ausschuß der Deutschen Industrie (Nadi) hat sich mit der Normung der Befestigungskegel²⁾ für Werkzeuge eingehend beschäftigt. Seine Arbeiten verdichteten sich schließlich zu den folgenden 2 Vorschlägen:

1. Als Befestigungskegel für Werkzeuge sind ohne Rücksicht darauf, ob es sich um Bohrmaschinen oder Fräsmaschinen handelt, anzuwenden: Morsekegel 0—6, metrische Kegel 9, 11, 13 und 15.

2. Für Bohrmaschinen sind die Morsekegel 0—7 und für Fräsmaschinen die metrischen Kegel 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13 und 15 anzuwenden.

Vom Arbeitsausschuß für Werkzeuge wird der Vorschlag 2 dem Gesamtausschuß zur Annahme empfohlen.

Die wahrscheinlich zur Annahme gelangenden Normen sind in den Tabellen nebst erläuternden Abbildungen wiedergegeben und zwar:

Seite 31, Abb. 62 für Morsekegel.

Seite 32, Abb. 63 für metrische Kegel.

Seite 33, Abb. 64 für Längskeile und Fräserbohrungen.

Seite 33, Abb. 65 für Mitnehmer für Fräser.

Seite 33, Abb. 66 für Mitnehmer für Reibahlen und Senker.

¹⁾ Siehe Schlesinger: Der deutsche metrische Bohrkegel für Fräsdorne. Berlin 1913.

²⁾ Siehe Betrieb 1918. Heft 1. Bl. 140: Vereinheitlichung der Befestigungskegel.

Tabelle der Morse-Kegel.

Werkstattmaße für Schaft und Hülse mit Keilloch.

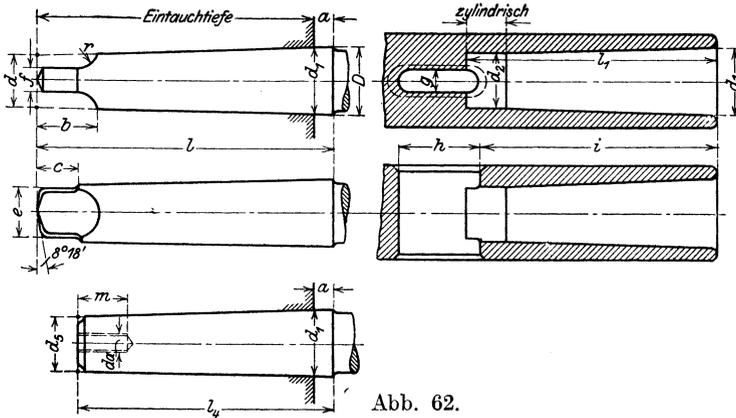


Abb. 62.

Einstellung des Schleiftisches = $1\frac{1}{2}^{\circ}$.

Nr.	Kegel	Abmessungen des Schaftes in mm													
		D	d	d ₁	d ₅	d _a	l	l ₄	a	b	c	e	f	m	r
0	1:19,212	9,253	6,130	9,045	—	—	60	—	4	10	6,5	6	4	—	4
1	1:20,048	12,264	9,022	12,065	9,496	$\frac{1}{4}''$	65	55,5	4	13	9,5	8,5	5,2	15	5
2	1:20,020	18,031	14,035	17,781	14,584	$\frac{3}{8}''$	80	69	5	17	11	13,5	6,4	20	6
3	1:19,922	24,128	19,108	23,826	19,836	$\frac{1}{2}''$	100	85,5	6	21	14,5	18	8,0	25	7
4	1:19,254	31,632	25,191	31,269	26,022	$\frac{5}{8}''$	124	108	7	24	16	24	11,9	30	9
5	1:19,002	44,770	36,560	44,401	37,559	$\frac{3}{4}''$	156	137	7	30	19	35	15,9	40	11
6	1:19,180	63,767	52,401	63,350	53,887	1''	218	189,5	8	42	28,5	50	19,0	50	17
7	1:19,231	83,529	68,137	83,061	69,957	$1\frac{3}{8}''$	296	261	9	54	35	66	28,6	60	20

Das Maß „a“ gibt den Größtwert des überragenden Endes an und ändert sich mit der Eintauchtiefe.

Nr.	Kegel	Abmessungen der Hülse mit Keilloch in mm					
		d ₁	d ₂	l ₁	g	h	i
0	1:19,212	9,045	6,651	52	4,2	14	49,5
1	1:20,047	12,065	9,670	55	5,4	19	52,5
2	1:20,020	17,781	14,884	67	6,6	22	63,5
3	1:19,923	23,826	20,162	83	8,2	30	78,0
4	1:19,254	31,269	26,438	105	12,2	32	98,0
5	1:19,002	44,401	38,139	133	16,2	38	125
6	1:19,180	63,350	54,591	188	19,3	45	177
7	1:19,231	83,061	70,945	257	28,9	67	241

Tabelle der metrischen Kegel. (Werkstattmaße für den Schaft.)

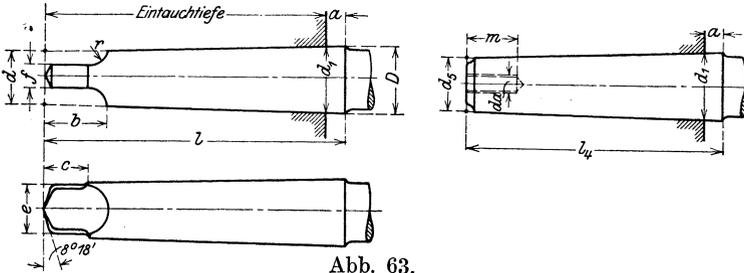


Abb. 63.

Einstellung des Schleittisches = 1 1/2°.

Bezeich. Metr.Keg.	Abmessungen in mm													
	D	d	d ₁	d ₅	d _a	l	l ₄	a	b	c	e	f	m	r
6	6,2	4	6	—	—	44	—	4	9	6	4	3	—	2
9	9,2	6	9	—	—	64	—	4	10	6,5	6	4	—	4
12	12,2	9	12	9,4	1/4"	64	56	4	12	8	8,5	5	15	5
18	18,2	14	18	14,5	3/8"	84	74	4	15	10	13,5	6,5	20	6
24	24,2	19	24	19,6	1/2"	104	92	4	18	12	18	8	25	7
32	32,2	26	32	26,7	5/8"	124	110	4	22	14	25	11	30	9
40	40,2	33	40	33,8	3/4"	144	128	4	27	16	32	14	40	11
50	50,25	42	50	42,9	3/4"	165	147	5	32	18	41	17	40	11
60	60,30	51	60	52	1"	186	166	6	37	20	49	20	50	17
70	70,35	60	70	61,1	1"	207	185	7	42	22	58	23	50	20
80	80,40	69	80	70,2	1 3/8"	228	204	8	47	24	67	26	60	23
90	90,45	78	90	79,3	1 3/8"	249	223	9	52	26	76	29	60	26
100	100,50	87	100	88,4	1 3/8"	270	242	10	57	28	85	32	60	30
110	110,55	96	110	97,5	1 3/8"	291	261	11	62	30	94	35	60	33
120	120,60	105	120	106,6	1 3/8"	312	280	12	67	32	103	38	60	36
130	130,65	114	130	115,7	1 1/2"	333	299	13	72	34	112	41	65	39
140	140,70	123	140	124,8	1 1/2"	354	318	14	77	36	121	44	65	42
150	150,75	132	150	133,9	1 1/2"	375	337	15	82	38	130	47	65	45

Das Maß „a“ gibt den Größtwert des überragenden Endes an und ändert sich mit der Eintauchtiefe.

Tabelle der Längskeile für Fräser.

Normalbohrungen	D	5	8	10	13	16	19 ¹⁾	22	27	32	40	50	60	70	80	100
Keilbreite . . .	b	—	2	3	3	4	5	6	7	8	10	12	16	18	20	24
Keilhöhe . . .	h	—	2	3	3	4	5	6	7	8	7	8	10	12	14	16
Tiefe d. Fräsernut	t	—	1	1,5	1,5	1,9	2,3	2,7	3,1	3,5	3,8	4,5	5,5	6	7	8
Tiefe d. Dornnut	t ₁	—	1,1	1,7	1,7	2,3	3	3,6	4,2	4,8	3,5	4	5	6,5	7,5	8,5
Dornmaß m. Keil	a	—	8,78	11,07	14,13	17,45	20,67	23,99	29,34	34,69	42,87	53,27	63,67	74,33	85,23	106,04
Dornmaß in d. Nut	c	—	6,78	8,07	11,13	13,45	15,67	17,99	22,34	26,69	35,87	45,27	54,67	62,33	71,23	90,04
Größtes Spiel . .	f	—	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Abrundung . . .	r	—	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,4	1,6

Die Nuthöhe darf nach dem Ausschleifen der Bohrung innerhalb der Größe des Spieles kleiner sein.

¹⁾ 19 mm ist Reibahlenbohrung und soll für Fräser möglichst nicht verwendet werden.

Tabelle der Mitnehmer für Fräser.

Mitnehmer sind nur ausnahmsweise bei dünnwandigen Fräsern anzuwenden, die keine Längsnut gestatten.

Normalbohrungen	D	5	8	10	13	16	19 ¹⁾	22	27	32	40	50	60	70	80	100
Mitnehmerbreite . . .	b	2	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	24
Mitnehmerlänge . . .	h	2	2,3	2,6	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,3	5	5,5	6,1	6,7	7,3	8,5
Nutttiefe	t	2,5	2,8	3,6	3,6	3,9	4,7	5	5,3	6,3	7	8	8,6	9,2	10,3	11,5
Abrundung	r	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3

Der Mitnehmer erhält das Vollmaß, etwaiges Spiel ist in die Nut zu verlegen.

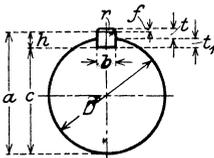


Abb. 64.

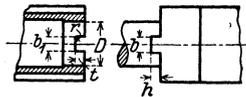


Abb. 65.

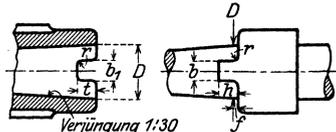


Abb. 66.

Tabelle der Mitnehmer für Reibahlen und Senker.

Normalbohrungen	D	5	8	10	13	16	19	22	27	32	40	50	60	70	80	100
Nutenbreite	b ₁	2,2	3,3	4,3	4,3	5,4	6,4	7,4	8,4	10,4	12,4	14,4	16,4	18,4	20,5	24,5
Nutentiefe	t	3	4	5,6	5,6	6,6	8,2	9,2	10,3	11,8	13	14,5	15,5	16,5	18	19
Mitnehmerbreite . . .	b	2	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	24
Mitnehmerlänge . . .	h	2,5	3,5	4,6	4,6	5,6	6,7	7,7	8,8	9,8	11	12	13	14	15	16
Abrundung	r	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3
Größtes Spiel	f	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3

3. Die Konstruktion der Fräser und ihre Schnitt- und Schaltgeschwindigkeiten.

a. Die Form und Teilung der Schneidzähne.

Obwohl der Zweck und die Verwendungsart des Fräasers maßgebend für seine Konstruktion ist, muß doch in erster Linie der richtigen Gestaltung der Schneidzähne eine besondere Beachtung geschenkt werden. Manche Änderung im Durchmesser oder der Zusammensetzung findet im ersten Gesetz für die Anfertigung des Fräasers, schnittfähige Zähne zu schaffen, seine Erklärung.

¹⁾ 19 mm ist Reibahlenbohrung und soll für Fräser möglichst nicht verwendet werden.

In älterer Zeit, wo die Fräser fast ausschließlich zu Profilarbeiten verwendet wurden und in den Durchmessern nicht sehr verschieden voneinander waren, nahm man meist eine konstante Zähnezahl von 30 bis 35 Zähnen an. Da aber später Fräser der verschiedensten Größen in Gebrauch kamen, mußte die Zähnezahl in ein bestimmtes Verhältnis zu dem Durchmesser gebracht werden. Über das richtige Verhältnis gingen lange die Ansichten auseinander.

Bezeichnet D den Durchmesser, t die Zahnteilung und z die Anzahl der Zähne, so ergibt sich für die Zähnezahl die allgemeine Formel:

$$z = \frac{D\pi}{t}$$

oder, wenn die Zähnezahl bekannt ist, für die Zahnteilung:

$$t = \frac{D\pi}{z}$$

Knabbe¹⁾ gelangt nun für die Teilung des Fräsers auf Grund seiner Erfahrungen zu der Formel:

$$t = 0,78 \sqrt{D},$$

während Pregél²⁾, welcher für feingezahnte Mantelfräser eine beständige Riefenzahl (Zähnezahl), z. B. 25, für grobgezahnte Fräser mit hinterdrehten Zähnen die Zahl 10, 11 oder 12 anzunehmen empfiehlt, für z die Formel

$$z = 7 + 0,2 (D - 20)$$

angibt, woraus sich, da $t = \frac{D\pi}{z}$ ist, für die Zahnteilung

$$t = \frac{D\pi}{7 + 0,2 (D - 20)} \text{ ergibt.}$$

Bei einem Fingerfräser von 20 mm Durchmesser würde also nach Knabbe die Teilung

$$t = 0,78 \sqrt{20} = 3,5 \text{ mm}$$

und die Zähnezahl

$$z = \frac{20 \cdot 3,1415}{3,5} = 18 \text{ betragen.}$$

Nach der von Pregél angeführten Formel dagegen ist

$$t = \frac{20 \cdot 3,1415}{7 + 0,2 \cdot 0} = 9 \text{ mm}$$

und

$$z = 7 + 0,2 \cdot 0 = 7.$$

¹⁾ Vgl. Knabbe, Der Fräser usw., S. 193. Berlin 1896.

²⁾ Vgl. Pregél, Fräse- und Schleifmaschinen, S. 4. Stuttgart 1892.

Der Unterschied beträgt demnach, wenn man die beiden Resultate vergleicht, in der Zähnezahl 11 Zähne und in der Teilung 5,5 mm, ein Umstand, bei dem die fraglichen beiden Fräser ein wesentlich verschiedenes Aussehen gewinnen würden. Nach unseren eigenen Erfahrungen dürfte sich für die Praxis weder die eine noch die andere Konstruktion für kleinere Fräser empfehlen, da sie nur für mittelgroße Fräserdurchmesser brauchbare Werte ergeben.

Bei dem gerieften Fräser sind für die richtige Teilung die Zahnhöhe h und die sich aus Teilung und Höhe ergebenden Winkel wichtig.

Da die Zähne eines Fräasers mit einem Winkel fräser eingeschnitten werden, müssen alle Winkel (Abb. 67) von den Winkeln des einschneidenden Fräasers, sowie von dem Durchmesser und der Zähnezahl des zu bearbeitenden Fräasers abhängen. Die mathematischen Berechnungen dieser Winkel und ihre

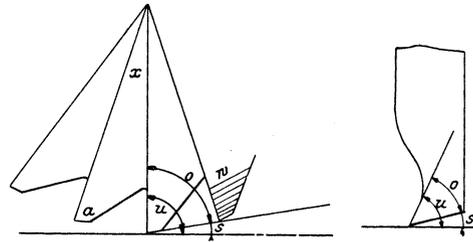


Abb. 67.

Abb. 68.

Die Winkel beim Späneabheben.

engeren Beziehungen zueinander hier klarzulegen, führt zu weit, es genügt, das Hauptsächlichste des näheren zu besprechen.

Zahlreiche Versuche und Vergleiche mit Fräsern verschiedener Herkunft, sowie langjährige Erfahrungen in großen Fräseerbetrieben ergaben, daß sich Fräser von 57° Winkeleinschließung am besten zum Einschneiden der Fräserzähne eignen.

Von den in Betracht kommenden Winkeln (Abb. 67) ergibt sich der mit x bezeichnete ohne weiteres aus der Zähnezahl des Fräasers. Der runde Fräser hat 360° , und es entfällt auf den Winkel x der sovielte Teil von 360, als der Fräser Zähne bekommt, also ist

$$x = \frac{360}{z} \text{ Grad.}$$

Für die richtige Zahnform kommen nur die nachstehenden Winkel in Betracht:

1. der Schneidwinkel u ,
2. der Zuschärfungswinkel o ,
3. der Anstellwinkel s .

Betrachten wir dieselben näher, so finden wir, daß der Schneidwinkel u , der die Winkel o und s einschließt, von der Zahnbrust und der Oberkante des Werkstückes gebildet wird, und daß die Schneidfase des Zahnes die Winkel o und s bildet. Bezüglich der Größe dieser Winkel gilt für u derjenige Wert, der jedem metallschneidenden Werkzeuge zugrunde liegt, d. h. er darf nicht größer als 90° sein; das ist für $o = 78$

bis 87° , und für $s = 3$ bis 12° . Eigentlich sollte der Anstellwinkel s bei jedem Material seinen besonderen Wert haben, man begnügt sich jedoch, um nicht eine zu große Anzahl Fräser zu bekommen, mit der Unterscheidung von weichem und hartem Material. Bei ersterem (weichem Material) macht man $s = 7$ bis 12° , bei letzterem 3 bis 6° .

Wie bereits angegeben ist, liegt die Maximalgrenze des Schneidwinkels u bei 90° , wobei eine genau radiale Zahnbrust entsteht. Es empfiehlt sich jedoch, den Schneidwinkel des Fräasers etwas kleiner zu machen, wie man ihn an den Drehstählen, namentlich an solchen für weichen Stahl und Schmiedeeisen, gewöhnt ist, siehe Abb. 68.

Untersuchen wir nun die Schneidzähne, die mit einem Winkelfräser von 57° erzeugt werden, so finden wir vor allem einen recht kräftigen Zahnrücken und eine genügend tiefe Zahnlucke, sofern wir für die verschiedenen Fräsergrößen D die richtige Teilung t wählen. Für Fräser aus Werkzeugstahl ergibt die Formel

$$t = 1,2 \sqrt{D}$$

ganz brauchbare Werte. Sie sind in den beiden nachstehenden Tabellen zusammengestellt.

Tabelle der Zahnteilungen für geriefte Fräser.

Maße in Millimetern.

D Durchmesser	t Teilung	h Höhe der Schneidzähne
bis 12	4,2	3,5
„ 15	4,6	4
„ 18	5	4,5
„ 21	5,5	5
„ 25	6	5,5
„ 30	6,5	6
„ 35	7	6,25
„ 40	7,5	6,5
„ 45	8	6,75
„ 52	8,5	7
„ 60	9	7,25
„ 68	10	7,6
„ 75	10,5	8
„ 83	11	8,5
„ 90	11,5	9
„ 105	12,5	9,5
„ 126	13,5	10
„ 135	14	10,5
„ 150	14,5	11

Tabelle für die Zähnezahlgewählter Fräser.

$D =$ Durchmesser in mm	$Z =$ Zähnezahlgewählter	$D =$ Durchmesser in mm	$Z =$ Zähnezahlgewählter
10	8	70	21
15	10	75	23
20	11	80	24
25	13	85	24
30	14	90	25
35	15	95	26
40	16	100	26
45	18	110	28
50	19	120	30
55	19	130	32
60	20	140	34
65	21	150	36

Bei den hinterdrehten Fräsern muß die Teilung und die Zähnezahlgewählter entsprechend ihren Formen von verschiedenen Gesichtspunkten aus bestimmt werden. Bei Profilfräsern muß hauptsächlich darauf Rücksicht genommen werden, daß der Zahnfuß keine Schwächung erleidet. Bekanntlich werden die Zahnfüße aller Profilfräser nur gerade durchgefäest (siehe Abb. 49, 50, 51 u. a.). Es bekommen dieserhalb erhabene Stellen des Profils eine sehr hohe Zahnform mit breitem Zahnfüße und schmalen Zahnfuß. Hier ist es nötig, durch größere Teilung die schwächeren Zahnfüße zu verstärken. Teilungen von 25—40 mm sind dabei keine Seltenheiten. Die Walzen-Schaft- und Fingerfräser können eher einer einheitlichen Zahnformung unterliegen.

Obwohl nun nach eben Gesagtem die Teilung sehr verschieden sein kann, wollen wir doch im folgenden einige Punkte festlegen, die bei der Konstruktion der Zahnformen nützlich sein werden. Bezüglich der Zahnfüße- oder Nutentiefe herrscht vielfach die Ansicht, daß sie recht tief sein müsse, was sich in keiner Weise begründen läßt, da Platz für Späne vorhanden ist, wenn die Nutentiefe $\frac{2}{3}$ der beabsichtigten Teilung ist; bei größerer Teilung genügt sogar $\frac{1}{2}$ derselben. Die tiefen Nuten erschweren nur das Nachschärfen, da die Fläche der Zahnbrust größer ist und folglich die Arbeit länger dauert; auch wird dadurch das Ausglühen des Zahnes begünstigt.

Die Breite der Nuten wird ebenfalls zumeist auf Kosten der Lebensdauer der Schneidzähne unnötig vergrößert. Sie ist möglichst gering zu wählen, da sie durch das Nachschärfen von selbst erweitert wird.

Eine sehr bewährte Formel für die Ermittlung der Zähnezahlgewählter Z sei nachstehend für die hinterdrehten Fräser angegeben.

Danach ist
$$Z = 8 + \left(\frac{D - 20}{7} \right)$$

woraus sich nach der Formel

$$t = \frac{D \pi}{Z}$$

die Teilung ermitteln läßt.

Zum Beispiel bei einem Fräserdurchmesser von 125 mm wäre

$$z = 8 + \left(\frac{125 - 20}{7} \right) = 8 + \frac{105}{7} = 8 + 15 = 23,$$

demnach
$$t = \frac{125 \cdot 3,14}{23} = 17,$$

woraus sich die Zahnhöhe h mit $\frac{2}{3} t$ finden läßt.

Es ist dann auf obiges Beispiel angewandt:

$$h = \frac{2}{3} t = \frac{2 \cdot 17}{3} = 11,3 \text{ mm.}$$

In der folgenden Tabelle sind die Werte dieser Formel zusammengestellt.

Tabelle für hinterdrehte, geradlinige Fräser.

Fräserdurchmesser D in mm	Zähnezahl Z	Teilung des Fräasers t in mm	Höhe des Zahnes h in mm
20	8	7,85	5,24
25	9	8,72	5,82
30	9	10,44	6,96
35	10	10,99	7,32
40	11	11,42	7,62
50	12	13,08	8,72
60	14	13,07	9,14
70	15	14,66	9,78
80	17	14,77	9,86
90	18	15,70	10,38
100	19	16,53	11,02
120	22	17,13	11,42
140	25	17,56	11,70
150	27	17,44	11,62
175	30	18,32	12,22
200	34	18,47	12,32

Außer den vorgenannten Formeln sind namentlich für die Fräser aus Schnellstahl noch andere bekannt geworden. Sie fußen darauf, daß der vermehrten Leistung ein kräftigerer Schneidzahn und eine vergrößerte Zahnücke gegenüberstehen müsse.

Für die hinterdrehte Zahnform haben die Verfasser die Formel

$$Z = 7 + \left(\frac{D - 20}{9} \right),$$

wobei D in Millimeter eingesetzt ist, aufgestellt und mit ihr gute Erfolge erzielt.

Für die geriefte Zahnform empfiehlt die Cincinnati-Comp. folgende Zähnezahlen:

D in mm . . .	25	38	44	50	57	63	70	75	83	89	95	100	125	150
D in engl. Zoll	1	1½	1¾	2	2¼	2½	2¾	3	3¼	3½	3¾	4	5	6
Z	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	24	28

Ein Winkelfräser von 80° sollte dabei zum Verzahnen der Fräser benutzt werden.

Den angegebenen Werten liegt etwa die Formel

$$Z = 4 + \frac{D}{6},$$

wobei D in Millimeter einzusetzen ist, zugrunde. Danach sind etwa zu suchende Zwischenwerte leicht zu finden¹⁾.

b. Die spiralgewundenen Schneidzähne.

Da die spiralgewundenen Schneidzähne die Sauberkeit der Arbeit und die Schnittfähigkeit des Fräasers wesentlich erhöhen, so sollten eigentlich damit alle Fräser versehen werden. Kaum überwindbare Schwierigkeiten beim Nachschärfen längerer Profilfräser haben es jedoch zur Bedingung gemacht, daß nur Fräser mit geraden Schnittflächen spiralgewundene Zähne bekommen; demnach also nur Mantel-, Finger-, Schaft-, Scheiben- und wenn auch seltener Kegel-Fräser.

Die Spirallängen²⁾ sind hauptsächlich vom Fräserdurchmesser abhängig, obwohl sie auch von der Eingriffsbreite des Fräasers beeinflußt werden. Namentlich werden sie bei schmalen Fräsern davon abhängen, daß mindestens ein Zahn ununterbrochen im Eingriff steht.

In der folgenden Tabelle sind von vier verschiedenen Winkeln die Längen der Spiralen in Millimetern und englischen Zollen an-

¹⁾ J. Reindl gibt (Betrieb, Jahrgang 1918, Seite 8) zur Ermittlung der Zahnteilung die nachstehenden beiden Formeln an:

für mittelgrobe Zahnteilung $t = 2,8 \log. \text{ nat. } D$

für grobe Zahnteilung $t = 3,5 \log. \text{ nat. } D$

Die erste ergibt etwas geringere, die zweite etwas höhere Werte für die Teilungen, als in die von der Cincinnati Comp. angegebenen Zähnezahlen ergeben.

²⁾ Unter Spirallänge oder Spiralsteigung wird die Länge auf der Achse gemessen verstanden, die sich bei einmaliger voller Windung ergibt.

gegeben, und wird man danach leicht die nötigen Wechselräder zur Erzeugung der Spiralen bestimmen können.

Tabelle der Spirallängen bei gegebenen Winkeln.

Durchmesser der Fräser in mm	Zahnwinkel von 15°		Zahnwinkel von 20°		Zahnwinkel von 25°		Zahnwinkel von 30°	
	mm	engl. Zoll	mm	engl. Zoll	mm	engl. Zoll	mm	engl. Zoll
20	234	9 ¹ / ₄	172	6 ³ / ₄	134	5 ¹ / ₄	108	4 ¹ / ₄
25	293	11 ¹ / ₂	215	8 ¹ / ₂	168	6 ¹ / ₂	136	5 ¹ / ₃
30	351	14	258	9 ³ / ₄	201	8	163	6 ¹ / ₂
35	410	16 ¹ / ₄	301	11 ³ / ₄	235	9 ¹ / ₄	190	7 ¹ / ₂
40	469	18 ¹ / ₂	344	13 ¹ / ₂	269	10 ¹ / ₂	217	8 ¹ / ₂
45	527	20 ³ / ₄	387	15 ¹ / ₄	303	12	244	9 ¹ / ₂
50	586	23	430	17	336	13 ¹ / ₄	272	10 ² / ₃
55	644	24 ¹ / ₃	473	18	370	14 ¹ / ₂	299	11 ³ / ₄
60	703	27 ² / ₃	516	20 ¹ / ₃	403	16	326	13
65	761	30	559	22	437	17 ¹ / ₄	353	14
70	820	32 ¹ / ₄	602	23 ³ / ₄	470	18 ¹ / ₂	380	15
75	879	34 ³ / ₄	646	25 ¹ / ₂	503	20	408	16 ¹ / ₆
80	937	37	689	27	539	21	435	17
90	1055	41 ¹ / ₂	774	30 ¹ / ₂	603	24	488	19
100	1172	46 ¹ / ₃	860	34	672	26 ¹ / ₂	544	21 ¹ / ₃
110	1288	50 ³ / ₄	946	36	740	29	598	23 ¹ / ₂
120	1406	55 ¹ / ₃	1032	40 ² / ₃	806	32	652	26
130	1522	60	1118	44	874	34 ¹ / ₂	706	28
140	1640	64 ¹ / ₂	1204	47 ¹ / ₂	940	37	760	30
150	1758	69 ¹ / ₂	1292	49	1006	40	816	32 ¹ / ₄
160	1874	74	1378	54	1078	42	870	34
180	2110	83	1548	61	1206	48	976	38
200	2344	92 ¹ / ₄	1720	68	1344	53	1088	42 ² / ₃
240	2812	110 ¹ / ₄	2064	81 ¹ / ₃	1612	64	1304	52

Die spiralgewundenen Schneidzähne stellen steile Schraubengänge dar; als Steigungswinkel ist der Winkel zu betrachten, den die Schneidzähne mit der Stirnseite des Fräasers einschließen, und als Zahn- oder Neigungswinkel der Winkel, den die Schneidzähne mit der Achse einschließen. Wichtig für uns ist der letztere, weil wir ihn zum Schrägstellen der Supporte beim Fräsen und Schärfen der Fräser brauchen.

Jeder Spiralzahnfräser müßte als Aufschlag tragen: erstens die Spirallänge in cm oder engl. Zoll und zweitens die Gradzahl des Zahnwinkels, z. B. 120 cm 29°.

Überaus wichtiger für die Werkstatt ist die richtige Wahl der Spirallängen. Seit Einführung verbesserter Fräuserschärfmaschinen, an denen die Spiralen ebenfalls durch die Wechselräder der Fräuserschärfmaschinen erzeugt werden, bedeutet das Anstecken der verschiedensten Übersetzungen an solchen Maschinen einen unwirtschaftlichen Zeitverlust. Es muß darauf gedrungen werden, auch die Spirallängen zu normen, um den Weg für die sogenannten Norton-Wechselräderecken zu ebnen.

Dann kann mit einem einzigen Handgriff jede Spirallänge eingestellt werden und das zeitraubende Suchen nach den Wechselrädern fällt weg, weil die Werkstatt nur mit einer kleinen Anzahl Spirallängen zu rechnen hat. Eine Lösung dieser wichtigen Frage ist in der Gradtabelle für Zahn-(Neigungs-)Winkel bei gegebenen Spirallängen versucht worden, möge die Anregung zahlreiche Freunde finden.

Gradtabelle für Zahn-(Neigungs-)Winkel bei gegebenen Spirallängen.

Spiral- längen in		Fräserdurchmesser in Millimeter																
cm	engl. Zoll	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200	225	250	
10		32,1	43.2	51.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	4	31.4	42.5	51.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
12		28.1	38.1	46.2	50.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	6	22.2	31.4	39.3	46.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
16		21.3	30.3	38.1	44.3	49.4	54.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
20		17.3	25.1	32.1	38.1	43.2	47.4	51.3	54.4	—	—	—	—	—	—	—	—	
	8	17.1	24.5	31.5	37.2	42.5	47.2	51.0	54.2	—	—	—	—	—	—	—	—	
25		14.1	20.4	26.4	32.1	37.0	41.2	45.1	48.3	51.3	—	—	—	—	—	—	—	
	10	13.5	20.2	26.2	31.4	36.4	40.5	44.5	48.0	51.0	—	—	—	—	—	—	—	
30		—	17.3	22.4	27.4	32.1	36.2	40.0	43.2	45.2	51.3	55.4	—	—	—	—	—	
	12	—	17.1	22.3	27.2	32.0	35.5	39.3	42.5	45.0	51.0	55.2	—	—	—	—	—	
40		—	13.1	17.3	21.3	25.2	28.4	32.1	35.1	38.1	43.2	47.4	51.3	54.4	—	—	—	
	16	—	13.0	17.1	21.1	24.5	26.5	31.4	34.5	37.4	42.5	47.2	51.0	54.2	—	—	—	
50		—	—	14.1	17.3	20.3	23.3	26.4	29.3	32.1	37.0	41.2	45.1	48.3	51.3	54.4	—	
	20	—	—	13.9	17.1	20.2	23.2	26.2	29.1	31.4	36.3	41.0	44.4	48.0	51.0	54.2	—	
60		—	—	—	14.4	17.3	20.1	22.4	25.1	27.4	32.1	36.2	40.0	43.2	46.1	49.4	52.4	
	25	—	—	—	12.1	16.3	19.0	21.4	24.0	26.2	30.4	34.4	38.2	41.4	44.4	48.0	51.2	
70		—	—	—	—	15.1	17.3	19.5	22.0	24.1	28.2	32.1	35.4	39.0	41.6	45.1	48.2	
	30	—	—	—	—	14.0	16.0	18.1	20.2	22.2	26.1	30.0	33.2	36.4	39.3	42.5	45.5	
80		—	—	—	—	13.1	15.2	17.3	19.3	21.3	25.1	28.5	31.4	35.1	38.1	41.3	44.3	
	35	—	—	—	—	—	13.5	15.4	17.4	19.3	23.0	26.2	29.0	32.2	35.1	38.3	41.3	
100		—	—	—	—	—	12.2	14.1	15.5	17.3	20.4	23.4	26.4	29.3	32.1	35.1	38.1	
	40	—	—	—	—	—	—	13.5	15.4	17.1	20.2	23.2	26.2	29.1	31.4	34.5	37.4	
120		—	—	—	—	—	—	—	13.3	14.4	17.3	20.1	22.4	25.1	29.0	30.3	33.1	
	50	—	—	—	—	—	—	—	—	13.5	17.0	19.0	21.4	29.0	26.3	29.1	31.4	
150		—	—	—	—	—	—	—	—	—	14.1	16.2	18.4	20.4	22.4	25.1	27.4	
	60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13.3	16.1	18.1	20.2	22.2	24.5	27.2	
200		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12.2	14.1	15.5	17.3	19.3	21.2	
	80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12.1	14.0	15.3	17.1	18.5	21.0	
250		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12.5	14.1	15.5	17.3	
	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12.3	13.5	15.3	17.1
300		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13.0	14.4
	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13.1	14.2

Anmerk. Bei allen Gradtabellen gibt die Zahl hinter dem Punkte die Bruchteile der Grade in Sechsteln an, z. B. 32.1 heißt 32 Grad 10 Minuten, 14.2 heißt 14 Grad 20 Minuten.

Eine noch wenig erörterte Frage ist die, welche Steigungsrichtung der Spirale zu geben ist. Bei Beantwortung dieser Frage ist besonders die Arbeitsart des Fräasers wichtig. Hat der Fräser einen tiefen Schlitz oder eine nicht durchgehende Nute auszuarbeiten, so wird es nötig sein, weil die Späne nicht ungehindert wegfallen können, der Spirale eine Richtung zu erteilen, durch welche die Späne ähnlich wie bei den Spiralbohrern herausgebracht werden. Bei diesen Ausführungen macht sich jedoch ein großer Übelstand dadurch bemerkbar, daß der durch die Spirale hervorgerufene seitliche Druck, der stets von der starken Hauptspindel der Fräsmaschine aufgenommen werden muß, gerade nach der entgegengesetzten Seite geleitet wird.

Im folgenden sind die Ergebnisse einiger Versuche, die zur Aufklärung obiger Frage angestellt wurden, wiedergegeben:

1. Ein Walzenfräser, nur durch einen Keil auf dem Fräsdorne gehalten — also ohne seitlichen Halt durch Ringe oder Muttern —, war in sehr kurzer Zeit gänzlich von dem Arbeitsstück, eine Flacheisenschiene, 20×15 mm heruntergelaufen, weil seine Zähne bei rechtslaufender Spirale, also nach der Gegenspitze zu, eingriffen und so von rechts nach links arbeiteten. Der Fräser mußte natürlich diesem Drucke ausweichen, was nach der Gegenspitze zu geschah.
2. Ein Walzenfräser mit linksgewundener Spirale ergab unter denselben Verhältnissen genau das gleiche Ergebnis, nur daß der Fräser jetzt nach links, nach der Hauptspindel gewandert war. Der Druck wurde in diesem Falle, wie es richtig ist, von der Hauptspindel aufgenommen.
3. Beide Fräser arbeiten nacheinander, festgespannt — also ohne seitliches Spiel — eine Spandicke von 6 mm ab, wobei sich bemerkbar machte, daß der im ersten Versuch genannte Fräser erheblich zitterte und unsauber arbeitete, während der Fräser des zweiten Versuches, dessen Druck von der Hauptspindel aufgenommen wurde, ruhig arbeitete.
4. Bei einer älteren, mit Morsekegel versehenen Senkrechtfräsmaschine lockerten sich stets die Schaftfräser; erst bei einem Versuche mit linker Spirale blieben sie fest.

Die Vorteile einer zur Umlaufsrichtung des Fräasers entgegengesetzten Spirale lassen sich dahin zusammenfassen, daß erstens der Fräser eine saubere Arbeit leistet, weil der seitliche Druck nicht nach dem Gegenlager, sondern nach der kräftigeren Hauptspindel geleitet wird, um hier von den Lagern und den Kugelringen aufgenommen zu werden, und daß zweitens der Fräser stets bestrebt ist, sich fester in die Hauptspindel hineinzusetzen, was bei Schaft- und Fingerfräsern mit Kegeln ein nicht zu unterschätzender Vorteil ist.

Es wurde schon darauf hingewiesen, daß man in letzter Zeit die stark gewundenen Spiralschneidzähne bevorzugt, weil sie nicht nur

ruhiger arbeiten, daher leistungsfähiger sind, sondern auch die abgenommenen Späne leichter zur Seite schieben. Ihren Nachteil, den auf die Lager ausgeübten Axialdruck, sucht man auf verschiedene Wege zu beseitigen. Bei den zusammengesetzten Fräsern wird man den axialen Druck dadurch aufheben, daß man die einzelnen Fräser mit rechten und linken Spiralwindungen versieht. Dasselbe Verfahren wird man an den breiten, geteilten Walzenfräsern anwenden. Daraus werden sich allerdings einige Schwierigkeiten beim Schärfen ergeben. Doch sind diese nicht schwer zu überwinden. Man wird schließlich dieselben Wege einschlagen müssen, die heute beim Verzahnen der sog. Pfeilräder üblich sind¹⁾.

c. Die Schnitt- und Schaltgeschwindigkeiten der Fräser.

Die Arbeit des Fräasers erfordert zwei verschiedene Bewegungen:

1. das Umdrehen des Fräasers oder des Werkstückes²⁾, bei welchem die Fräserzähne die ihnen zugeteilte Menge Material wegschneiden,
2. das Vorrücken des Werkstückes gegen den Fräser oder des Fräasers gegen das Werkstück, bei welchem dem Fräser stetig neues Material zugeteilt wird.

Die erstere Bewegung wird mit Schnittgeschwindigkeit und die letztere mit Schalt- oder Vorschubgeschwindigkeit bezeichnet. Die dadurch entstehenden Vorgänge nennt man Schneiden und Schalten. Die Schnittgeschwindigkeit s wird zweckmäßig, da sie gleich der Umfangsgeschwindigkeit ist, auf Sekunden, die Schaltgeschwindigkeit v auf Minuten bezogen.

Die Größen der Geschwindigkeiten s und v unterliegen nun großen Schwankungen, je nach der Härte des zu bearbeitenden Werkstückes und der Fräsergüte. Infolgedessen können auch die nachfolgenden Ausführungen nicht überall zugrunde gelegt werden. Immerhin werden sie aber als Richtschnur dienen können, da sie brauchbare Mittelwerte darstellen.

Einige besonders deutschen Verhältnissen gerecht werdende Formeln zum Ermitteln der genannten Geschwindigkeiten hat die bekannte Werkzeugmaschinenfabrik Reinecker angegeben.

Danach ist die Umdrehungszahl n des Fräasers in der Minute — wobei der Durchmesser D des Fräasers stets in Millimetern einzusetzen ist —:

für Gußstahl und Gußeisen

$$n = \frac{5000}{D},$$

¹⁾ Vgl. Hochleistungsfräser S. 16 u. f.

²⁾ Letzteres kommt nur ganz vereinzelt vor, z. B. an Revolverbänken und Bohrwerken.

für Schmiedeeisen und Martinstahl

$$n = \frac{6000}{D},$$

für Messing, Rotguß, Bronze und Kupfer

$$n = \frac{8000-10000}{D}.$$

Setzt man nun den Wert n in die bekannte Formel für die sekundliche Geschwindigkeit

$$s = \frac{n \cdot D \cdot \pi}{60}$$

oder, da $n \cdot D =$ einer der Konstanten der obigen Formeln (5000, 6000 und 8000 bis 10000) ist,

$$s = \frac{\pi \cdot \text{Konstante}}{60},$$

so erhält man

für Gußstahl und Gußeisen

$$s = \frac{n \cdot D \cdot \pi}{60} = \frac{\pi \cdot 5000}{60} = 261 \text{ mm in der Sekunde,}$$

für Schmiedeeisen und Martinstahl

$$s = \frac{n \cdot D \cdot \pi}{60} = \frac{\pi \cdot 6000}{60} = 314 \text{ mm in der Sekunde,}$$

für Messing und weichere Metalle

$$s = \frac{n \cdot D \cdot \pi}{60} = \frac{\pi \cdot 8000-10000}{60} = 419 \text{ bis } 523 \text{ mm in der Sekunde.}$$

Diese Schnittgeschwindigkeiten werden wohl bisweilen noch überschritten, in den meisten Fällen bleibt man jedoch hinter ihnen zurück. Namentlich wird man bei unserem deutschen Gußeisen gar oft bis zu 180 mm in der Sekunde heruntergehen müssen, um ein dem Fräser schädliches Erhitzen zu vermeiden. In zweifelhaften Fällen versuche man es immer erst mit dem angegebenen Werte von s , der sodann bei zu starker Erhitzung vermindert werden muß. Diese Angaben beziehen sich auf Fräser aus gutem Werkzeugstahl. Bei Verwendung von Schnellstahl kann die Schnittgeschwindigkeit um 50—100% erhöht werden. Wird mit Kühlwasser gearbeitet, also bei Stahl und Schmiedeeisen, so muß durch reichlichere Zufuhr des ersteren das Erhitzen des Fräasers zu vermeiden versucht werden.

Versuche haben ergeben, daß bei überreichlicher Zufuhr von Kühlwasser die Schnittgeschwindigkeit bis auf 4250 mm in der Sekunde gesteigert und dementsprechend die Schaltgeschwindigkeit bis auf 775 mm in der Minute gebracht werden konnte, ohne ein zu frühzeitiges Stumpf-

werden des Fräsers herbeizuführen¹⁾). Die Zufuhr des Kühlwassers muß dabei aber absolut sicher und gleichmäßig sein, da beim Versagen derselben der Fräser in wenigen Minuten vollständig ruiniert sein würde. Dadurch wird natürlich die Wirtschaftlichkeit eines solchen Arbeitens ganz in Frage gestellt. Tatsächlich ist man über Versuche mit dieser Höchstleistung noch nicht hinaus gekommen. Andererseits lehren die Versuche, einer reichlichen Zuführung von Kühlwasser erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken, da die Durchschnittsleistung der Maschinen dadurch ganz wesentlich erhöht werden kann. Bei Neukonstruktionen von Fräsmaschinen sind demgemäß auch die Auffangrinnen und Abflüßleitungen entsprechend größer vorzusehen, denn gerade darin lassen die meisten der marktgängigen Maschinen viel zu wünschen übrig.

Bei der Bestimmung der minutlichen Schaltgeschwindigkeit p müssen fünf Punkte berücksichtigt werden:

1. die Schneidfähigkeit des Fräsers,
2. die Tiefe und Breite seines Eingriffes (im Werkstück),
3. seine Arbeitsdauer,
4. die Beschaffenheit der Fräsmaschine,
5. die Festigkeit des Werkstückes.

Es wird z. B. ein Fräser, der unter 5 mm Eingriffstiefe und 140 mm Eingriffsbreite arbeitet, eine kleinere Schaltgeschwindigkeit erfordern, als ein Fräser, der unter 3 mm Eingriffstiefe und 40 mm Breite wirkt.

Nach Reinecker beträgt der minutliche Vorschub v 15—30 mm bei Gußstahl, Gußeisen und Schmiedeeisen, wobei auf zackigen Profilen der langsamere, auf geraden und mäßig geschweiften der schnellere Vorschub anzuwenden ist. Für weichere Metalle kann derselbe jedoch 50 mm und auch mehr betragen. Es haben auch hier diese Werte nur Gültigkeit für Fräser aus Werkzeugstahl; bei Verwendung von Schnellstahl kann auch die Schaltgeschwindigkeit bis 100% und darüber erhöht werden.

Ebenso kann nach Abnahme des ersten Schnittes, bei welchem der Fräser die harte Schmiede- oder Gußkruste weggearbeitet hat, bei weiteren Spänen der Vorschub erheblich vergrößert werden.

Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, daß man zu einer Schaltgeschwindigkeit verschiedene Schnittgeschwindigkeiten und mehrere Schaltgeschwindigkeiten zu einer Schnittgeschwindigkeit nehmen kann. Im allgemeinen gilt die Regel, beim Schrappen geringere Schnittgeschwindigkeit und größeren Vorschub und beim Schlichten höhere Schnittgeschwindigkeit und kleineren Vorschub zu nehmen.

Vorteilhaft ist es, unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit der Fräsmaschine, für jede Gattung der Fräsarbeiten eine Schaltgeschwindigkeit festzusetzen, zu welcher man die Schnittgeschwindigkeit

¹⁾ Zeitschrift für den praktischen Maschinenbau. Mai 1914.

aus den obigen Formeln ermittelt. Erhitzt sich der Fräser zu sehr, so verringert man seine Umdrehungen; man untersuche aber vorerst, ob nicht etwa mangelhafte Schärfung und Unrundgehen des Fräasers oder ungenügende Zufuhr von Kühlwasser die Ursache der Erhitzung waren, was sehr oft der Fall ist und natürlich sofortige Abhilfe dieser Fehler notwendig macht.

Bildet nun Schnitt- und Schaltgeschwindigkeit die Arbeitsleistung des Fräasers, so darf nicht unberücksichtigt bleiben, welche Einflüsse die verschiedenen Schaltungsarten und die Stellungen des Werkstückes zum Fräser ausüben, wobei namentlich in Frage kommt, ob die Lage des Werkstückes gestattet, daß die abgenommenen, durch den Schneidprozeß erwärmten Späne herabfallen können, oder ob dieselben an der Arbeitsstelle verbleiben. Im ersteren Falle hat der Fräserzahn, da die Späne sofort wegfallen, reichlich Zeit, sich abzukühlen, und sein Anschnitt erfolgt auf einer reinen Fläche. Dagegen werden im letzteren Falle die warmen Späne vom Fräser teilweise mit herum genommen. Dies hat zur Folge, daß kleine Spanteilchen beim Anschneiden schleifend auf die Zähne wirken, die dadurch stumpf werden. Versuche ergaben für den ersten Fall eine Mehrleistung von 30%.

Die in nebenstehender Tabelle angegebenen Schnitt- und Schaltgeschwindigkeiten sind Mittelwerte, die keineswegs als feststehende Normen zu betrachten sind.

Die angeführten Zahlen gelten für guten Werkzeugstahl. Für Schnellstahl kann, mit Ausnahme der Zahnradfräser, die Schnittgeschwindigkeit um 50—100% erhöht werden; die Schaltgeschwindigkeit, je nachdem es Werkstück, Fräsdorn und Maschine zuläßt, um 50—300%. Im allgemeinen ist zu bemerken, daß jeder Fräser viel eher durch zu hohe Schnittgeschwindigkeit verdorben werden kann als durch zu großen Vorschub. Es ist daher immer zweckmäßig, für die Schnittgeschwindigkeit einen Mittelwert zu nehmen und den Vorschub so weit zu steigern, als es Maschine und Werkstück zuläßt. Im Vergleich zu Dreh- und Hobelstählen entfällt selbst bei größtem Vorschub auf den einzelnen Fräserzahn nur eine sehr geringe Leistung.

Um dem Fräsarbeiter das rasche Einstellen auf die richtige Schnittgeschwindigkeit zu ermöglichen, ist es zweckmäßig, ihm eine Tabelle an die Hand zu geben, aus der er für jeden Fräserdurchmesser die der gegebenen Schnittgeschwindigkeit entsprechende Umdrehungszahl entnehmen kann.

Auf Seite 50 u. 51 ist die Anordnung einer solchen Tabelle, die sich in der Praxis gut bewährt hat, wiedergegeben. In der ersten senkrechten Reihe sind die Fräserdurchmesser aufgeführt. Geht man von einem bestimmten Fräserdurchmesser in der wagerechten Reihe bis zu der angenommenen Schnittgeschwindigkeit, so findet sich darüber in der obersten wagerechten Reihe die dazu erforderliche Umdrehungszahl.

Tabelle für Schnitt- und Schaltgeschwindigkeiten.

s = Schnittgeschwindigkeit in der Sekunde, v = Vorschub in der Minute.
 a für Schruppen, b für Schlichten.

Art des Fräasers und der Arbeit	Schnitttiefe	Schnittbreite	Material:						
			Mittelhartes Gußeisen		Weicher Masch.-Stahl bis 65 kg Festigkeit		Messing, Bronze usw.		
			s	v	s	v	s	v	
Fingerfräser 30 mm Durchmesser . . .	a b	2 1	30	225 275	30 35	250 300	30 35	450 550	60 70
Walzenfräser 100 mm Durchmesser . . .	a b	5 1	100	200 250	30 35	250 300	30 35	450 550	60 70
Stirnfräser bis 120 mm Durchmesser . . .	a b	5 1	80	200 250	30 35	250 300	28 33	450 550	60 70
Messerköpfe (Fräsköpfe) 400 mm Durchmesser . . .	a b	8 1	200	300 350	70 80	300 350	60 70	600 700	120 150
Zahnradfräser:									
Modul 3	—	—	—	280	60	280	40	600	70
„ 5	—	—	—	280	50	280	35	500	60
„ 8	—	—	—	280	40	280	30	400	50
Kleine Metallkreissägen .	—	—	—	300	12	350	14	600	30
Kaltsägen über 300 mm Durchmesser	—	—	—	300	20	350	16	600	40

Es sind nun in den letzten Jahren eine Anzahl Versuche über Schnitt- und Schaltgeschwindigkeiten bekannt geworden, die große Fortschritte zeigen. Wenn man auch einwenden mag, daß sie zum Teil Grenzwerte darstellen, so muß schon die reine Tatsache ihrer Ermöglichung beachtet werden.

Von großem Interesse sind die Versuche von De Leeuv an den Cincinnati-Fräsmaschinen¹⁾, deren Ergebnis man wie folgt zusammenfassen kann:

1. Eine Schnitttiefe von 5 mm ergab die größte Spanmenge für die PS/Min. Eine Schnitttiefe von 3 mm ergab 15—20%, eine solche von 1,5 mm 40—50% weniger.
2. Die Spanmenge in der PS/Min. wuchs mit zunehmender Schaltgeschwindigkeit. Sie fand bei 200—250 mm in der Minute ihren Höchstwert.

¹⁾ Vgl. Blätter für den Betrieb, Jahrg. 1910: Die de Leeuvschen Versuche an Cincinnati-Hochleistungsfräsmaschinen.

3. Die Spanmenge in der PS/Min. fiel bei zunehmender Schnittgeschwindigkeit. Bei 350 mm in der Sekunde betrug sie bereits 25—30% weniger, darüber hinaus fiel sie stärker.

Zu den Versuchen wurde ein Schnellstahlfräser von 90 mm Durchmesser und 150 mm Breite verwendet, der auf Schmiedeeisenblöcke von 37 kg/qmm Festigkeit zu arbeiten hatte.

J. Reindl¹⁾ gelangt nun bei den Vergleichen zwischen einem Walzenfräser mit eingesetzten Messerklingen (Patent Koch) und einem gewöhnlichen Walzenfräser aus Schnellstahl zu ähnlichen Folgerungen, die aber für die Spanmenge in der PS/Min. noch etwa 25—36% höhere Werte ergeben. Die Zusammenstellung der Ergebnisse sei hier wieder gegeben.

a. Versuche bei wechselnder Geschwindigkeit und gleichbleibendem Vorschub.

Vorschub bei Gußeisen 197 mm/minutl., 6 mm Schnittiefe, 70 mm Schnittbreite.

Vorschub bei Maschinenstahl 94 mm/minutl., 6 mm Schnittiefe, 70 mm Schnittbreite.

Abgenommene Spanmenge bei Gußeisen = 83 cem/minutl.

Abgenommene Spanmenge bei Maschinenstahl = 39,5 cem/minutl.

Material:		Gußeisen				Maschinenstahl 50—60 qmm/kg Festigkeit			
Fräser- Drehg. in der Minute	Schnitt- geschw. minutl. m	Patentfräser		Gewöhnlicher Fräser		Patentfräser		Gewöhnlicher Fräser	
		Kraft- ver- brauch PS	Gang	Kraft- ver- brauch PS	Gang	Kraft- ver- brauch PS	Gang	Kraft- ver- brauch PS	Gang
41	9	4,5	ruhig	4,7	hörbar	3,3	ruhig	4,2	hörbar
62	14	4,4	„	4,9	„	3,2	„	4,2	„
76	17	4,3	„	4,9	„	3,2	„	4,2	Zittern
94	21	4,5	„	5,2	Zittern	3,3	„	4,9	starkes Zittern
115	26	4,6	„	5,5	starkes Zittern	3,3	„	5,1	Rattern
145	32	4,9	„	6,4	Rattern	3,9	„	6,2	starkes Rattern
180	40	5,2	„	untunlich		3,9	hörbar	untunlich	

¹⁾ Siehe J. Reindl, Vergleichende Fräsversuche mit Walzenfräsern. Blätter für den Betrieb, Jahrg. 1911.

b. Versuche bei gleichbleibender Geschwindigkeit und wechselndem Vorschub.

Material: Gußeisen.

76 Drehungen des Fräasers = 17 m/minutliche Schnittgeschwindigkeit.
Schnitttiefe 6 mm, Schnittbreite 70 mm.

Vorschub mm/minutl.	Patentfräser			Gewöhnlicher Fräser		
	Kraft- verbrauch PS	Gang	Ab- gehobene Span- menge f. je 1 PS ccm/minutl.	Kraft- verbrauch PS	Gang	Ab- gehobene Span- menge f. je 1 PS ccm/minutl.
121	3	ruhig	16,9	3,9	ruhig	13
154	3,4	„	19	4,4	hörbar	14,7
197	4,3	„	19,3	4,9	Zittern	16,9
248	5,4	„	19,3	6,2	Rattern ¹⁾	16,8
318	6,9	„	19,3	8	st. Rattern ¹⁾	16,7

Material: Gußeisen.

76 Drehungen des Fräasers = 17 m/minutl. Schnittgeschwindigkeit.
Schnitttiefe 12 mm, Schnittbreite 70 mm.

Vorschub mm/minutl.	Patentfräser			Gewöhnlicher Fräser		
	Kraft- verbrauch PS	Gang	Ab- gehobene Span- menge f. je 1 PS ccm/minutl.	Kraft- verbrauch PS	Gang	Ab- gehobene Span- menge f. je 1 PS ccm/minutl.
121	5,4	ruhig	18,8	7,6	s.st.Rattern ¹⁾	13,4
114	6,8	hörbar	19	9,6	„	17,9
197	9	„	18,4	fällt Riemen		

Material: Maschinenstahl von 50—60 kg/qmm Festigkeit.

67 Drehungen des Fräasers, 17 m/minutl. Schnittgeschwindigkeit, Schnitttiefe 6 mm,
Schnittbreite 70 mm.

94	3,3	ruhig	11	4,2	hörbar	9,4
121	4,3	„	11,8	5,2	Zittern	9,8
154	5,2	„	12,4	6,4	Rattern ¹⁾	10,01
197	6,5	hörbar	12,7	7,6	st. Rattern ¹⁾	10,9

¹⁾ Ein dauerndes Arbeiten wäre hierbei ausgeschlossen.

Schnittgeschwindigkeits-Tabelle.

1. Für Fräser aus Werkzeugstahl.

	Schnittgeschwindigkeit		Mittlerer Vorschub
	Schuppen	Schichten	
Gußeisen	100—170 mm/Sek.	150—270 mm/Sek.	} 30 mm/Min.
Stahlguß	100—150 „	150—250 „	
Maschinenstahl .	130—230 „	200—330 „	
Messing	500—1170 „	500—1170 „	

Durchmesser des Fräasers	Frässpindelumdrehungen in der Minute																																										
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	65	70	75	80																				
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																				
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																				
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																				
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																				
25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	85	92	98	105																			
30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	88	94	102	110	118	126																	
35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	88	95	103	110	119	128	137	147															
40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	84	92	100	109	117	126	136	147	157	167													
45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	85	94	104	113	122	132	141	153	165	177	188												
50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	84	94	105	115	126	136	147	157	170	183	196	209											
55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	81	92	104	115	127	138	150	161	173	187	201	216	230										
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	88	100	113	126	138	151	163	176	188	204	220	236	251										
65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	82	95	109	122	136	150	163	177	191	204	221	238	255	272									
70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	88	103	117	132	147	161	176	190	205	220	238	256	275	293									
75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	79	94	110	126	141	157	173	188	204	220	236	255	275	294	314								
80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	84	100	117	134	151	167	184	201	218	234	251	272	293	314	335								
90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	85	94	113	132	151	170	188	207	226	245	264	283	306	330	353	377							
100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	84	94	105	126	147	167	188	209	230	251	272	293	314	340	366	392	419						
110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	81	92	104	115	138	161	184	207	230	253	276	299	322	345	374	403	432	461					
120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	88	100	113	126	151	176	201	226	251	276	301	327	351	377	408	440	471	502					
130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	82	95	109	122	136	163	190	218	245	272	299	327	354	381	408	442	476	510	544				
140	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	88	103	117	132	147	176	205	234	264	293	322	352	381	410	440	476	513	550	586				
150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	79	94	110	126	141	157	189	220	251	283	314	345	377	408	440	471	510	550	589	628			
160	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	84	101	117	134	151	168	201	235	268	302	335	369	404	436	468	505	545	586	628	670			
180	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	75	94	113	132	151	170	188	226	264	301	339	377	414	452	490	528	565	612	659	707	754		
200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	84	105	126	147	167	188	209	251	293	335	377	419	461	502	544	586	628	680	733	785	837		
220	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	69	92	115	138	161	184	207	230	276	322	368	414	461	507	553	599	645	691	748	806	863	921	
240	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	75	101	126	151	176	201	226	251	302	352	403	453	503	553	603	653	703	754	816	879	942	1005	
260	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	82	109	136	163	190	218	244	272	326	381	435	489	544	598	653	707	762	816	884	953	1020	1089	
280	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	88	117	147	176	205	234	264	294	352	410	468	528	586	645	704	762	820	880	953	1026	1100	1173	
300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	63	94	126	157	188	220	251	283	314	377	440	502	565	628	691	754	816	879	942	1021	1099	1178	1256
325	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	68	102	136	170	204	238	272	306	340	408	476	544	612	680	748	816	884	952	1020	1105	1191	1276	1361
350	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	73	110	147	183	220	256	293	330	366	439	512	586	658	732	805	878	952	1025	1099	1190	1282	1374	—
375	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	79	118	157	196	236	274	314	353	392	471	549	627	706	785	863	942	1020	1098	1178	1275	1373	—	—
400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	84	126	167	209	251	293	335	377	419	502	586	670	754	837	921	1005	1089	1172	1256	1361	1465	—	—
450	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	94	141	188	236	282	329	376	423	471	564	658	752	846	942	1033	1128	1222	1316	1413	—	—	—	—
500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	105	157	209	262	314	366	418	471	523	628	732	836	942	1046	1151	1256	1360	—	—	—	—	—	—

Vorschub und Schnitttiefe beim Fräsen richten sich sehr nach dem zu bestimmung des größten zulässigen Vorschubes ist der Fräser mit der vorgeschriebenen erhöht, bis es Arbeitsstück, Werkzeug oder Maschine nicht weiter gestatten.

Nachstehend sind tabellarisch die Ergebnisse eines Versuches über den Kraftverbrauch von zwei gleich großen, aber mit verschiedener Zahnteilung versehenen Fräsern zusammengestellt¹⁾. Die Versuche wurden auf einer elektrisch angetriebenen Cincinnati-Fräsmaschine Nr. 3 mit positivem Vorschub vorgenommen. Zur genauen Bestimmung des Kraftverbrauches waren Volt- und Amperemeter dem Motor vorgeschaltet.

Wie aus der Tabelle ersichtlich, nahm der Motor bei gleichbleibender Spannung bei dem feingezahnten Fräser (30 Zähne) 13,5 Ampere auf, während er bei gleicher Arbeit bei dem grobgezahnten Fräser (15 Zähne) nur 10,5 Ampere verbrauchte. Das macht eine Ersparnis an Kraft von annähernd 20%. Es erklärt sich dies daraus, daß, wie Abb. 69 zeigt, bei dem 30zähligen Fräser konstant 5 Zähne im Eingriff stehen, während bei dem 15zähligen, Abb. 70, höchstens 3 Zähne gleichzeitig greifen. Daraus ergibt sich, daß der Fräser um so mehr Kraft verbraucht, je

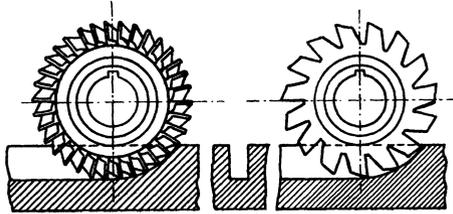


Abb. 69.

Abb. 70.

mehr er einzelne Späne nimmt, und daß es ohne Einfluß ist, wenn der grobgezahnte Fräser wesentlich stärkere Späne als der feingezahnte zu nehmen hat.

Gefräst wurde eine Nute 14,3 mm breit und 22 mm tief, Material: Gußeisen.

	Feingezahnter Fräser	Grobgezahnter Fräser
Durchmesser des Fräasers	100 mm,	100 mm
Zähnezahl „ „	30	15
Dicke „ „	14,3 „	14,3 „
Frästiefe	22 „	22 „
Umdrehungen des Fräasers	40 in der Min.	40 in der Min.
Vorschub des Tisches bei einer Fräserumdrehung	3,4 mm	3,4 mm
Spandicke für den Zahn	0,11 „	0,22 „
Spannung	110 Volt,	110 Volt,
Stromverbrauch	13,5 Ampere	10,5 Ampere.

¹⁾ Milling Machine Kinks, New York 1908.

Die Praxis verhält sich nun diesen hohen Leistungen gegenüber noch recht kühl, weil es sich nur in vereinzeltten Fällen um Abnahme großer Spanmengen handelt, weil ferner der geringe Widerstand eines sperrigen Werkstückes oder das Verziehen von längeren Werkstücken enge Grenzen setzt und weil man befürchtet den Fräser zu verderben, sobald harte Stellen im Material enthalten sind.

Mehr Vertrauen würden wahrscheinlich solche Versuche erwecken, die sich auf Dauerleistungen bezögen. Denn es ist wichtiger zu wissen, welche höchste Vorschub- und Schnittgeschwindigkeit in bezug auf Haltbarkeit des Fräasers die wirtschaftlichste ist. Bei einer gegebenen Stückzahl irgend eines Werkstückes wäre dann einfach zu überlegen, ob es vorzuziehen ist, die Teile ohne Zwischenschärfen des Fräasers fertizustellen oder mit mehrmaligem Schärfen des Fräasers zu arbeiten. Bei großen Stückzahlen würde dann noch die Anschaffung eines zweiten Fräasers zu erwägen sein, um die Maschine dauernd im Gange zu erhalten.

Die bis jetzt bekannt gewordenen Versuche ergeben zusammengefaßt: für die Schnittgeschwindigkeit die alten Reineckerschen Regeln und für die Vorschübe starke Vergrößerung bei den Schnellstahlfräsern, wobei mittlere Schnittiefen von 3—8 mm sich am günstigsten für den Kraftverbrauch stellen¹⁾.

4. Die mechanische Bearbeitung der Fräser.

a. Allgemeines.

Die Fräserfertigung hat sich in den letzten Jahren zur höchsten Vollkommenheit entwickelt. Die Güte und Preiswürdigkeit der Fräser hat eine Stufe erreicht, die die Selbstherstellung nur bei besonders gut eingerichteten Werkzeugabteilungen lohnend macht. Mit ungenügenden Einrichtungen heute die Fräser selbst herzustellen, heißt Material und Arbeitslohn verschwenden.

Die Herstellung der Fräser für Zahnräder und Schneckenräder oder Wälzfräser usw. verbietet sich auch in den bestausgestatteten Werkzeugabteilungen, wenn auf ein ruhiges und richtiges Laufen der Räder Wert gelegt wird. Die für solche Fräser erforderlichen Erfahrungen und Sondereinrichtungen haben nur einige große Werkzeugfabriken zur Verfügung, und man sollte im Interesse einer allgemeinen Hebung unseres Maschinenbaues solche wichtigen Maschinenteile nur mit den erstklassigsten Werkzeugen verzahnen.

Ebenso wichtig wie die richtige Herstellung ist aber auch die Wahl des geeigneten Materials, weil der Fräser erst durch die Feuerbehandlung zum brauchbaren Werkzeug gemacht wird. Einige allgemeine Winke dürften bezüglich der Materialwahl deshalb wohl am Platze sein.

¹⁾ Zeitschrift d. V. d. I. Jahrg. 1913, S. 1409.

Zur Herstellung der Fräser eignet sich nur eine Stahlart, die frei von schädlichen Beimischungen ist (wie Schwefel, Phosphor, Kupfer, Arsen u. dgl.) und einen mittleren Kohlenstoffgehalt von $1-1\frac{1}{2}\%$ besitzt.

Da nun ganz besonderer Wert auf die Schneidhaltigkeit der Fräser gelegt wird, wird der Stahl mit Wolfram, Chrom, Mangan u. dgl. legiert. Diese Legierungen steigern wesentlich die Güte und Brauchbarkeit des Stahles. Besonders haben sich Fräser aus Wolframstahl bewährt; sie stehen bezüglich Härte und Schneidhaltigkeit obenan.

In neuerer Zeit werden die Fräser vorzugsweise aus Werkzeugstahl für hohe Schnittgeschwindigkeit (Schnellstahl) hergestellt. Er entstand aus den Schnelldrehstählen¹⁾ und hat infolge seiner vorzüglichen Eigenschaften schnell Eingang gefunden. Nach O. Thallner enthält er Beimischungen von Wolfram, Chrom, Mangan und Vanadium, die dem Stahle eine Widerstandsfähigkeit geben, eine Erwärmung bis zu 400° auszuhalten, ohne beim Schneiden unbrauchbar zu werden²⁾.

b. Die Bearbeitung der Fräser auf den Werkzeugmaschinen.

Das Drehen der Fräser sollte eigentlich nicht mehr sein als das gewöhnliche Drehen irgend eines anderen Werkstückes nach der Zeichnung. Da aber erfahrungsgemäß gerade für die Anfertigung der Werkzeuge leider noch die unvollkommensten Zeichnungen vorhanden sind, ja sehr oft nicht einmal richtige Skizzen, so dürfte es nicht unangebracht sein, wenn im folgenden etwas ausführlicher die Punkte erörtert werden, die zur Fertigstellung eines brauchbaren Werkzeuges in Betracht gezogen werden müssen.

Beim ersten Schnitt soll der Dreher beobachten, ob er wohl auch das richtige Material erhalten hat und ob nicht durch Schmieden oder ungenügendes Glühen verschieden harte Stellen entstanden sind. Wenn dies der Fall ist, kann noch durch erneutes Glühen das Material gerettet werden.

Als erster Grundsatz gilt beim Drehen: Vermeidung scharfer Kanten und Ecken, sofern es nicht die Form des Fräasers verlangt. Darunter fallen aber auch schon die Drehriefen, die durch nicht abgerundete Schneidkanten der Drehstähle entstehen.

Eine Fräserbohrung nach Abb. 71 auszuführen wäre falsch, weil bei $a-d$ scharfe Kanten sind, die durch weiche Abrundungen (Abb. 72) für das Härten weniger gefährlich gestaltet werden können. Außerdem darf die Aussparung der Bohrung nur so viel betragen, daß sich das nach-

¹⁾ Siehe S. 9.

²⁾ Vgl. chemische Analyse S. 10.

folgende Schleifen nur auf die beiden Endpartien erstreckt. In Abb. 72 ist eine richtig ausgeführte Fräserbohrung dargestellt. Wenn wir für das Ausschleifen 0,2 bis 0,3 rechnen, so genügt für die Aussparung eine Zugabe von 0,5—1 mm.

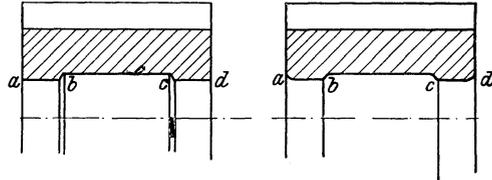


Abb. 71. Falsch gedrehter und richtig gedrehter Fräser.

Die seitlichen Anlageflächen der Fräser erfordern nicht weniger Aufmerksamkeit. Ihre mangelhafte Beschaffenheit ist eine häufige Fehlerquelle.

In Abb. 73 ist ein Fräser mit Stirnzähnen gezeigt, der an der Fläche *a* geschliffen werden soll. Erhält er nun keine Aussparung (vgl. Abb. 74) in der Ecke *b*, so kann der kleine Schmirgelstein niemals eine gerade Anlagefläche herstellen und die Folgen würden ein Quetschen in der Ecke *b* und ein Schiefdrücken des Fräasers sein.

In Abb. 73 ist ein Fräser mit Stirnzähnen gezeigt, der an der Fläche *a* geschliffen werden soll. Erhält er nun keine Aussparung

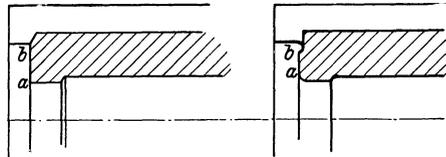


Abb. 73. Falsch und richtig gedrehter Fräser.

Namentlich wenn vier und noch mehrere solcher Fräser im Satze vereinigt werden sollen, ist auf die seitlichen Anlageflächen der allergrößte Wert zu legen. Der lange Satzfräser wird sonst seinen Dorn krumm ziehen und an ein ruhiges und rasches Arbeiten ist nicht mehr zu denken.

Bei kleineren Fräserdurchmessern lassen sich nicht immer die Gewinde umgehen. Man sollte ihre Gänge soviel wie möglich abrunden und für eine gute Anlage der hinteren Fläche sorgen.

Die Formgebung der Profilfräser erfolgt bei den schmälern durch den zum Hinterdrehen erforderlichen Formstahl, in den das gewünschte Profil hineingearbeitet wurde, und bei den breiteren durch einen gewöhnlichen Drehstahl unter Benutzung von Blechschablonen oder eines Schablone-supportes. Alle Profilpartien, die senkrecht verlaufen und nicht seitlich hinterdreht bzw. auf Schnitt verzahnt werden können — siehe Abb. 75 — müssen unterstochen werden, wie es die gestrichelte Einzeichnung übertrieben darstellt.

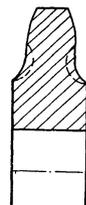


Abb. 75. Unterstochener Profilfräser.

Das Einstoßen der Nute in die Fräserbohrung soll ebenfalls unter Vermeidung scharfer Kanten vor sich gehen. Am besten würde sich dafür die halbrunde Nute eignen; jedoch hat die Erfahrung gezeigt, daß sie anderer Unzuträglichkeiten

wegen nur für kleine Arbeitsleistungen zu empfehlen ist. (Vergleiche Normen, Seite 32.)

Auf der Fräsmaschine werden nun verschiedene Arbeiten an dem Fräser vorgenommen. Hier erhalten erstens die gerieften Fräser ihre Schneidzähne, zweitens die hinterdrehten Fräser ihre Nuten oder Zahn­lücken und drittens alle sonstigen Einfräsungen, wie solche bei übereinandergreifenden Fräserteilen und Schafffräsern erforderlich sind.

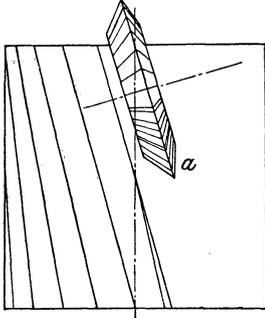


Abb. 76. Das Fräsen spiral­gewundener, geriefter Fräser.

Das Fräsen der geraden Schneidzähne ist wohl die einfachste Arbeit, die auch in Ermangelung eines Teilapparates ausgeführt werden kann, sofern vorher die Teilung an dem Fräser von Hand vorgezeichnet wurde. Das Fräsen der spiralgewundenen Schneid­zähne (Abb. 76) kann dagegen nur auf einer Universal-Fräsmaschine erfolgen. Es müssen dazu bekannt sein:

1. die Länge der Spirale, um die erforderlichen Wechsellräder bestimmen zu können,
2. der Zahnwinkel der Spirale, um das Drehteil des Arbeitstisches der Umdrehungsebene des schneidenden Fräasers entsprechend zu verstellen, da sonst, je nach dem Winkel der Spirale, eine größere

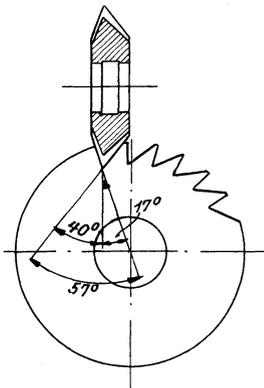


Abb. 77.

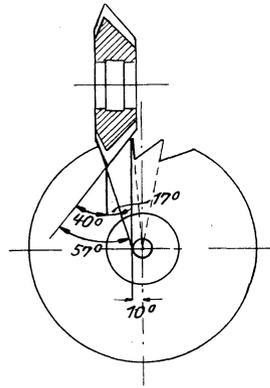


Abb. 78.

Die Stellung des Fräasers
bei radial laufender Zahnbrust. bei unterschrittener Zahnbrust.

oder kleinere Profilverzerrung des Zahnes entstehen würde, weil der Fräser gleichsam — etwas quer gestellt — den Zahn ausarbeitete. Bei einigen Maschinen wird anstatt des Arbeitstisches der arbeitende Fräser schräg gestellt, z. B. bei den Fräsmaschinen mit Universal-

kopf von Reinecker in Chemnitz und den Schablonenfräsmaschinen von Oerlikon in Zürich.

Einer näheren Erörterung bedarf nun die Form der Winkelfräser zum Einschneiden der gerieften Fräterschneidzähne. Wie schon früher gesagt, beträgt der Winkel 57° , an der einen Schneidfläche 17° und an der anderen 40° (Abb. 77). Die Teilung des Winkels hat den Zweck, eine gerade, nach der Fräsermitte gehende Zahnbrust zu ermöglichen. Zugleich wird dadurch die Arbeit des Fräasers auf beide Schneidflächen verteilt. Zum Einschneiden der Stirnzähne verwendet man dagegen Fräser nach Abb. 79.

In ähnlicher Weise verfährt man bei den hinterdrehten Fräsern. Abb. 80 stellt einen Winkelfräser zum Einschneiden von spiralgewundenen Zahnflücken dar. Abb. 81 zeigt einen solchen zum Einschneiden der Zahnflücken an den Stirnseiten der Fräser.

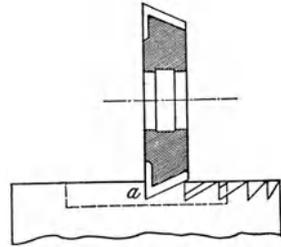


Abb. 79. Das Fräsen der gerieften Stirnzähne.

Das Einstellen des schneidenden Fräasers ist nun derart vorzunehmen, daß seine Schneidfläche a (Abb. 77 u. 78) genau nach dem Mittelpunkt des zu bearbeitenden Fräasers zeigt oder — wenn ein kleinerer Schneid-

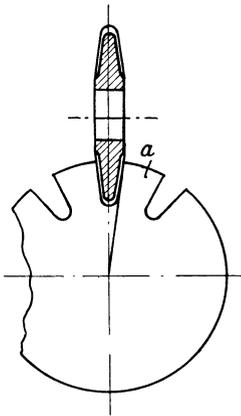


Abb. 80. Das Fräsen der Nuten für hinterdrehte Fräser.

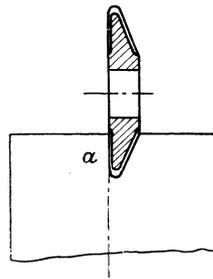


Abb. 81. Das Fräsen der Nuten für hinterdrehte Stirnzähne.

winkel von weniger als 90° beabsichtigt ist — entsprechend daneben zeigt (siehe Abb. 78). Je nachdem die Schneidfläche a auf der einen oder anderen Seite steht, erhält man einen rechts- oder linksschneidenden Fräser; es muß deshalb hierauf besonders geachtet werden.

Die Profilfräser werden im allgemeinen mit der hinterdrehten Zahnform versehen. Wo man sich ausnahmsweise zu der gerieften Zahnform

entschließt, sind besondere Fräuserschneidmaschinen oder Einrichtungen erforderlich, auf denen man die Profilform nach der besonders angefertigten Schablone kopiert.

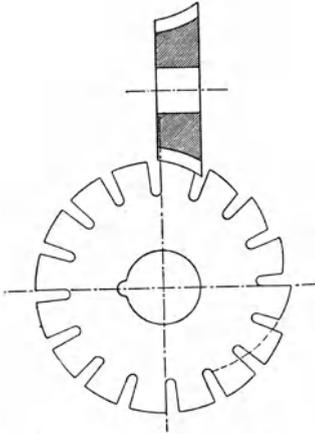


Abb. 82. Das Fräsen der Zähne anstatt des Hinterdrehens.

Das Hinterfräsen der Schneidzähne an Fräsern mit geraden Schneidflächen auf der Fräsmaschine, ein billigerer Ersatz für das Hinterdrehen, stellt die Abb. 82 dar. Durch mehr oder weniger geneigte Stellung des Schneidzahnrückens zu dem erzeugenden Fräser läßt sich in sehr einfacher Weise (Drehung am Teilapparat einerseits und seitlicher Verschiebung des zu bearbeitenden Fräsers andererseits) der jeweilig für den Zweck des Fräsers erforderliche günstigste Anstellwinkel herstellen.

c. Das Hinterdrehen der Fräser.

Wenn zwischen der Achse eines zu überdrehenden Werkstückes und dem schneidenden Drehstahl eine einmalige Veränderung bei jeder Umdrehung eintritt, so entsteht der bekannte Exzenter. Wiederholt sich dieses Nähern und Entfernen oder Vor- und Rückwärtsschwingen zwischen Werkstück und Drehstahl bei einer Umdrehung mehrmals, so kann ein unrundgedrehtes Werkstück, wie in Abb. 83 dargestellt, entstehen.

Das Hinterdrehen geschieht nun durch das Vor- und Rückwärtsschwingen des Drehstahles gegen den sich drehenden Fräser oder durch das Vor- und Rückwärtsschwingen des gleichzeitig sich drehenden Fräsers gegen den feststehenden Drehstahl.

Diese Vor- und Rückwärtsschwingungen kehren bei jeder Umdrehung des zu hinterdrehenden Fräsers sovielmals wieder, als er Schneidzähne bekommen soll.

Als das Hinterdrehen eingeführt wurde, war die Vor- und Rückwärtsbewegung gleichmäßig. Dem Fräser (Abb. 83) mußte man, um ihn mit schneidfähigen Zähnen zu versehen, die halbe Teilung (siehe *b*) abnehmen. Man war deshalb in der Weiterentwicklung des Hinterdrehens bestrebt, den Zahn *a* auf Kosten der Zahnücke *b* immer mehr zu vergrößern, und erreichte dieses, indem man die Vorwärtsbewegung des Stahles verlangsamte und die Rückwärtsbewegung beschleunigte, und zwar so viel beschleunigte, daß sie jetzt nur noch in einem Zurückschnappen besteht.

In Abb. 84 ist die vom Stahl zu beschreibende, schnelle Rückwärtsbewegung punktiert angegeben. Daraus ist aber auch zu ersehen, daß sie für den Stahl ein schädliches Aus-dem-Spane-Reißen war. Man

umging diesen Übelstand, indem vor dem Hinderdrehen der Zahnlückenteil b entfernt wurde, d. h. man fräste vorher die nötige Anzahl Zahnlücken in den Fräser ein. Beim Hinderdrehen wurden sodann die Bewegungen des Stahles so eingestellt, daß die schnelle Rückwärtsbewegung auf die Zahnlücke b fiel.

Gleichzeitig läßt Abb. 84 die notwendige Stellung des Drehstahles erkennen, die sich im Gegensatz zum gewöhnlichen Drehen etwas unter der Spitzenmitte befinden muß.

Die Vor- und Rückwärtsbewegungen des Supports werden durch Hub- oder Exzentrerscheiben betätigt. Der Antrieb erfolgt von einer Welle, die durch Wechselräder mit der Hauptspindel verbunden ist.

Hinderdrehte Fräser mit spiralgewundenen Schneidzähnen werden dadurch erzeugt, daß man den Hinderdrehbewegungen des Supports, je nach der beabsichtigten Gangrichtung der Spirale, entweder eine gleichmäßige Beschleunigung oder Verzögerung erteilt. Und zwar muß

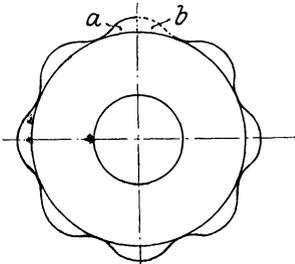


Abb. 83. Urform der Hinderdrehung.

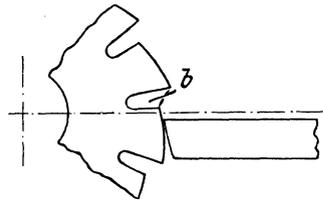


Abb. 84. Das heutige Hinderdrehen mit angestelltem Drehstahl.

auf eine volle Umdrehung der Spirale die vorgenannte Beschleunigung oder Verzögerung ebenfalls eine volle Umdrehung ergeben.

Diese Beschleunigungen oder Verzögerungen werden entweder durch Differentialgetriebe oder durch Leithülsen hervorgebracht. Beide Anordnungen werden durch die Umdrehungen der Leitspindel bzw. durch den Vorschub des Supportschlittens betätigt.

Die hinderdrehten Schneckenradfräser mit spiralgewundenen Zahnlücken werden ähnlich hergestellt, nur muß hierbei die Leitspindel, um die Steigungen der Gänge hervorbringen zu können, schneller angetrieben werden. Man kann diesen Vorgang am besten mit dem Gewindeschneiden der Schnecke vergleichen, nur kommt hier noch das Hinderdrehen hinzu.

Stellt das Hinderdrehen der Fräser mit geraden Schneidflächen keine besonderen Ansprüche an die Geschicklichkeit des Drehers, so erfordert das Hinderdrehen der Profilfräser mit kreisförmigen Bogen einen tüchtigen und gewandten Arbeiter. Die Schwierigkeiten dabei bestehen hauptsächlich darin, daß der Dreher, da der Fräser nur langsam läuft und infolge der Vor- und Rückwärtsbewegungen des Supports alle anderen Supporte sehr fest gehen müssen, jegliches Gefühl an den Kurbeln

verliert. Man ist deshalb mehr und mehr bestrebt, Einrichtungen zu treffen, die es ermöglichen, unabhängig von der Geschicklichkeit des Drehers zu sein.

In erster Linie sind hierfür die Schablonensupporte zu nennen, bei denen der durch Druckfedern gespannte Support mit seinem Führungsstift an einer Schablone gleitet, die dem Profile des zu hinterdrehenden Fräasers gleich ist und auf diese Weise die genaue Form der Schablone auf den Fräser überträgt.

Die schmalen Fräser, wie sie Abb 48 und 49 zeigen, werden am sichersten mit Profilstählen hinterdreht, die nach genau passenden Blechschablonen angefertigt sind.

Obwohl das Hinterdrehen im allgemeinen auf besonderen Drehbänken, den Hinterdrehbänken, vorgenommen wird und dementsprechend das Hinterdrehen der Fräser an einer der bestbekanntesten Hinterdrehbänke anschließend erläutert werden wird, so muß doch hervorgehoben werden, daß sich seit Jahren sehr gute Hinterdreh-Apparate als Zusätze für die gewöhnlichen Drehbänke im Handel befinden¹⁾. Sie haben sich zur Herstellung schmaler Profilfräser als sehr gut verwendbar erwiesen. In Betrieben, in denen der Bedarf an hinterdrehten Fräsern nur gering ist, wird ein solcher Apparat gute Dienste tun.

Am zweckmäßigsten wird natürlich immer eine gute Hinterdrehbank sein, und dort, wo sie nicht voll mit Hinterdreharbeiten zu beschäftigen ist, sollte man eine solche wählen, auf der auch gewöhnliche Dreharbeiten verrichtet werden können.

Die Universal-Hinterdrehbank von J. E. Reinecker in Chemnitz.

Die weitere Einführung geschehe unter Bezugnahme auf eine der vollkommensten Maschinen dieses Gebietes, der Universal-Hinterdrehbank von J. E. Reinecker, deren Gesamtansicht die Abb. 85 zeigt. Sie dient nicht nur zum Hinterdrehen, sondern auch zum Drehen allgemeiner Werkstücke.

Auf einem als Werkzeugschrank ausgebildeten Ständer ruht das kräftige Bett, dessen Prismaführungen die Ansicht Abb. 86 wiedergibt. Die \wedge -Form der Schlittenführung ist deshalb gewählt worden, weil sie nicht so leicht von den herunterfallenden Spänen und dem ansetzenden Schmutz beschädigt wird, und weil bei erfolgter Abnutzung der Gleitbahnen die Genauigkeit der Arbeiten nicht so erheblich vermindert wird als bei den breiten Führungen.

Der Spindelstock bietet durch die reichliche Bemessung seiner Lager der Hauptspindel vorzüglichen Halt. Das vordere Lager ist konisch, das hintere zylindrisch nachstellbar angeordnet. Außerdem ist zum Auffangen des Enddruckes der Spindel ein Kugellager vorgesehen, siehe Abb. 87.

¹⁾ Siehe Werkstatt-Technik Jahrg. 1910, S. 657 u. 714.

Die Hauptspindel ist aus Gußstahl angefertigt und an den Lagerstellen gehärtet und geschliffen. Zur besseren Befestigung der Drehorne ist sie mit einer konischen Bohrung ausgestattet. Das vorn be-

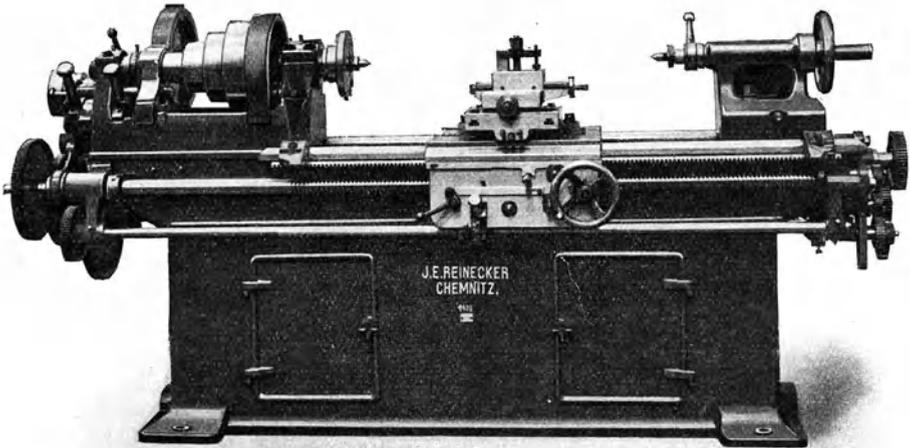


Abb. 85. Universal-Hinterdrehbank von Reinecker.

findliche Gewinde der Spindel dient sowohl zum Aufschrauben von Planscheibe, Mitnehmerscheibe und Futter, als auch zur Aufnahme einer Überwurfmutter, mit der die Drehorne festgezogen werden.

Wie aus Abb. 87 ersichtlich, sitzen auf der Hauptspindel neben der Stufenscheibe das treibende Rad l_1 für das Vorgelege und das Rad l_2 . Beide treiben zwei darunter befindliche Triebe g_1 und g_2 , die auf einer hohlen Welle p_2 sitzen. Es kann nun durch den Steckkeil p_1 das eine oder andere Rad mit der hohlen Welle p_2 fest verbunden werden. Folglich kann Welle p_2 langsam und schnell angetrieben werden. Da sich nun außerhalb des Spindelstockes auf der Welle p_2 auch das Antriebsrädchen o für die Herzräder n_1 und n_2 (Abb. 87) befindet, so folgt daraus, daß man einmal die Wechselräder, wie an jeder anderen Drehbank, von der Hauptspindel antreiben kann, vermittelt l_2 , g_2 und o , und zum anderen, wenn bei großen Steigungen mit Vorgelege geschnitten wird, die Wechselräder von der Stufenscheibe antreiben kann, und zwar nach

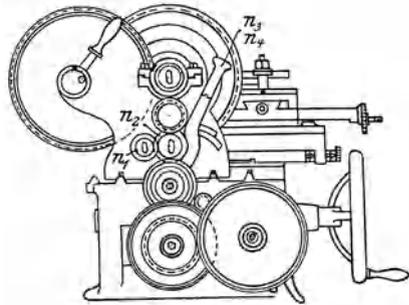


Abb. 86. Seitenansicht.

Verschiebung des Keiles p_1 durch die Räder l_1 , g_1 und o , wodurch man eine 16fach größere Steigung als beim ersten Antriebe erhält.

Abb. 86 zeigt ferner zwei Handhebel n_3 und n_4 . Der äußere n_3 dient zum Ausschalten und Umdrehungswechseln der Leitspindel, welche durch die beiden Herzräder n_1 und n_2 und die jeweilig bedingten Wechselräder angetrieben wird.

Die Leitspindel hat besonders starken Durchmesser. Auf ihren Lagern sitzen an beiden Enden des Drehbankbettes Wechselräderschere.

Der zweite Handhebel n_4 , dessen Herzräder ihre Bewegung von g_1 erhalten, dient zum Ausschalten und Umdrehungswechseln der Antriebswelle J für das Differentialgetriebe.

Letzteres besteht aus dem Kegeltriebe a , den beiden Kegeltrieben b , dem a gegenüber befindlichen Trieb c , dem Schneckenrade d und der Schnecke e (Abb. 87).

Die Differentialwelle D , die Fortsetzung von J , empfängt nun durch das vorgenannte Differentialgetriebe ihre Umdrehung. Sie trägt zu diesem Zwecke an ihrem linken Ende den Kopf m , auf dessen Zapfen sich lose drehend die Triebe b befinden, die mit a und c im Eingriffe stehen. Der Trieb c steht — außer beim Hinderdrehen von spiralgewundenen Zähnen — still und wird von der Schnecke e gehalten.

Die Übertragung der Bewegung von J auf D vollzieht sich also in folgender Weise: Kegelrad a treibt die Triebe b an. Die letzteren können sich nicht nur um ihre Achse drehen, sondern müssen sich, weil sie mit dem stillstehenden Triebe c im Eingriffe stehen, auf c abrollen und dabei den Kopf m mitnehmen bzw. der Welle D Bewegung erteilen. Die Welle D erhält dabei die halbe Geschwindigkeit von J , folglich verhält sich die Geschwindigkeit von J und D wie 2 : 1.

Erhält nun das Schneckenrad d , mithin auch Trieb c , durch die Schnecke e eine Drehung in derselben Richtung, wie sich der Trieb a dreht, so wird die Umdrehungsgeschwindigkeit der Triebe b und infolgedessen auch von D um den gleichen Betrag schneller werden. Treibt nun Schnecke e Rad d und Trieb c gegensätzlich an, so werden die Triebe b sowie D um den Betrag dieser Geschwindigkeit sich verlangsamen. Es ist dies die schon eingangs dieses Abschnittes erwähnte Beschleunigung oder Verzögerung bei Herstellung von spiralgewundenen Schneidzähnen.

Die Längen der Spiralen lassen sich nun durch die Wechselräder i in den weitesten Grenzen ändern (Abb. 88). Der Antrieb der

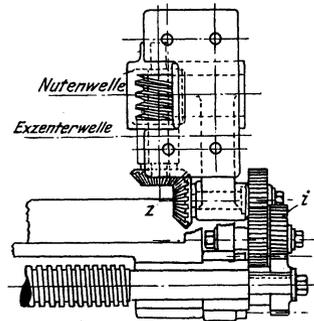


Abb. 88. Der Antrieb für die Spiralen-Erzeugung.

Wechselräder erfolgt von der Leitspindel und es wird beim Einschalten des unbedingt nötigen einen Zwischenrades eine linke und beim Einschalten zweier Zwischenräder eine rechte Spiralsteigung erzeugt. Die Wechselräder i treiben hierbei vermittelt der Kegeltriebe z die schon bekannte Schnecke e an.

Die Welle D läuft also bei geraden Nuten mit der halben Bewegung von J oder mit etwas Beschleunigung oder Verzögerung bei spiralgewundenen Nuten und treibt vermittelt der Wechselräder r die darüber befindliche Nutenwelle N an. Die Wechselräder r dienen für die verschiedenen Zähnezahlen der Fräser.

Die Antriebsmechanismen der Hinterdrehbewegung liegen in den unteren Supportteilen. Abb. 86 und 87 lassen ersehen, daß die Welle

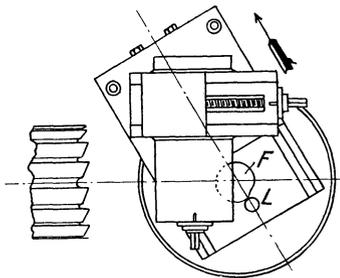


Abb. 89. Supportstellung für linksschneidende Stirnfräser.

N durch ein Kegelräderpaar, das von einem Arme des Supportschlittens h_1 gehalten wird, den senkrechten Bolzen K treibt. Dieser läuft in einer Bronzebüchse, welche in ihrem oberen Teile als Ölschale ausgebildet ist. Von letzterer eingeschlossen, sitzt mit K fest verbunden der eigentliche Antrieb für die Vor- und Rückwärtsbewegung, die Hubscheibe F . Abb. 89 zeigt, welcher verschwindend kleine Teil für das Zurückgehen des Supports vorgesehen ist, um einen möglichst langen Zahnrück-

zu erhalten. Bemerkt sei noch, daß der Mittelpunkt der Hubscheibe F zugleich auch der des Drehteiles ist, wodurch in allen Stellungen des Drehteiles der Antrieb der Hinterdrehbewegung aufrecht erhalten bleibt und das Seitlichhinterdrehen ermöglicht wird.

Am Supporte ist noch eine kurze Schraubenspindel zu erwähnen, welche die Supportteile h_2 und h_3 fest verbindet, sobald die Maschine zu allgemeinen Dreharbeiten verwendet wird. In diesem Falle kann die am Supportschieber h_3 angebrachte Rolle L nicht mehr an die Hubscheibe F gelangen, es können daher die Vor- und Rückwärtsbewegungen des Supports nicht mehr erfolgen, siehe Abb. 87 u. 89.

Das Einschalten der Hinterdreh-Mechanismen.

Es beginnt mit der Herausnahme der kleinen Spindel an dem Supportschieber h_3 . Des weiteren kann nach Entfernung der nach oben herausnehmbaren Rolle L , h_3 soweit zurückgezogen werden, daß das Auswechseln der Hubscheibe F stattfinden kann.

Sodann wird das Anstecken der Wechselräder für die Fräserzähnezahl erfolgen. Deren Berechnung ist fast die gleiche wie die der Gewindefwechselräder. Da bei einer Umdrehung der Hauptspindel die Diffe-

rentialwelle D 10 Umdrehungen macht, wird die Zähnezahle eines jeden Fräasers und die ebengenannte Zahl 10 immer das Verhältnis darstellen, nach dem man die Wechselräder zu wählen hat. Man wird also z. B. bei einer Nuten- bzw. Zähnezahle von 8, die das Verhältnis $10 : 8 = 5 : 4 = 50 : 40$ ergibt, letztere Zahlen als Räder nehmen. Dabei ist zu beachten, daß das Rad, das sich von der Nutenzahl des zu bearbeitenden Fräasers herleiten läßt, stets als treibendes Rad auf die Welle D zu sitzen kommt.

Bezeichnet man mit a und c die treibenden, mit b und d die getriebenen Räder, so ist:

$$z = \frac{\text{Anzahl der Schneidzähne}}{10} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d}$$

Kommt man mit einfacher Räderübersetzung aus, d. h. sind die passenden

Wechselräder vorhanden, so läßt man $\frac{d}{c}$ weg, z. B. $\frac{8}{10} = \frac{40}{50}$. Dagegen

muß $\frac{14}{10}$ zerlegt werden, und zwar ist $\frac{14}{10} = \frac{2 \cdot 7}{2,5 \cdot 4} = \frac{c \cdot a}{b \cdot d} = \frac{20 \cdot 70}{25 \cdot 40}$.

Bei spiralgewundenen Schneidzähnen müssen die Wechselräder i für die Beschleunigung oder Verzögerung angesteckt werden, für deren richtige Bestimmung man die Spirallänge wissen muß. Die Berechnung für diese Wechselräder dürfte am ehesten an einem Beispiele verständlich werden. Erwähnt mag dabei werden, daß hierbei die Zähnezahle des Fräasers ganz außer Betracht bleibt, weil die Verzögerung oder Beschleunigung schon auf Welle D einwirkt, welche zur Hauptspindel im Verhältnis $10 : 1$ steht.

Gesetzt, es soll eine Spirale von $10''$ Länge hergestellt werden, so wird die Leitspindel, welche $\frac{1}{4}''$ Steigung hat, auf diese Länge $10 \cdot 4 = 40$ Umdrehungen gemacht haben. Die Welle D muß nun auf die Länge von $10''$ eine gleichmäßige Beschleunigung erhalten, derart daß die Spirale auf die angenommene Länge genau einmal um den Fräser herumgeht. Da sich die Welle D 10mal schneller umdreht als die Hauptspindel mit dem Fräser, so folgt daraus, daß Welle D eine Beschleunigung von 10 Umdrehungen erhalten muß.

Da nun Welle D von dem Triebe c und dem Schneckenrade d ihre Beschleunigung erhält, so folgt ferner, daß die letzteren (d und c) treibende Schnecke e sovielmal 10 Umdrehungen macht, als das Schneckenrad d Zähne hat. Da $d = 32$ Zähne hat, gehören demnach zu einer Beschleunigung oder Verzögerung, die einmal um den ganzen Fräser herumgeht, $32 \cdot 10 = 320$ Umdrehungen der Schnecke e . Es ist also hier gleichgültig, welche Spirallänge in Frage kommt, nur 320 Umdrehungen müssen erreicht werden.

Anders ist es bei der Bestimmung der die Schnecke antreibenden Wechselräder i , welche im Verhältnis zur Spirallänge wie folgt stehen:

$$\frac{320 \text{ (Umdrehungszahl der Schnecke)}}{4 \text{ (Gangzahl der Leitspindel)} \times \text{Spirallänge}}$$

$$\text{gekürzt} = \frac{80}{\text{Spirallänge}}$$

Obiges Beispiel würde also ergeben:

$$\frac{320}{4 \cdot 10} = \frac{80}{10} = \frac{8}{1} = \frac{4 \cdot 2}{1 \cdot 1}$$

man müßte also für das Verhältnis 4 : 1 ein Räderpaar suchen (96 und 24) und für 2 : 1 ein solches (64 : 32).

Daraus ergibt sich die Formel:

$$\frac{\overbrace{a \ c}^{\text{(treibende Räder)}}}{\underbrace{b \ d}_{\text{(getriebene Räder)}}} = \frac{\text{Spirallänge}}{80}$$

Es seien nun im folgenden noch einige Beispiele für die Berechnung der Spirallängen angeführt, um die eben erklärte Rechnung verständlicher zu machen.

1. Ein Walzenfräser soll eine Steigung von 16'' engl. bekommen. Das Verhältnis ist demnach 320 : 16 · 4 oder gekürzt 80 : 16. Das Verhältnis zerlegt gibt 80 : 16 = 10 : 2 = 5 · 2 und 2 · 1, man hat auf diese Weise die Verhältnisse 5:2 und 2:1 bekommen, woraus man die Räder 80 und 56 (treibende) 32 und 28 (getriebene) folgern kann. Wie ersichtlich, sind die Räder, welche von der Zahl 80 abgeleitet werden, die treibenden, und die von der Spirallänge abgeleiteten die getriebenen.

2. Die erforderliche Spirallänge ist 36 Zoll, das Verhältnis für die Wechselräder also 80:36, gekürzt 20:9, zerlegt 10 · 2:3 · 3, welches die Verhältnisse $\frac{10}{3}$ und $\frac{2}{3}$ ergibt. Daraus lassen sich durch Multiplikation der beiden Verhältnisse, und zwar des ersten mit 8 und des zweiten mit 24, die Wechselräder $\frac{80}{24}$ und $\frac{48}{72}$ finden. Davon sind 80 und 48 als treibende und 24 und 72 als getriebene Räder anzustecken.

Beim Hinderdrehen der spiralgewundenen Zähne werden nach durchlaufenem Schnitt die Wechselräder zum Antrieb der Leitspindel gelöst und der Supportschlitten mit einer Kurbel durch die Leitspindel zurückgedreht, zu welchem Zwecke diese mit Vierkant versehen ist. Man darf also nie das Mutterschloß lösen, wenn man nicht wieder von vorn mit dem Einstellen an dem Hebel n_4 beginnen will.

Längere Profilfräser werden am besten mit dem für diese Bank konstruierten selbsttätigen Schablonensupport ausgeführt, der in Anordnung und Wirkungsweise den später beschriebenen Schablonenapparaten gleicht.

Beim Seitlichhinterdrehen der Fräser wird das Drehteil h_2 des Untersupports soweit herumgedreht, als für die Erzielung des günstigsten Schnittwinkels erforderlich ist. Der obere Kreuzsupport wird dann durch sein Drehteil wieder soweit zurückgestellt, daß eine seiner Supportbewegungen parallel zu der zu bearbeitenden Schneidfläche des Fräasers liegt.

Linksschneidende Fräser von Gestalt und Form wie Abb. 89 läßt man links herumlaufen, dreht h_2 und h_3 um 180 Grad herum und stellt den Handhebel n_4 in die andere Stellung.

Innenschneidende Fräser, Gewindebacken usw. werden je nach ihrer Umlaufsrichtung wie folgt hinterdreht:

Bei den rechtswirkenden Innenfräsern, Gewindebacken usw. werden die Supportteile h_2 und h_3 um 180 Grad verdreht, worauf ein Stahl in die Lage der das Ganze darstellenden Abb. 90 gebracht wird.

Bei den linkswirkenden Innenfräsern usw. läßt man die Maschine links laufen, der Handhebel n_4 wird in die andere Stellung gelegt und der Stahl nimmt die Stellung von Abb. 91 ein.

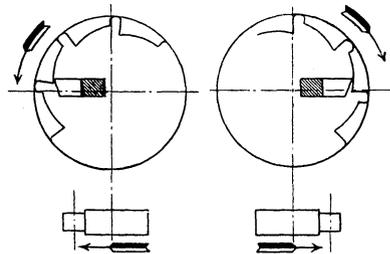


Abb. 90.

Abb. 91.

Stellung des Drehstahles und der Druckrolle bei rechts- und linksschneidenden Innenfräsern.

Es sei noch des Schneckenradfräasers an Hand eines Beispiels gedacht. Der Fräser soll eine rechte Steigung von $\frac{2}{5}''$ engl. und 8 Schneidzähne erhalten; die Spirale der Zahnücken hat eine Länge von $32''$ engl. Es würden also anzustecken sein:

1. die Wechselräder für die Steigung von $\frac{2}{5}''$ engl.,
2. die Wechselräder für die Nutenzahl 8,
3. die Wechselräder für die Spirale von $32''$ engl. Länge.

Zu beachten ist, daß eine Rechts-Steigung des Schneckenganges eine Links-Steigung der Zahnücken bedingt und umgekehrt.

Wie aus Abb. 87 hervorgeht, wird die Welle J von der Stufenscheibe angetrieben, weil man fast bei allen Fräsern mit Vorgelege arbeiten muß, da sich für die Vor- und Rückwärtsbewegungen zu große Geschwindigkeiten ergeben; dennoch kann bei kleineren Fräsern mit wenigen Zähnen auch ohne Vorgelege gearbeitet werden und gilt für deren Zahnzahlen (z) die Formel:

$$\frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{8 \cdot z}{5}.$$

d. Das Hinterschleifen der Fräser.

Für sehr genaue Profilfräser, namentlich für Zahnradfräser und Wälzfräser hat man in den letzten Jahren das Hinterschleifen der

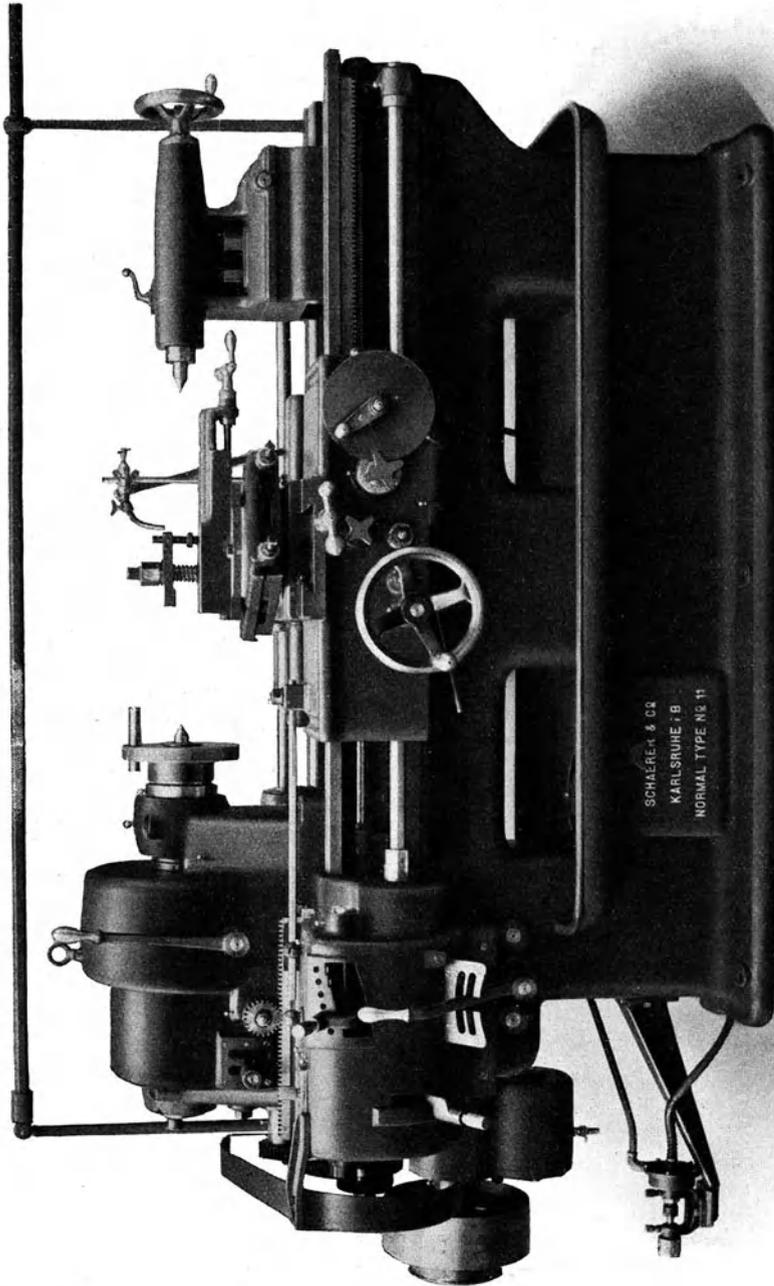


Abb. 92. Universal-Hinterdrehbank von Schaefer & Co.

Schneidzähne nach dem Härten versucht. Die erzielten Erfolge sind über Erwarten günstige gewesen. Die Herstellung ruhig laufender Zahnräder ist damit einen großen Schritt vorwärts gekommen und es steht zu erwarten, daß das Verfahren weiter eingeführt wird.

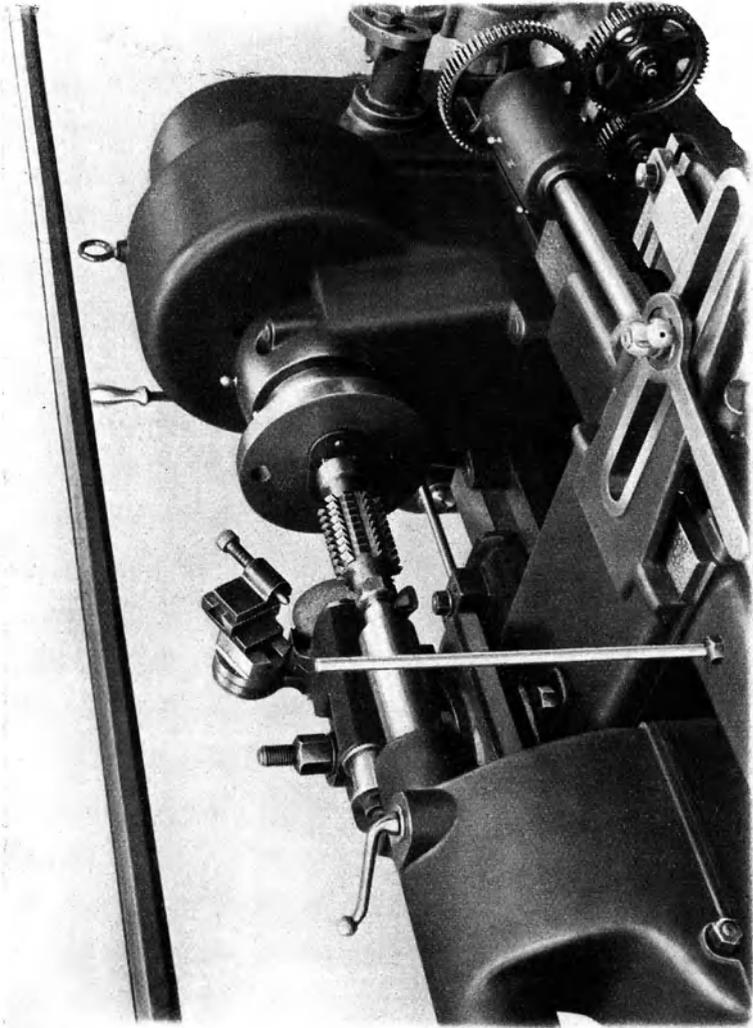


Abb. 93. Universal-Hinterdrehbank mit Schleifapparat.

Das Hinterschleifen der Fräuerschneidzähne geschieht in der gleichen Weise wie das Hinterdrehen, nur daß an Stelle des feststehenden Drehstahles eine kleine, schnellumlaufende Schmirgelscheibe verwendet wird.

Die Universal-Hinterdrehbänke von Schaerer & Co. in Karlsruhe werden schon heute mit solchen Hinterschleifapparaten ausgerüstet. Die Abb. 92 u. 93 zeigen die Anwendung des Apparates.

5. Die Feuerbehandlung der Fräser.

a. Das Erwärmen des Stahles zum Schmieden und Glühen.

Das Erwärmen zum Schmieden wird oft in einer für die Güte des Stahles schädlichen Weise vollzogen. Es soll so rasch erfolgen, als es möglich ist, den Stahl in allen Teilen gleichmäßig in eine Glut zu bringen, die für das Schmieden eben hoch genug ist.

Bekanntlich wird der den Stahl gleichsam als Netz durchziehende Kohlenstoff bei der Erhitzung des Stahles gelöst und von ihm aufgenommen. Gelangt bei diesem Prozeß sehr viel Sauerstoff an den Stahl, so entzieht dieser einen Teil des aufgelösten Kohlenstoffes. Besonders werden die Kanten und Ecken entkohlt und die Güte des Stahles dadurch herabgesetzt.

Dieses tritt namentlich dann ein, wenn das Erwärmen des Stahles im offenen Schmiedefeuer unter Gebläsewind stattfindet. Kommt hierbei die allgemein als Schmiedegrieß bekannte Steinkohle als Feuerungsmaterial zur Verwendung, so wird durch ihren hohen Schwefelgehalt die Güte des Stahles bedeutend verringert, denn der durch die Hitze gelöste Schwefel verbindet sich stellenweise mit dem Stahle und dieser nimmt dort bei dem später erfolgenden Abkühlen keine Härte an. Der Stahl wird weichfleckig. Man soll daher nur in zwingenden Fällen zur Steinkohle greifen und dann den Stahl nicht früher ins Feuer legen, als bis der Kohle ihr Schwefelgehalt entzogen ist. Um das zu erreichen, läßt man die Kohle gut durchbrennen, etwa so lange, bis sie keine sichtbaren Gase mehr entwickelt, also zu Koks verglüht ist.

Am besten eignen sich zum Erwärmen des Stahles Öfen, in denen der Stahl gänzlich vor dem Hinzutritt kalter Gebläseluft geschützt ist. Muß man jedoch, weil ein solcher Ofen fehlt, den Stahl im offenen Schmiedefeuer erwärmen, so verwende man als Feuerungsmaterial Holzkohle, die sich noch am besten bewährt hat.

Sobald beim Schmieden einzelne Teile des Stahles kräftiger bearbeitet oder bei dem zum Schmieden notwendigen Erwärmen mehr erhitzt wurden, entstehen Spannungen, welche nur durch erneutes Erwärmen, das Glühen, auszugleichen sind.

Das Glühen des Stahles hat außerdem den Zweck, die mechanische Bearbeitung zu erleichtern. Das Erwärmen dazu soll gleichmäßig bis zur Kirschröte erfolgen. Der Stahl darf jedoch nur so lange in dieser Hitze bleiben, bis alle inneren Teile durchglüht sind. Dann soll der Stahl langsam in der Kohlenlöschke erkalten. Ist das Glühen im Ofen erfolgt, so läßt man den Stahl allmählich darin auskühlen, was eine Zeitdauer bis zu 24 Stunden beansprucht.

Über den Wert des Glühens und des danach erfolgenden langsamen Erkalten bestehen vielfach irrige Ansichten, denen zufolge das Glühen des Stahles zwecks Aufhebung der Schmiedespannungen unnötig wäre,

weil sie sich bei dem später erfolgenden Erwärmen für das Härten sowieso ausglich. Das ist aber nicht der Fall, denn das durch das Erwärmen vergrößerte Volumen des Stahles kann sich, ohne daß schädliche Spannungen zurückbleiben, nur beim langsamen Erkalten in den früheren gleichmäßigen Zustand zurückbilden; sonst kommt zu der Schmiedespannung noch die Härtespannung, wodurch dann unbedingt Risse entstehen müssen. Es ist auch erklärlich, daß sich ein mit Spannungen behaftetes Stahlstück, welches mechanisch fertiggestellt wird, beim Erwärmen zum Härten verziehen und werfen muß, weil seine Gefüge-Struktur eine zu verschiedenartige geworden ist.

Unumgänglich nötig ist das Glühen beim Wiederaufarbeiten bereits einmal gehärteter Fräser. Man kann hierfür treffend das Wort Ausglühen gebrauchen. Dieses Ausglühen sollte nun eigentlich immer mit einem Aufbessern (Regenerieren, Vergüten) des Fräasers verbunden sein, denn die Fräserzähne werden fast immer bis an die Grenze der Brauchbarkeit erhitzt und verlieren dabei einen Teil ihres Kohlenstoffgehaltes. Beim Aufarbeiten werden aber die alten Schneidzähne nur wenig abgedreht, und somit wird beim nachfolgenden Härten das anfangs vorhandene Übel noch verschlimmert.

Für das Ausglühen der Fräser zwecks Aufarbeitung muß deshalb die Forderung erhoben werden, sie nur in kohlenstoffhaltiger Umpackung dem Feuer auszusetzen. Es kann dazu Holzkohle oder auch schon einmal gebrauchte Lederkohle oder ein anderes Einsatzmittel verwendet werden.

Zeigt ein Fräser beim Abbrechen seiner Schneidzähne unverkennbar die Spuren starker Überhitzung durch grobkristallinisches Gefüge, und man möchte die Schneidzähne nicht drehen und neu aufarbeiten, so ist eine Besserung des Gefüges durch folgendes zu erreichen. Der Fräser wird mehrmals dunkelkirschrot auf etwa 750 Grad erwärmt und in einer Paste, aus Wasser und Schmierseife bestehend, abgekühlt, nochmals dunkelrot gemacht und langsam erkalten gelassen, worauf er vorsichtig gehärtet wird. Die für solche Zwecke angepriesenen, teuren Geheimmittel erreichen ebenfalls nicht mehr und können getrost entbehrt werden¹⁾.

¹⁾ In der Fachliteratur werden noch die nächstehenden, leicht zusammensetzbaren Härte- und Regenerierungsmittel für mäßig überhitzten Stahl angegeben, die sich in der Praxis sehr gut bewährt haben.

Es kann sich hierbei jedoch nur um ein Vergüten von mäßig überhitztem Stahl handeln. Verbrannter Stahl läßt sich damit nicht regenerieren, er bleibt Schrott.

1. 500 Teile Hornspäne (Klauenmehl),
150 Teile blausaures Kali, gepulvert und
1000 Teile schwarze Seife zu einem Brei gemischt.
2. 4 Teile gelbes Harz, fein gepulvert,
2 Teile erhitzten Fischtran,
1 Teil flüssiger Talg.
3. 3 Teile reines Kolophonium geschmolzen, und unter langsamen Umrühren, 2 Teile gutes, gekochtes Leinöl zugesetzt.

Anwendung wie oben angegeben.

b. Das Härten der Fräser.

Unter dem Härten verstehen wir im allgemeinen den Prozeß, Stahl in einen bedeutend widerstandsfähigeren Zustand zu bringen und im besonderen beim Werkzeuggußstahl ihn in einen nicht mehr durch Stahlwerkzeuge zu bearbeitenden Zustand zu bringen. Der Härteprozeß besteht darin, daß die auf Rotglut erhitzten Teile plötzlich abgekühlt werden, wobei der zur Härtekohle (Karbid) verwandelte Kohlenstoff, der das Stahlgefüge netzartig durchzieht, gebunden wird¹⁾.

Zu diesem inneren, wissenschaftlich festgestellten Vorgang tritt noch als äußerer die Veränderung der Form hinzu. Die Wärme dehnt die Körper aus. Jedoch beim plötzlichen Abkühlen gewinnen die Gefügeteile nicht die Zeit, sich in ihren ursprünglichen Zustand zurückzubilden. Die Form des gehärteten Gegenstandes ist eine andere geworden. Meistens hat sie in der Dicke zugenommen und in der Länge abgenommen.

Da das plötzliche Abkühlen immerhin nur allmählich von außen nach innen schreitet, so entsteht für die inneren Materialsichten ein kleiner Zeitgewinn, in dem sie sich mehr oder weniger in ihren ehemaligen Zustand zurückbilden könnten, wenn sie nicht von den äußeren — bereits erkalteten — Materialsichten gehindert würden. Aus dieser Temperaturverschiedenheit der äußeren und inneren Materialsichten entstehen die Härtespannungen, die zu Rissen und Sprüngen führen, sobald die äußeren Schichten dem Zusammenziehen der inneren nicht genügenden Widerstand entgegenbringen können oder die inneren Schichten nicht nachgiebig und zäh genug sind, um sich den äußeren durch entsprechende Dehnung anzupassen. Nicht selten reißt oder springt der gehärtete Teil erst nach einigen Tagen oder bei der ersten Ingebrauchnahme.

Außer diesem Reißen, von innen heraus, begegnen wir noch dem Abspringen einzelner äußerer Partien. Es tritt hauptsächlich dann auf, wenn beim Abkühlen ungleich erhitzte Stellen vorhanden waren oder wenn vorspringende Kanten, infolge ihres geringeren Querschnittes, eine verschieden rasche Abkühlung und ungleiche Härte herbeiführten. Dort, wo sich die Zonen zweier Abkühlungsgrade begegnen, tritt alsdann meist bogenförmig die Gefügetrennung ein.

Diese Erscheinungen sind von jeher mit allen zu Gebote stehenden Mitteln bekämpft worden. Leider meist mit wenig Erfolg; denn hier kann nur die Erfahrung zum Erfolge führen, und sie ist eine gute, wenn auch teure Lehrmeisterin. Die im nachstehenden angeführten Bedingungen für das gute Gelingen des Härten können zwar nicht die notwendige Erfahrung ersetzen, wohl aber können sie als Ausgangspunkte in das interessante Gebiet des Härten betrachtet werden.

Vor allem ist wichtig zu wissen, aus welcher Temperatur der Stahl zu härten ist. In der Regel wird guter Werkzeuggußstahl für Fräser

¹⁾ Vgl. Brearley-Schäfer, Die Wärmebehandlung der Werkzeugstähle. Berlin 1913.

auf 700—750° erwärmt; jedoch kommen durch die hochwertigeren legierten Stähle — Chrom-, Wolfram- und Schnellschnittstähle — sehr viel höhere Temperaturen in Frage. Das Erkennen dieser Temperatur ist leider fast überall dem Auge des Härters überlassen. Es wird noch dadurch erschwert, daß die Beleuchtung des Härteraumes wechselt, bald hellem Sonnenschein, bald trüber Witterung ausgesetzt ist. Da nun ein glühender Stahl im hellen Tageslicht bedeutend weniger erhitzt scheint, so erhellt daraus schon, welche große Erfahrung das Erkennen der richtigen Temperatur bei wechselnder Beleuchtung an die Härter stellt. Das Härten sollte eigentlich in einem Raume geschehen, dessen Beleuchtung durch Vorhänge auf einer gewissen Gleichmäßigkeit erhalten werden kann.

Außerdem sollten zur Kontrolle der Temperatur bei der Erwärmung teurer Werkzeuge immer Meßinstrumente benutzt werden, am besten eingebaute Pyrometer, die im allgemeinen noch viel zu wenig Anwendung finden. In kleineren Betrieben wird man auch mit Segerkegeln oder optischen Pyrometern auskommen. Es sei darauf hingewiesen, daß oft die verschiedenen Temperatur-Meßinstrumente nicht ganz genau übereinstimmen. Es ist daher zweckmäßig, zwei Apparate zur Hand zu haben, um das richtige Funktionieren gegeneinander nachprüfen zu können. Mancher Mißerfolg beim Härten blieb unaufgeklärt, weil man nicht merkte, daß das Pyrometer nicht mehr richtig anzeigte. Die Ungenauigkeit setzt meistens dann ein, wenn das Pyrometer-Rohr im Laufe der Zeit durchzubrennen beginnt. Um dies zu verhüten, umgibt man es mit einem schmiedeeisernen Schutzrohre mit eingeschweißtem Boden.

Ein großer Nachteil ist, daß die Stahlwerke bis heute noch keine einheitliche Bezeichnung für ihre Temperaturfarben und Gradangaben haben. Es bestehen in dieser Hinsicht Unterschiede von mehr als 100 Grade. Diese Unterschiede sind vielfach die unerklärlichen Ursachen, daß mit aller Vorsicht, mit allen Hilfsmitteln erwärmte und gehärtete Werkzeuge nicht die richtige Härte haben, oder durch Überhitzen verdorben sind.

Zumeist sind die Härtevorschriften der Stahl-Lieferanten recht ungenügend. Verfasser haben eine Anzahl von Drucksachen verschiedener Stahlwerke daraufhin durchgesehen und festgestellt, daß bei den meisten Stahlsorten die Temperaturfarbe ohne Grad-Angabe gegeben wird. Bei den gegenwärtigen sehr hohen Material- und Lohnkosten, müssen vollständige und genaue Unterlagen zur Vermeidung jedes Ausschusses bekannt gegeben werden, so daß unnötige Belastungen des Werkzeugkontos wegfallen.

Welche Unterschiede in den Drucksachen der Stahlwerke bei den Angaben der Glühfarben und Temperaturen vorkommen, zeigen die nachstehenden Beispiele:

Es bezeichnet:

Stahlwerk	700 bis 720°	850°	900°	1000°	1050°	1100 bis 1150°	1200°	1250 bis 1300°
A	kirschrot	hellrot	gelb	—	fast weiß warm	weißwarm	—	—
B	dunkelkirschrot	rot	—	—	hellgelb	gelbweiß	—	—
C	dunkelrot	—	—	gelb	—	—	—	weißwarm
D	—	kirschrot	—	—	—	—	weißwarm	—

Es ist auch hier von allen maßgebenden Stellen auf eine Einigung und Normung dieser Angaben hinzuwirken. Die nachstehenden Bezeichnungen sind teilweise schon in der Praxis eingeführt und könnten, da die Abstände von 100 zu 100 Grade gehen, als Grundlage dienen. Da jedoch bei den legierten Stählen oft 50 Grade schon ausschlaggebend sind, ist zu empfehlen, noch Zwischenstufen von 50 Grade vorzusehen.

Beginn des Glühens	650°	Gelbrot	1000°
Dunkelrot	700°	Gelb (Orange)	1100°
Rot (Kirschrot)	800°	Hellgelb (Zitronengelb)	1200°
Hellrot	900°	Weiß	1300°

In diesem Zusammenhang wird ferner noch darauf aufmerksam gemacht, daß infolge des Mangels an Wolfram die Schnellstähle viel mehr Zusatz von dem auch in Deutschland gewonnenen Molybdän aufweisen wie früher. Damit ist auch weiter für unbestimmte Zeit zu rechnen. Mit Molybdän legierte Schnellstähle sind bei der Erhitzung empfindlicher, spröder, daher leicht brüchiger, sie vertragen nicht so hohe Temperaturen, wie die Wolfram-Schnellstähle. Wenn Fräser-Werkzeuge aus reinem Wolfram-Schnellstahl schon nicht weißwarm oder fast weißwarm erwärmt werden dürfen, so muß man bei Fräsern aus Molybdän-Schnellstahl noch weiter mit der Temperatur herabgehen.

Die gleichmäßige Glut aller Fräserpartien ist eine weitere Bedingung. Sie wird erreicht, wenn man vor dem Abkühlen mit dem zu härtenden Stück einige Sekunden an der Luft verweilt, und zwar so lange, bis sich die vorstehenden Ecken und Kanten etwas abgekühlt haben. Zur Erzielung einer guten, gleichmäßigen Härte sollte der Stahl immer in abfallender Temperatur abgeschreckt werden.

Sodann ist die Beschränkung des Härtegrades ein wertvolles Hilfsmittel gegen das Springen der Teile. Es ist das Nachlassen oder Anlassen des Härtegrades und bezweckt den Ausgleich der bereits besprochenen Härtespannungen.

Schließlich kann vom Konstrukteur durch zweckentsprechende Formgebung schon der Grund für gute Haltbarkeit beim Härten gelegt werden. Gleichmäßige Wandstärken und abgerundete Ecken sind dabei erste Erfordernisse.

Nach dem oben Gesagten haben wir beim Härten drei Handlungen zu unterscheiden:

1. das Erwärmen, 2. das Abkühlen, 3. das Anlassen.

Das Erwärmen der Fräser muß erstens möglichst schnell und gleichmäßig erfolgen, was jedoch oft erhebliche Schwierigkeiten bereitet, da die vorstehenden Fräserzähne schneller glühend werden. Zweitens muß verhindert werden, daß dem Stahl durch Hinzutreten von Sauerstoff Kohlenstoff entzogen wird.

Am ungeeignetsten zum Erwärmen der Fräser sind die offenen Schmiedeherde, namentlich dann, wenn die schon erwähnte Schmiedekohle als Heizmaterial dient. Ist man gezwungen, die Fräser darin zu erwärmen, so verfähre man folgenderweise: Nachdem die Kohle vollständig durchglüht — also schwefelfrei geworden — ist, lege man ein Stück Blech ins Feuer, auf das der Fräser zu liegen kommt. Er ist auf diese Weise wenigstens von unten her vor den schädlichen Einwirkungen der frischen Gebläseluft geschützt. Der Fräser ist nun noch von allen Seiten gut mit durchgebrannter Kohle zu bedecken, damit auch die äußere Luft nicht hinzutreten kann. Durch öfteres Drehen und Wenden des Fräsers muß ein möglichst gleichmäßiges Erwärmen versucht werden. Wird anstatt Kohle oder Koks Holzkohle verwendet, so ist das gleichmäßige Erwärmen leichter möglich; auch die Gefahr betreffs der Kohlenstoffentziehung ist geringer, da die Holzkohle nur wenig Gebläsewind benötigt.

Das letztere Übel läßt sich ganz beseitigen, wenn die Fräser zum Erwärmen in Röhren aus feuerfestem Stein oder Gußeisen, die seitlich verschlossen sind, gesteckt werden. Der Raum zwischen Fräser und Rohr wird mit tierischer (Leder-) Kohle, gestoßener Holzkohle oder anderen Einsatzmitteln ausgefüllt. Das gleichmäßige Erwärmen muß auch hier durch öfteres Drehen und Wenden erzielt werden. Anstatt in Röhren werden die Fräser auch oft in rechteckige Kasten eingesetzt, die sich jedoch schwerer wenden lassen, so daß die Fräser sehr leicht ungleichmäßig warm werden.

Abgesehen von dieser vereinzelt vorkommenden unvollkommenen Einrichtung finden wir zum Fräsererwärmen allgemein den Härteofen eingeführt.

Dem Härteofen fällt infolgedessen bei der Herstellung der Fräser eine wichtige Rolle zu. Seine Bedeutung erklärt sich schon aus der übergroßen Zahl seiner Arten, die sich nicht nur auf die Verschiedenheit der erforderlichen Heizmaterialien beziehen, sondern auch die Veredelungen des Stahlmaterials bezwecken.

Der Härteofen soll beim Erwärmen das Hinzutreten von Sauerstoff verhindern. Das wird einmal dadurch erreicht, daß das Verbrennen

des Heizmaterials, wozu ja stets Sauerstoff erforderlich ist, in besondere Räume verlegt wird (vgl. Muffelöfen), zum andern, daß der zu erwärmende Fräser gegen den Sauerstoff abgeschlossen wird (vgl. Einsatz-, Bleibad- und Salzbadöfen), oder aber, daß mit einem Gasüberschuß gearbeitet wird. Im letzteren Falle wirkt die Gasflamme reduzierend und verhindert das Oxydieren und Entkohlen.

Bezüglich des zu verwendenden Heizmaterials sprechen wir von Kohlen-, Koks-, Öl-, Gas- und elektrischen Öfen.

Der hauptsächlichste Vertreter der Muffelöfen ist der in Abb. 94 im Schnitt wieder gegebene Gasmuffelofen. Seine Muffel *a* wird von den Gasen im Brennraume *b* gleichmäßig erwärmt. Das kleine Gebläse *c* führt dem Ofen die nötige Luft zu.

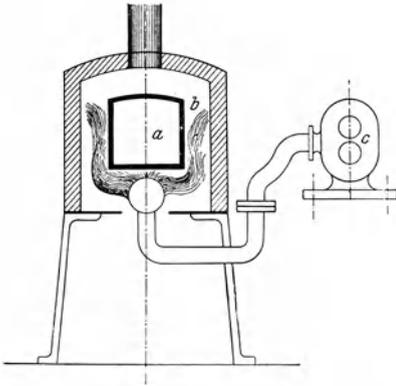


Abb. 94. Der Gasmuffelofen.

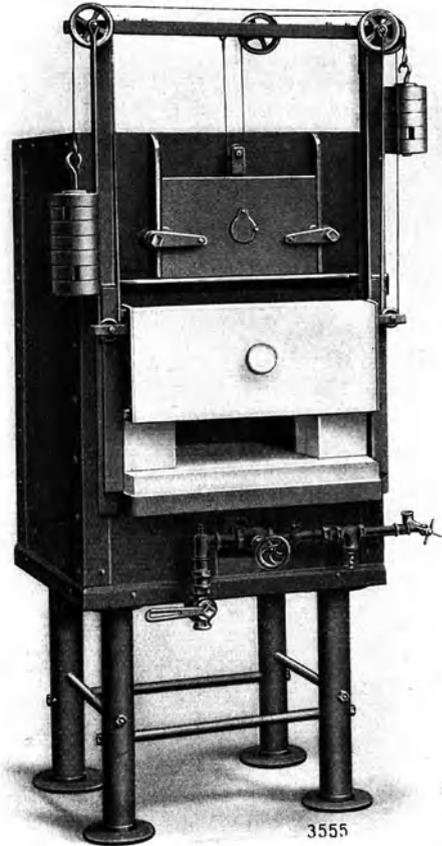


Abb. 95. Plattenglühofen von Schütte.

Seit Einführung der hohen Härtetemperaturen von 1000—1300° C, wie sie für den Schnellstahl gebraucht werden, ist ein guter Gasofen geradezu unentbehrlich geworden.

Der Plattenglühofen von Alfred H. Schütte in Köln, Abb. 95, eignet sich sowohl für das Erwärmen des gewöhnlichen Werkzeugstahles — für Temperaturen bis 900° — als auch des Schnellstahles — für Temperaturen bis 1200° —, je nachdem Winddruck und Gaszuströmung geregelt wird. Im Innern des Ofens herrscht ein geringer Überdruck

durch entsprechende Bemessung der Abzugsöffnungen, so daß beim Öffnen der Türe keine Außenluft hereindringen kann, also keine schädliche Einwirkung auf die zu erwärmenden Werkzeuge eintreten kann.

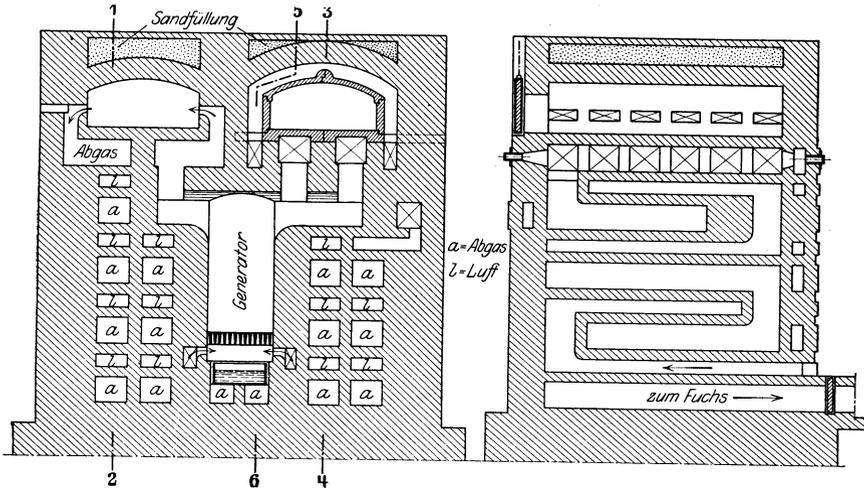


Abb. 96.

Abb. 97.

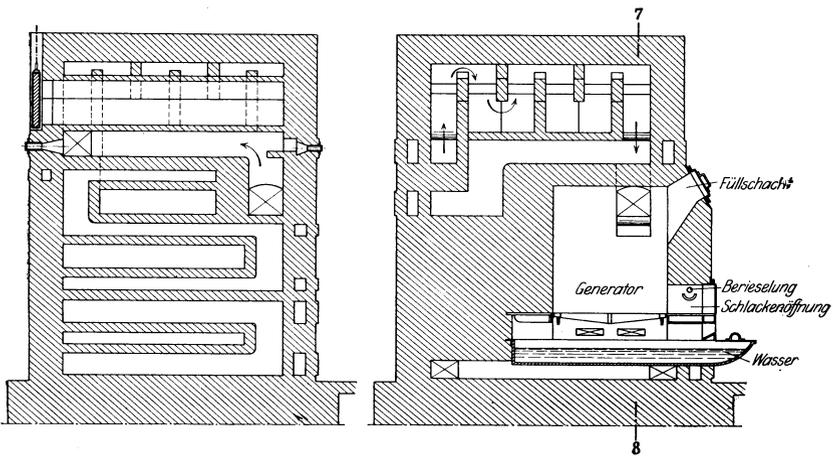


Abb. 98.

Abb. 99.

Mittelgroße und große Muffelöfen führt man im allgemeinen mit Koksfeuerung aus. Der Ofen muß in seinen Zügen sehr zweckmäßig angelegt sein, sonst ist weder eine gleichmäßige Erwärmung der Muffel noch die Erreichung der erforderlichen Temperatur möglich. Die Mehrzahl solcher Öfen bedarf künstlichen Windes, einzelne Öfen arbeiten auch mit freiem Essenzug, wozu aber ein großer, gutziehender Schorn-

stein gehört. Zu verwerfen sind die dünnen, mäßig hohen Blech-Schornsteine, denn sie ergeben bei schlechten Windverhältnissen nur eine Temperatur von 600—700° im Ofen.

Der Einsatz-Härteofen ist der für allgemeine Härtezwecke verbreitetste. Will man in ihm Fräser härten, so müssen sie, in Kästen oder Büchsen verpackt, vor dem Hinzutritt des Sauerstoffes geschützt sein. Denn die heißen Gase durchstreichen hier den Einsatzraum. Bei unvollkommenen Öfen ist Verbrennungs- und Einsatzraum eins, und der unverpackte Fräser müßte, auf dem Heizmaterial liegend, erwärmt werden, was ein gleichmäßiges Erwärmen geradezu ausschloesse.

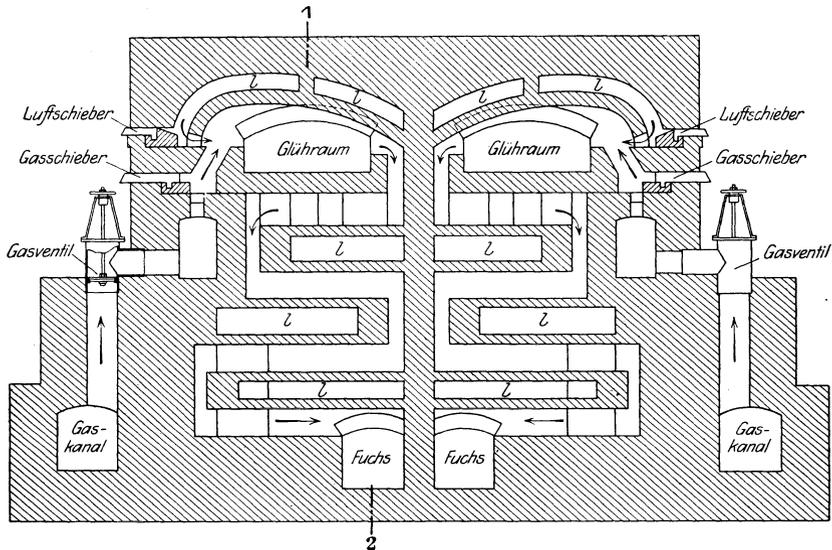


Abb. 100.

In den Abb. 96 bis 99 ist ein zeitgemäßer Glüh- und Härteofen dargestellt. Er hat eingebauten Koksgenerator und ist einerseits mit freiem Herd, andererseits mit Muffel von 2 m Länge und 1 m Breite ausgeführt. Der in der Mitte liegende Generator ermöglicht eine sehr gute Wärmeausnutzung ¹⁾.

Wie aus den Abbildungen ersichtlich ist, werden die Frischluftkanäle von den Abgasen im Gegenstrom umspült. Die Verbrennungsluft tritt dadurch außerordentlich hoch vorgewärmt in den Verbrennungsraum und auch unter den Rost. Unter dem Rost ist ein Wasserbehälter angeordnet, der ebenfalls durch die Abgase beheizt wird. Durch die Dampfbildung wird die Gaserzeugung gefördert und das Festsetzen der Schlacke im Rost verhindert. Außerdem ist der Rost dadurch immer gekühlt.

¹⁾ Öfen für Generatorenbetrieb werden auch von Ruppman, Stuttgart, ausgeführt.

Im Feuergeschränk ist eine Berieselungsvorrichtung vorgesehen. Außer der Kühllhaltung der Feuertüre bewirkt das verdampfende Wasser ebenfalls die Bildung von Wasserstoffgas. Durch die günstige Anordnung des Generators und der Heizgasführung arbeitet der Ofen außerordentlich wirtschaftlich. Versuche ergaben im Dauerbetrieb bei einer Durchschnittstemperatur von $950-1000^{\circ}$ einen Koksverbrauch von 40 kg in der Stunde.

Die Abb. 100 und 101 zeigen einen Glüh- und Einsatzofen für Generatorgasbetrieb, wie er von dem Stellawerk gebaut wird. Für Großbetriebe ist zum Betrieb von Schmiede-Glüh- und Härteöfen eine zentrale Gaserzeugungsanlage den einzelnen kleinen, an jeden Ofen angebauten Generatoren aus wirtschaftlichen Gründen vorzuziehen, da sie eine bessere Ausnützung des Brennmaterials gewährleistet und außerdem noch die Gewinnung von Nebenprodukten ermöglicht.

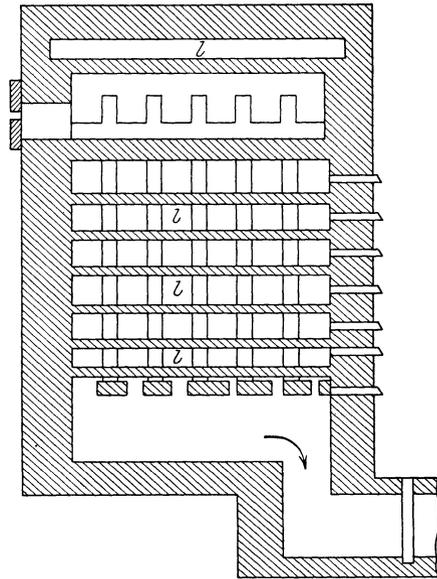


Abb. 101.

Zu dieser kommt noch, daß eine gemeinsame große Generatoranlage dem der Lage nach am günstigsten zu beschaffenden Brennmaterial angepaßt werden kann.

Der Ofen ist als Doppelofen für eine Herdgröße von 2 m Länge und 1 m Breite gebaut. Die Einzelheiten sind aus der Abbildung ersichtlich. Bemerkenswert ist auch hier die Benützung der Abgase zum Vorwärmen der Verbrennungsluft. Die Luftkanäle werden ebenfalls im Gegenstrom von den heißen Abgasen umspült und tritt die Luft letzten Endes, nachdem sie noch über die Herddecke geführt wurde, seitlich, auf die ganze Länge des Herdes verteilt, zu den von unten kommenden Gasen. Es tritt an dieser Stelle ein inniges Luft- und Gasgemisch ein und wird dadurch ein außerordentlich gleichmäßiges Beheizen des ganzen Herdes gewährleistet.

Die Abb. 102—104 zeigen ebenfalls das Schema eines Härteofens für Halbgasfeuerung. Abb. 102 ist ein Längsschnitt, Abb. 103 und 104 zwei Querschnitte. Der Ofen läßt sich ohne Schwierigkeiten auch für Ölfeuerung einrichten. Die Heizgase werden in ausgiebigster Weise ausgenutzt. Zu beiden Seiten des Verbrennungsraumes *e* tritt aus den Kanälen *ff* die gut vorgewärmte Frischluft, so daß in dem Raume *e* eine vollständige Verbrennung der aus dem Generator kommenden Gase

stattfindet. Die Heizgase umspülen hierauf die Muffel *g*, durchziehen den Vorwärmeraum *h* und ziehen rechts und links durch die Kanäle *i i*

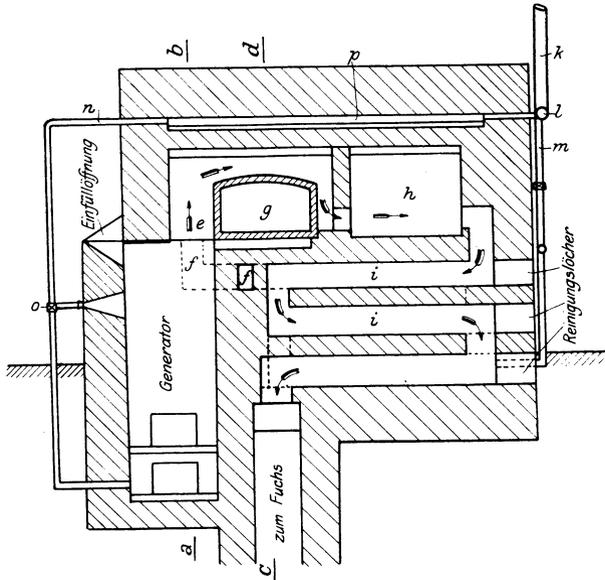


Abb. 102.

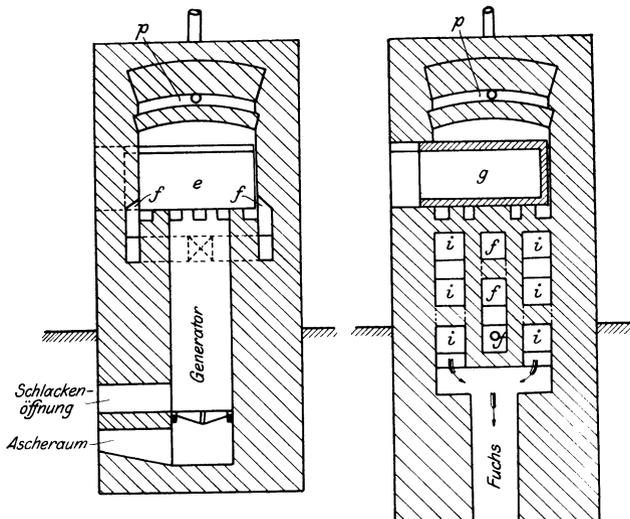


Abb. 103.

Abb. 104.

Härteofen für Halbgas- und Ölfeuerung.

nach dem Fuchs ab. Da der Frischluftkanal zwischen den Abzugskanälen *i i* hochgeführt wird, erhält die Frischluft eine außerordentlich

gute Vorwärmung. Falls es die Umstände erfordern, kann in den Vorwärmeraum eine weitere Muffel eingebaut werden, welche außer zum Vorwärmen und Glühen auch zum Härten benützt werden kann, da sich bei guter Gasentwicklung auch darin noch Temperaturen über 800° erreichen lassen.

Durch die Rohrleitung k wird Gebläseluft unter Druck zugeführt. Die Rohrleitung wird bei l in die Leitungen m und n geteilt. Durch m wird die Frischluft in den Kanal f geleitet, während durch n die zum Vergasen erforderliche Luft unter den Rost gedrückt wird. Beide Leitungen müssen durch Drosselhähne regulierbar sein. Die zum Vergasen erforderliche Luft richtet sich nach dem Brennstoff und der gewünschten Temperatur, während die Frischluft (Verbrennungsluft) der erzeugten Gasmenge entsprechen muß, um eine möglichst vollständige Verbrennung zu erreichen. Zweckmäßig ist, in dem Ascheraum einen Wasserbehälter unterzubringen, bzw. den Boden als Wasserbehälter auszubilden und die vorgewärmte Druckluft in das Wasser zu leiten¹⁾. Durch die dadurch hervorgerufene Dampfbildung wird die Gaserzeugung wesentlich gefördert. Außerdem wird der Rost gekühlt und die Schlackenbildung günstig beeinflusst.

Der Generatorraum soll möglichst immer bis oben mit Brennstoff gefüllt sein. Schlackenöffnung und Ascheraum müssen durch ein gut abdichtendes Feuergeschränk verschließbar sein.

Soll der Ofen mit Heizöl betrieben werden, so wird bei o ein Zerstäuber eingebaut und an die Ölleitung angeschlossen. Das Öl muß durch Druck oder Eigengewicht zugeführt werden. Die Luftleitung unter dem Rost wird dann abgesperrt. Frischluft durch Leitung m kann nach Bedarf noch hinter e zugeführt werden, um eine möglichst vollständige Verbrennung der Ölgase zu erreichen. Die durch die Leitung n in den Zerstäuber geführte Luft wird in der Kammer p vorgewärmt. Der Generatorraum wird bis an die Zerstäuberöffnung mit Koks gefüllt, worin sich die Ölrückstände auffangen.

Der Verbrauch an Brennmaterial ist sehr gering und stellt sich bei einer Muffelgröße von $600 \times 400 \times 250$ mm und einer Temperatur von 1000° C in der Muffel auf etwa 20 kg Zechenkoks oder beim Betrieb mit Öl auf etwa 8 kg Teeröl in der Stunde²⁾. Beim Betrieb mit höherer Temperatur ist der Verbrauch entsprechend größer und stellt sich bei 1300° C auf 28—30 kg Koks bzw. 10—12 kg Öl in der Stunde. Die Ölfeuerung hat den Vorzug der schnelleren Betriebsbereitschaft.

Es wurde schon darauf hingewiesen, daß unter besonderen Umständen auch Fräser aus gewöhnlichem Siemens-Martinstahl mit geringem Kohlenstoffgehalt mit Erfolg zu verwenden sind. Aus diesem Grunde soll im nachstehenden die Einsatzhärtung (Oberflächenhärtung) dieser Fräser beschrieben werden.

¹⁾ Vgl. Abb. 105 und 106.

²⁾ Heizwert 1 kg Koks ca. 6000 WE, 1 kg Teeröl ca. 9500 WE.

Dem kohlenstoffarmen Material muß durch das Einsetzen (Zementieren) der erforderliche Kohlenstoffgehalt zugeführt werden. Aus diesem Grunde werden sie einzeln oder mit mehreren vereint in Guß- oder Blechkasten mit einem Einsatzmittel verpackt. Zwischen den Fräsern oder dem Fräser und der Kastenwand soll ein Abstand von 2—3 cm sein. Der Deckel des Kastens wird mit Lehm luftdicht verschlossen und das Ganze in einem Einsatz-Härteofen 6—10 Stunden einer Temperatur von 850—950° C ausgesetzt. In dieser Zeit erhalten die eingesetzten Fräser eine kohlenstoffhaltige äußere Schicht von 1—1½ mm Dicke, je nach der Stärke des Fräasers. Nach dem Einsetzen muß der Kasten langsam erkalten. Zum eigentlichen Härten soll der Fräser in einem Muffelofen nochmals erwärmt und aus dieser Hitze abgekühlt werden. Es ist falsch, aus der Einsatzhitze den Fräser¹⁾ abzukühlen, weil dadurch die Struktur seines Gefüges nicht feinkörnig wird und leicht zum Bruche neigt.

Um Anhaltspunkte für die Einsatztiefe zu gewinnen, empfiehlt es sich, in dem Deckel des Kastens einige Löcher von 8—10 mm zu bohren und darin einige kurze Stäbchen aus weichem Rundeisen zu stecken, deren unterer Teil im Kasten ebenfalls eine Einsatzschicht erhält. Man kann nach mehreren Stunden Probestäbe herausziehen, abkühlen und beim Zerschlagen feststellen, wie tief der Kohlenstoff eingedrungen ist²⁾.

Die Einsatzmittel sind nun sehr oft der Gegenstand unliebsamer Erörterungen gewesen, weil deren Preis in keinem Verhältnis zu ihrem Werte stand. Unter allen möglichen Namen werden diese, als Verstählungsmittel bezeichneten Geheimmittel angepriesen.

Neben der bereits erwähnten, gut gebrannten Lederkohle hat sich Knochen- und Klauenmehl, gestoßene Knochen- und Holzkohle vorzüglich als Einsatzmittel bewährt und können daher bestens empfohlen werden.

Sehr gut haben sich folgende Mischungen bewährt:

- I. 6 Teile gestoßene Holzkohle und 4 Teile Bariumkarbonat;
- II. 4 Teile gestoßene Knochen, 4 Teile Lederkohle, 1 Teil blausaures Kali und 1 Teil gestoßene Holzkohle;
- III. 4 Teile gestoßene Holzkohle, 2 Teile Lederkohle, 2 Teile Ruß und 2 Teile gewöhnliches Salz.

Das Salz wird zu dem Zweck beigemischt, die zu härtenden Fräser mit einem dünnen Fluß zu überziehen, der einmal den Hinzutritt der Luft hindert und zum andern eine metallisch reine Oberfläche begünstigt.

An dieser Stelle sei noch eines anderen Einsatz- oder Temperverfahrens Erwähnung getan, das in den letzten Jahren viel von sich reden machte und womit man in Amerika vorzügliche Ergebnisse erzielt hat. Es ist das Tempern unter starker Gasberäucherung in besonders

¹⁾ Diese Regel gilt überhaupt für alle Einsatz-Härtearbeiten.

²⁾ Vgl. auch: Giesen, Der Einsatzofen und das Einsatzhärten. Werkstatt-Technik Jahrg. 1908, S. 354.

dafür gebauten Öfen (D. R. P. 191 394). Allgemein bekannt sind ja wohl die guten Erfahrungen, die man beim Erwärmen über starkrußenden Gas-, Öl- oder Petroleumflammen gesammelt hat.

Ein anderes Gebiet ist das Fräsererwärmen in flüssigen Metallen und Salzen, welche in Koks-, Gas- und Ölöfen oder in dazu besonders konstruierten elektrischen Öfen geschmolzen werden.

Beim Erwärmen im Metallbade benutzt man in der Regel reines Blei. Da hier die Gefahr des Einflusses des Schwefelgehaltes nahe liegt, der die Fräser weichfleckig macht, muß das Blei vorher gut durchgeschmolzen werden. Die Schmelztemperatur des Bleies ist bekanntlich 334° C, also niedriger als die Härtetemperatur des Stahles. Um diesen Unterschied muß daher das Bleibad stärker erhitzt werden. Um dabei das Verdampfen des Bleies möglichst zu vermindern, empfiehlt es sich, die Oberfläche des Bleibades mit einer 2—3 cm starken Schicht Holzkohle zu bedecken. Das Erhitzen des Schmelztiegels kann sowohl im besonderen Härteofen, als auch im offenen Schmiedefeuer erfolgen. In beiden Fällen muß für genügenden Abzug der giftigen Bleidämpfe gesorgt sein. Naturgemäß werden die unteren Schichten des Bleies sehr leicht eine höhere Temperatur annehmen, weshalb man die Fräser nicht in das Bleibad legt, sondern an Drähten hineinhängt.

Die Fräser im geschmolzenen Kochsalz zu erwärmen, wird vielfach angewendet. Die Vorteile dieser Art bestehen darin, daß erstens die Schmelztemperatur des Salzes bei 760° liegt — also in gleicher Höhe der Härtetemperatur — und daß zweitens die Fräser gänzlich vom Hinzutritt des Sauerstoffes abgeschlossen sind¹⁾. Zum Schmelzen des Salzes sind die gleichen Einrichtungen nötig, wie zu dem des Bleies. Der Tiegel wird am Boden mit einer dünnen Schicht Soda belegt und alsdann mit Kochsalz gefüllt. Nachdem die Schmelzung, die von der leichter schmelzenden Soda eingeleitet wird, im Gange ist, wird noch Salz nachgegeben, falls die Schmelzmasse zu gering ist. Um die Mischung zu verbessern, gibt man ihr noch etwas Kalisalpeter und chromsaurer Kali zu. Der Schmelzpunkt des Salzes ist, wie schon erwähnt, ein sehr wichtiger Anhalt; namentlich deshalb, weil ein größeres Überhitzen sofort durch stärkeres Wallen der Schmelzmasse erkennbar ist. Natürlich werden auch hier die unteren Schichten eine etwas höhere Temperatur haben, weshalb man vorzieht, die Fräser an Drähten in die Schmelzmasse zu hängen. Die Fräser müssen ferner gänzlich von Öl und Schmutz befreit sein. Es empfiehlt sich, die Fräser vorher etwas anzuwärmen, damit

¹⁾ Trotzdem werden die Fräser, wenn sie längere Zeit im Salzbad belassen werden, an den scharfen Ecken und Kanten etwas entkohlt. Durch einen Zusatz von Zyankalium oder auch Zyannatrium kann dies verhindert werden. In reinem Zyankalibad zu erwärmen empfiehlt sich nicht, da die Fräser dadurch zu spröde werden. Andererseits lassen sich im Zyankalibade Teile aus kohlenstoffarmem Material, die nur eine dünne Härteschicht erhalten sollen, ohne vorheriges Einsetzen härten.

nicht etwa Wasser an ihnen hängt, was ein explosionsartiges Auswerfen der Schmelzmasse zur Folge haben könnte.

Abweichend von der obigen Mischung kann die Schmelzmasse auch aus anderen Salzen zusammengesetzt sein, die auf den Fräser günstig einwirken sollen; beispielsweise soll eine kleine Menge gelbes Blutlaugensalz die Zähigkeit des Fräasers erhöhen.

Beim Härten von Schnellstählen, wo Temperaturen bis 1200° C und darüber notwendig sind, wird anstatt des Kochsalzes chemisch reines Chlorbarium verwendet.

Nachstehend sind die Schmelzpunkte einiger Salze angegeben:

Chlorbarium	860 ^o C
Pottasche	830 „
Kochsalz	760 „
Chlorkalium	730 „
Soda	710 „
Kaliumnitrat	340 „
Salpeter	300 „

Für Temperaturen zwischen 760° C und 900° C hat sich ein Gemisch von 3 Teilen Chlorbarium und 2 Teilen Chlorkalium sehr gut bewährt. Für Anlaßtemperaturen zwischen 250° C und 550° C kann eine Mischung von gleichen Teilen Kaliumnitrat und Natriumnitrat Verwendung finden ¹⁾.

Besondere Härteöfen zum Schmelzen der Salze werden in der letzten Zeit vielfach auf den Markt gebracht. Einmal sind es die mittelst Elektrizität betriebenen, von denen der bekannteste der der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin²⁾ sein dürfte, und zum andern die mittelst Gas arbeitenden, von denen die der Firma de Fries & Co. in Düsseldorf und Alfred H. Schütte in Köln erwähnt seien.

Ein weiterer einfacher, leicht herstellbarer Blei- oder Salzbadofen mit Vorwärmekammer ist in den Abb. 105 und 106 schematisch im Längs- und Querschnitt dargestellt. Der schmiedeiserne Schmelztiegel hat 350 mm lichte Weite und ist 400 mm tief. Die Herdgröße der Vorwärmekammer ist 750×400 mm. Er ist wie der in Abb. 102—104 gezeigte Ofen für Halbgas- und Ölfeuerung eingerichtet. Die Frischluft wird hier in einem um das Abgasrohr gelegten Windkessel vorgewärmt und tritt durch die Kanäle *b b* unmittelbar vor dem Schmelztiegel *c* in den Heizraum. Es findet hier eine innige Mischung mit den aus dem Generator kommenden Gasen und infolgedessen eine vollständige Verbrennung statt. Die Heizgase umspülen den Tiegel und treten dann unter und

¹⁾ 2 Teile salpetersaures Kalium,

3 Teile salpetersaures Natrium

schmilzt bei 230° und kann bis 550° erhitzt werden.

²⁾ Verbandsmitteilungen des Dresdner Bezirksvereins Deutscher Ingenieure und des Dresdner Elektrotechnischen Verein. 1907. Nr. 4.

durch den Vorwärmeraum in das Abzugsrohr *e*. Für den Betrieb des Generators sowie auch für den Betrieb mit Heizöl gilt das gleiche wie für den auf S. 80 dargestellten Ofen.

Durch den Vorwärmeraum wird der Ofen bedeutend leistungsfähiger und wirtschaftlicher. Da die vorgewärmten Werkstücke das Salzbad nur unwesentlich abkühlen, kann ein fast ununterbrochenes Härten stattfinden. Außerdem werden die Heizgase wesentlich besser ausgenutzt.

Sehr schwierig ist beim Fräsererwärmen das Erkennen der richtigen Temperatur. Schon eingangs wurde darauf hingewiesen, wie leicht darin

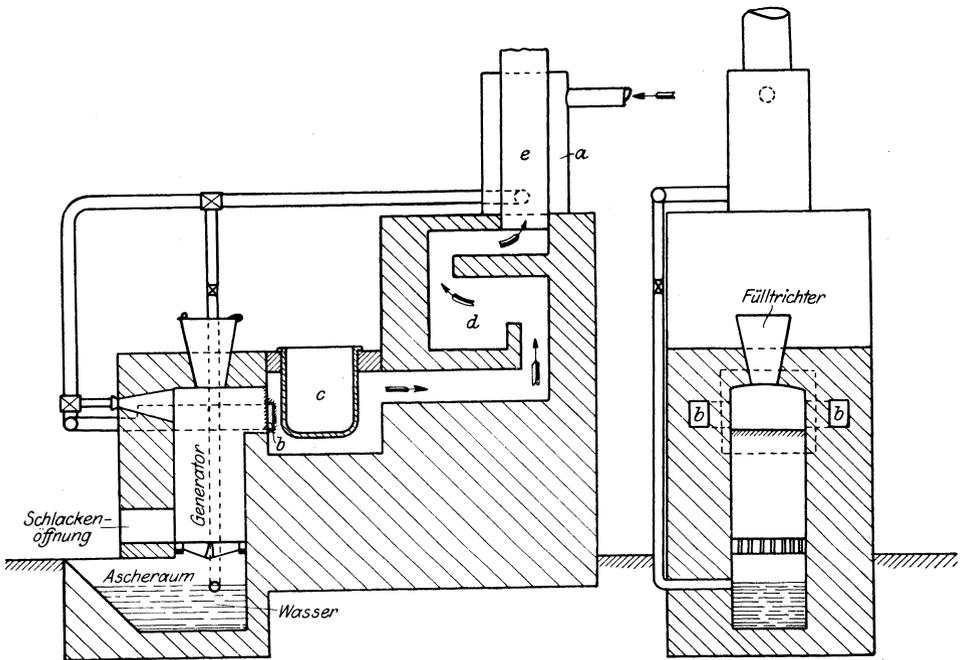


Abb. 105 und 106. Salz- und Bleibadofen für Halbgas- oder Ölfeuerung.

das Auge, namentlich bei wechselnder Beleuchtung, irren kann. Erfreulicherweise macht die Bestrebung, durch optische oder elektrische Einrichtungen die Höhe der Temperatur bestimmen zu lassen, gute Fortschritte.

Am besten eignen sich dazu die thermoelektrischen Pyrometer, die an die Härteöfen angeschlossen werden und das Ablesen weniger Gradunterschiede gestatten. Sie können auch mit selbstregistrierenden Apparaten verbunden werden. Die Apparate von Hartmann & Braun, Siemens & Halske und W. C. Heraeus dürften allgemein bekannt sein. Für kleinere Betriebe genügt ein optisches Pyrometer zur Kontrolle. Am bekanntesten ist das Shore-Pyroskop von Schütte, das

optische Pyrometer von Siemens & Halske und das Wanner-Pyrometer von Dr. Haase, Hannover.

Bei den optischen Pyrometern dient die Färbung des dem Ofen entstrahlenden Lichtes als Maßstab für die Temperatur. Es kann aber auch die ebenfalls nach festen Gesetzen ansteigende Wärmestrahlung zu pyrometrischen Zwecken benutzt werden. Dies geschieht in dem Strahlungs-pyrometer von Hirschson, das von der Firma Paul Braun & Co., Berlin, angefertigt wird. Es bietet wie die optischen Pyrometer den Vorteil, daß es der zu messenden Temperatur nicht unmittelbar ausgesetzt wird, sondern daß nur die von dem Gegenstand ausgehende Strahlung, deren Stärke naturgemäß verhältnismäßig gering ist, an das Meßgerät gelangt. Der Grundgedanke des neuen Meßgerätes beruht auf der elektrischen Widerstandsänderung gewisser Metalle unter dem Einfluß der Temperatur. Durch die Anwendung elektrischer Vorgänge bietet der Apparat aber auch alle Vorteile der thermoelektrischen Apparate, nämlich die unmittelbare Ablesung, die Möglichkeit der Diagrammaufzeichnung der Fernablesung und des Anschlusses mehrerer Apparate

an ein Meßgerät. Eine ausführliche Beschreibung findet sich in der Z. d. V. d. I. Jahrgang 1918, Seite 552.

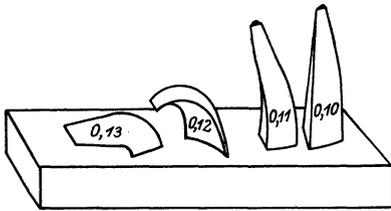


Abb. 107. Gebrauchte Segerkegel.

Einen billigen Behelf zur Ermittlung von Temperaturen bilden die bekannten Segerkegel¹⁾, die von 30° zu 30° steigend erhältlich sind. Sie werden auf einem Schamotteplättchen zu 3—4 Stück, z. B. für

750, 780, 810 und 840° passend, mit den zu erwärmenden Fräsern in den Härteofen geschoben. Sobald nun derjenige Kegel zerschmolzen ist, aus dessen Temperatur der Stahl zu härten ist, werden die Fräser herausgenommen und abgekühlt. An den noch stehenden oder auch schon umsinkenden Kegeln ersieht man, daß keine höhere Temperatur im Ofen war. Die Abb. 107 zeigt eine gebrauchte Reihe dieser Segerkegel.

Ehe ausführlicher auf das Abkühlen der Fräser eingegangen werde, sei noch einer Zwischenhandlung gedacht: dem Überführen in das Härtebad. Hierbei werden oft grobe Fehler gemacht, durch welche Risse und weiche Stellen am Fräser entstehen. So wird der erhitzte Fräser oftmals mit der völlig kalten oder wohl gar nassen Zange erfaßt und dadurch an den Berührungsstellen abgeschreckt, also eine Ursache der Härterisse hervorgerufen, ehe er überhaupt ins Härtebad überführt wird. Das Abkühlen eines derartig angefaßten Fräasers kann aber zweitens

¹⁾ Sie sind aus einer Mischung von Kaoline mit verschiedenen Mengen von Feldspat, Marmor und Quarz hergestellt, die je nach ihrer Zusammensetzung leichter oder schwerer schmelzen.

an den von der Zange bedeckten Stellen nicht schnell genug vor sich gehen, infolgedessen entstehen weiche Stellen. Um dies zu verhindern, empfiehlt es sich, die Fräser nur mit angewärmten Zangen oder Haken zu fassen.

Das Abkühlen der Fräser muß möglichst in der Nähe des Härteofens stattfinden, da unnötiges Verweilen an der Luft dem erwärmten Fräser schadet.

Als hauptsächlichste Abkühlflüssigkeit kommt für die Fräser das reine Wasser in Betracht; es soll ein guter Wärmeleiter, also sehr weich sein und eine Temperatur von 15—22° C aufweisen. Am geeignetsten ist das Schnee- und Regenwasser, nach welchen fließendes und weiches Quellwasser kommt. Die Wärmeleitungsfähigkeit kann noch durch kleine Mengen Salz, Salmiak oder Säuren erhöht werden. Die Wassermenge muß so groß sein, daß ihre Temperatur durch das Abkühlen nicht wesentlich verändert wird. Das Aufbewahren und Anwenden des sog. alten Wassers ist deshalb so geschätzt, weil darin alle dem Härten schädlichen Stoffe zu Boden geschlagen sind oder an den Fräsern sich ansetzen, infolgedessen die Vorbedingungen vorzüglichen Härtens erfüllt sind. Solches Wasser muß aber sorgfältig vor Verunreinigungen geschützt werden, denn sonst überwiegen die Nachteile bei weitem die eben genannten Vorzüge.

Soll die Zähigkeit der Fräser auf Kosten ihrer Härte gesteigert werden, so gießt man auf die Oberfläche des Wassers eine dünne Schicht Öl. Beim Eintauchen durch das Öl überziehen sich die Fräser mit einer von der Hitze angebrannten Haut, die beim Abkühlen im Wasser mildernd wirkt.

Sobald der Fräser dem Bade zugeführt ist, muß derselbe stetig hin und her bewegt werden, denn der eingetauchte Fräser entwickelt fortwährend Dampfblasen, die ihn gleichsam einhüllen und dadurch das Abkühlen zum Schaden der Härte verzögern. Ganz falsch ist es, den Fräser einfach in das Härtebad zu werfen, denn an der Berührungsstelle zwischen dem Fräser und dem Härtegefäß wird er eine weiche Stelle erhalten.

Die Fräser aus Schnellstahl erfordern dagegen wesentlich andere Abkühlungsarten. Bei ihnen würde das grelle Abkühlen im Wasser sofort zum Bruche führen. Anfangs kannte man nur das Abkühlen im Luftstrom; der erhitzte Fräser wurde kalt geblasen. Neuerdings lassen sich die meisten Schnellstahlarten auch im Petroleum-, Öl- oder Fettbade ohne Gefahr abkühlen. Am besten ist das Abkühlen im Talgbade.

Obwohl man in neuester Zeit das Anlassen seltener vornimmt, seien im folgenden doch einige der gebräuchlichsten Verfahren dafür angeführt, die namentlich bei den gerieften Fräsern vielfach zur Anwendung gelangen. Die beste Art des Anlassens, die aber die meiste Erfahrung erfordert, ist das unterbrochene Härten. Hier vollzieht sich das Anlassen in einer Zeit, in welcher noch nicht die stärksten Spannungen zwischen

den inneren und äußeren Schichten des Fräasers eingetreten sind. Der Fräser muß deshalb zu einem Zeitpunkt aus dem Bade herausgenommen werden, in dem er noch soviel Wärme hat, daß der gewünschte Ausgleich der Spannungen eintreten kann.

Bei allen anderen Verfahren müssen sich die Fräser erst ganz abkühlen, ehe das Anlassen an ihnen vorgenommen werden kann. Bei dem dazu notwendigen Erwärmen muß besondere Beachtung auf die Fräserzähne gelegt werden, da sie sehr leicht zu weich werden. Das Erwärmen erfolgt entweder über dem Holzkohlenfeuer oder in rotglühender Büchse und auf rotglühendem Dorne. Bessere Ergebnisse, d. h. ein gleichmäßigeres Nachlassen der Härte und Spannungen erreicht man im heißen Sande und im Metallbade¹⁾, auch das Anlassen im siedenden Wasser oder Öl wird besonders hochgeschätzt. Nachdem der Fräser die gewünschte Anlaßfarbe²⁾ erhalten hat, wird er in Öl oder in Wasser völlig abgekühlt.

Auch Salzbäder werden neuerdings vielfach zum Anlassen verwendet. Das Bad wird dazu aus Salzen zusammengesetzt, deren Schmelzpunkt unter 200° liegt³⁾. Da die den Anlauffarben von Hellgelb bis Hellblau entsprechenden Temperaturen zwischen 200 und 320° liegen, kann man die der erforderlichen Anlauffarbe entsprechende Temperatur genau mittelst Thermometer feststellen. Zum Anlassen fertigt man sich zweckmäßig einen passenden Blechkasten an, der durch eine Gasflamme geheizt wird. Ist das Salz geschmolzen, so kann man es durch Regeln der Gasflamme leicht auf annähernd gleicher Temperatur erhalten.

6. Das Schleifen und Schärfen der Fräser.

a. Die Wirkungsweise und Leistungsfähigkeit der Schleifarbeit.

Die bis in das Altertum zurückreichende Anwendung des Schleifens beschränkte sich anfangs darauf, Unebenheiten an dem zu schleifenden Gegenstände zu beseitigen, um ihm dadurch ein besseres Aussehen zu geben. Ebenso ist das heutige Werkzeugschleifen der Erkenntnis unserer Altvorderen entsprungen, abgestumpfte Spitzen oder Angriffsflächen

¹⁾ Durch entsprechende Zinn- oder Antimonzusätze läßt sich der Schmelzpunkt des Bleies von 327° bedeutend weiter heruntersetzen, und zwar bei einem Zinnzusatz von 20% auf 275°, von 40% auf 230°, und von 60% auf 190°. Bei einem Antimonzusatz von 10% auf 275°, bei 15% auf 250°.

²⁾ Nach Thallner gilt nachstehende Tabelle für die Anlaßfarben:

Temperatur	Anlauffarbe	Temperatur	Anlauffarbe
200° C	Keine	275° C	Purpurrot
220 „	Hellgelb	285 „	Violett
230 „	Reingelb	295 „	Kornblumenblau
245 „	Dunkelgelb	310 „	Hellblau
255 „	Braungelb	325 „	Meergrün
265 „	Rotbraun	über 330 „	Keine

³⁾ Vgl. Seite 84.

— der für den täglichen Gebrauch bestimmten Gegenstände — ebenfalls wie Unebenheiten an Schmuckgegenständen wegzuschleifen.

Ist auch, entsprechend der fortschreitenden Entwicklung, die Art und Weise des allgemeinen Schleifens, sowie der dazu verwendeten Materialien eine wesentlich bessere geworden, so sind doch die Grundzüge des Schleifens,

das Entfernen von Unebenheiten,
das Verfeinern des Aussehens und
das Schärfen von Schneidflächen

die gleichen geblieben.

Vor nicht allzulanger Zeit — auch heute noch hier und da — galt als das zum Schleifen geeignetste Material der bekannte Quarzsandstein. Mannigfaltige Fehler des letzteren, von welchen nur das schwierige Verarbeiten der Steinblöcke zu verwendbaren Schleifrädern, die rasche Abnutzung und die Unmöglichkeit, für immer neue Schleifzwecke in passende Formen gebracht zu werden, erwähnt seien, riefen den Wunsch hervor, die natürlichen Schleifsteine durch künstliche zu ersetzen. Als das dazu geeignetste Material erwies sich der in der Härte nur noch vom Diamant übertroffene Schmirgel, der in großen Mengen in Sachsen, Spanien, Dalmatien, Kleinasien und auf den Kykladen, besonders auf der Insel Naxos, vorkommt. Letztere Insel liefert den berühmten Naxoschmirgel, der in Härte und Schneidfähigkeit von keinem anderen übertroffen wird.

Neben dem Schmirgel finden wir noch eine ganze Anzahl natürlicher und künstlicher Schleifmaterialien, die zur Schleifräderrfertigung herangezogen werden. So ergibt der reine Korund (Schmirgel ist ein unreiner, mit Magneteisen und Eisenglanz verwachsener Korund) vorzügliche, griffige Schleifräder. Auch Granat und Flintstein wird zu Schleifrädern verwendet. Der weiße, scharfe Quarzsand ist ein beliebtes Beimischungsmittel für Schmirgelräder, namentlich für solche zum Schärfen von Sägen und feineren Werkzeugen.

An künstlichen Schleifmaterialien steht Siliziumkarbid, Karborundum genannt, an erster Stelle. Ihm folgt das als Korundum und Alundum bekannte Aluminiumoxyd. Diese im elektrischen Ofen gewonnenen Materialien zeichnen sich durch ganz außergewöhnliche Härte — sie liegt zwischen Korund und Diamant — und Griffigkeit aus. Die Schleifleistungen der daraus hergestellten Schleifräder sind demzufolge, sowohl bezüglich der abgenommenen Spanmenge, als auch der Schliffreinheit hervorragend und werden infolgedessen für die selbsttätigen Schleifmaschinen den Rädern aus gewöhnlichem Schmirgel vorgezogen.

Nach Karmasch wurden in England etwa um das Jahr 1840 die ersten künstlichen Schleifsteine, nach dem dazu verwendeten Schmirgel, Schmirgelscheiben oder Schmirgelräder genannt, hergestellt. Sie führten sich jedoch nur langsam ein, wahrscheinlich infolge des hohen Preises, den die schwierige Fertigung und der sich anfangs ergebende Ausschuß bedingte.

Amerika brachte dieser Neuerung größeres Interesse entgegen. Die Schmirgelräder wurden dort sehr bald hergestellt und ihre Verwendung fand allmählich Eingang in den einschlägigen Betrieben.

Auch in Deutschland reichen die Anfänge der Schmirgelrädherfertigung bis in die 60er Jahre des vorigen Jahrhunderts zurück. Doch kann man von einer allgemeinen Verwendung der Schmirgelräder erst seit den 80er Jahren sprechen.

Obwohl für das allgemeine Schleifen der Sandstein noch immer als erfolgreicher Konkurrent auftrat, der von den am alten hängenden Arbeitern aus mehrfachen, wenn auch nicht stichhaltigen Gründen dem Schmirgelrade vorgezogen wurde, so erschloß sich durch das jetzt mögliche Schärfen der feineren Werkzeuge dem Schmirgelrade ein weites Arbeitsfeld.

Mit der Entwicklung der Schleiftechnik hängt die der Frästechnik eng zusammen. Denn erst dadurch, daß man durch geeignete Schleifräder die Zähne des Fräasers schärfen konnte, ohne ihn ausglühen und nacharbeiten zu müssen, wurde seine allgemeine Einführung möglich.

Hiermit sei der kurze Rückblick auf die Entwicklung der zum Schleifen verwendbaren Materialien beendet.

Die Fertigungsgrundsätze der Schmirgelräder sind: aus dem zerkleinerten Schmirgelgestein und den verschiedenen Bindemitteln, die unter hohem Druck vereinigt werden, ein bestimmten Zwecken dienendes Schleifrad von geeigneter Form herzustellen, wobei der Schleifzweck und die beabsichtigte Feinheit des Schliffes die Korngröße des Schmirgels, und die Art und Beschaffenheit des zu schleifenden Materials die Härte des Schmirgelrades bestimmen. Die Härte ist wiederum vom Verhältnis der Schmirgelmenge zum Bindemittel, und ferner von dem die beiden vereinigenden Preßdruck abhängig.

Es gibt demnach grob- und feinkörnige, harte und weiche Schmirgelräder, wobei im allgemeinen ein grobkörniges hart und ein feinkörniges weich ist. Da naturgemäß mit feinem Schmirgel ein dichteres Rad als mit grobem erzielt wird, hält man oft irrtümlich das feinkörnige Rad für das härtere.

Die Güte der Schmirgelräder ist sowohl von der Fertigungsart als auch von der Art des dazu verwendeten Rohmaterials und des Bindemittels abhängig. Als die älteste und wohl von allen Fabriken angewendete Bindung dürfte die Magnesitbindung bezeichnet werden, die aber, da diese Räder Feuchtigkeit anziehen — wodurch ein Zerspringen eintreten könnte —, nur für Räder zum Trockenschleifen verwendet werden darf. Weitere Bindemittel sind: Schellack, Leim, Schwefel, Gummiharze, Gelatine und Pflanzenöle. Die drei letzteren liefern bei richtiger Herstellung sehr vorzügliche Schmirgelräder, sowohl für Naß- als auch für Trockenschliff.

Von Norton, Amerika, wurden zuerst Schmirgelschleifräder mit keramischer Bindung hergestellt, deren mineralisches Bindemittel mit

dem Schmirgel im Hochfeuer verschmolzen wurde. Deutsche Firmen haben seit langem ebenfalls erfolgreich die Herstellung dieser Schleifräder aufgenommen. Der Hauptvorteil dieser Bindungsart liegt in ihrer großen Porösität, durch die eine größere Schneid- und Leistungsfähigkeit erreicht wird. Außerdem kann mit diesen Rädern sowohl trocken, als auch naß geschliffen werden.

Um nun die Eigenschaften bestimmen zu können, die ein brauchbares Schleifrad besitzen muß, ist es notwendig, den Vorgang des Schleifprozesses zu kennen.

Der Schliff entsteht durch den Angriff aller zur Berührungs-, d. h. Schleifstelle gelangenden scharfkantigen Schmirgelkörnchen, die so lange eine befriedigende Schleifleistung ergeben, als sie nicht stumpf geworden sind. Damit nun die Schleifleistung des Schmirgelrades gleich bleibt, muß seine Körnung und Härte dem zu schleifenden Materiale entsprechend so gewählt werden, daß sich durch den Schleifdruck im richtigen Verhältnis die stumpf gewordenen Körnchen lösen, so daß wieder neue scharfkantige und schneidfähige Angriffspunkte entstehen.

Aus obigem dürfte zur Genüge hervorgehen, wie falsch es ist, bei ungenügenden Schleifleistungen das Schmirgelrad für unbrauchbar zu halten, da es in der Regel nur zu hart oder zu weich ist. Im ersteren Falle können sich die stumpf gewordenen Schmirgelkörnchen nicht lösen und im zweiten Falle lösen sich zu viele, und zwar ehe sie richtig angegriffen haben. Zweifellos spielt bezüglich der Leistungsfähigkeit der Schmirgelräder die Güte des Schmirgels und des Bindemittels eine große Rolle, doch kann deren Fehler unmöglich der Laie feststellen, wenn sich nicht augenscheinlichere Fehler, wie Risse, Abbröckeln oder ungleiche Härte u. dgl., zeigen, die aber fast immer durch nicht sorgfältige Fertigung verursacht werden. Als wirksamer Schutz dagegen kann nicht genug anempfohlen werden, die Schmirgelräder nur von anerkannt guten Firmen zu beziehen. Auch die richtige Umfangsgeschwindigkeit spielt dabei eine große Rolle und gilt als allgemeine Regel, daß ein hartes Rad langsamer und ein weiches Rad schneller laufen muß, und zwar im ersten Falle um das Lösen der stumpfen Körner zu ermöglichen und im zweiten Falle um einer zu großen Abnutzung vorzubeugen.

Da für die Herstellung und Erhaltung der Fräser eigentlich nur das Rundschleifen und das Schärfen der Schneidzähne in Betracht kommen, so sollen diese im folgenden einer näheren Besprechung unterliegen.

Das Rundschleifen der Fräser, sowie anderer aus gehärtetem Gußstahl bestehenden Werkzeuge bezweckt zumeist die Beseitigung der durch das Härten hervorgerufenen veränderten Form. Es kann somit von einer erheblichen Schleifleistung keine Rede sein. Die Korngröße der Schmirgelräder wird eine mehr feinere sein müssen, deren Härte so bemessen ist, daß gerade noch der schon geschilderte Schleifprozeß stattfinden kann. Man hat hier besonders die Genauigkeit des zu

schleifenden Werkzeuges zu berücksichtigen, die durch ein zu weiches Schmirgelrad sehr gefährdet ist, da durch den großen Schmirgelverlust jeder Teil des Werkstückes von einem anderen, stets verminderten Rad-durchmesser geschliffen würde.

Die Breite der zur Anwendung kommenden Räder richtet sich ebenfalls wieder nach dem zu schleifenden Werkstücke, hier besonders nach dessen Schleiflänge. Ist ein Werkstück bzw. dessen zu bearbeitende Fläche sehr lang, so wird sich, zwecks Vermeidung zu großer Abnutzung, ein breiteres Rad nötig machen als bei kurzen Schleifflächen. Bei letzteren hat man zu beachten, daß nicht zu lange Zeit mit dem Überlaufen an den beiden Enden der kurzen Fläche verbraucht und daß nicht bei diesem Überlaufen um die Breite des Rades das Werkstück an beiden Enden konisch geschliffen wird.

Von besonderer Wichtigkeit ist beim Schleifen die Verhütung des Warmwerdens der Werkstücke, zu welchem Zwecke man der Schleifstelle reichlich Wasser zuführt, in einer Menge, die jede Erwärmung ausschließt. Um Rostbildung auf Werkstücken und Maschinen zu verhindern, setzt man dem Wasser 2—3⁰/₁₀ Soda zu.

Für die besonders starken Rundschleifmaschinen der Norton-Comp. prägte man seiner Zeit das Wort: „Schleifen ist billiger als Drehen“ und brachte bei geeigneten Werkstücken auch den Beweis dafür. Dies trifft jedoch bei Berücksichtigung aller Umstände (Kraftverbrauch, Schleifrad- und Diamantabnutzung) nur bedingt zu, und zwar nur dort, wo es sich um Abnahme verhältnismäßig geringer Spanmengen handelt. Trotzdem ist der große Fortschritt im gesamten Rundschleifen, zu dem obiges Wort den Anstoß gab, aufs freudigste zu begrüßen.

Dabei ist selbstverständlich so mancher eingewurzelte Grundsatz des Schleifens umgestoßen worden. Größere Schleifleistungen beim Schruppen verlangten gröberes Korn und größere Geschwindigkeit des Schleifrades und beim Schlichten mußte, um einen feinen Schleifstrich zu erhalten, ein sehr feiner Vorschub mit vorher erfolgtem Überdrehen des Schleifrades mittelst Diamant angewendet werden. Das ehemalige Universal-Schleifrad, das bei weichem wie bei hartem Material die Arbeit verrichtete, mußte ebenfalls verschwinden, und an seine Stelle traten besondere Schleifräder nicht nur für verschieden harte Materialien, sondern auch für die verschiedenen Durchmesser. Ebenso muß sich die Umdrehungszahl des Schleifrades nicht nur dessen Durchmesser anpassen, sondern auch für die verschiedenen Zwecke im großen Umfange verändern lassen. Endlich hat noch die Veränderung der Umfangsgeschwindigkeit des zu schleifenden Werkstückes eine große Bedeutung erlangt, so daß heute eine auf Vollkommenheit anspruchmachende Rundschleifmaschine, je nach Spitzenhöhe, 8—12 verschiedene Geschwindigkeiten ermöglichen muß.

Es wurde schon erwähnt, daß die Leistungsfähigkeit eines Schleifrades vor allem von seiner Umfangsgeschwindigkeit, d. h. von seiner

Umdrehungszahl abhängt. Da diese aber lange Zeit in vielen Staaten gesetzlich eingeschränkt waren, so ist es einigermaßen erklärlich, wenn wir darin beim Schleifen nur geringem Fortschritt begegnen. Für die beteiligten Kreise galt es einen langen, harten Kampf gegen alte Überlieferungen zu bestehen. Doch die neueren mit allen technischen Hilfsmitteln hergestellten Schleifräder haben ihre Feuerproben glänzend bestanden, so daß wir heute auf ganz andere Werte für ihre Beurteilung gekommen sind.

Eingehende Versuche über die Festigkeit von Schleifrädern hat Prof. M. Grübler in Dresden im Auftrage des Vereines deutscher Ingenieure angestellt¹⁾. Die Schleifräder verschiedener Herkunft wurden dabei in so hohe Umlaufzahlen gebracht, bis sie zersprangen. Die geringste Umfangsgeschwindigkeit war 64,72 m in der Sekunde, die höchste 114,21 m in der Sekunde. Auf Grund seiner umfangreichen Versuche empfiehlt Prof. M. Grübler bei einer sechsfachen Sicherheit folgende Geschwindigkeitsgrenzen:

Vegetabilische Bindung	=	40,14—78,03	m/sek.
Mineralische	„	=	34,80—71,90 „
Keramische	„	=	30,70—64,72 „

Als unterste Grenzen der Umfangsgeschwindigkeit (c), mit welchen man noch gute Schleifleistung erzielen kann, sind anzunehmen:

$c = 18—20$	m/sek.	für Naßschliff und mineralische Bindung,
$c = 20—22$	„	„ Pflanzenöl- und Gelatinebindungen,
$c = 22—24$	„	„ keramische Bindung,
$c = 24—26$	„	„ Gummibindung.

Den Bemühungen des Vereines deutscher Ingenieure ist es auf Grund dieser und weiterer von Prof. G. Schlesinger, Berlin, angestellter Versuche gelungen, eine Änderung der gesetzlichen Verfügung, nach welcher die Schleifräder nicht mehr als 16 m Umfangsgeschwindigkeit haben dürfen, zu bewirken, und wurde die obere Grenze für Maschinenschleifräder auf 35 m in der Sekunde festgesetzt. Für Schleifräder, an denen freihändig geschliffen wird, ist die Grenze auf 25 m festgelegt. Nachstehend sind die Änderungen der aufgestellten Grundsätze, betr. den Betrieb von Schmirgelscheiben, vom Jahre 1897 abgedruckt. Der die Änderungen betreffende Erlaß datiert vom 8. Oktober 1909.

Auszug aus den Grundsätzen, betr. den Betrieb von Schmirgelscheiben vom Jahre 1897. Änderungen lt. Erlaß vom 8. Oktober 1909.

VII. Die sekundliche Umlaufgeschwindigkeit der Schmirgelscheiben richtet sich nach ihrer Herstellungsweise, insbesondere nach den dabei verwendeten Bindemitteln.

Es ist darauf hinzuwirken, daß die Fabrikanten von Schmirgelscheiben nur solche Scheiben in den Verkehr bringen, deren Widerstandsfähigkeit durch

¹⁾ M. Grübler, Versuche über die Festigkeit von Schmirgel- und Karborundumscheiben Z. d. V. d. I. 1903, S. 195.

fortlaufende geeignete Proben geprüft ist und daß die vom Fabrikanten hier- nach und nach Maßgabe seiner Erfahrungen als zulässig angesehene Umlauf- zahl, die Art der Bindung des Steines (durch vegetabilische, keramische oder mineralische Bindemittel), die Abmessungen der Scheibe und die Firma des Fabrikanten oder dessen Schutzmarke in deutlicher und dauerhafter Weise auf jeder Scheibe bezeichnet sind.

Es ist ferner darauf hinzuwirken, daß die Schmirgelscheiben mit einer ge- ringeren als der vom Fabrikanten als zulässig bezeichneten Umlaufzahl in Be- trieb genommen werden, um Schwankungen in der Umlaufzahl der Betriebs- maschine Rechnung zu tragen.

Den Betriebsunternehmern ist anzuraten, im Betriebe die nachstehenden sekundlichen Umfangsgeschwindigkeiten nicht zu überschreiten:

bei Scheiben mit mineralischer Bindung	15 m,
bei Scheiben mit vegetabilischer und keramischer Bin- dung und bei Zuführung des Arbeitsstückes mit Hand (Handscheifmaschine)	25 m,
bei Scheiben mit vegetabilischer und keramischer Bindung und bei mechanischer Zuführung des Arbeitsstückes (Supportscheifmaschine)	35 m.

Bei Nachweis eines entsprechend hohen Probelaufs und bei besonders starken Schutzvorrichtungen kann in Ausnahmefällen bei Supportscheifmaschinen bis zu 50 m/sek. Umfangsgeschwindigkeit gegangen werden. Fällen, in denen dies geschieht, haben jedoch die Gewerbeaufsichtsbeamten ihre besondere Aufmerk- samkeit zuzuwenden und auch ihrerseits zu prüfen, ob die Voraussetzungen für die Zulassung einer solchen Umfangsgeschwindigkeit tatsächlich erfüllt sind.

Scheiben mit mineralischer Bindung dürfen nur zum Trockenschleifen Ver- wendung finden.

Scheiben, welche keine Bezeichnung seitens des Fabrikanten über Bindung und Umlaufzahl tragen, dürfen nur mit höchstens 15 m/sek. Umfangsgeschwindig- keit betrieben werden.

Elektrische Antriebsmaschinen sind so anzuordnen, daß ihre Umlaufzahl der Art der Schmirgelscheiben angepaßt werden kann.

Bei Schmirgelmaschinen mit Stufenscheiben hat der Betriebsunternehmer durch Anschlag möglichst in der Nähe der Maschine die Arbeiter darüber auf- zuklären, auf welche Scheiben der Riemen je nach der Größe der Schmirgel- scheiben aufzulegen ist, bei elektrischen Arbeitsmaschinen, welche Schaltung der zulässigen Umfangsgeschwindigkeit entspricht.

X. Die vorstehenden Grundsätze sind auf alle künstlichen Schleifscheiben, welche aus künstlichen oder natürlichen Schleifmitteln (wie Karborundum, Korundum, Alundum, Korubin, Elektrorubin, Karbolisite u. a. m., mit Ausschluß der Sandsteine) mit Bindemitteln hergestellt sind, sinngemäß zur Anwendung zu bringen.

In nachstehender Tabelle sind für die vorkommenden Schleifrad- durchmesser für bestimmte Umfangsgeschwindigkeiten die erforderlichen Umlaufzahlen angegeben.

b. Das Rundschleifen der Fräser und die dazu erforderlichen Schleifmaschinen.

Das Rundschleifen der Fräser bezweckt die Beseitigung der durch das Härten hervorgerufenen Ungenauigkeiten. Der Sitz und die Anlage- flächen müssen genau passend geschliffen werden. Da es sich hierbei

Tabelle für die Umlaufzahlen der Schleifräder.

c = Umfangsgeschwindigkeit in m/sek.

Schleif- rad- \varnothing	c = 18	c = 20	c = 22	c = 24	c = 26	c = 28	c = 30	c = 32	c = 34	c = 36
30	11 500	12 700	14 000	15 200	16 500	17 800	19 000	20 400	21 600	22 900
40	8 600	9 600	10 460	11 400	12 400	13 450	14 400	15 280	16 250	17 700
50	6 900	7 640	8 400	9 100	10 000	10 700	11 450	12 250	12 980	13 670
60	5 750	6 360	7 000	7 600	8 280	8 900	9 550	10 180	10 820	11 430
75	4 600	5 100	5 600	6 100	6 600	7 100	7 650	8 130	8 650	9 180
80	4 200	4 800	5 230	5 700	6 200	6 700	7 200	7 650	8 120	8 610
100	3 420	3 820	4 200	4 580	5 000	5 350	5 720	6 120	6 490	6 880
120	2 870	3 200	3 500	3 820	4 140	4 450	4 775	5 080	5 410	5 720
125	2 740	3 060	3 360	3 680	3 960	4 300	4 600	4 880	5 180	5 480
150	2 300	2 550	2 800	3 060	3 300	3 550	3 800	4 060	4 325	4 580
175	1 960	2 180	2 400	2 610	2 820	3 030	3 280	3 490	3 710	3 935
200	1 720	1 910	2 100	2 290	2 480	2 690	2 860	3 060	3 250	3 440
225	1 530	1 700	1 870	2 040	2 200	2 380	2 500	2 720	2 890	3 060
250	1 370	1 530	1 680	1 840	1 980	2 140	2 300	2 440	2 590	2 750
300	1 150	1 275	1 400	1 525	1 650	1 775	1 900	2 040	2 160	2 290
350	980	1 090	1 200	1 310	1 420	1 550	1 640	1 745	1 845	1 970
400	860	954	1 080	1 145	1 240	1 345	1 430	1 525	1 625	1 720
450	765	850	935	1 020	1 100	1 200	1 270	1 355	1 440	1 525
500	690	764	840	917	995	1 070	1 150	1 223	1 288	1 375
550	625	695	765	835	900	975	1 040	1 110	1 180	1 250
600	570	635	700	765	825	890	950	1 020	1 085	1 125
700	490	550	600	650	710	770	820	875	925	980
800	430	480	525	570	620	670	715	785	810	860
900	380	425	465	510	550	600	635	678	720	763
1000	340	380	420	460	495	535	572	612	648	683
1200	285	320	350	385	415	445	475	508	532	573
1800	230	255	280	300	330	360	380	408	435	458

nur um die Abnahme sehr geringer Materialmengen handelt, wird man natürlich von anderen Voraussetzungen ausgehen müssen, als man es sonst bei den Schleifarbeiten gewohnt ist. Genaues Schleifen, ohne den Fräser zu erwärmen, ist hier die Grundbedingung.

Beim Ausschleifen der Fräserbohrungen ist hauptsächlich auf eine zweckmäßige Einspannvorrichtung Wert zu legen. Das meist gebräuchliche Dreibackenfutter stellt durchaus nicht das Ideal der gedachten Vorrichtung dar. Die Einfütterung am Fräserumfang durch Klemmhülsen usw. (Abb. 108 und 109) soll hier bestens empfohlen werden. Das zum Ausschleifen verwendete Schleifrädchen muß sehr weich und von mittlerer Korngröße sein. Ein Blick auf die Abb. 110 und 111 wird erkennen lassen, daß die sehr viel größere Berührungsstelle beim Innenschleifen eine andere Behandlung erfordert als beim Außenschleifen.

Vielfach wird der Fehler gemacht, die Größe des Schleifrädchens nur um ein geringes kleiner zu wählen als die Fräserbohrung beträgt. Dies ist nicht nur aus dem schon genannten Grunde der zu großen Schleifstelle verwerflich, sondern auch wegen des Festbrennens des abgenommenen Materials nicht zulässig.

Eine stetig größer werdende Bedeutung haben die allgemeinen Rundschleifmaschinen erlangt. Nicht nur in der Werkzeugfertigung.

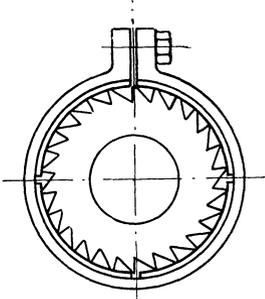


Abb. 108.

Klemmhülse zum Fräterschleifen.

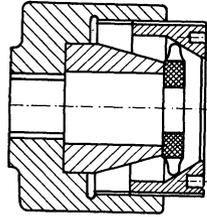


Abb. 109.

Klemmfutter zum Fräterschleifen.

sondern auch in der Massenfertigung, im allgemeinen und Werkzeug-

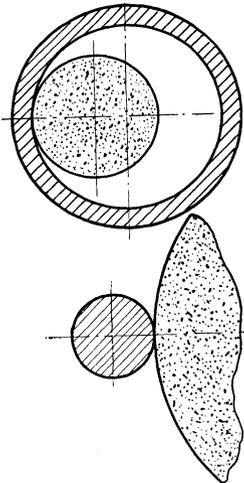


Abb. 110 und 111.

Der Innen- und Außen-
schliff.

Maschinenbau sind dieselben unentbehrlich geworden, um die verschiedenlichen Teile in einer auf der Drehbank nicht mehr zu erreichenden Genauigkeit und Schnelligkeit fertigzustellen. Während man früher die Rundschleifmaschine fast ausschließlich zur Fertigstellung gehärteter Maschinenteile und Werkzeuge benutzte, macht sie heute überall dort, wo es sich um die Abnahme verhältnismäßig geringer Spanmengen und um die Fertigbearbeitung roh vorgeschruppter Teile handelt, der Drehbank mit Erfolg den Rang streitig; dort hat das geflügelte Wort: „Schleifen ist billiger als Drehen“, seine volle Berechtigung. Den höher gestellten Anforderungen entsprechend, sind auch die neueren Maschinen wesentlich stärker und zweckmäßiger gebaut.

Die eine Rundschleifmaschine charakterisierenden Bestandteile sind: 1. eine Einspannvorrichtung mit Antriebsvorrichtung für die Werkstücke; 2. eine Schleifradanordnung; 3. ein hin und her gleitender Schlitten, der entweder die Einspannvorrichtung für das zu schleifende Werkstück oder die Schleifradanordnung trägt; 4. eine Beistellvorrichtung des Schleifrades gegen das Werkstück.

Man unterscheidet noch Einfach- und Universal-Rundschleifmaschinen. Die Einfach-Rundschleifmaschine wird zweckmäßig immer dort Verwendung finden, wo es sich nur um die Bearbeitung zylindrischer oder schlankkonischer Teile handelt und wo es auf besonders hohe Spanleistungen ankommt. Zur Herstellung und Instandhaltung von Fräsern und anderen Werkzeugen ist die Universal-Rundschleifmaschine zweckmäßiger. Die Universalmaschinen sind durchweg mit Innenschleifvorrichtungen ausgerüstet. Durch die drehbare Anordnung des Werkstückspindelstockes und der Schleifradanordnung lassen sich alle Kegel und auch ebene Flächen bearbeiten. Rundschleifmaschinen bis zu einer Schleiflänge von 1,500 m werden, der besseren Schleifradlagerung wegen, fast immer mit feststehendem Schleifspindelstock und hin und her gehendem Werkstückträger ausgeführt. Wo es der Raum zuläßt, ist dieser Anordnung noch bis zu einer Schleiflänge von 2,500 m der Vorzug zu geben. Größere Längen werden fast ausschließlich mit hin und her gehenden Schleifrad Schlitten ausgeführt, da die andere Anordnung infolge des großen Auslaufes einen wesentlich größeren Raum beansprucht und infolge des längeren Bettes und größeren Gewichtes auch bedeutend teurer wird.

Die Universal-Rundschleifmaschine der Naxos-Union,
J. Pfungst in Frankfurt a. M.

Eine gut durchgebildete, allen Anforderungen einer modernen Werkzeugmacherei entsprechende Universal-Rundschleifmaschine ist in den Abb. 112—122 dargestellt. Der Werkstückspindelstock und der Reitstock sitzen verschiebbar auf dem, zum Kegelschleifen, schwenkbar angeordneten Obertisch und sind an jeder Stelle festzuklemmen. Durch die schräge Anordnung der Klemmschrauben (siehe x , Abb. 116) legen sich die Stöcke stets dicht an die genau abgerichtete Kante y des Obertisches, wodurch in jeder Stellung genaueste Übereinstimmung der Spitzenmitten gewährleistet ist. Der Werkstückspindelstock kann auf einer Grundplatte zum Planschleifen von Scheibenfräsern usw. bis über 90° gedreht werden. Er ist mit einer, dem Durchmesser der Werkstücke entsprechenden, auswechselbaren Mitnehmerscheibe z_1 versehen, die auf einer Leerlaufscheibe läuft, wodurch ermöglicht wird, daß bei der Spitzenarbeit stets beide Spitzen fest stehen — das Schleifen zwischen toten Spitzen. Bei den Futterarbeiten läuft die Spindel mit, wobei der Antriebsriemen auf die hinten gelegene, feste Scheibe z_2 gebracht wird, vgl. Abb. 113.

Die Abb. 115 zeigt einen Schnitt durch die Schleifspindellagerung. Die gehärtete Schleifwelle läuft in Bronzelagerbüchsen, die zum Nachstellen außen konisch und geschlitzt sind. Die beiden Ölkammern o_1 o_2 für Ringschmierung sind durch einen Kanal verbunden.

Aus Abb. 115 und 116 ist die Übertragung der Beistellbewegung auf den Schleifrad Schlitten von Welle v_1 auf Schnecke v_2 , Rad v_3 , Ritzelwelle v_4 auf Zahnstange w des Schleifsupportes ersichtlich.

Außerdem zeigt dieser Querschnitt den systematisch durchgeführten Wasserschutz aller Gleitflächen (D. R. P. Nr. 217604). Er besteht im wesentlichen darin, daß unterhalb aller Gleitflächen ein dünner Spalt mit darüberliegender Aussparung angeordnet ist. In diesem dünnen Spalt bleibt das irgendwie eintretende Wasser dauernd hängen und bildet so einen Wasserverschluß. Da die darüber liegende Aussparung die Kapillarattraktion ausschließt, ist das Vordringen des Wassers bis zu den Gleitflächen absolut ausgeschlossen.

Für die Tischbewegung sind 12 Geschwindigkeiten vorgesehen. Der Antrieb erfolgt über die Kegelräder $a_1 a_2$, den Rädern $b_1 b_2 b_3$ des Wende-

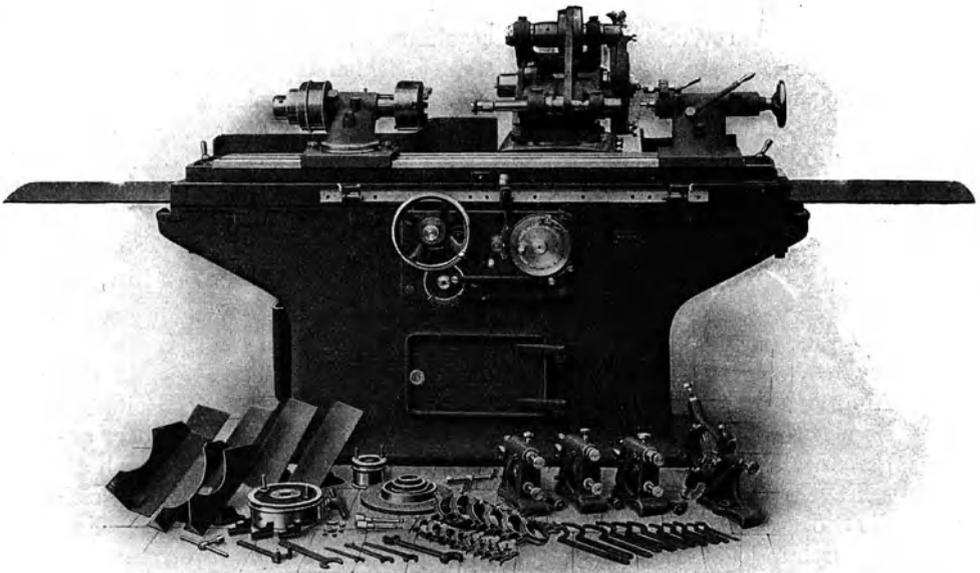


Abb. 112. Die Naxos-Union-Universal-Rundschleifmaschine.

getriebes, der Schnecke c , dem Schneckenrad d , den Stirnrädern $e e_1 e_2$ oder $e_3 e_4$ auf das Zahnstangenritzel f , das Zahnstange g treibt.

Zum raschen Umschalten von der langsamen Schruppgeschwindigkeit auf die höhere Schlichtgeschwindigkeit und umgekehrt dient der Schiebekeil i , der durch den Knopf h verschoben wird. Außerdem dient das Handrad k zum Verschieben des Tisches von Hand. Die Umschaltung vom Selbstgang auf das Handrad geschieht durch Winkelhebel l , Abb. 119.

Das Handrad wird während des Selbstganges entkuppelt, indem es nach außen gerückt wird. Beim Selbstgang des Tisches geschieht die Hubbegrenzung und Umsteuerung durch Böckchen $m_1 m_2$, die den

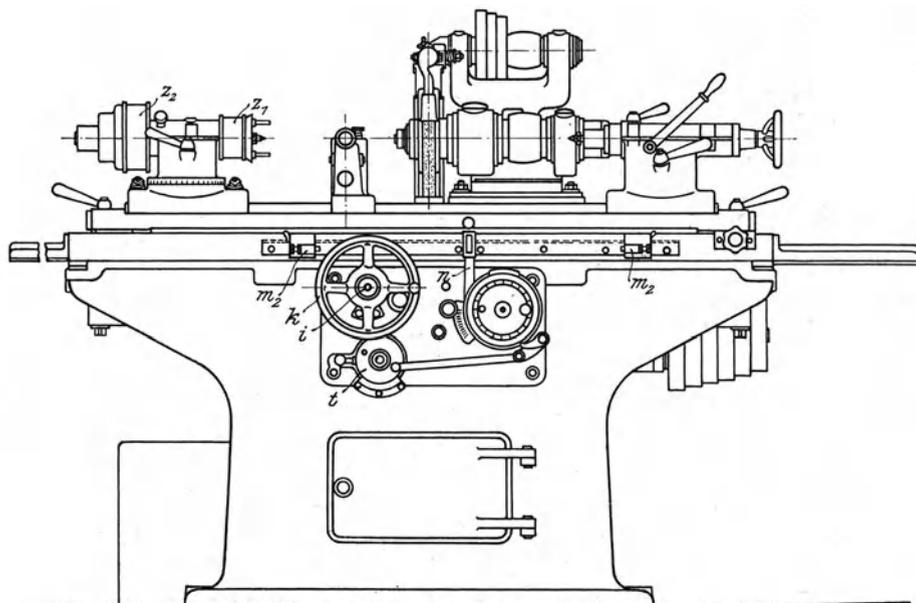


Abb. 113. Vorderansicht.

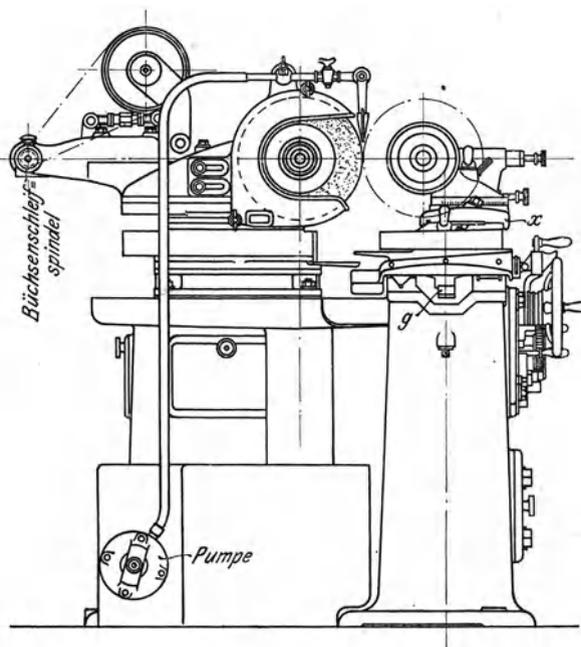


Abb. 114. Seitenansicht.

Umsteuerhebel n (Abb. 113) betätigen. Durch die in Abb. 118 dargestellte Sperrklinkenanordnung ist eine äußerst präzise Umsteuerung erreicht, so daß an Ansätze und Bunde dicht herangeschliffen werden

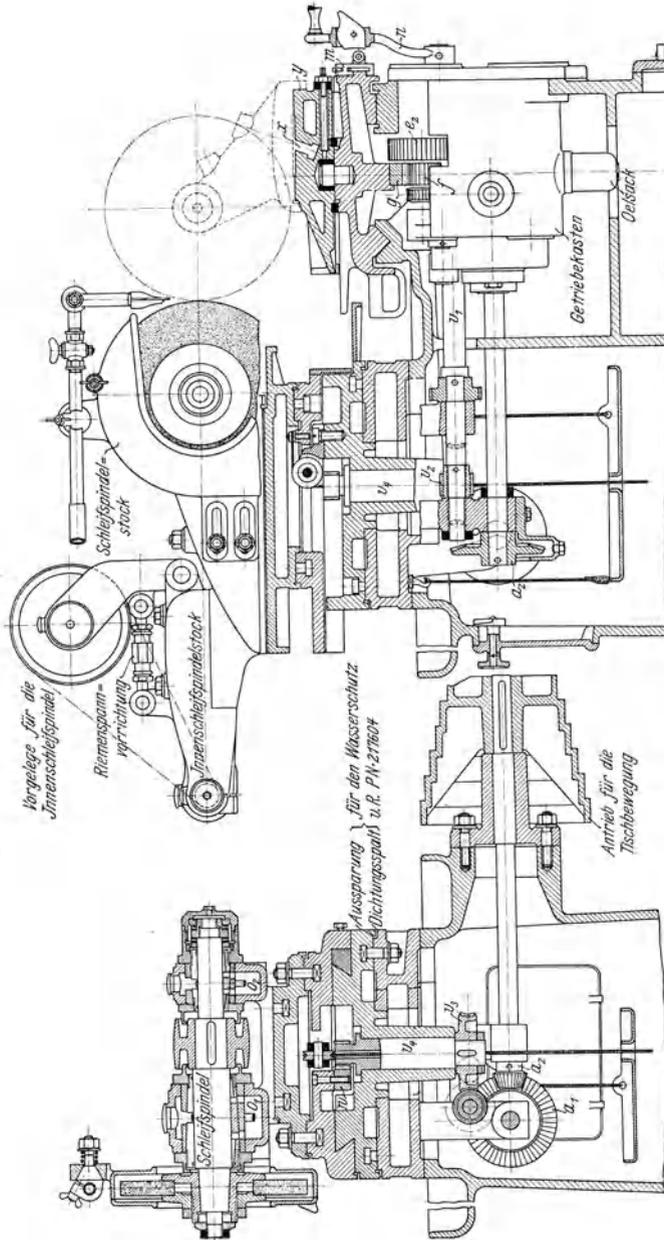


Abb. 115 und 116. Schnitt durch Schleifspindel, Supporte und Arbeitstisch.

kann. Es wird dies dadurch erzielt, daß die Klinken p_1 p_2 durch die Anschlagsschrauben q_1 q_2 erst ausgelöst werden, wenn die Feder in den jeweilig zum Anschlag kommenden Puffer r_1 r_2 vollständig gespannt ist.

Um die plötzliche Umkehr des Getriebes nicht auf die Tischbewegung zu übertragen, haben die Zähne der zwischen d und c_1 liegenden Kupplung s (vgl. Abb. 119 und 120) entsprechendes Spiel. Der Tisch setzt sich erst in Bewegung, wenn die Beistellung des Schleifrades erfolgt ist. Die Schleifradbeistellung wird unabhängig von den Umsteuermechanismen durch

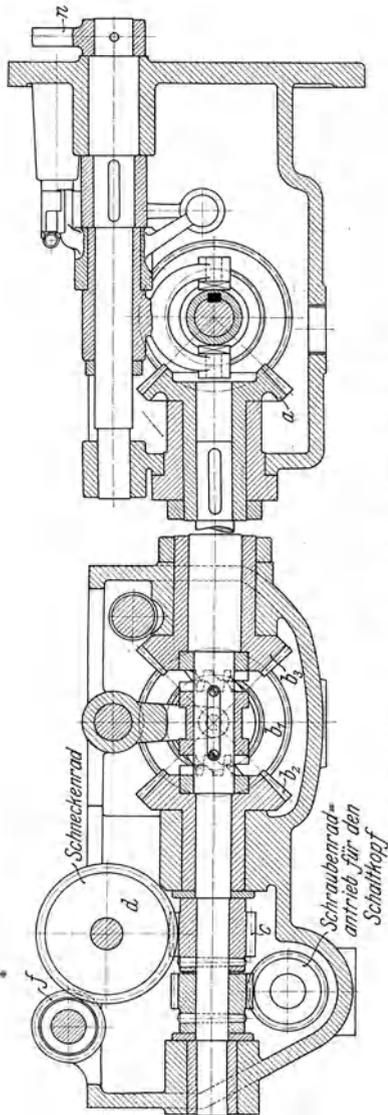


Abb. 117. Schnitt durch das Umkehrgetriebe.

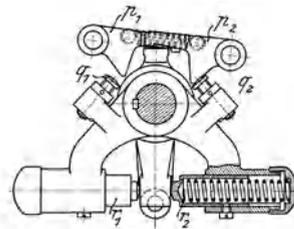


Abb. 118. Sperrklinkenanordnung für Umsteuerung.

den bei jedem Hubwechsel in Tätigkeit tretenden Schaltkopf t betätigt. Durch Riegel u kann der Schaltkopf auch nach jeder halben Drehung ausgeschaltet werden. Es läßt sich dadurch die Beistellung sowohl bei jedem Hubwechsel als auch bei jedem zweiten, und zwar beliebig, rechts oder links erfolgend, einstellen. Durch die in Abb. 121 dargestellte patentierte Schaltwerksanordnung kann die jeweilige Beistellung in den Gren-

zen von 0,0025—0,1 mm eingestellt werden. Die Einstellung geschieht am Knopf K und es kann die Größe an der Skalascheibe S abgelesen werden. Außerdem ist eine Endabstellung vorgesehen, die sich innerhalb eines Millimeters durch den Skalaring R auf jede Größe (von

0,005—1,00 mm) einstellen läßt. Durch Bajonettchiefer *B* kann Skalaring *R* in der Nullstellung fixiert werden. Durch Niederdrücken des

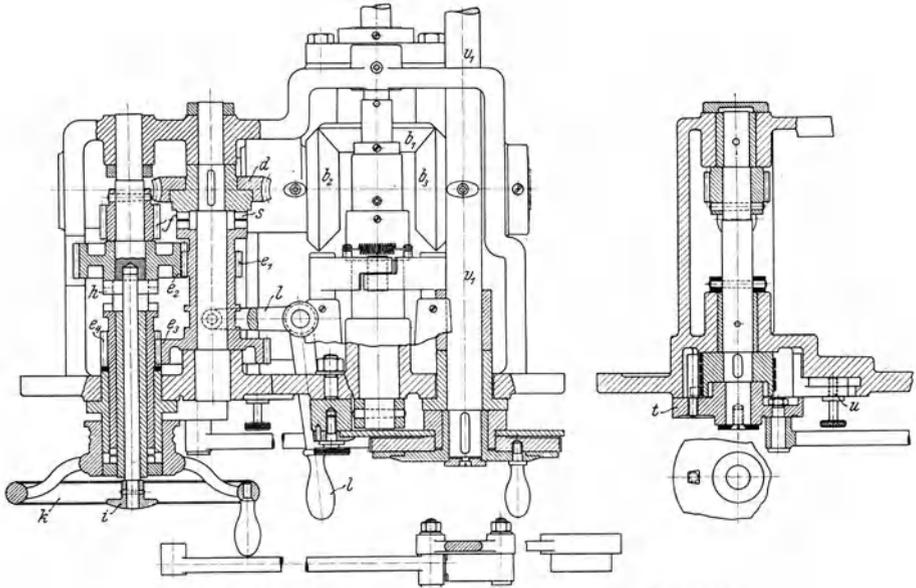


Abb. 119.

Abb. 120.

Schnitte durch den Antriebsräderkasten.

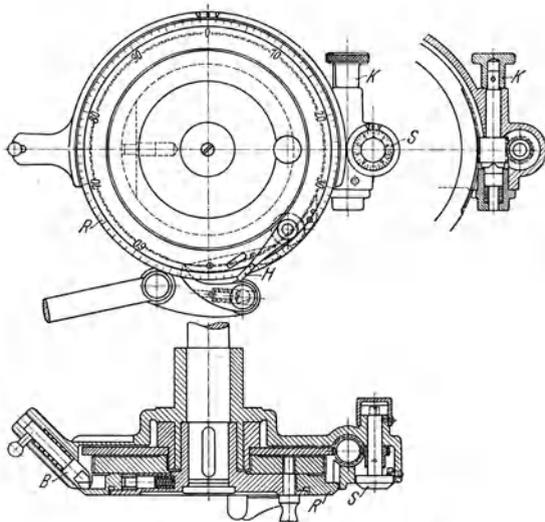


Abb. 121. Die Schaltwerksanordnung.

Fingerhebels H läßt sich dann eine präzise Feinbeistellung von 0,0025 mm von Hand ermöglichen.

Die Abb. 122 zeigt die Lagerung für die Innenschleifspindel a , der durch das Vorgelege bis 14 000 Umdrehungen minutlich erteilt werden können. Erwähnenswert ist nicht nur die vorzügliche Lagerung b_1 b_2 b_3 , sondern auch die mit besonderer Sorgfalt ausgebildete Ölversorgung und Ölabdichtung. So ist auch die Anlaufscheibe c , die die Schleifspindel

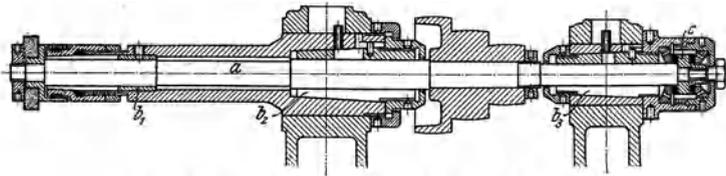


Abb. 122. Schnitt durch die Innenschleifspindel.

seitlich in ihrer Stellung hält, mit einer gut durchdachten Schmierung versehen.

c. Das Schärfen der Fräser und die dazu erforderlichen Fräuserschärfmaschinen.

Das Schärfen der Fräser geschieht ausschließlich auf den bekannten Fräuserschärfmaschinen. Wenn schon bei einfachen Werkzeugen von der richtig geschliffenen Schneidspitze das Arbeitsvermögen abhängt, so gilt dieser Satz noch in verstärkterem Maße für das vielschneidige Fräserwerkzeug. „Oft schärfen“ tragen deshalb die meisten Fräser als Stempel aufschlag, was eine ernste Mahnung für den Werkzeugmacher und Arbeiter sein soll. Auf wie verschiedenen Boden sie fällt, kann dem Fachmann, der Gelegenheit hat, die Fräsereibetriebe kennen zu lernen, kaum verborgen geblieben sein, wenn er neben gut eingerichteten Werkzeugstuben, die erfreulicherweise immer mehr die Oberhand gewinnen, noch solche antrifft, in denen man noch nicht die einfachsten Einrichtungen richtig anzuwenden versteht. Nicht, daß es etwa an den Einrichtungen selbst mangelte. Nein! Ohne Fräuserschärfmaschine wäre man ja ganz und gar rückständig; sie ist meist früher da als die erste Fräsmaschine. Nur kommt niemals ein gut geschliffener Fräser von ihr herunter.

Diesen Übelstand hat man auch seit langem erkannt und von verschiedenen Seiten die Lösung dieser Frage versucht. Wie so oft wird dabei am falschen Ende angefangen. Es ist ja auch eine sehr bequeme Entschuldigung, den mangelhaften Fräuserschärfmaschinen die Mißerfolge zuzuschreiben. Und so sehen wir die Vervollkommnung der Maschinen kräftig weiter schreiten, sehen sie einen Handgriff nach dem andern dem Schleifarbeiter abnehmen und erhoffen stetig ein Besserwerden des Ganzen.

Dies muß ein frommer Wunsch bleiben, wenn nicht das Grundübel mit Fleiß und Geschick energisch ausgerottet wird. Wenn wir bei dieser Frage einen Rückschluß auf die Lehren großer Fräsereibetriebe ziehen wollten, kämen wir zu ganz interessanten Ergebnissen.

Der hochentwickelten Werkstatt-Technik Amerikas darf man wohl nachrühmen, sorgfältig abzuwägen, auf welchen Gebieten die selbsttätige Werkzeugmaschine erfolgreich sein könnte. Darum ist es für uns recht lehrreich, beobachten zu müssen, daß gerade Amerika mit recht einfachen Fräuserschärfmaschinen arbeitet und dabei so große Erfolge erntet. Das große Geheimnis ist dort nichts weiter als die Heranbildung einer geschulten Arbeiterschar für das Fräuserschärfen, die Verständnis für die Arbeitsweise des Fräusers hat und dementsprechend in erster Linie bedacht ist, ihn mit allen seinen Schneidzähnen Arbeit verrichten zu lassen.

Hiermit haben wir den Kernpunkt der ganzen Frage getroffen: Daß wir ohne die manuelle Geschicklichkeit nicht auskommen und daß die vorzüglichsten und hochbezahltesten Arbeiter gerade gut genug sind, die teureren Fräser zu schärfen. Wir müssen ferner fordern, daß schon der Konstrukteur den Grund zum richtigen und schnellen Schärfen legt, indem er sich von der Erwägung leiten läßt, daß nicht die beabsichtigte Anzahl der Zähne für die Teilung der abgenommenen Spanmengen in Frage kommt, sondern die Anzahl der wirklich schneidenden Zähne.

Bei den Profilfräsern oder auch den Fräsern mit verschiedenen großen Durchmessern, die sich im allgemeinen schwierig schärfen lassen, ist es zweckmäßiger, ihnen eine geringe Anzahl Zähne zu geben, die richtig geschärft werden können, als etwa die doppelte Zähnezahl, von der man im voraus weiß, daß nur die Hälfte davon arbeiten wird.

Fragen wir uns, auf welche Weise wir es ermöglichen können, daß der Fräser mit allen Schneidzähnen arbeite, so läßt sich folgendes antworten. Zunächst für rundlaufende Fräsdorne und selbstverständlich ebensolche Schleifdorne sorgen. Dabei versteht es sich von selbst, daß die Supportführungen der Schärfmaschine in bester Ordnung sein müssen, da sonst ebenfalls alle Mühe vergebens wäre. Sodann ist das Wichtigste, eine kräftige unverrückbare Zahnanlage zu schaffen, gegen die sich der zu schärfende Fräserzahn sicher legen kann. Die Zahnanlage oder den Stellfinger in einen Nachbarzahn einzulegen — siehe punktierte Stellung in Abb. 123 — ist grundfalsch und wird stets einen unrundlaufenden Fräser ergeben.

Werden beim Schärfen diese Gesetze erfüllt, so wird sich bald beim Fräsen ihr Einfluß bemerkbar machen. Geringerer Kraftverbrauch, größere Leistung und sauberere Arbeit wird der aufgewendeten Mühe Preis sein.

Der Fräser muß rundlaufen und mit allen seinen Zähnen gleichmäßig schneiden. Daß diese Forderung auch auf den einfachsten Maschinen erfüllt werden kann, sei hiermit nochmals mit allem Nachdruck hervor-

gehoben. Damit soll aber keineswegs gegen die Vervollkommnung der Schärfmaschinen im allgemeinen gesprochen sein. Die Profilverfräser, namentlich die Schneckenrad- und Wälzfräser und die hinterdrehten Fräser, drängen danach hin, weil ihre richtige Schärfung mit einfachen Zahnstützen unmöglich oder zum mindesten sehr beschwerlich und zeitraubend ist.

Ebenso wie die Zahnformen der gerieften und hinterdrehten Fräser wesentlich voneinander abweichen, ist auch ihre Schärfung eine grundverschiedene. Man hat deshalb wohl zu unterscheiden:

- das Schärfen der gerieften Fräser und
- das Schärfen der hinterdrehten Fräser.

Das Schärfen der gerieften Fräser besteht in der

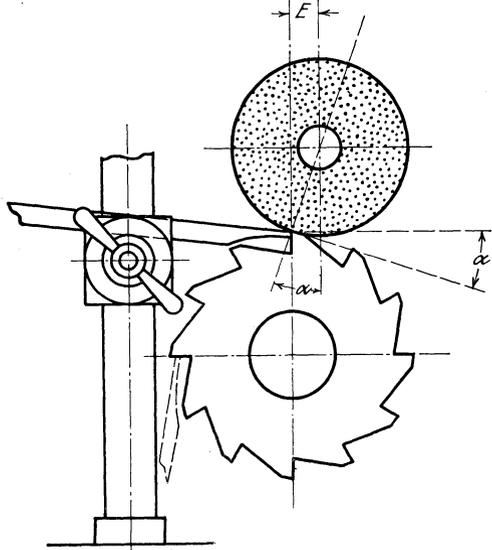


Abb. 123. Die richtige und falsche Stellung-Anordnung.

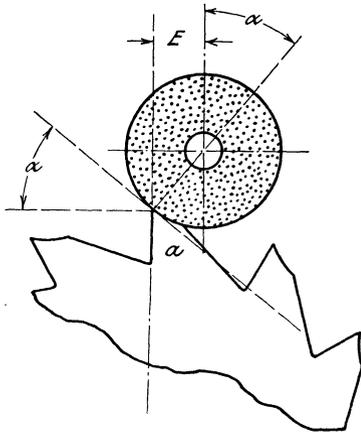


Abb. 124. Das Schärfen mit der Peripherie des Schmirgelrädchens.

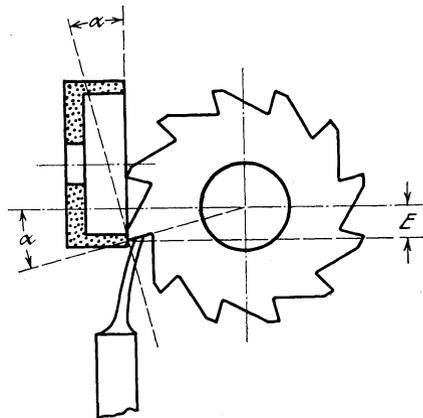


Abb. 125. Das Schärfen mit der Topfschale.

Erzeugung einer schneidfähigen Kante an den Fräserzähnen und kann auf zwei Arten erfolgen:

1. nach Abb. 123 u. 124 mit der Peripherie der Schmirgelrädchen,
2. nach Abb. 125 mit einer sog. Topfschale.

Die erstere Art des Fräferschärfens hat den Nachteil, daß der Zahn *a* (Abb. 124) in einen nach innen gekrümmten Kreisbogen ausläuft, wodurch er geschwächt wird. Es sei denn, man stellt das Schleifradchen schräg zur Fräserachse.

Dagegen erhält der Fräser beim Schärfen mit der Topfschale, Abb. 125, eine widerstandsfähigere Schneidkante. Leider kann sie nur beim Schärfen von Fräsern mit geraden Schneidflächen angewendet werden. Da jedoch gegenwärtig fast alle Profilfräser hinterdreht werden, kommt dieser Nachteil nicht in Frage. Beim Schärfen mit der Topfschale ist die Art des Schleifangriffes von großer Wichtigkeit, und zwar darf nur eine Seite der Topfschale schleifen. Dies wird erreicht, wenn die Schleifwellenachse nicht ganz senkrecht zu dem zu schleifenden Fräser liegt. Zugleich muß der Schliff von der schneidenden Kante des Zahnes nach dessen Rücken erfolgen. Es wird dadurch eine schnittfähige und scharfe Schneidkante erzielt und das Gratbilden vermieden.

Tabelle der Einstellmaße.

Durchmesser = 2 r mm	Einstellmaß E in Millimeter für einen Anstellwinkel von						
	3°	4°	5°	6°	7°	8°	10°
20	0,5	0,7	0,9	1,0	1,2	1,4	1,7
25	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,7	2,2
30	0,8	1,0	1,3	1,6	1,8	2,1	2,6
35	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	3,0
40	1,0	1,4	1,7	2,1	2,4	2,8	3,5
45	1,2	1,6	2,0	2,4	2,7	3,1	3,9
50	1,3	1,7	2,2	2,6	3,0	3,5	4,3
60	1,6	2,1	2,6	3,1	3,7	4,2	5,2
70	1,8	2,4	3,0	3,7	4,3	4,9	6,1
80	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	7,0
90	2,4	3,1	3,9	4,7	5,5	6,2	7,8
100	2,6	3,5	4,4	5,2	6,1	7,0	8,7
120	3,1	4,2	5,2	6,3	7,3	8,4	10,4
150	3,9	5,2	6,5	7,8	9,1	10,2	13,0
180	4,7	6,3	7,8	9,4	11,0	12,3	15,6
200	5,2	7,0	8,7	10,5	12,2	13,9	18,4
250	6,5	8,7	10,9	13,1	15,2	17,4	21,7
300	7,9	10,5	13,1	15,7	18,3	20,1	26,1

Der Hinterschliff bzw. der Anstellwinkel α ändert sich mit dem Einstellmaß E (vgl. Abb. 124 u. 125). Das Einstellmaß E ist beim Schärfen mit der Peripherie nach Abb. 124 vom Durchmesser des Schleifrades und beim Schleifen mit der Topfschale nach Abb. 125 vom Durchmesser des Fräfers abhängig. Unter Bezugnahme auf die Abbildungen ergibt sich das Einstellmaß in beiden Fällen aus

$$E = r \cdot \sin \alpha$$

wobei, wie schon gesagt, für r im ersten Fall der Radius des Schleifrades, im zweiten Fall der Radius des Fräasers einzusetzen ist. In vor-

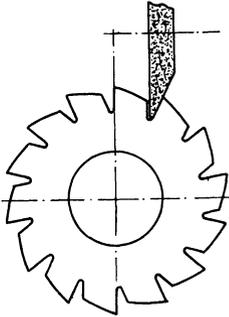


Abb. 126. Das Schleifen hinterdrehter Fräser an der Zahnbrust.

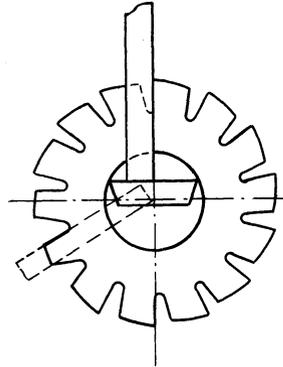


Abb. 127. Die ältere Schleiflehre.

stehender Tabelle sind die Einstellmaße für verschiedene Durchmesser und Anstellwinkel zusammengestellt.

Das Schärfen der hinterdrehten Fräser besteht nur im Nachschleifen der vorderen Zahnbrust, Abb. 126, und vollzieht sich infolgedessen höchst einfach. Zu beachten ist dabei, daß die Zahnbrust stets im radialen Sinne nach geschliffen wird, damit nicht Zahnformen wie in Abb. 127

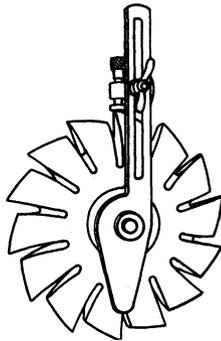


Abb. 128.

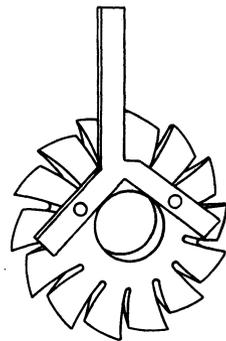


Abb. 129.

Die neueren Schleiflehren.

— siehe punktierte Lehre — entstehen. Um diesen Fehler zu vermeiden, muß man sich bei dem Schärfen der hinterdrehten Zähne einer Schleiflehre bedienen, deren Schenkel genau die radiale Linie angibt.

In Abb. 127 ist eine solche Lehre ersichtlich, deren punktierte Stellung an einem falsch geschliffenen Zahn anliegt. Eine neue Schleiflehre von Reinecker gibt die Abb. 128 wieder. Sie dient außer dem vorgenannten Zwecke auch zum genauen Nachmessen der Zähne und kann man mit ihr die gleichmäßige Höhe der letzteren nachprüfen. Die Anwendung der vorbeschriebenen Lehren setzt natürlich voraus, daß die Bohrungen der Fräser frei sind. Die Jurthesche Lehre (Abb. 129), erfordert dagegen keine freie Bohrung, da sie an dem Dorne, auf welchem der Fräser sitzt, angeschlagen werden kann. Zum Ablehren von der Fräserbohrung aus dienen zwei Ansätze; sie werden jedoch nur beim Schärfen von Hand und bei einer etwaigen Kontrolle in Betracht kommen.

Wie bereits oben erwähnt, ist beim Schärfen mit den Stellfinger-
richtungen auf ihre richtige Anwendung der größte Wert zu legen.

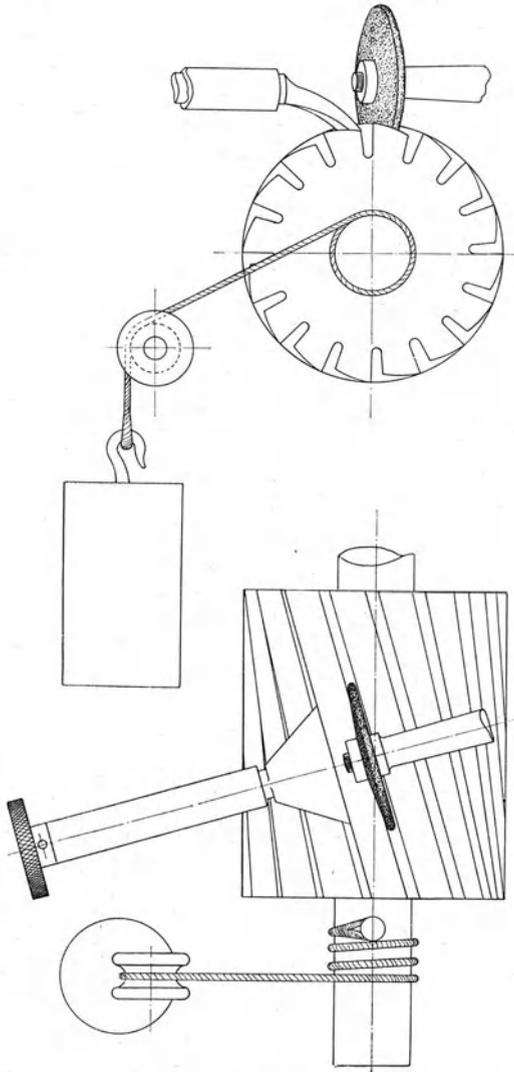


Abb. 130. Der durch Gewichte an den Stellfinger
gezogene Fräser.

Der zu schärfende Zahn muß sich fest und sicher anlegen können. Dieser Forderung kann aber nur beim gerieften Fräser entsprochen werden, in-
folgedessen dürfte der hinterdrehte Fräser eigentlich nur mittelst Teil-
apparate geschärft werden. Es wird dabei von folgenden Erwägungen
ausgegangen:

Um den Fräser schnell zu schärfen, ohne einzelne seiner Schneid-
zähne der Gefahr des Ausglühens auszusetzen, ist es nötig, ihn nach
jedem Durchschliff um einen Zahn weiterzu-
teilen, wobei die Schleif-
stärke — sichtbar an
der Funkenbildung des
Schleifrädchens — genau
die gleiche sein muß. Da
sich beim Härten immer
einzelne Zähne verziehen
werden, wird ihre Teil-
lung nicht mehr so genau
sein, daß beim Schärfen
eines Zahnes die Anlage,
d. h. die Fixierung von
einem Nachbarzahn, er-
folgen kann. Ein auf diese
Weise geschärfter Fräser

wird erstens nicht rund
sein, und zweitens wird
das Schleifrädchen bei
einem Zahn zu viel abschleifen, so daß er von der Schleifhitze aus-
glühte und beim andern zu wenig, so daß die Schneide stumpf bliebe.

Der hinterdrehte Fräser hat nun einen nur wenig abfallenden Rücken, gegenüber einer Kreisbahn. Und ein verschieden starker Abschleiß an zweien seiner Zähne wird einen so verschwindend kleinen Durchmesserunterschied ergeben, daß man praktisch kaum von einem mehr oder weniger vorstehenden Zahn reden könnte.

Dagegen fällt beim hinterdrehten Fräser die Schleifstärke ganz erheblich ins Gewicht. Bei der oftmals sehr hohen Zahnform ergeben sich große Schleifflächen, wodurch sehr leicht ein Ausglühen eintreten kann.

Es wurde schon angedeutet, daß wir zur Fixierung der Zahnstellung die Stellfingervorrichtungen bei einfachen und die Teilapparate bei vollkommeneren Schärfmaschinen vorfinden.

Da es sich bei den ersteren um ein loses Gleiten oder Anlegen am Fräferschneidzahn handelt, so sind noch die Mittel zum gleichmäßigen „Zahndrücken“ zu erwähnen. Am gebräuchlichsten ist das Andrücken von Hand, doch nur ganz geübte Arbeiter werden die erforderliche Gleichmäßigkeit im Gefühl haben, in der Regel werden damit ungleiche Zähne erzeugt.

Die Anordnung nach Abb. 130 überträgt das Andrücken einem gleichmäßigen Gewichtszug. Diese einfache Anordnung sollte eigentlich an keiner Fräferschärfmaschine fehlen. An Stelle eines Gewichtszuges kann auch eine Feder treten, die im Mitnehmer eingebaut, mit gleichmäßigem Druck den Zahn gegen den Stellfinger drückt.

Bei den Teilapparaten erfolgt das Teilen durch die bekannten Teilscheiben, deren Einschnitte entweder mit der Fräserzähnezahl übereinstimmen, oder durch ihre Lochkreise und Zeigerwinkel jede erforderliche Anzahl Teilungen gestatten.

Die Teilapparate sind sehr oft mit den Einrichtungen zum Schärfen der Fräser mit spiralgewundenen Schneidzähnen versehen. Zu diesem Zwecke sind die Tischvorschubspindel und Teilapparatspindel durch Wechsellräder verbunden. Sie haben in den letzten Jahren weiteste Verbreitung gefunden. Namentlich das Schärfen steil spiralgewundener Fräser macht ihre Verwendung erforderlich. Die besten Erfolge werden natürlich mit selbsttätig teilenden Fräferschärfmaschinen erzielt.

1. Die Fräferschärfmaschinen von J. E. Reinecker, Chemnitz.

Die Abbildung 131 zeigt eine der bekanntesten Fräferschärfmaschinen mit einem Teilapparat und der Einrichtung für spiralgewundene Schneidzähne. Die Maschine fällt recht angenehm durch ihre kräftige und gedrungene Bauart auf. Sie ist ganz besonders zum Schärfen hinterdrehter Fräser geeignet, durch das von Reinecker eingeführte Schärfen mit der Topfscheibe (Abb. 125) läßt sie sich auch ohne weiteres zum Scharfhalten geriefter Fräser verwenden.

In den Abb. 132 und 133 ist der zu dieser Maschine gehörige Teilapparat wiedergegeben. Die Teilspindel n trägt an ihrem hinteren Ende den Hebel o , dessen Indexstift p in die Einschnitte der auswechselbaren Teilscheibe q einfällt und deren Sicherung bewirkt. Da mit der Teilscheibe q das Schneckenrad m fest verbunden ist, so macht die Teilspindel n nebst Mitnehmer r und Fräser s jede Drehung von m aus mit. Die Schneckenspindel i nebst Schnecke l sind in der Mutter k ver-

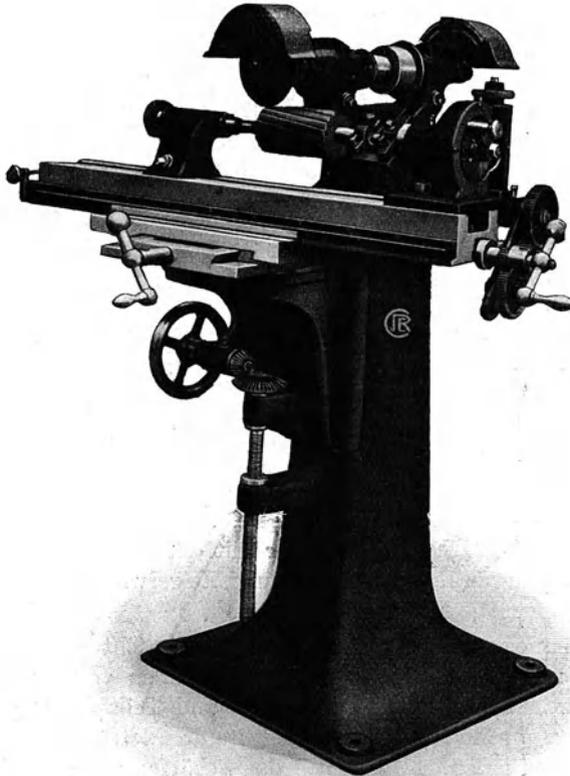


Abb. 131. Die Reineckersche Fräuserschärfmaschine mit Teilapparat.

schiebbar gelagert, so daß eine Drehung von k auch eine Drehung von m zur Folge hat. Diese Einrichtung benutzt man zum Nachstellen des Schnittes, der dadurch im radialen Sinne nachgestellt wird, wodurch die einmal eingestellten Winkel erhalten bleiben.

Der Antrieb für das Schärfen der Fräser mit spiralgewundenen Schneidzähnen erfolgt von der Supportspindel a , durch die Wechselräder c, d, e, f , Kegelräder g, h , Schneckenspindel i , Schnecke l auf das Schneckenrad m . Bei eingelegtem Indexstift p wird dann die langsame Drehung der Teilspindel n und dem Fräser s mitgeteilt.

Beim Schärfen ohne Teilapparat tritt an seine Stelle ein zweites Spitzenböckchen. Eine Stellfingereinrichtung übernimmt dann das Festhalten der Schneidzähne. Zum Schärfen von Stirn-, Kopf- und Schaftfräsern dient ein in jeden Winkel verstellbarer Universalkopf.

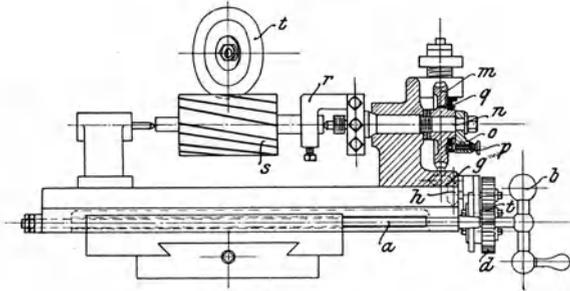


Abb. 132.

Schnitte durch den Teilapparat.

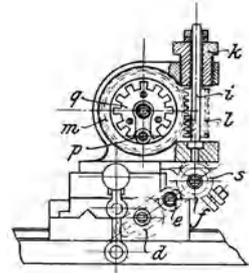


Abb. 133.

Eine selbsttätige Fräuserschärfmaschine ist im Schaubild Abb. 134 ersichtlich. Der Tisch mit aufgespanntem Fräser läuft unter dem Schleifrad hin und her, wobei nach jedem Durchlauf der Fräser um einen Zahn weitergeteilt wird. Beim Schärfen von Schneckenrad- und Wälzfräsern oder anderer langer Profilfräsern leistet diese Maschine ausgezeichnete Dienste.

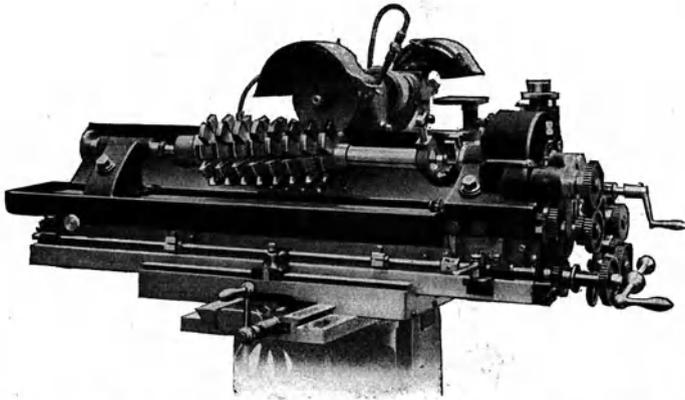


Abb. 134. Die Reineckerschärfmaschine mit selbsttätigem Teilapparat.

In den Abb. 135—139 ist der sehr sinnreich konstruierte Teilapparat dargestellt. Der Apparat arbeitet nach dem Verfahren des Wechselläder-teilens, d. h. die verschiedenen Teilungen werden durch verschiedene Wechselläder erreicht, so daß der Indexscheibe jeweils eine volle Umdrehung erteilt werden kann. Sowohl die Teil- als auch die Spiralbewegung werden von der Tischspindel abgeleitet. Zur unabhängigen Übertragung beider Bewegungen dient, wie an allen Reineckerschen Uni-

versalteilapparaten, ein Differentialgetriebe, das aus Stirnrädern zusammengesetzt und in sehr sinnreicher Weise in das zur Spiralbewegung dienende Schneckenrad *m* eingebaut ist.

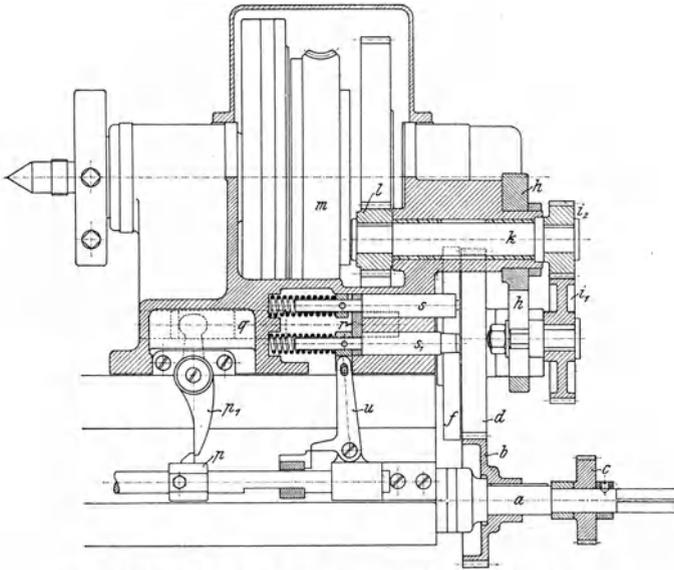


Abb. 135. Schnitt durch den selbsttätigen Teilapparat.

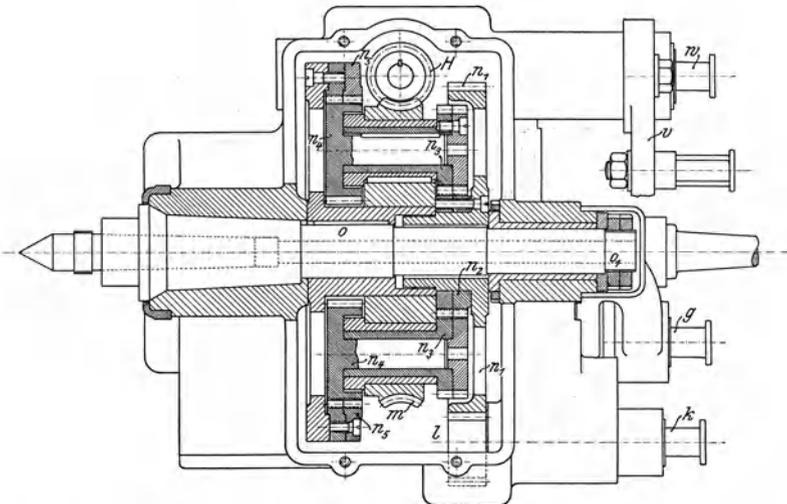


Abb. 136. Schnitt durch den selbsttätigen Teilapparat, Ansicht von oben.

Auf der Tischspindel *a* sitzen die Stirnräder *b* und *c*. Vom Rade *b*, das in das als Trommel ausgebildete Rad *d* greift, wird die Teilbewegung

abgeleitet. Das Rad trägt innen die vierzählige Sperrscheibe *e* und läuft lose auf der Nabe der Teilscheibe *f*, die fest auf dem Bolzen *g* sitzt.

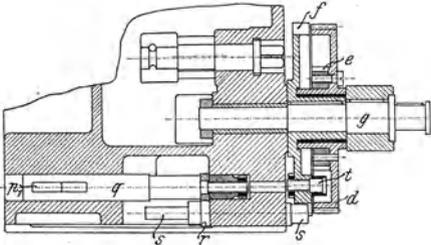


Abb. 137.

Die Verriegelung der Teilscheibe.

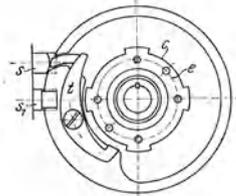


Abb. 138.

Der letztere ist an seinem freien Ende zur Aufnahme eines Wechselrades eingerichtet und treibt durch das an der Wechselräderschere sitzende Zwischenrad i_1 mittelst des Rades i_2 den Bolzen *k*. Dieser trägt im Gehäuse das Rad *l* und treibt durch das im Schneckenrad sitzende Differentialgetriebe n_1, n_2, n_3, n_4 und n_5 auf die Teilspindel *o*.

Das Teilen wird durch den Anschlag *p* und Hebel p_1 eingeleitet. Der letztere greift mit einem Ende in einen Schlitz des Bolzens *q*, der durch ein Querstück *r* mit den Indexstiften *s* und s_1 in Verbindung steht. Von *s* wird die Sperrklinke betätigt, während s_1 die Teilscheibe *f* arretiert.

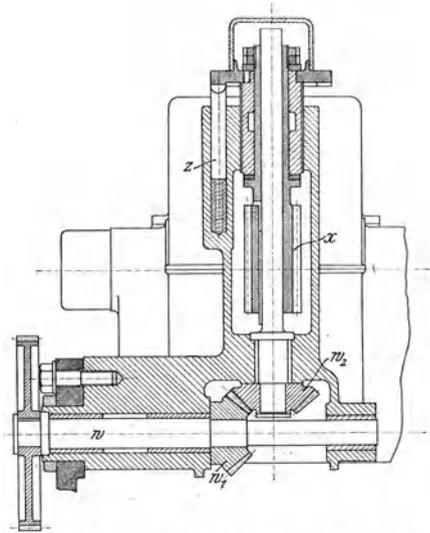


Abb. 139. Schnitt durch die Schnecken-
spindel.

Das Teilen geht nun in folgender Weise vor sich: der Index s_1 entriegelt die Teilscheibe und der Index *s* gibt die Sperrklinke frei. Letztere fällt in das Sperrrad *e* und nimmt die Teilscheibe so lange mit, bis sie durch Index *s* wieder aufgehoben wird. Alsbald fällt auch Index s_1 wieder in die Teilscheibe ein, um sie festzuhalten. Der Hebel *u* dient als Sicherung der Teilscheibe (Abb. 135).

Die Spiralbewegung wird, wie schon erwähnt, vom Rade *e* abgeleitet und über die Wechselräderschere *v*, an der die entsprechenden Wechselräder aufgesteckt werden, nach dem Bolzen *w* und von hier über die Kegeltriebe w_1 und w_2 auf die Schnecke *x* übertragen. Die

Schnecke x ist in einer Büchse axial verschiebbar aufgehängt. Da letztere ein feines Außengewinde besitzt und infolgedessen beim Drehen an der rändrierten Kappe — in Abb. 134 oben am Teilapparat deutlich sichtbar — sich hinein- oder herausschiebt, so kann Schnecke x während des Ganges axial verschoben werden. Durch diese Einrichtung erreicht man die bekannte radiale Feinbeistellung des Schneidzahn zum Schleifrädchen.

2. Die Fräuserschärfmaschinen der Naxos-Union, J. Pfungst in Frankfurt a. M.

Die Abb. 140—151 zeigen weitere Fräuserschärfmaschinen, die sich infolge ihrer vielen Verwendungsmöglichkeiten für die verschiedensten Schleifzwecke allgemeiner Beliebtheit erfreuen.

Abb. 140 zeigt eine Universal-Werkzeugschleifmaschine, die außer zum Schärfen und Grundieren sämtlicher Werkzeuge noch als Rund- und Flächenschleifmaschine verwendet werden kann. Der Schleifspindelkopf hat wagerechte und senkrechte Verstellung. Die Schleifspindel kann parallel und rechtwinklig, sowie in jeder Schräglage zur Werkstückachse eingestellt werden. Der Tisch läßt sich zum Schärfen und Rundschleifen konischer Werkzeuge schräg stellen. Er hat für verschiedene Geschwindigkeiten einstellbaren Selbstgang mit selbsttätiger Umkehrung. Nach Ausschaltung des Selbstganges kann der Tisch durch das vorn liegende große Handrad bequem von Hand bewegt werden. Die Abbildung zeigt die Maschine ausgerüstet mit Universal-Teil- und Spiralkopf für Handteilung. Der ebenfalls zur Maschine gelieferte ganz selbsttätige Teil- und Spiralkopf ist in den Abb. 141—144 dargestellt. Die Spiralbewegung wird (siehe Abb. 140) von der Tischbewegung abgeleitet und durch Schnecke a und Schneckenrad auf die Hohlspindel c übertragen. Die Teilbewegung wird durch Tischanschläge ausgelöst und durch besonderen Riemen, der über Riemenscheibe i und Spannrolle k geleitet wird, angetrieben. Die verschiedenen Teilungen werden durch Wechsellräder und verstellbare Rastenscheiben erreicht. Die Teilspindel d erhält den Teilantrieb durch Schneckenrad e und Schnecke f . Letztere wird durch das Kegelgetriebe $g g$ und die Wechsellräder $h h$ angetrieben. Die den Teilungen entsprechenden Wechsellräder sitzen auf Zwischenwellen m und n und auf Stelleisen l .

In den Abb. 145 und 146 ist eine weitere Fräuserschärfmaschine mit selbsttätig hin- und hergehendem Arbeitstisch dargestellt.

Die Anordnung der Supporte ist eine etwas eigenartige, aber eine recht zweckentsprechende. Gestattet sie doch, daß durch das Drehteil D der Tisch in die verschiedensten Stellungen zum Schmirgelrädchen gebracht werden kann, ohne daß dadurch für die Anstellung zum Schliff eine Unbequemlichkeit entsteht. Selbst beim Rundschleifen ist durch den nach vorn gebauten Schleifspindelkopf eine sehr kräftige Stellung erreicht.

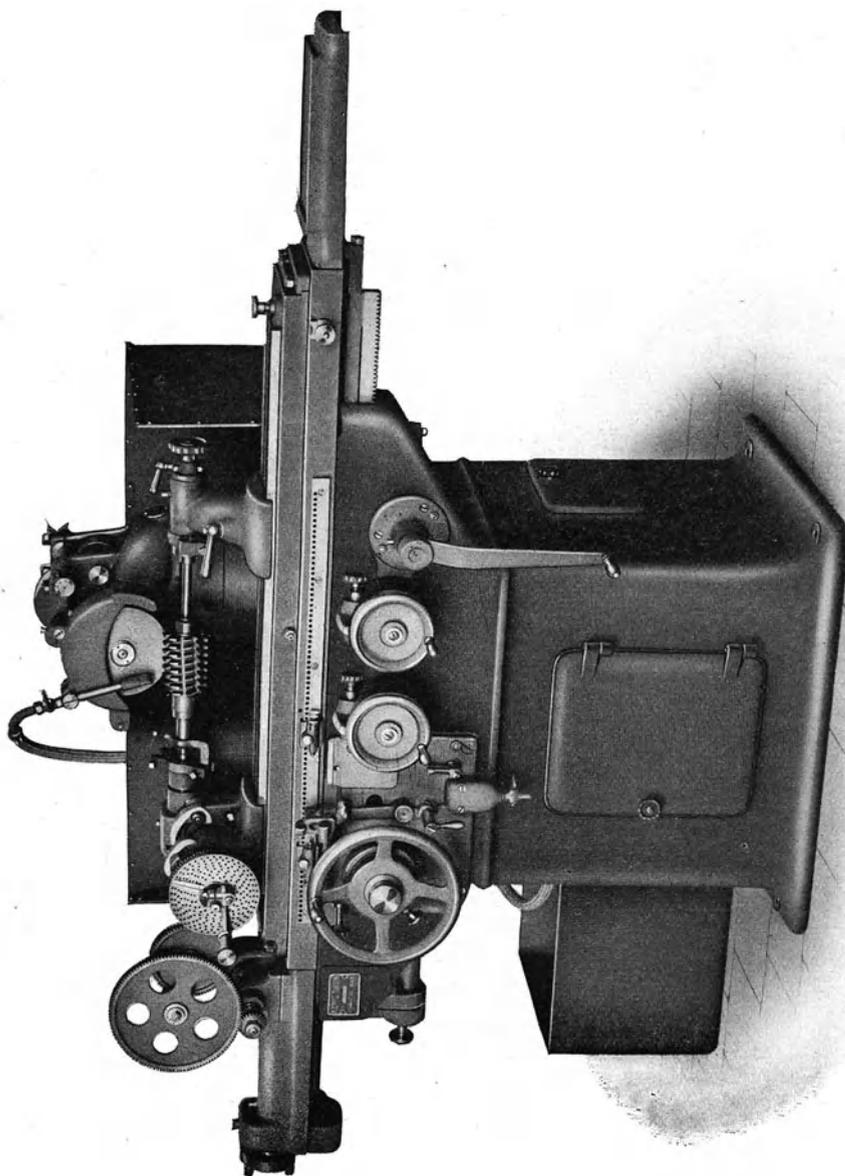


Abb. 140. Die Universal-Werkzeug-Schleifmaschine der Naxos-Union.

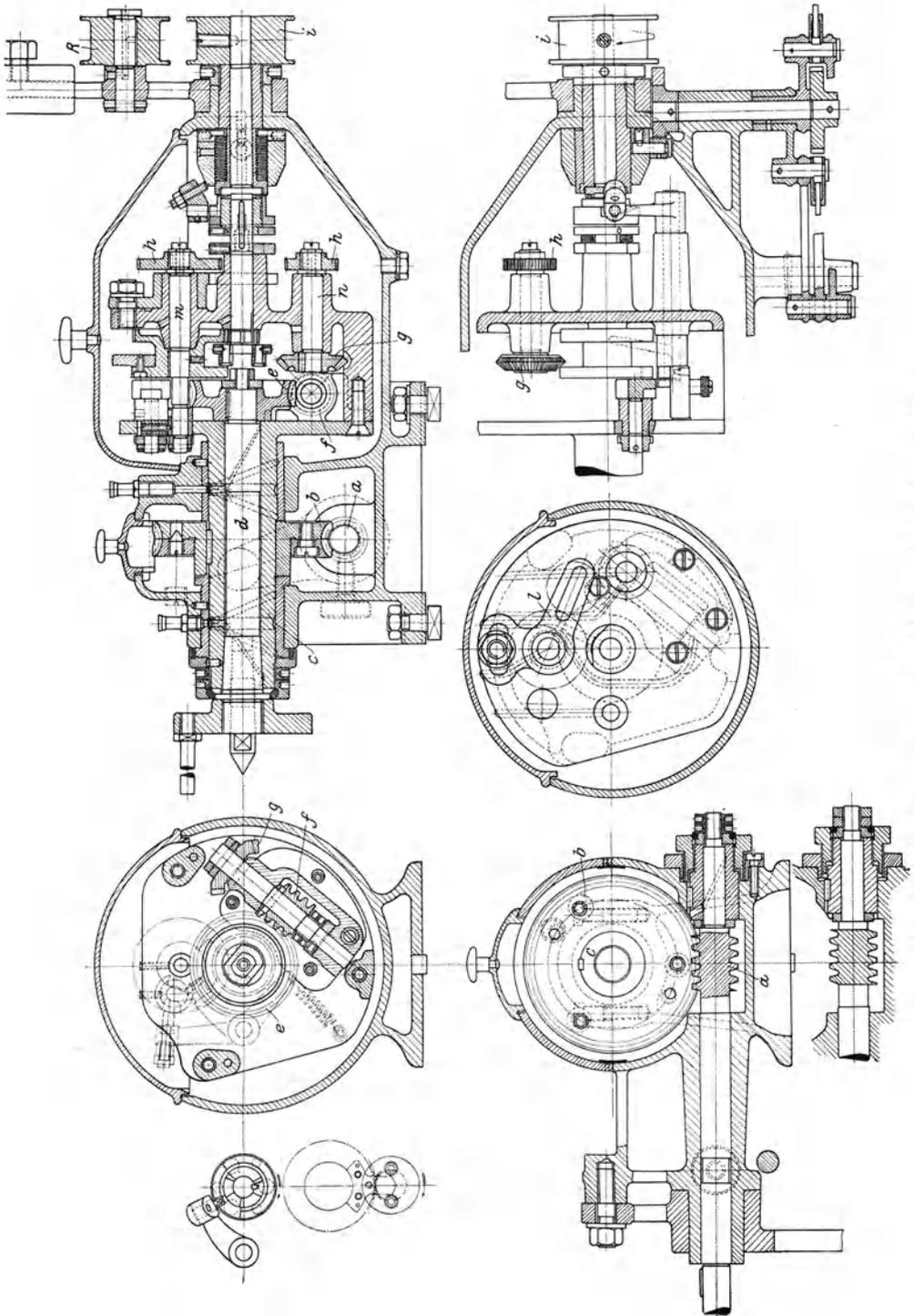


Abb. 141—144. Der selbsttätige Teilapparat der Naxos-Union.

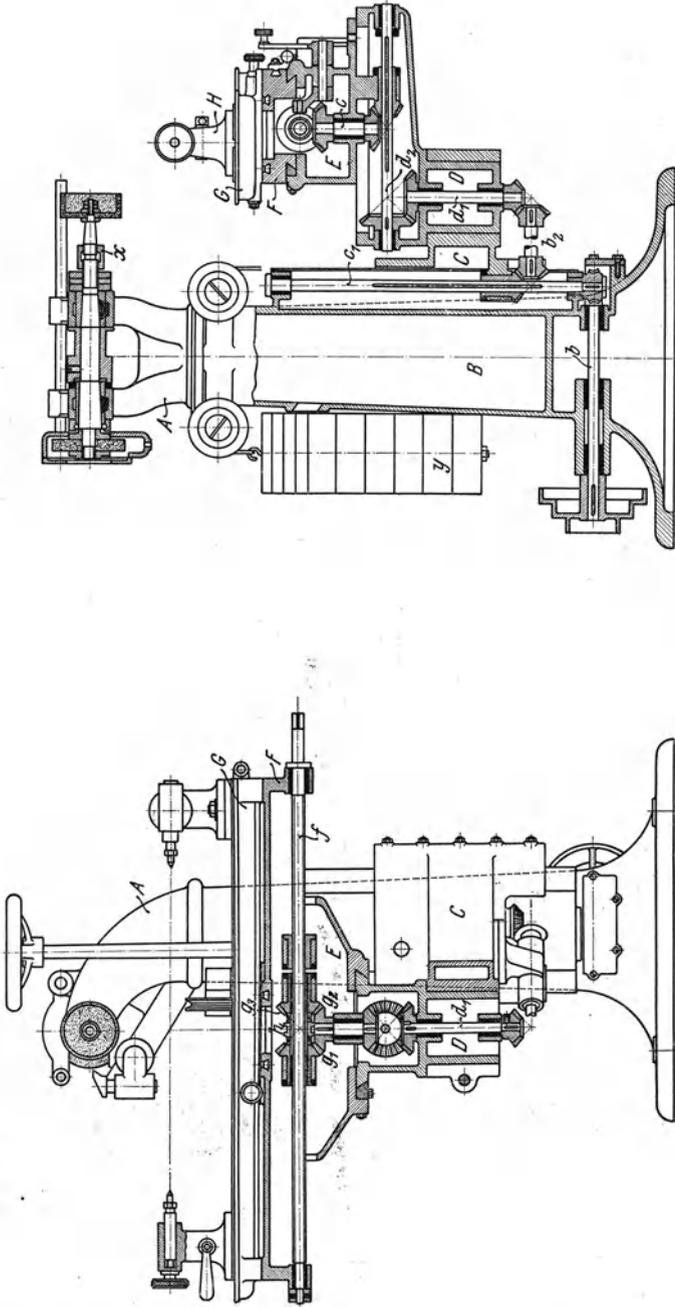


Abb. 145.
Die Frärschärfmaschine mit selbsttätig hin- und hergehendem Arbeitstisch der Naxos-Union.

Abb. 146.

Die Schleifspindel ist an der den Supporten zugekehrten Seite mit einer konischen Bohrung versehen, um verschiedene Schleifdorne aufnehmen zu können. Die Differentialmutter α dient dabei zum Festziehen und zum Lösen der Dorne.

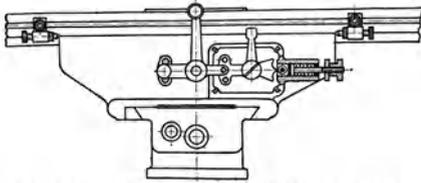


Abb. 147. Die Umschalt-Mechanismen.

Der Antrieb für die Tischbewegung wird von der am Fuße der Ständersäule angeordneten Stufenscheibe und über Wellen b , Schnecke, Schneckenrad und Kegelhäderpaare zu dem Umkehrgetriebe g_1, g_2 geleitet. Die Klauen-

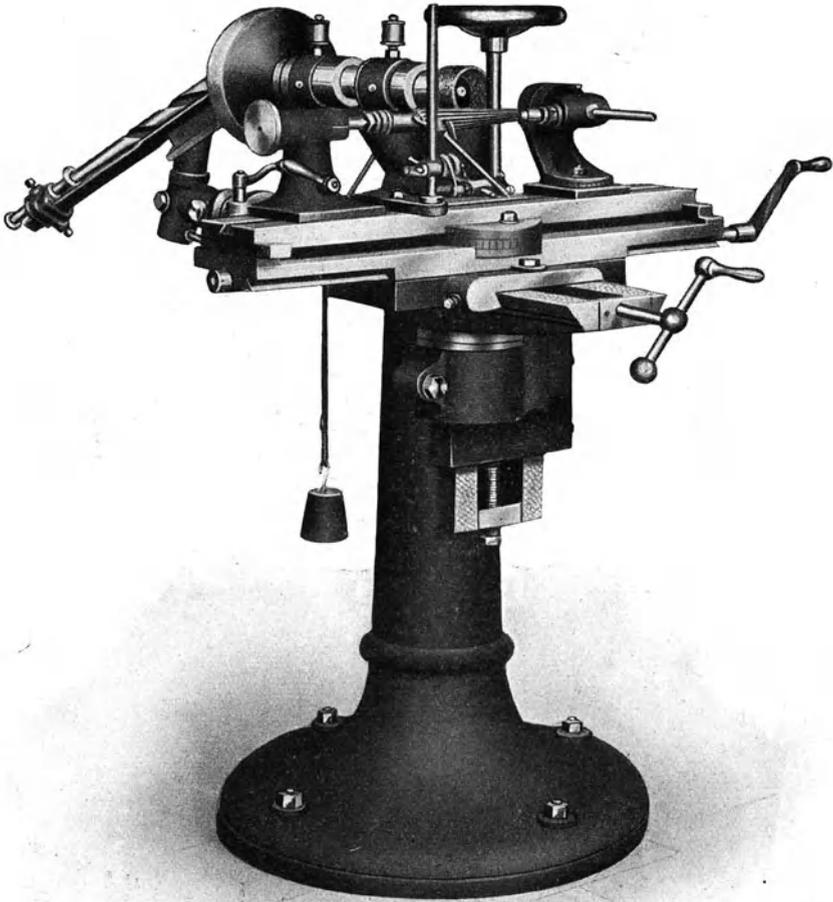


Abb. 148. Das Schärfen einer konischer Reibahle.

muffe *h*, die durch ihre Nute die Tischspindel in dem einen oder andern Sinne in Drehung versetzt, wird durch Anschlagknaggen, Schalthebel und Druckstück einmal mit dem rechten und zum andern mit dem linken Kegelrad gekuppelt. Zur Unterstützung der Anschlagknaggen für das Umkehrgetriebe dient noch die Druckvorrichtung Abb. 147. Zum Ausrücken von Hand ist ein Hebel vorgesehen.

Die Ausrüstung dieser Maschine kann auch noch durch den in Abb. 141—144 dargestellten selbsttätigen Teilapparat vervollständigt werden. Die Teilbewegung wird dabei durch einen besonderen Schleppriemen betätigt.

Die Abb. 148—151 zeigen nun dieselbe Maschine ohne selbsttätige

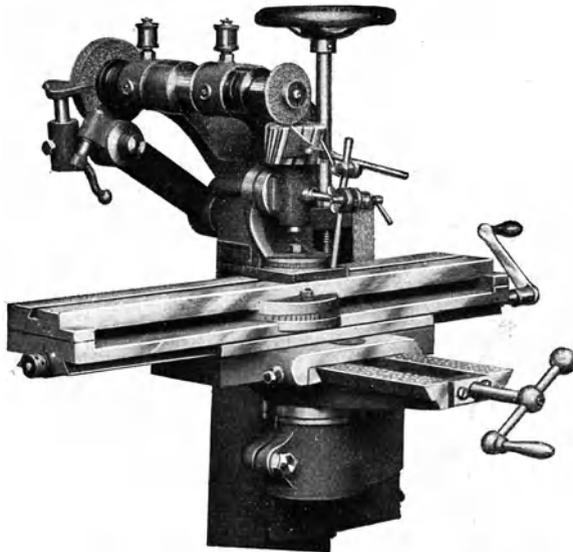


Abb. 149. Das Schärfen eines Stirnfräasers.

Tischbewegung. Zugleich sind aus den Bildern die wichtigsten Anwendungsarten zu ersehen.

Abb. 148 zeigt das Schärfen einer konischen Reibahle mittelst Topfschale.

In Abb. 149 ist das Schärfen mit der Peripherie des Schmirgelrädchens an Stirnfräsern ersichtlich. Der Fräuserschaft ist dabei in dem Universalböckchen eingefuttert.

Die Anwendung eines Zusatzapparates zum Schärfen von gerieften Profilfräsern zeigt die Abb. 150. Die dazugehörige Schablone ist rechts an dem auf dem Tische aufgeschraubten Winkel ersichtlich.

Die Profilfräser, deren Schneidflächen Teile eines Kreises sind, werden durch Drehungen an dem Schleifrädchen entlang geführt, nach-

dem der Mittelpunkt des in Betracht kommenden Kreises mit dem des Bockchens in eine Achse eingestellt wurde, wie aus Abb. 151 ersichtlich ist.

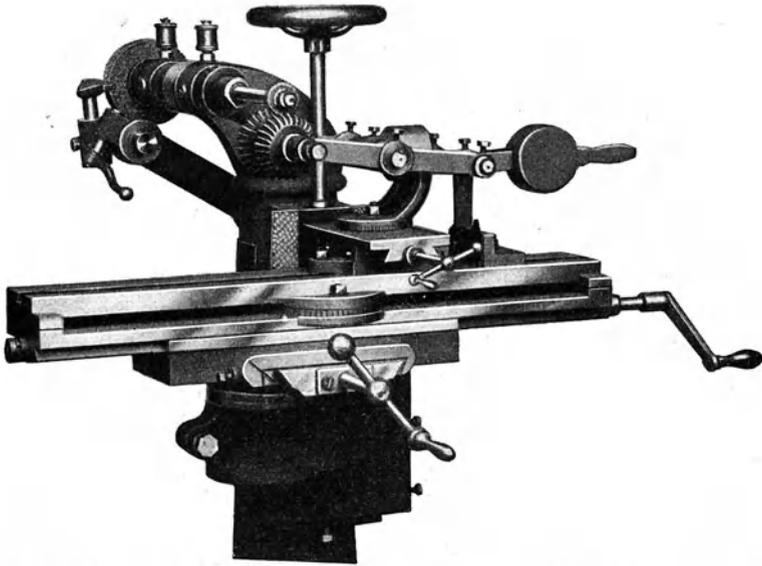


Abb. 150. Das Schärfen eines gerieften Profilfräasers mit Schablonensupport.

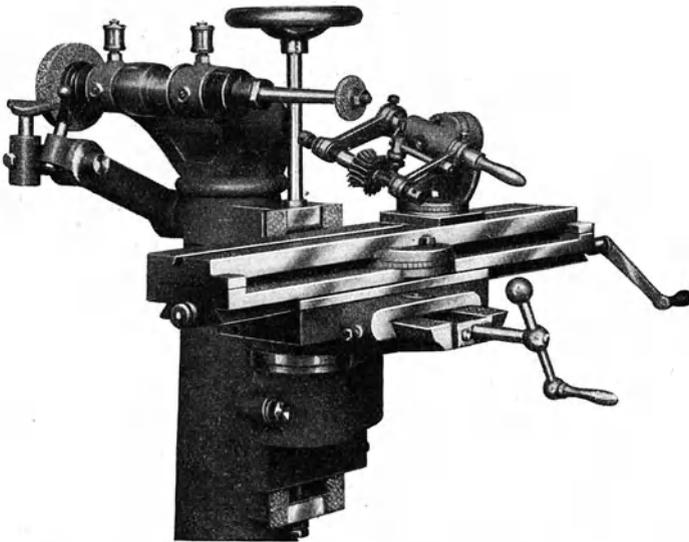


Abb. 151. Das Schärfen eines gerieften Profilfräasers mit dem Drehteil des Universalböckchens.

3. Die Metallkreissäge-Schärfmaschine der Naxos-Union.

In Abb. 156 ist eine selbsttätige Metallkreissäge-Schärfmaschine wiedergegeben. Bei der überaus großen Verbreitung, die heute diese Werkzeuge gefunden haben, ist es nicht zu verwundern, wenn deren Schärfung mehr Beachtung entgegengebracht wird. Leider ist man noch vielfach der Meinung, daß für die Ausbildung der Sägezähne andere Gesetze in Frage kommen könnten, als beim Fräserzahnschärfen. Das ist durchaus nicht der Fall. Auch jede neue Metallkreissäge wird die Zähne nach Abb. 152 geformt haben, die erst nach öfterem falschem Schärfen der Abb. 153 ähneln.

Eine derartig mangelhaft geschärfte Metallsäge kann nie gleichmäßig, sondern nur sprunghaft arbeiten. Sie wird sehr bald wieder stumpf und durch Einreißen vollständig ruiniert werden.

Diesem Übelstande kann nur durch eine regelrechte Zahnform

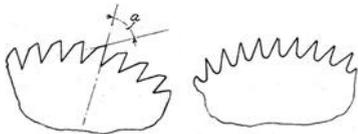


Abb. 152.

Abb. 153.

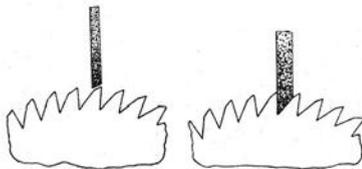


Abb. 154.

Abb. 155.

Richtig und falsch geschliffene Sägezähne.

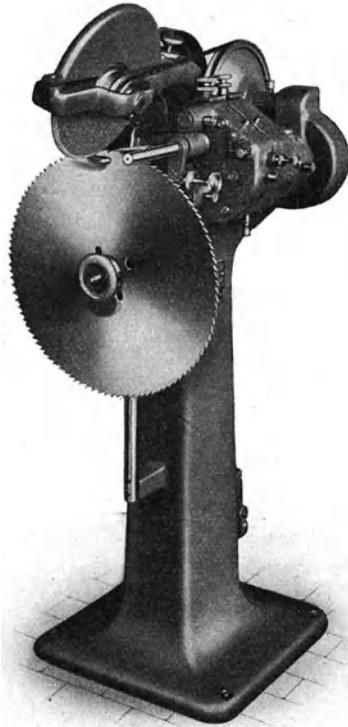


Abb. 156.

Die Metallkreissäge-Schärfmaschine der Naxos-Union.

nach Abb. 152 abgeholfen werden, die man auf folgende Weise erzielt. Der eigentliche Schneidwinkel wird nach Abb. 154 mit einem Schmirgelrade 75—80° Abschrägung geschärft, während das Tieferschleifen des Zahnes mit einem Schmirgelrade von 50—53° zu erfolgen hat (Abb. 155). Bei dem Schärfen der Kaltsägen muß besonders beachtet werden, daß der Andruck der Schleifscheibe gering bleibt, da andernfalls die Zähne ausgeglüht werden. Bei größeren Zahnteilungen wird die Maschine so

eingrichtet, daß das Schleifrad während des Weiterschaltens des Zahnes den Zahnrücken herausschleift. Die Schaltklinke muß dabei so eingestellt werden, daß sie stets an dem eben zu schärfenden Zahn angreift. Es wird dadurch jeder Zahn gleich hoch geschliffen, auch wenn geringe Teilungsfehler in den Schneidzähnen vorhanden sind.

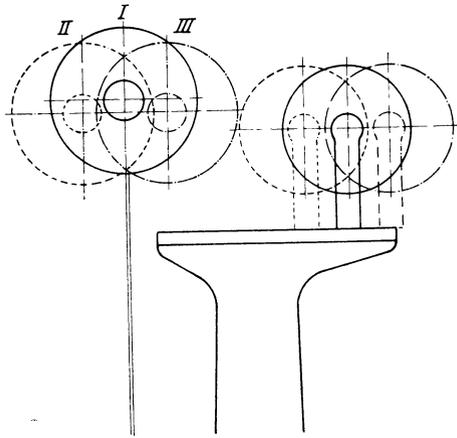


Abb. 157. Die Einstellungen der Maschine zum Abschrägen der Zähne.

Um bei den breiten Metallkreissägen mit eingesetzten Schnellstahlmessern ein ruhiges Arbeiten zu erzielen, ist es erforderlich, die Zähne nicht in der ganzen Breite schneiden zu lassen, sondern die Zahnkanten wechselseitig zu brechen. Bei der vorstehend abgebildeten Maschine wird dies erstens dadurch erreicht, daß das Schleifrad gegen-

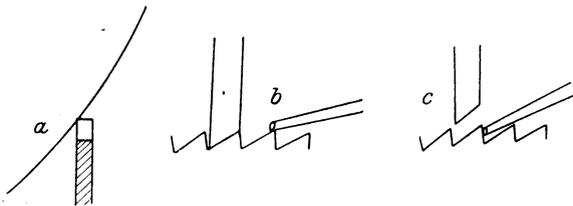


Abb. 158. Die Stellungen des Schleifrades bei dem Abschrägen der Zähne.

über seiner normalen Lage um einen gewissen Betrag vor- oder zurückgeschoben wird (in Abb. 157 punktiert eingezeichnet), zweitens, daß das Schleifrad jeden zweiten Hub aussetzt, also immer nur jeder zweite Zahn geschliffen werden kann (vgl. c Abb. 158). Voraussetzung ist dabei immer, daß die Zähnezahzahl der Säge eine gerade ist. Ist die Zahnteilung kleiner als 15 mm, so ist es möglich immer zwei Zähne weitzuschalten und das Schleifrad normal arbeiten zu lassen. Zum Schärfen

wird die Maschine in die Mittelstellung I eingestellt und werden zunächst alle Zähne gleichmäßig scharf geschliffen, dann wird das Schleifrad in Stellung II bzw. III gebracht und jeweils jeder zweite Zahn ungefähr bis zur Mitte abgeschrägt (vgl. *a* Abb. 158).

Zu diesem Zweck ist der Getriebekasten nach einer Skala verschiebbar auf dem Ständer angeordnet und mit einer Einrichtung versehen, die das Schleifrad bei jedem zweiten Hub in der Höchstlage festhält.

II. Die Fräsmaschinen.

7. Die Entwicklung der Frästechnik.

Die Anfänge der Anwendung des Fräsens zeigten sich, als die fortgeschrittene Verfeinerung der Fertigung keine weitere Förderung mit den bekannten Bearbeitungsverfahren mehr erwarten ließ. Sei es bezüglich der Billigkeit oder der Gleichmäßigkeit der herzustellenden Teile. Der Wunsch: „austauschbare Teile“ billig herzustellen, dieses sichere Kennzeichen entwickelter Werkstatttechnik war somit der erste Anstoß zu dem neuen Bearbeitungsverfahren. Das Vorbild des Fräasers war die Feile. Gleich ihr, glaubte man der kreisenden Feile lange Zeiten hindurch nur geringe Leistungen zumuten zu können. Erst verhältnismäßig spät sehen wir Fräser und Fräsmaschine die enge Werkstatt des Mechanikers verlassen und den Weg zur Maschinenbauwerkstatt einschlagen. Dort, beim Vergleich mit anderen kreisenden Werkzeugen: Langlochbohrer und mehrschneidige Bohrstangen zum Ausbohren der Zylinder usw., mag wohl der Gedanke für die Mischung der viel- und mehrschneidigen kreisenden Werkzeuge entstanden sein, der nach mancherlei Wechselfällen und zahlreichen Verbesserungen — die wir bereits kennen — unsern heutigen Fräser schuf. Sein einstiger Beiname: kreisende Feile, ist jetzt vergessen, weil ihn seine Leistungsfähigkeit bezüglich Spanabnahme ja schon längst mit an die Spitze der spanabhebenden Werkzeuge stellte. Ja, ein wunderlicher Zufall will es, daß durch den Fräser auch die Handfeile in verbesserter Weise hergestellt wird, indem ihre feinen, aber recht ungleichmäßigen Zähne nicht mehr eingehauen werden, sondern in richtiger Weise in gleichmäßiger Verzahnung auf dafür konstruierten Fräsmaschinen erzeugt werden. So vollzieht sich auch hier ein Kreislauf, der in der Technik an Hunderten von Beispielen seine Bestätigung findet. Der Entwicklung irgend eines Werkzeuges folgt immer die Vervollkommnung der dazugehörigen Maschinen. Vergleichen wir beispielsweise den Fortschritt der Metall-Hobelmaschine, so können wir leicht die Feststellung machen, daß nach der Verbesserung der Werkzeugstahle die Hobelmaschinen zu immer stärkeren Leistungen gebaut wurden, welche Bewegung ihren vorläufigen Abschluß erst nach der Einführung der Schnellstahle fand. Daneben gingen aber auch die Ver-

besserungen zur Verringerung der toten Zeit beim Rücklauf dieser Maschinen, eine Bewegung, die heute noch lange nicht als abgeschlossen gilt. Vermehrung der Spanabnahme und Verdrängung der toten Zeit sind die Merkmale der Entwicklung aller Werkzeugmaschinen und nicht zum wenigsten die der überaus vielgestaltigen Fräsmaschinen.

Wenn in ihrer ersten Periode die Frästechnik der Ergänzung unserer Bearbeitungsverfahren diente, so müssen wir heute feststellen, daß sie sich neben diesem Arbeitsgebiet auch die Gleichberechtigung in der gesamten Metallbearbeitung erworben hat.

Das Fräsen von profilierten Werkstücken und das Arbeiten mit den Teilapparaten eröffneten zunächst der Frästechnik gänzlich neue Gebiete, die einmal in der Massenfertigung der verschiedensten Teile und zum andern in der Einzelausführung besonderer Arbeiten bestanden. Nach zwei sehr verschiedenen Richtungen bewegte sich deshalb schon in ihren Anfangsstadien die Entwicklung der Fräsmaschine im Gegensatz zu der ihres Werkzeuges. Die Massenfertigung brauchte einfache und billige Fräsmaschinen, die einzig eine kleine Anzahl gleicher Teile schnell und gut zu bearbeiten hatten. Der Fräser und die Aufspannvorrichtung des Teiles wurden nur andere; sonst arbeitete die Fräsmaschine einmal wie das andere Mal. Ganz andere Anforderungen stellte der allgemeine Maschinenbau an seine Fräsmaschinen. Er hatte nur selten wiederkehrende Teile, und daraus ergab sich von selbst, daß er dazu nicht jedesmal besondere Fräser anfertigen konnte. Hier galt es, mit einer kleinen Anzahl Fräser durch verschiedene Fräswege eine große Anzahl Aufgaben zu lösen.

Der einfachen Fräsmaschine für besondere Zwecke der Massenfertigung und der Universalfräsmaschine für allgemeine Arbeiten des Maschinenbaues galt deshalb die erste Sorge aller Freunde dieser neuen Technik.

Zu diesem ureigenen Gebiet des Fräsens trat aber sehr bald das weite der gesamten Metallbearbeitung. Das Fräsen machte dem Stoßen, Hobeln und Drehen auch bei einfachen Arbeiten den Platz streitig. Unzählige kleine Teile, die früher auf der Hobel- oder Stoßmaschine auf einer Seite bearbeitet wurden, überfräste man jetzt und erzielte auf diese Weise manchen wirtschaftlichen Vorteil. Oftmals wurde jedoch der Erfolg ganz unverdienterweise dem Fräsen zugeschrieben, weil man den Vergleich zwischen Werkzeugmaschinen zog, die auf einer Seite eine für die damalige Zeit schon hoch entwickelte Fräsmaschine zeigte, während auf der anderen Seite eine in der Entwicklung vernachlässigte Hobel- oder Stoßmaschine gegenüberstand. Diese ungerechte Behandlung kam wohl nirgends besser zum Ausdruck, als bei den Aufspannvorrichtungen der zu vergleichenden Maschinen. In Abb. 159 und 160 begegnen wir einer alten umständlichen Aufspannart für Hobelmaschinen, die noch benutzt wurde, als bei den Fräsmaschinen schon längst der bequeme Aufspannschraubstock eingeführt war.

Erst gegen Ende des vorigen Jahrhunderts setzte dann eine nachhaltige Bewegung zur Vervollkommnung unserer Hobel- und Stoßmaschinen ein, und ihr Erfolg ist es, wenn heute der Gedanke einer gänzlichen Verdrängung der Hobelmaschinen ins Reich der Fabel verwiesen ist. Daß Bohren, Drehen, Fräsen, Hobeln und Stoßen gleichwichtige Bearbeitungsverfahren darstellen, die je nach den Einrichtungen einer Werkstatt und je nach den Aufgaben, die sie zu lösen hat, in wechselweiser Beziehung stehen, ist immer und zu jeder Zeit von einem großen Kreis von Fachmännern betont worden und die heute erreichte gleichmäßige Entwicklung unserer gesamten Werkzeugmaschinen bestätigt dies.

Es würde zu weit führen, in diesem knappen Rahmen den ausführlichen Gang der Entwicklung beschreiben zu wollen, den etwa die alte

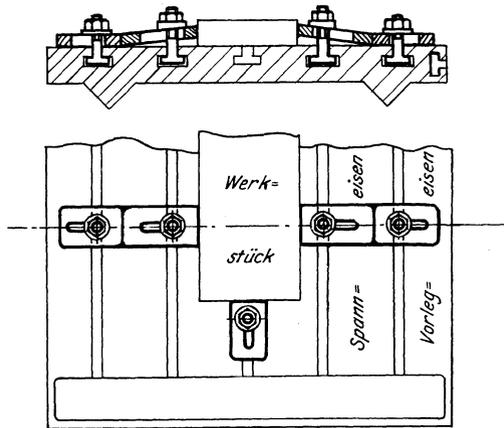


Abb. 159 u. 160. Eine ältere Aufspannart für Hobelmaschinen.

einfache Fräsmaschine bis zu ihrer heutigen Gestalt gegangen ist. Es wird genügen, wenn wir die wichtigsten Merkmale verschiedener Entwicklungsabschnitte kennen lernen.

Die alte Fräsmaschine, deren Vorbild die Hobelmaschine war, besaß weder selbsttätige Schaltung noch Ausrückeinrichtungen des Tisches. Obwohl ähnliche Einrichtungen an den Hobelmaschinen bestanden, glaubte man solche für die geringen Leistungen des enggezahnten Fräasers entbehren zu können. Erst später, als die Fräsdauer bei größeren Teilen länger wurde, finden wir ihre Übertragung auch auf die Fräsmaschine. Doch die Betätigung der Tischbewegung von Hand für kleinere Fräsarbeiten blieb; ja, man darf behaupten, daß diese Handfräsmaschinen neuerdings an Bedeutung gewinnen.

Es ist leicht erklärlich, daß sich die Maschinen zum Zahnfräsen, namentlich die dazu erforderlichen Teilapparate¹⁾, ganz besonderer

¹⁾ Ausführlicheres siehe später unter „Teilapparate“, S. 198.

Fürsorge erfreuten, da bislang auf diesem Gebiete keine Konkurrenz bestand. Hier galt es, eine große Lücke der Werkstatttechnik auszufüllen.

Sehr bald tauchten Fräsmaschinen zur ausschließlichen Bearbeitung der Zahnräder auf. Zuerst noch solche mit Teilmechanismen, die das Weiterteilen eines Zahnes von Hand erforderten, sehr bald auch solche, die nicht nur den Arbeitstisch selbsttätig zurückbrachten, sondern auch das Weiterteilen ausführten.

Nun war also die Fräsmaschine geschaffen, die ein aufgespanntes Zahnrad selbsttätig vom ersten bis zum letzten Zahn bearbeitete. Sie besaß nur noch den einen Fehler, daß beim Versagen der Teilmechanismen, wenn das Weiterteilen nicht richtig erfolgte, das Zahnrad verdorben wurde.

Dieser Fehler wurde durch eine sinnreiche Vervollkommnung behoben, die darin bestand, daß die Wiedereinrückung des Arbeitsganges so lange gesperrt wurde, bis die Teilvorrichtung verriegelt war. Zog aus irgend einem Grunde der Schleppmechanismus die Teilscheibe nicht bis zur Einfallstelle durch, so konnte der Riegel nicht einfallen, der Arbeitsgang blieb ausgeschaltet. Die Maschine stand still bis der bedienende Arbeiter die Störung beseitigte.

Es muß hervorgehoben werden, daß unsere heutigen Zahnräderfräsmaschinen und auch diejenigen Maschinen, deren selbsttätig teilende Apparate anderen Zwecken¹⁾ dienen, auf einer Stufe angelangt sind, die das Fehlteilen oder Versagen geradezu ausschließen.

Die Fräseinrichtungen für Innenverzahnung, die Schneckenräder- und die sich daraus entwickelnde Wälzfräsmaschine zeichnen den weiteren Weg dieser Sondermaschinen, deren gesamte Entwicklung an anderer Stelle gebührende Berücksichtigung finden wird.

Die Einrichtung des drehbaren Supports der Drehbank, mit dem sich die steilen Konen usw. bequem herstellen ließen, wurde auch bald auf die Fräsmaschinen übertragen, und hier gestattete der durch ein Drehteil schräg verstellbare Arbeitstisch, eine Reihe neuer Arbeitsvorgänge auszuführen. Da man mit dieser Fräsmaschine allen damaligen Aufgaben gerecht werden konnte, war vielleicht der ihr gegebene Name: Universalfräsmaschine nicht unberechtigt. Heute muß er als viel zu weitgehend bezeichnet werden. Höchstens daß wir ihn als bekannten Gattungsnamen weiterhin gebrauchen wollen.

Für die Verbesserung der Frässpindellagerung und der Ausbildung der Supporte und deren Antriebsorgane ist die Universalfräsmaschine viele Jahre der Ausgangspunkt gewesen. Die Bearbeitung der Werkzeuge und der Zahnräder, sowie anderer wichtiger Werkstücke verlangte für diese Fräsmaschinenart zuerst den Genauigkeitsgrad, den heute auch die anderen erreicht haben.

¹⁾ Siehe Teilapparate zum Fräsen von Fräsern, Schalträdern, Muttern usw., sowie zum Schleifen von Fräsern und Zahnrädern, S. 112 u. 198.

Dem aufmerksamen Beobachter wird aber auch die überreichliche Dimensionierung der gesamten Maschine nicht entgangen sein, die seit einigen Jahren eingesetzt hat. Eine Forderung, die die Fräser für hohe Schnittgeschwindigkeit erhob.

Ihre Einführung hat sehr bald manche altüberlieferte Gewohnheit abgeschafft. Neue Gesichtspunkte mußten Platz greifen, um der veränderten Sachlage Rechnung zu tragen. Zwei, drei und mehr Fräsmaschinen bediente oft ein Arbeiter. Er hatte ja genügend Zeit, sie am Laufen zu halten. Das änderte sich jetzt. Der Schnitt war viel schneller beendet wie sonst, und wenn man diese Maschinen richtig ausnutzen wollte, so gehörte an jede einzelne ein Arbeiter.

Daraus ergaben sich eine Anzahl wirtschaftlicher Fragen, deren Lösung große Schwierigkeiten barg. Denn obwohl jede Maschine an-

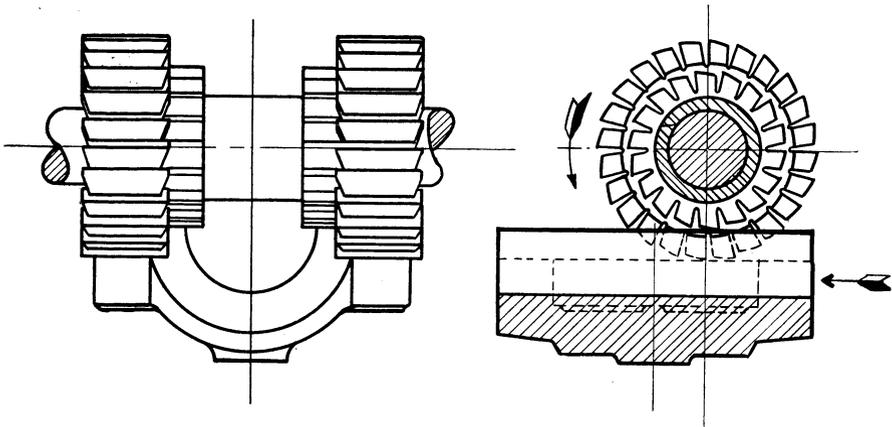


Abb. 161 und 162. Das Fräsen eines Lagerdeckels.

nähernd das Doppelte fertigstellte, mußte dennoch ein höherer Lohn für das einzelne Werkstück gezahlt werden, als bei der Bedienung von drei Maschinen durch einen Arbeiter. Diese scheinbare Verteuerung hat zwar bei kurzichtigen Werkstattleitern eine Zeitlang den Fortschritt gehemmt, doch werden sich auch die letzten bald auf die andere Seite, auf die des Fortschrittes, stellen müssen.

Ein Beispiel¹⁾, das für eine einfache Fräsarbeit durchgeführt werden soll, dürfte vielleicht genügen, die Fehler des alten Verfahrens darzulegen.

In einer mechanischen Werkstatt sind die Unkosten nicht auf die Stundenlöhne verteilt, sondern jede Werkzeugmaschine und jeder Arbeitsplatz hat in der Stunde einen bestimmten Betrag an Unkosten zu decken. Kleinere Fräsmaschinen, auf der die in Abb. 161 und 162 dargestellten

¹⁾ Vgl. Neuschäfer, Guckes und Jurthe, Rechenbuch für Metallarbeiterklassen (Frankfurt a. M., B. Auffahrt), II. und III. Teil, dem die obige Abbildung und die Unterlagen der dazu gehörigen Kalkulation entnommen sind.

Lagerdeckel bearbeitet werden, haben für jede Stunde 39 Pf.¹⁾ an besonderen und allgemeinen Unkosten aufzubringen. Nach denselben Grundlagen berechnet, würde eine Fräsmaschine für Schnellbetrieb derselben Größe 53 Pf. Unkosten für jede Stunde nötig haben.

Auf drei der älteren Fräsmaschinen werden obige Lager hergestellt, und zwar bedient sie ein Arbeiter, der für jedes Stück 5,5 Pf. erhält. Von jeder Maschine werden täglich in 10 Arbeitsstunden 35 Lager abgeliefert. Der Arbeiter verdient also

$$35 \cdot 3 \cdot 5,5 = 5,775 \sim 5,78 \text{ M. pro Tag.}$$

An Unkosten kämen nun noch hinzu

$$39 \cdot 10 \cdot 3 = 11,70 \text{ M.,}$$

so daß Lohn und Unkosten sich auf

$$5,78 + 11,70 = 17,48 \text{ M.}$$

stellt.

Auf das einzelne Lager entfielen dann

$$17,48 : 105 = 16,65 \text{ Pf.}$$

Denken wir uns diese Arbeiten auf Fräsmaschinen für Schnellbetrieb ausgeführt und an jeder Maschine einen Arbeiter tätig. Jeder würde in 10 Stunden 70 Lager abliefern. Bei ungefähr gleichem Verdienste müßte 8,5 Pf. für das Lager gezahlt werden.

Dann würde der Lohn in 10 Stunden

$$70 \cdot 8,5 = 5,95 \text{ M.}$$

betragen. Zu dem dann an Unkosten

$$53 \cdot 10 = 5,30 \text{ M.}$$

hinzutreten, so daß sich Lohn und Unkosten auf

$$5,95 + 5,30 = 11,25 \text{ M.}$$

bezzifferten. Auf das einzelne Lager berechnet, ergebe es

$$11,25 : 70 = 16,07 \text{ Pf.}$$

Eine Tagesleistung von je drei Maschinen ergäbe: 105 auf den älteren und 210 Lager auf den neuen Fräsmaschinen.

Das Ergebnis ist: 100% Mehrleistung in der Fertigung und eine kleine Selbstkostenverminderung von 2,5%, trotz 55% Lohnerhöhung. Das Beispiel zeigt, wie verkehrt es ist, alles in Pausch und Bogen mit dem gleichen Unkostensatz zu berechnen.

Außerdem könnte auch der Fall eintreten, daß drei sehr große teure Maschinen, die von einem Arbeiter bedient werden und deren jede bei gerechter Unkostenverteilung stündlich 1—1,50 M. aufzubringen hätte, nur mit einem lächerlich geringen Betrag belastet würde. Die Unkosten sollen z. B. 200% des Arbeitslohnes betragen und der Arbeiter soll an jeder Maschine nur wenig mehr als 2 M. im Tag verdienen. Ist dann 12 000 M. der Anschaffungspreis der Maschine und 15 PS die benötigte Kraft, die wir mit 5 Pf. für die Pferdekraftstunde annehmen wollen, dann ergeben schon diese 2 Posten:

¹⁾ Alle Geldbeträge müssen entsprechend der Markentwertung erhöht werden.

5% Verzinsung von 12 000 M. = 600 M. bei 300 Arbeitstagen	= 2,— M. täglich
10% Amortisation von 12 000 M. und Instandhaltung der Maschine = 1200 M. bei 300 Arbeitstagen	= 4,— „ „
15 PS · 5 Pf = 75 Pf. für die Stunde, bei 10 Stunden	= 7,50 „ „
	<hr/>
	13,50 M.
Wenn dazu für Werkzeuge und Schmier- und Putzmaterial noch	—,50 M. täglich
hinzukommen, dann betragen die besonderen Unkosten	14,— M. täglich
Die allgemeinen Unkosten dürften sich dann noch auf etwa	1,50 „ „
	<hr/>
belaufen, so daß diese eine Maschine für den Tag etwa an Unkosten aufzubringen hätte.	15,50 M.

Da nur 4 M. Unkosten gedeckt werden, so bleiben noch 11,50 M., die von anderen Maschinen aufgebracht werden müssen. Ein Fehlbetrag, der das ganze Verfahren im richtigen Licht erscheinen läßt. Werden in so einem Betriebe Fabrikate hergestellt, deren Verkaufspreise von der gesamten Marktlage abhängen, so kann dieses Verfahren der Grund seiner völligen Lahmlegung werden.

Der Gedanke, den Fräserarbeiter an einer Maschine ausreichend zu beschäftigen, hat noch manche wichtige Anregung gegeben, deren Verwirklichung schöne Früchte zeitigte.

Verfolgen wir zunächst die Vervollkommnung aller Maschinenorgane, die zur Verringerung der toten Zeit beitragen könnten, so müssen wir verschiedener Zwischenhandlungen gedenken, durch die der Fräserarbeiter aufgehalten wird. Solche sind das Umlegen des Hauptriemens von einer Stufenscheibe zur anderen und das Umlegen der verschiedenen Riemen für den Tischvorschub. Durch den Einscheibenantrieb der Frässpindel, der durch den Räderkasten eine größere Anzahl von Frässpindel-Umdrehungen zuläßt als die Stufenscheibe, ist nun eine ganz erhebliche Zeitersparnis geschaffen. Ebenso beim zwangsläufigen Antrieb des Tischvorschubes durch eine ähnliche Einrichtung, durch den Wechselräderkasten.

Der Erfolg eines Fräserbetriebes hing von jeher zum großen Teil von der richtigen Anwendung der Schnitt- und Schaltgeschwindigkeiten ab. Jedoch zogen gerade hier Unkenntnis und Bequemlichkeit recht enge Grenzen. Zwang das Zittern oder Warmwerden des Fräasers dazu, die Schnittgeschwindigkeit herabzusetzen, so wurde nur selten versucht, durch schnelleren Vorschub die geringere Gesamtleistung zu heben. Anders, wenn durch einfache Handgriffe, Schalt- und Schnittgeschwindigkeit den jeweiligen Verhältnissen angepaßt werden kann und der Werkmeister oder Betriebsleiter ohne Umstände selbst eine Nachprüfung vornehmen kann.

Der Einscheibenantrieb kann aber auch als Förderer des elektrischen Einzelantriebes angesprochen werden. Denn erst jetzt ist es möglich, den wirtschaftlich gut arbeitenden Elektromotor als Antriebsmittel zu wählen.

Wenden wir uns jetzt einer anderen Frage, der Verkürzung der Aufspannzeit der Werkstücke zu, so können wir mehrere Ausgangspunkte für unsere Betrachtungen gewinnen.

Den ersten Ausgangspunkt bilden die Aufspanneinrichtungen selbst. Sie haben manche Verbesserung erfahren und sollen an anderer Stelle noch eine ausgiebigere Würdigung finden. Hier soll nur ihrer Vervollkommnung insoweit gedacht werden, als sie berufen ist, die Aufspannzeit zu verkürzen.

Dazu gehören bei den gewöhnlichen Aufspann-Schraubstöcken: leichte Befestigungsmöglichkeit des Schraubstockes selbst, Kurbeln bis über den Tisch geführt, winkelrechte Flächen zum Anschlagen von Winkeln und Reißnadeln, einige Löcher zum Anbringen von Anschlägen

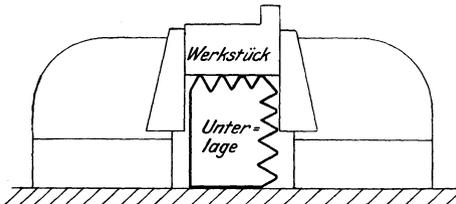


Abb. 163. Die genutete Schraubstock-Unterlage.

und an Stelle der flachen Unterlagen, die nach jedem Ausspannen von Spänen zu reinigen sind, solche mit Nuten, wie Abb. 163 zeigt, auf die man ohne weiteres Werkstücke legen kann, ohne befürchten zu müssen, daß sich Späne darunter festsetzen. Eine kleine Bewegung des aufgelegten Werkstückes befördert nämlich alle anhaftenden Späne in die dafür vorgesehenen Nuten.

Die Aufspannvorrichtungen sind Einrichtungen für Sonderzwecke, zumeist für Massenfertigung bestimmt. Für selten vorkommende Teile werden sie nur dann angewendet, wenn es auf höchste Genauigkeit und gleichmäßigste Ausführung ankommt. Ehedem war für ihre Konstruktion der Gedanke maßgebend, durch besondere Auflagen und Spannbacken eine genau gleichmäßige Stellung des Werkstückes gegenüber dem Werkzeug zu schaffen, wodurch die für die Austauschbarkeit erforderliche Genauigkeit erzielt wurde. Heute finden wir auch noch die sorgfältigste Durchbildung der für schnelles Aufspannen notwendigen Ergänzungen. So sind z. B. alle an Vorrichtungen vorhandene Spannschrauben mit Spiralfedern zu versehen, um die Spanneisen nach dem Lösen der Schraube in ihren Stellungen zu halten. Die Spannbacken der Vorrichtungen, die

nur durch Druckschrauben angepreßt werden, sind im ähnlichen Sinne federnd anzuhängen. Erinnern wollen wir ferner noch an die Durchbrüche zum freien Abgang der abgenommenen Späne.

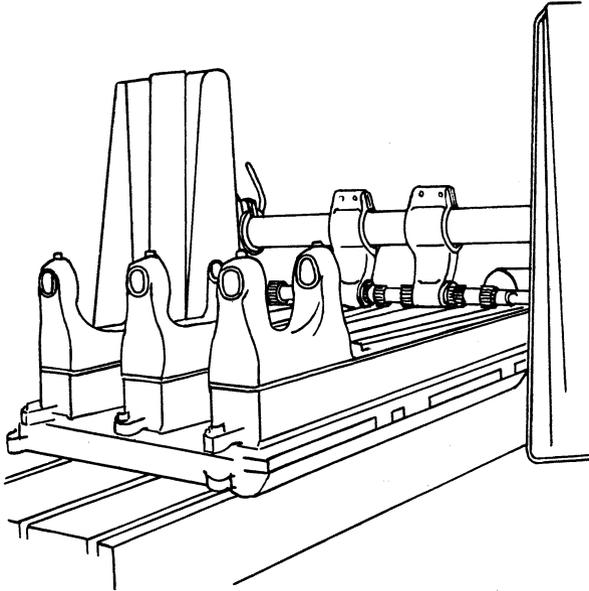


Abb. 164. Das Fräsen mit drei gleichen Fräsesätzen.

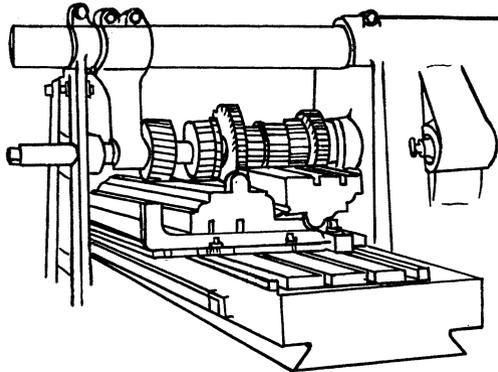


Abb. 165. Das Fräsen mit zwei verschiedenen Fräsesätzen.

Die Aufspannvorrichtungen sollten eigentlich alle zur Aufnahme von zwei oder mehreren Werkstücken eingerichtet sein, weil ihre Herstellung nur unwesentlich teurer als für ein Werkstück ist. Diejenigen Vorrichtungen, die man für die Aufnahme von 4—10 Werkstücken ein-

zurichten gedenkt, erfordern dagegen eine vorsichtige Prüfung hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit. Eine wesentliche Zeitersparnis beim gleichzeitigen Aufspannen der Werkstücke ist der eine große Vorteil dieser doppelten und vielfachen Vorrichtungen.

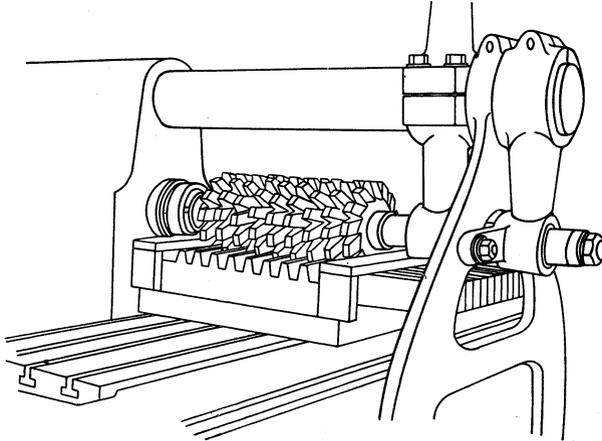


Abb. 166. Das Fräsen mit neun gleichen Profilfräsern.

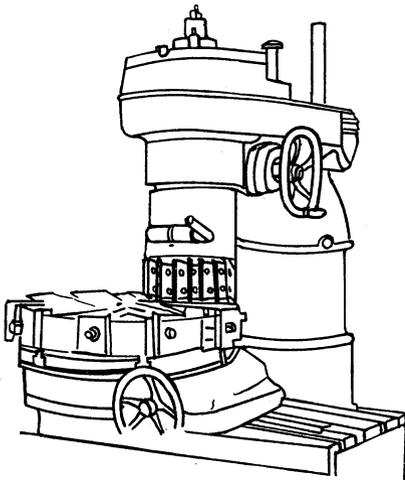


Abb. 167. Das ununterbrochene Fräsen von Bügeleisen.

Die Einführung der vielfachen Aufspannvorrichtungen bringt aber noch einen weiteren Fortschritt: die Verkürzung der Fräsdauer für das einzelne Werkstück. Geht man nämlich von der Erwägung aus, daß der Arbeitsweg des Fräasers nicht nur gleich der Länge des Werkstückes ist, sondern aus dieser + der Länge des Fräseranschnittes besteht, so erkennt man unschwer die Bedeutung für die Fräsdauer selbst.

Die volle Ausnützung der Fräsmaschine ist wiederum eine Forderung, die im Interesse der Wirtschaftlichkeit des Fräsebetriebes gestellt werden muß. Dort, wo sperrige Werkstücke große Fräsmaschinen erheischen, müssen durch Nebeneinanderspannen die vorhandenen Kräfte benutzt werden. Sei es, wie in Abb. 164 gezeigt, beim Fräsen gleicher Teile, wobei drei Sätze gleicher Fräser verwendet werden¹⁾, oder, wie in

zurichten gedenkt, erfordern dagegen eine vorsichtige Prüfung hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit. Eine wesentliche Zeitersparnis beim gleichzeitigen Aufspannen der Werkstücke ist der eine große Vorteil dieser doppelten und vielfachen Vorrichtungen.

¹⁾ American-Machinist, Jahrg. 1910, S. 645.

Abb. 165 dargestellt, beim Fräsen verschiedener Seiten gleicher Teile mit zwei verschiedenen Frälersätzen¹⁾. Letztere Anordnung zeigt eine gute Lösung, auf welche einfache Weise vorhandene Mittel mit bestem Erfolg für die obige Frage angewendet werden können. Ob in einzelnen Fällen mit einem teureren Frälersatz, wie es Abb. 166 zeigt, das Richtige getroffen wird, muß selbstverständlich ebenfalls einer gewissenhaften Prüfung unterliegen.

Wenn wir uns weiter mit der Frage der vollen Ausnutzung einer Fräsmaschine befassen, so kommen wir sehr bald zu der Erkenntnis, daß möglichst ein ununterbrochenes Arbeiten des Frälers anzustreben ist.

Durch den im nächsten Kapitel (Abb. 187) dargestellten doppelten Schraubstock des Verfassers wird diese Frage in einfachster Weise gelöst. Der revolverähnliche Schraubstock wird mit einer Seite vor das Werkzeug gebracht und, nachdem der Schnitt vollendet, um 180° gedreht, so daß jetzt das Werkstück der zweiten Seite bearbeitet werden kann, während das der ersten Seite ausgespannt bzw. durch ein weiteres unbearbeitetes ersetzt wird. Namentlich beim Bearbeiten auf Senkrechtfräsmaschinen ist diese Anordnung von großem Werte.

Auf den Senkrechtfräsmaschinen läßt sich nun im allgemeinen sehr leicht diese Teilung der Arbeit durchführen, weil der meist mit der Stirnseite arbeitende Fräser an keine bestimmte Schaltrichtung gebunden ist. Infolgedessen genügt ein langer Aufspanntisch, die Schaltrichtung des Tisches nach beiden Richtungen und zwei Aufspanneinrichtungen, die aus einfachen Spanneisen, Schraubstöcken oder anderen Vorrichtungen bestehen können. Die Bearbeitung geschieht am besten stets von der Mitte des Tisches aus. Um Verletzungen des Fräsarbeiters während des

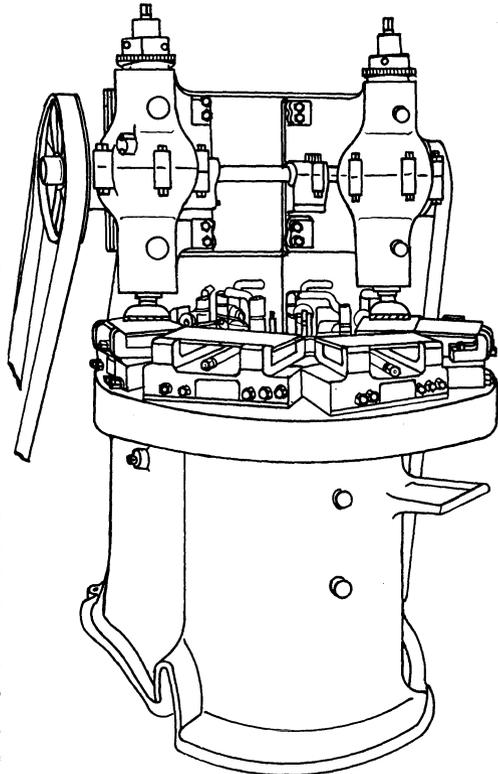


Abb. 168. Das ununterbrochene Fräsen von Singerplatten nach Pekrun.

¹⁾ American-Machinist, Jahrg. 1910, S. 1863.

Ab- und Aufspannen der Werkstücke zu verhüten, muß ein Schutzblech dazwischen gestellt werden.

Die eben angeführten Beispiele guter Ausnutzung von Fräsmaschinen sind noch nicht die letzten Lösungen der Frage, des ununterbrochenen FräSENS. Denn dieses sollte auch die tote Zeit des Zurückkurbelns des Tisches vermeiden. Es ist allerdings in seiner Anwendung wesentlich durch den Umstand beschränkt, daß es im allgemeinen nur zum Abplanen von Oberflächen solcher Werkstücke dienen kann, die in großer Anzahl gebraucht werden, so daß die Herstellung einer größeren Anzahl Aufspannvorrichtungen berechtigt ist.

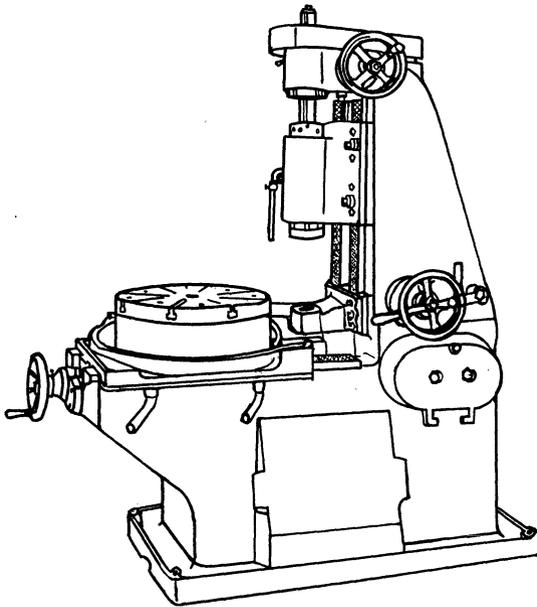


Abb. 169. Fräsmaschine mit Rundtisch.

Das ununterbrochene Fräsen kann auf jeder Senkrechtfräsmaschine mit Rundtisch ausgeführt werden. Abb. 167 zeigt beispielsweise eine Anordnung, mit der die bekannten Bügeleisen¹⁾ bearbeitet werden. Beim gleichmäßigen Rundscharren wird dabei Werkstück für Werkstück gefräst, wobei immer das dem Fräser gegenüberliegende abgespannt und durch ein neues ersetzt wird.

Sondermaschinen für diesen Zweck bringt die Werkzeug-Maschinenfabrik Pekrun in Coswig i. S. auf den Markt. Sie ordnet in vielen Fällen zwei Frässpindeln an, um mit der zweiten nach dem Vorfräsen das Schlichten auszuführen. Eine solche Fräsmaschine zeigt die Abb. 168. Sie ist für das Bearbeiten der Singer-Fundamentplatten vorgesehen und liefert bei 10stündiger Arbeitszeit 240—280 Stück.

¹⁾ American-Machinist, Jahrg. 1910, S. 1863.

Dem gleichen Zwecke dient die Maschine, die in Abb. 169 wiedergegeben ist und von der Berber-Colman-Company gebaut wird.

Eine Sonderfräsmaschine für ununterbrochenes Fräsen, von Droop und Rein in Bielefeld, ist in Abb. 170 dargestellt. Sie ist für die Massenerstellung kleiner Teile bestimmt und gestattet während des Fräsens ein bequemes Ein- und Ausspannen der Werkstücke. Die Abbildung zeigt die Maschine eingerichtet zum Anfräsen der Nasen an Eisenbahnschienen-Klemmplatten. Auf der Planscheibe lassen sich jedoch die

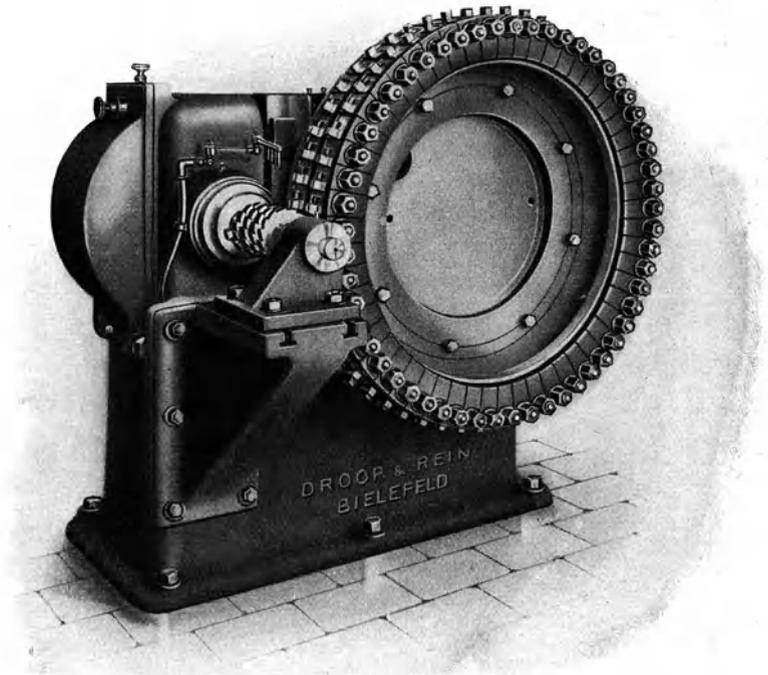


Abb. 170. Sonderfräsmaschine von Droop u. Rein, Bielefeld.

verschiedenartigsten Spannvorrichtungen anbringen, so daß die Maschine eine sehr vielseitige Verwendung zuläßt. Bei dem großen Durchmesser der Planscheibe lassen sich auch kleinere Teile, die man sonst mit geradlinigem Schaltweg herstellt, auf der Maschine fräsen, da die flachen Bogen bei schmalen Teilen wie Gestängegabeln u. dgl. belanglos sind.

Unterzogen wir vorstehend die Einrichtungen zur Verkürzung der toten Zeit einer kurzen Besprechung, weil durch die Einführung des Schnellbetriebes die Zeit des Fräsens selbst in den Hintergrund tritt,

so sollen im nachstehenden eine Anzahl Verfahren besprochen werden, die bei oberflächlicher Beurteilung zunächst die Zeit des Fräsens zu verkürzen scheinen, die jedoch bei genauer Prüfung letzten Endes ebenfalls die Zeit für das Auf- und Umspannen der Werkstücke verkürzen oder beseitigen wollen.

Hiervon sind nur schwer diejenigen Einrichtungen zu trennen, die auf die Erzielung einer höheren Genauigkeit hinauslaufen, weil im allgemeinen mit jeder Verbesserung die Vervollkommnung der Arbeit vorwärts schreitet.

Die Fräsmaschinen mit mehreren Frässpindeln¹⁾ sind hier in erster Linie zu nennen. Die nebenstehende Abb. 171, eine Sondermaschine, mit

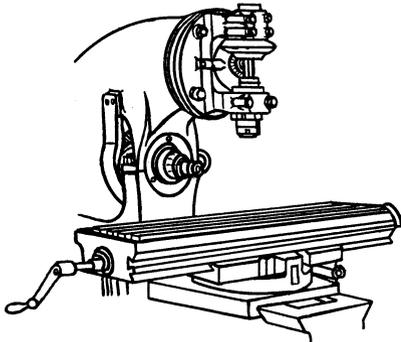


Abb. 171. Wagerecht- und Senkrecht-Fräsmaschine von J. E. Reinecker.

je einer senkrechten und wagerechten Frässpindel, von J. E. Reinecker in Chemnitz erbaut, möge ein Beispiel für solche Maschinen sein. In zahlreichen Fällen wird man mit ihnen neben erhöhter Genauigkeit eine wesentliche Zeitersparnis erreichen, indem entweder mehrmaliges Umspannen der Werkstücke oder der Werkzeuge (der Fräser), ja in manchen Fällen beides erspart wird.

Außer diesen Vorteilen wird die obige Maschine auch die Arbeitszeit in den Fällen verkürzen, die das gleichzeitige Arbeiten beider Frässpindeln zulassen. Wenn wir in Betracht ziehen, wie wenig höher der Anschaffungspreis einer solchen Maschine gegenüber einer einspindeligen ist, so kann man ihre sehr langsam vor sich gehende Einführung nur lebhaft bedauern.

Trotzdem ist im allgemeinen Maschinenbau die Anordnung mehrerer Spindeln schon sehr alt, und zwar bei den großen Werkzeugmaschinen. Dort, wo oft die hohe Betriebskosten aufzehrende Maschine viele Stunden stillliegen mußte, hat man sich die obigen Vorteile sehr früh zunutze gemacht. Es ist schade, daß der Weg vom Großen zum Kleinen weniger benützt wird, als vom Kleinen zum Großen. Um große Werkstücke nicht wiederholt umspannen und transportieren zu müssen, sind seit langem wertvolle Konstruktionen von großen, schweren Werkzeugmaschinen ausgeführt worden, auf denen nicht nur alle erforderlichen Fräsarbeiten vollzogen, sondern auch in zahlreichen Fällen andere Bearbeitungsarten, wie Bohren, Drehen, Schleifen, Hobeln und Stoßen ausgeführt werden können. Solche Maschinen stellen die Glanzeleistungen unseres Werkzeugmaschinenbaues dar.

¹⁾ Siehe auch: 10. Die Fräsmaschinen usw., S. 181.

Das Umspannen von Werkstücken und das Auswechseln der Fräser kann aber noch auf einer anderen Weise umgangen werden, nämlich beim revolverähnlichen Anordnen der Fräser, wie es A. Vernet in Dijon.

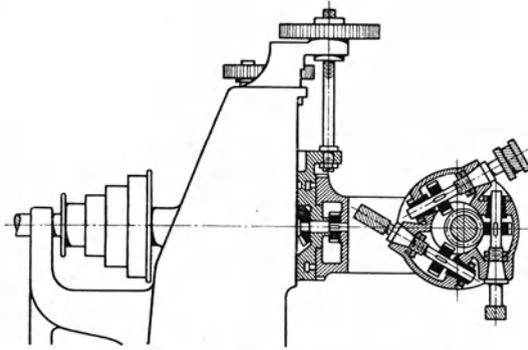


Abb. 172. Das revolverähnliche Anordnen der Fräser nach Vernet.

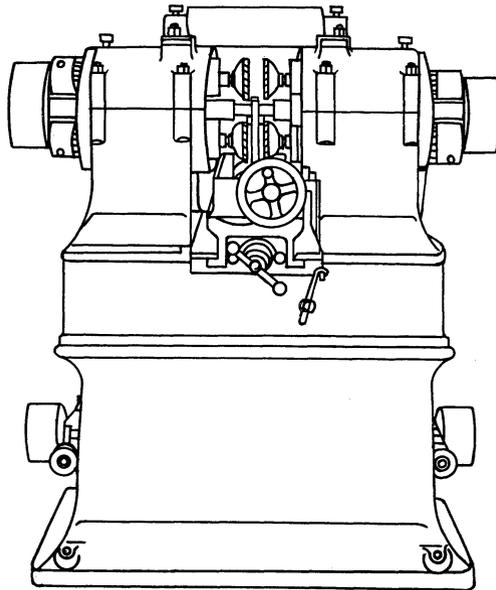


Abb. 173. Das revolverähnliche Anordnen der Fräser nach Pekrun.

(Frankreich)¹⁾ in Abb. 172 anstrebt. Ähnliche Versuche sind schon mehrfach an Bohrmaschinen gemacht worden, ohne indes größere Bedeutung für den allgemeinen Maschinenbau zu erlangen.

Dem Bau von Fräsmaschinen mit revolverähnlicher Werkzeuganordnung für die Massenfertigung hat Pekrun in Coswig i. S. neue

¹⁾ Werkstatttechnik 1909, S. 118: Patentbericht entnommen.

eigenartige Konstruktionen hinzugefügt. In Abb. 173 finden wir eine derartige Maschine dargestellt.

Eine eigenartige Fräsmaschine mit zwei Aufspanntischen hat die Werkzeugmaschinenfabrik von Potter und Johnston herausgebracht, deren Anordnung die Abb. 174 zeigt. Auf einem kräftigen Unterbau sind 2 Supportanordnungen derart angebracht, daß sich eine immer unter dem arbeitenden Fräser befindet; während die andere vollständig frei liegt, um das fertiggefräste Werkstück gegen einen neuen unbearbeiteten austauschen zu können. Die tote Zeit ist hier also auf das einfache Umschwenken der Arbeitstische herabgemindert.

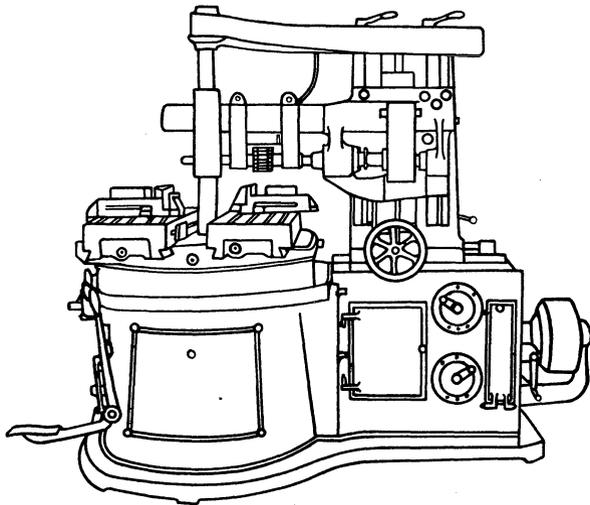


Abb. 174. Fräsmaschine mit zwei Aufspanntischen von Potter & Johnston.

Zuletzt sei noch auf den Einfluß aufmerksam gemacht, den das mehrschneidige Werkzeug auf die Entwicklung der Revolver- und selbsttätigen Drehbänke und der Bohrmaschinen ausgeübt hat. Den ersteren ist dadurch die Bearbeitung auch der schwierigsten Werkstücke ermöglicht und den letzteren ist ebenfalls ein erheblich weiteres Feld, das der Bearbeitung genauer und abgesetzter Bohrungen, zugefallen. Daß sich demnach unsere Bohrmaschinen in dieser neuen Entwicklungsstufe von den Senkrecht-Fräsmaschinen nur noch durch ihre einfacheren Arbeitstische unterscheiden können, findet in den neuen Modellen unserer besten Firmen ihre volle Bestätigung.

Die großen Leistungen, die diese Maschinen mit den mehrschneidigen Werkzeugen erzielten, haben wiederum eine Rückwirkung gezeitigt, sie haben den Übergang vom vielschneidigen zum mehrschneidigen Fräser, d. h. eine Beschränkung der Schneidzähneanzahl herbeigeführt.

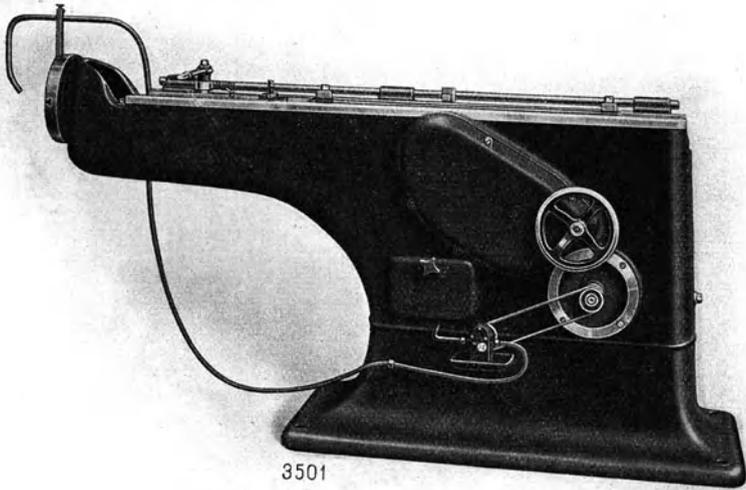


Abb. 175. Die Räumnadelziehmaschine von Forst.

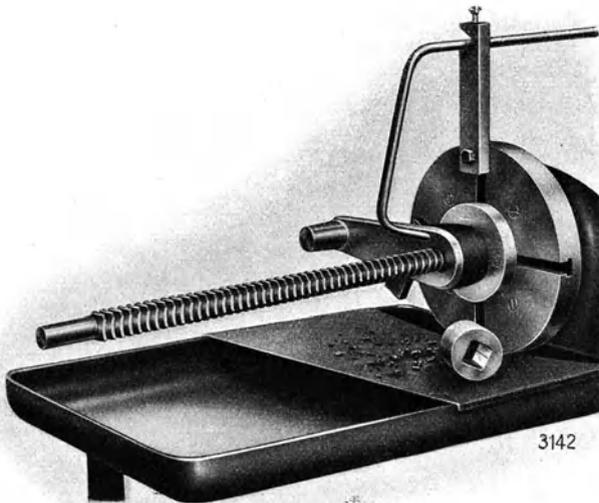


Abb. 176. Das Räumen eines Vierkantloches.

Zum Schlusse sei noch ein anderes mehrschneidiges Werkzeug, die Räumnadel, besprochen. Die dazu gehörige Räumnadelziehmaschine stellt Abb. 175 dar, in einer Ausführung wie sie von Forst, Solingen, gebaut und von Alfred H. Schütte, Cöln, in den Handel gebracht wird.

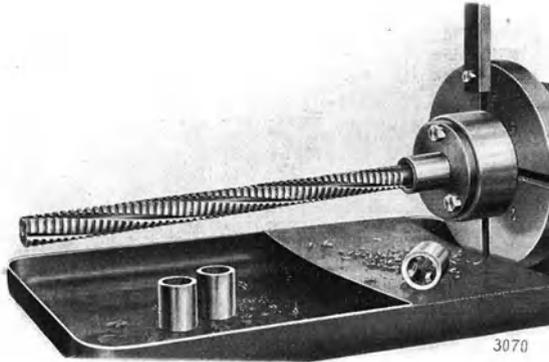


Abb. 177. Das Räumen einer spiralgewundenen Nute.

Die Räumnadel ist eine wertvolle Ergänzung des Fräasers geworden. Es hat sich ihr ein Arbeitsgebiet erschlossen, das lange Zeit der Stoßmaschine und der Handarbeit des Schlossers vorbehalten war. Nun

werden diese zeitraubenden Bearbeitungsweisen vereinigt, indem die Räumnadel in einem Zuge alles zu entfernende Material wegräumt. Je nach der zu entfernenden Materialmenge muß die Arbeit auf 1,2 und mehr Räumnadeln verteilt werden.

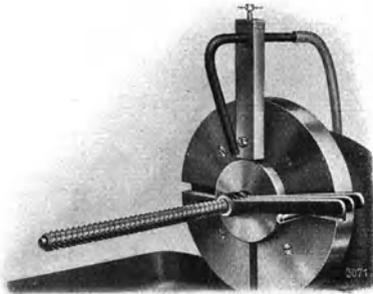


Abb. 178. Das gleichzeitige Räumen mehrerer Werkstücke.

In Abb. 176 ist das Räumen eines Vierkantloches $31 \times 31 \times 60$ mm an einer Kurbel, mit stündlicher Leistung von 30 Stück, dargestellt. Die Abb. 177 zeigt das Ausarbeiten von spiralgewundenen Nuten. Beim

Räumen nach Abb. 178 werden 3 Werkstücke zu gleicher Zeit fertiggestellt bei einer stündlichen Leistung von 180 Stück.

In Abb. 179 ist das Räumen von offenen Mutterschlüsseln gezeigt. Hier tritt die Räumnadel in Wettbewerb mit dem Fräser. Bei gleichzeitiger Bearbeitung von 2 Stück ergibt sich eine stündliche Leistung von 60 Stück.

Die Abb. 180—182 zeigen noch 3 weitere Bearbeitungsbeispiele nebst Aufspannvorrichtungen.

Ebenso wie beim Fräser lassen sich auch bei der Räumnadel die Schneidzähne schräg anordnen, um einen ununterbrochenen Schnitt zu ermöglichen.

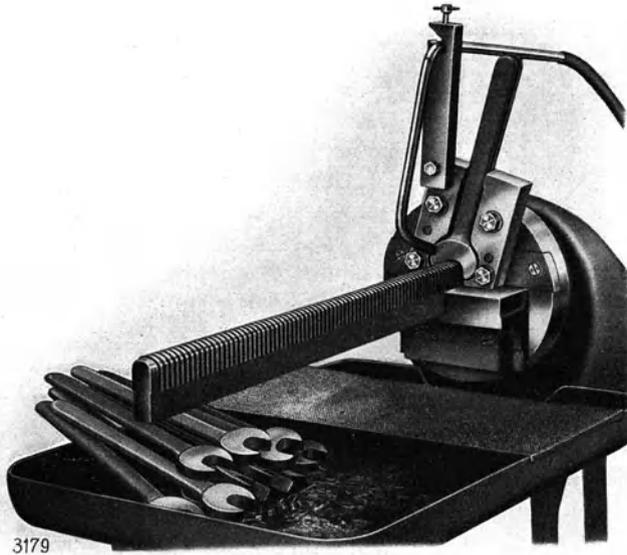


Abb. 179. Das Räumen offener Mutterschlüssel.

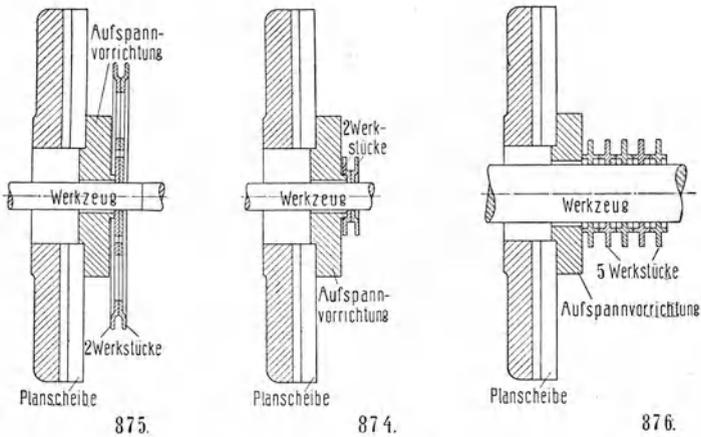


Abb. 180—182. Schnitte durch Werkzeug und Werkstücke.

8. Richtlinien für den Bau der Fräsmaschinen.

a. Der Einfluß der Kriegserfahrungen.

Wenn wir nach diesen Betrachtungen über Vergangenheit und Gegenwart nunmehr Ausblicke für die Zukunft eröffnen, so wird dem folgenden durch die uns alle bewegenden ernstesten Zeitverhältnisse ein unverkennbarer Stempel aufgedrückt. Hinter uns liegen viereinhalb Jahre Kriegswirtschaft und die Übergangswirtschaft zum Frieden. Während die eine uns zwang alles für einen Abnehmer, dem Staat, zu liefern und fast auf allen Gebieten zur reinsten Massenfertigung überzugehen, verlangt die andere die Umstellung der Fertigung auf die Erfordernisse einer breiten Abnehmerschar, also Rückkehr zur alten Fertigungsweise.

Die Erfahrungen der Kriegsjahre müssen dauernde Werte bilden. Mit zu großen Opfern war die Erkenntnis verknüpft, die bis in die kleinsten Werkstätten drang, daß nur ausgeprägte Massen- und Reihenfertigung imstande ist, Güte und Billigkeit auf einen Stand zu bringen, der dem der Einzelfertigung weit überlegen ist. Verschwendung übten wir, wenn wir das durch die Not gebotene Anlernen unserer Arbeiter auf Verwendung von Vorrichtungen und Toleranzkalibern aus der kleinsten Werkstatt vertrieben.

Der von allen erkannte Weg zur Ausnützung der gewonnenen Erfahrungen führt zur Annahme der Normung von Maschinen und Einzelteilen. Nur wenn die gesamte Industrie die Normungsbestrebungen aufnimmt, kann an eine Weiterführung und an einen Ausbau des bisher beschrittenen Weges der Massen- und Reihenfertigung gedacht werden. Der Normen-Ausschuß der deutschen Industrie (Nadi) hat wertvolle Arbeiten in dieser Richtung niedergelegt, die in zahlreichen Normenblättern heute schon der Industrie zur Verfügung stehen. Gleich wertvoll sind seine Arbeiten und Veröffentlichungen zur allgemeinen Hebung des Gedankens für Normen.

Für den Werkzeug- und Werkzeugmaschinenbau gewinnen diese Arbeiten nach zwei Richtungen hin Bedeutung. Einmal, wenn es sich darum handelt die Normen in den eigenen Werkstätten anzuwenden, und zum anderen darin, aus der gesamten Bewegung wichtige Schlüsse für die Weiterentwicklung der Werkzeuge und Werkzeugmaschinen zu ziehen.

Es bedarf keiner Beweisführung, daß die Einführung der Normen für die Fertigung der Maschinen und Einzelteile erhebliche Vorteile bieten wird, Vorteile, die weit über die Grenzen der eigenen Werkstätten hinausgehen, indem sie den Verbraucher bei Instandsetzungen in den Ersatzteillieferungen Erleichterungen schaffen werden. Wird dabei noch angestrebt, gleichartige Gruppen an verschiedenen Maschinen zu verwenden, so werden ganz erheblich geringere Gesteungskosten

zu erzielen sein. (Vergleiche: Biernatzki, wagerechte und senkrechte Fräsmaschinen, Abb. 210—217 und 230, wo gleiche Räderkasten zur Verwendung kommen.)

Zu begrüßen wäre auch die Aufstellung von Normen für die Aufspann-Nuten der Arbeitstische und Planscheiben, sowie über einheitliche Ausführung der Schutzvorrichtungen.

Wenn ferner die Bestrebungen für die Sinnfälligkeit an den Maschinen, worüber sich Arbeiten beim Nadi in Vorbereitung befinden, überall aufgegriffen werden, so wird auch für die Bedienung ein leichteres Einarbeiten an den verschiedenen Maschinen möglich sein.

Wesentlich schwieriger ist es nun aus der gesamten Normenbewegung die richtigen Schlüsse für die Weiterentwicklung der Werkzeugmaschinen zu ziehen. Zeigten schon vor dem Kriege unsere ersten Maschinenbauanstalten bezüglich der Ausnützung ihrer Maschinen kein günstiges Bild, es sei z. B. in der Fräselei nur auf die vielen Universal-Fräsmaschinen hingewiesen, so ergab die Fertigung für den Kriegsbedarf erst recht eine unvollkommene Ausnutzung der überreichlich ausgestatteten Maschinen. Massen- und Reihenfertigung bedingen eben, daß die Bearbeitung in möglichst viele, aber einfache Arbeitsvorgänge zerlegt wird und so wurden die vollkommensten Fräsmaschinen, die für unzählige Arbeitsvorgänge eingerichtet sind, nur für einige wenige Arbeitsvorgänge verwendet. In überaus zahlreichen Fällen sind dann für die einzelnen Arbeitsvorgänge einfache Sondermaschinen geschaffen worden, die zum großen Teil in eigenen Werkstätten hergestellt wurden. Neben erheblich geringeren Gestehungskosten ermöglichte die einfachere Bedienung die Besetzung mit schnell anzulernenden Arbeitern, wodurch wesentliche Ersparnisse an den Arbeitslöhnen erzielt wurden. (Vergleiche z. B. Gewinde-Fräsmaschinen.) Der Gedanke liegt also nahe, einfache Maschinen zu fordern, die billig in der Anschaffung und doch leistungsfähig im Betriebe sind. Solche Maschinen zeigen als Hauptmerkmale die Beschränkung der Umlaufzahlen für den Antrieb der Arbeitsspindel und des Vorschubes und die Ausbildung des Arbeitstisches für den besonderen Zweck.

Vom allgemeinen Standpunkte betrachtet wäre es natürlich kein Fortschritt, wenn der Bau solcher einfacher Maschinen für den eigenen Bedarf von den größeren Werkstätten selbst ausgeführt würde, da es nichts anderes bedeutete, als daß wir in Fehler früherer Zeiten zurückfielen. Auch für diese Art Maschinen muß der Werkzeugmaschinenbau interessiert werden und auch bei ihm muß die Notwendigkeit der Normung Platz greifen.

Es fragt sich nun, wie weit der Werkzeugmaschinenbau im Rahmen der allgemeinen Normenbewegung den Forderungen auf einfache Maschinen für Massenfertigung und auf vollkommenere Maschinen für Einzelfertigung gerecht werden kann, wobei besondere Rücksicht auf die zwischen Massen- und Einzelfertigung liegende Reihenfertigung

zu nehmen ist. Die letztere beansprucht auch bei strengster Arbeitsteilung die Einrichtung der Maschinen für mindestens 10—15 Arbeitsvorgänge.

Man könnte eine Lösung darin suchen, daß schon beim Entwerfen der Maschinen vorgesehen wird, die Anzahl der Antriebsgeschwindigkeiten verschieden auszuführen, so daß also z. B. senkrechte Fräsmaschinen gleichen Modelles einmal für 3 und das andere Mal für 12 Umlaufzahlen der Arbeitsspindel und des Vorschubes zu bauen sind. Ferner würde man an den einfachen Maschinen die selbsttätige Bewegung nur für den Arbeitstisch vorsehen und auch alle übrigen Ausstattungen weglassen. Für die Fertigung würden sich dabei wesentliche Vorteile durch die Gleichheit in den Hauptteilen ergeben, selbst wenn man beide Arten in gesonderten Reihen herstellen müßte. Auf diese Weise könnte wohl eine einfachere Maschine auf den Markt gebracht werden, aber ihre Gestehungskosten würden gegenüber den der vollkommeneren Schwestermaschine keinen nennenswerten Unterschied ergeben.

Die bessere Lösung dieser Frage wäre unstreitig die, beide Maschinenarten von Grund auf für die bestimmten Zwecke zu entwerfen, wobei von den Konstruktionsarbeiten angefangen, bis zum Aufstellen der einfacheren Maschinen wesentliche Ersparnisse zu machen wären.

Auf Fräsmaschinen angewandt müßten also hauptsächlich für wagerechte und senkrechte Fräsmaschinen einfache und vollkommene Maschinen gefordert werden, wobei erinnert sei, daß sich in der einfachen wagerechten Fräsmaschine Abb. 222 bereits ein Beispiel dafür befindet. (Vgl. im Gegensatz dazu 210.) Nur bei den senkrechten Fräsmaschinen finden wir bis jetzt kein Beispiel dafür und gerade diese Maschinen sind in der letzten Zeit hauptsächlich zum Abplanen, also für einfache Arbeitsvorgänge verwendet worden, wofür unbedingt die einfache Maschine genügt. Man könnte noch hinzufügen, daß wir mit weniger Modellgrößen auskommen könnten, um die Vermehrung, die im Trennen von einfachen und vollkommenen Maschinen liegt, wett zu machen.

Nicht unerwähnt bleibe der Gedanke durch Zusammenschluß der Werkzeugmaschinenfabriken, Vereinheitlichung und Beschränkung im Bau ihrer Maschinen anzustreben. Wie weit diese Entwicklung vorgeschritten ist, kann hier nicht näher untersucht werden, doch wären im allgemeinen Interesse Fortschritte nach dieser Seite lebhaft zu begrüßen.

Prüfen wir nun noch einmal die Frage, Bau einfacher und vollkommener Maschinen vom Standpunkte des Verbrauchers aus, so müssen wir zunächst den Hauptgrund für die Anschaffung vollkommener Maschinen in der Befürchtung suchen, durch einen Wechsel der bisherigen Arbeiten keine geeigneten Werkzeugmaschinen für das Neuaufzunehmende zu haben. Tatsächlich beherrscht der Gedanke, Maschinen für alle möglichen Arbeiten anzuschaffen, selbst große Werkstätten. Man will für alle Fälle gerüstet sein. Dabei wird aber über-

sehen, daß es sich bei einem großen Werke auch bei der Aufnahme neuer Arbeiten immer wieder um eine Fertigungsweise handeln wird, die der bisherigen entsprach, und daß in diesem Falle sich auch die einfachen Maschinen mit wenigen Unkosten für die Neuarbeit umstellen lassen. Hierzu kommt, daß die Verwendung von Schnellstahlfräser keine so großen Abstufungsmöglichkeiten für die Schnittgeschwindigkeiten verlangt, daß ferner durch Veränderung der Umlaufzahlen des Vorgeleges leicht eine Änderung möglich ist.

Fassen wir das vorher Gesagte zusammen, so tritt die Forderung nach einfachen und vollkommenen Fräsmaschinen klar zutage und ihre Einführung würde die Weiterentwicklung der Frästechnik einen guten Schritt vorwärts bringen.

b. Die wichtigsten Konstruktionsteile der Fräsmaschinen.

Wenn im vorigen Ausblicke über die Entwicklung der Frästechnik erörtert wurden, so ergaben sich dabei eine Reihe Forderungen, die bei dem Entwerfen und dem Bau der Fräsmaschinen zu beachten sind. Wohl finden wir in den später folgenden Beschreibungen der Fräsmaschinen gute Beispiele dafür, aber trotzdem dürfte eine gedrängte Zusammenfassung dieser Forderungen nicht unwillkommen sein.

Das Maschinengestell der Fräsmaschine muß in seinem Aufbau so bemessen sein, daß die Arbeitsdrücke und die sich daraus ergebende Spannungen ohne Formveränderungen dauernd aufgenommen werden können. Das gilt im besonderen Maße von den Stellen, die zur Aufnahme der Frässpindellagerung und der Schlittenführungen bestimmt sind. Hier muß durch Versteifungsrippen oder Zwischenwände Vorsorge getroffen werden, daß die durch die Bearbeitung bestimmte Lage der Ebene dauernd erhalten bleibt. Bei der Bearbeitung des Maschinengestelles ist daher auch besondere Rücksicht darauf zu nehmen, daß zunächst alles vorgearbeitet wird, damit sich überall die etwa im Guß vorhandenen Spannungen lösen können und daß dann erst mit der Fertigbearbeitung begonnen wird. Es soll also nicht erst alles fertig gehobelt und danach die Bohrarbeiten begonnen werden, sondern die gesamte Bearbeitung des Maschinengestelles muß in Vor- und Fertigbearbeiten geteilt werden.

Sobald Werkzeugschränke, oder Ausbrechungen für Aufstellung von Motoren usw. im Maschinengestell vorgesehen werden, ist ganz besonders darauf zu achten, daß an diesen Stellen entsprechende Verstärkungen zum Ausgleich angebracht werden.

Die Frässpindel und deren Lagerung stellen neben den Organen der Arbeitstischbewegungen die wichtigste Gruppe einer Fräsmaschine dar. Die Frässpindel muß aus hochwertigem Einsatzstahl hergestellt, gehärtet und geschliffen sein. Ihre durchgehende Bohrung ist am vorderen Ende für die Aufnahme der Fräsdorne eingerichtet und muß

zu diesem Zwecke mit einem Kegel versehen sein, der dem der übrigen Maschinen entspricht¹⁾. Unerläßlich ist die Anordnung einer Zugschraube zum Anziehen und Lösen der Fräsdorne. Das vordere Ende der Frässpindel muß außen ein grobes Spitzgewinde tragen, um Fräsköpfe und größere Stirnfräser aufnehmen zu können, sowie eine Mitnehmereinrichtung für die Fräsdorne.

Beachtenswert ist die Anordnung eines Schwungrades am hinteren Ende der Frässpindel von Gould & Eberhardt, Amerika. Namentlich an Zahnräderfräsmaschinen soll damit ein wesentlich höherer Genauigkeitsgrad und ein erheblich sauberer Frässchnitt erreicht werden, weil das Zucken der Frässpindel, veranlaßt durch den Angriff der einzelnen Schneidzähne, vollkommen beseitigt wird.

Die Lager der Frässpindel sollen reichlich lang und nachstellbar sein, damit selbst beim unvermeidlichen Verschleiß die richtige Lage der Frässpindel möglichst lange erhalten bleibt. Der Axialdruck der Frässpindel ist vom vorderen (Haupt-) Lager aufzunehmen. (Vergleiche hierzu die Abbildungen 203, 211, 226 und 229).

Der Einscheibenantrieb ist für die Fräsmaschine der geeigneteste, weil er rasches und müheloses Umschalten auf schnelleren oder langsameren Gang gestattet, auch den elektrischen Einzel- oder Gruppenantrieb begünstigt. (Vergl. Abb. 202, 203, 210, 211, 224, 225 und 231.) Die Übertragung der Geschwindigkeiten erfolgt durch Stufenräder, meistens in Verbindung mit schwingbaren Wippen und Schieberädern. Diese Anordnungen sind denen mit Ziehkeilen vorzuziehen. Vorteilhaft ist außerdem die Einscheibe durch eine Kupplung ein- und ausrückbar zu machen.

Als Riemenschutz bringen die Wanderer-Werke eine gut durchgebildete Anordnung. Die Riemenscheibe ist von einem gegossenen Gehäuse voll umschlossen und läßt nur durch zwei Schlitze die Riementteile durchtreten, Abb. 202.

Bestimmen besondere Gründe den Antrieb der Frässpindel mit Stufenscheiben, so ist zu beachten, daß in Verbindung mit dem Rädervorgelege eine genügende Zahl gleichmäßig abgestufter Umlaufzahlen möglich ist. Die Umlaufzahlen der Frässpindel müssen auf einem Schild leicht erkennbar verzeichnet sein. Beim Einscheibenantrieb sind darauf auch die Hebelstellungen für die einzelnen Gänge anzugeben.

Das Gegenlager für den Fräsdorn erfordert in dem gleichen Maße erhöhte Sorgfalt als die Leistung der Maschinen erhöht werden soll. In Abb. 202 zeigt der Träger für das Gegenlager eine zeitgemäße Abstützung. Während bei schwachen Schnitten die Anordnung eines einfachen Gegenhalters genügt, erfordern starke Schnitte Anordnungen wie in Abb. 205, 210 und 228 gezeigt werden. Abbildung 210 schützt ferner den Fräsdorn in der Mitte gegen Durchfedern.

¹⁾ Vgl. Kegelnormen S. 31 u. f.

Die Schlitten (Supporte) und ihre Führungen müssen nicht nur genaueste winkelrechte Arbeiten ermöglichen, sondern auch so bemessen sein, daß dauernd alle Arbeitsdrücke, die Verbiegungen und Spannungen hervorrufen, ohne Formveränderung aufgenommen werden können. Alles bei dem Maschinengestell diesbezüglich gesagte trifft in gleichem Maße bei den Winkel- (Konsol-), Kreuz- und Tischschlitten zu. Ist der Tischschlitten mit Drehteil ausgestattet (Universal-Fräsmaschine), so ist für breite und im Durchmesser reichlich bemessene Auflage zu sorgen. (Vergleiche Abb. 201, 205 und 209.)

Der Tischschlitten muß nach beiden Richtungen selbsttätige Arbeitsbewegung haben. Bei größeren Maschinen ist hierzu noch beschleunigter Rücklauf erforderlich. Alle Bewegungen der Schlitten von Hand sind durch Anschläge zu begrenzen. Alle selbsttätigen Bewegungen der Schlitten müssen auch selbsttätige Auslösungen besitzen. Die Spindeln der Kurbeln oder Handräder sind mit Teilscheiben auszustatten, nach denen Bruchteile von Millimeter eingestellt werden können.

Die Gewindespindeln der Schlitten sollen möglichst kräftig und mit metrischer Steigung geschnitten sein. Der Antrieb der Gewindespindeln von innen heraus ist der zweckmäßigste. Reinecker verwendet zum Antrieb des Arbeitschlittens eine Schnecke und versieht den Tisch mit schneckengangartigen Zähnen. (Vergl. Abb. 208 und 209.) Der Vorteil dieser Anordnung besteht darin, daß Biegungen und Dehnungen der Gewindespindel, welche ein sprunghaftes Verschieben des Arbeitstisches hervorrufen können, vermieden werden.

Der Antrieb der Bewegungsmechanismen geschieht von der Frässpindel aus entweder durch Stufenscheiben, oder durch starre Übertragung mittelst Räder oder Zahnketten. Der letztere Antrieb ist der weitaus bessere, weil er ebenfalls wie beim Einscheibenantrieb der Frässpindel rasches und müheloses Umschalten auf langsameren oder schnelleren Vorschub gestattet. Die einzelnen Vorschubgrößen werden in der Regel durch Stufenräder oder Schieberäder, die in einem Räderkasten vereinigt sind, übertragen. Die dazu nötigen Hebelstellungen und die dadurch erreichbaren Vorschubgrößen sind ebenfalls auf einem Schild an der Fräsmaschine anzubringen. Um Unachtsamkeiten der Bedienung vorzubeugen ist zur Verhütung von Brüchen beim Anrennen der Schlitten an irgend einer leicht zugänglichen Stelle eine Sicherung gegen Bruchgefahr anzubringen, die in der Regel aus einem sorgfältig bemessenen Stift besteht, der bei Überlastung einfach abgeschert wird.

Der Ölung der Fräsmaschine, ein bei der Konstruktion viel zu wenig gewürdigter Punkt, muß in Zukunft mehr Beachtung geschenkt werden. Die Umlaufzahlen und die Lagerdrücke der Frässpindel und der anderen Transmissionsteile sind namentlich infolge der Anwendung der Schnellstahlfräser so hoch gesteigert worden, daß das Anbringen einfacher Öllöcher und Fettbüchsen nicht mehr genügen kann. Bessere

Werkzeugmaschinenfabriken gehen deshalb mehr und mehr dazu über, die gesamte Schmierung der Fräsmaschinen zu zentralisieren, oder wenigstens in Gruppen zusammenzufassen. Eine zentrale Anordnung der Ölversorgung würde verhindern, daß einzelne wichtige Schmierstellen vom Arbeiter vergessen werden; außerdem würde eine ganz erhebliche Ölersparnis erzielt werden. Am besten wäre Druckschmierung vermittelt einer kleinen Räder- oder Kolbenpumpe mit Ölrücklauf und Filtrierung, wie man sie im Maschinenbau jetzt allgemein findet. Dadurch würde manche unliebsame Störung verhindert und die Lebensdauer der Maschine ganz wesentlich erhöht werden.

Die Fräsmaschine muß mit einer kräftigen Pumpe für die Kühlflüssigkeit versehen sein. Sehr oft findet man dafür die allereinfachsten und ungenügendsten Einrichtungen. Der Fräsebetrieb verlangt beim Arbeiten, mit Ausnahme des Bearbeitens von Gußteilen, sehr reichliche Wasserkühlung, die beim Arbeiten mit Schnellstahlfräsern auch noch das Wegspülen der Späne zu übernehmen hat. Natürlich ist nicht nur eine kräftige Pumpe und ebensolche Rohrleitung vorzusehen, sondern auch ein großer Kasten mit Filtriereinrichtung zur Aufnahme des zurückfließenden unreinen Kühlwassers und ein entsprechend eingerichteter Arbeitstisch. Sehr oft finden wir um den Arbeitstisch eine Schale zur Aufnahme von Kühlmittel und Spänen, die auch nicht im entferntesten nur eine halbe Minute ihrem Zweck dienen kann. Die Folge ist, daß die Maschine dauernd in einer Wasserlache steht. Eine entsprechend breite und tiefe Auffangrinne rund um den Arbeitstisch und ein reichlich großer Ablaufstutzen ist unbedingtes Erfordernis für zeitgemäße Ausstattung einer Fräsmaschine. Daß auch Bedacht darauf genommen wird bei starker Kühlmittelzuführung die darunter liegende Schlittenführungen und Spindeln zu schützen, soll hier nicht unerwähnt bleiben.

Neuere amerikanische Fräsmaschinen zeigen sehr hohe Späneschalen; bis zu 100 mm ragen sie über die Tischoberkante. Vgl. auch Abb. 239. Auch sind Anläufe bekannt, die Tische schräg anzuordnen um Wasser und Spänen bessere Abflußmöglichkeiten zu schaffen.

9. Die Aufspanneinrichtungen für Fräsmaschinen.

a. Die Maschinenschraubstöcke.

Der Maschinenschraubstock ist in der Einzelfertigung, ja sehr oft auch in der Massenfertigung, noch immer die am meisten angewendete Aufspanneinrichtung. Den vielseitigen Anforderungen entsprechend sind im Laufe der Jahre eine große Anzahl der verschiedenartigsten Konstruktionen entstanden. Doch nicht nur allein die Vielseitigkeit seiner Verwendung ist gefördert worden, auch seine inneren Mängel hat man durch gute Lösungen zu beheben gewußt.

Die freiliegende Spindel, auf die sowohl die Späne als auch der abspringende Zunder oder Formsand ungehindert fallen konnte, ist bei den guten Konstruktionen verdeckt angeordnet. Die ungenügende Befestigung bzw. Sicherung der Spannbacken, die an den nicht winkelrechten Flächen der Werkstücke die Schuld trugen, ist verschwunden und hat manche Verbesserung erfahren.

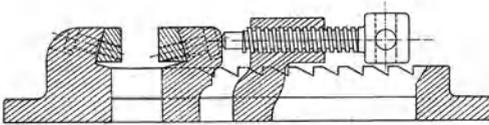


Abb. 183.

Der Schraubstock mit beweglicher Spannbacke.

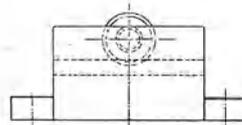


Abb. 184.

Nur in der Handhabung der Schraubstöcke kann man noch keine große Abnahme der Bedienungsfehler wahrnehmen, weshalb hier vor allem auf das ungenügende Festschrauben des Schraubstockes auf den Fräsmaschinentisch und auf das falsche Einspannen der Werkstücke hingewiesen sei. Es müssen vor allem auseinandergehalten werden: die Schraubstöcke für rohe Werkstücke und solche für bearbeitete Werkstücke. Sodann ist sehr wichtig, daß jedes Werkstück auf einer guten

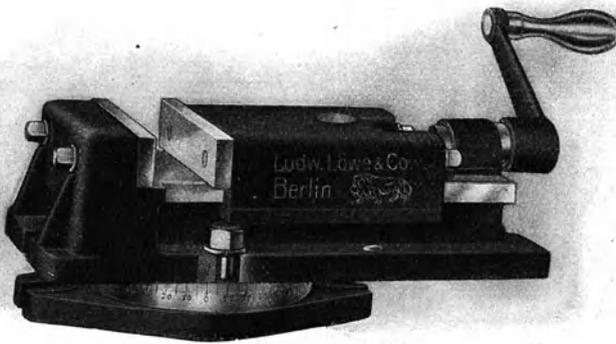


Abb. 185. Der Maschinenschraubstock mit festen Spannbacken nach L. Löwe & Co.

Unterlage ruht, damit es nicht nur zwischen den Backen festgeklemmt wird, sondern aufsitzen kann, damit der Hauptdruck des arbeitenden Fräasers von der Unterlage aufgefangen wird.

Die Schraubstöcke zum Einspannen der rohen Werkstücke erfordern zumeist eine bewegliche Spannbacke, siehe Abb. 183 und 184, da diese Werkstücke in der Regel nicht genau winklig sind. Hingegen sollen die Schraubstöcke für bearbeitete Teile festsitzende und geschliffene Spannbacken haben.

Abb. 185 zeigt einen Schraubstock von L. Löwe & Co. mit festen Spannbacken und Drehteil. Letzteres hat den Zweck, ein festgespanntes Werkstück in beliebige Schräglage zur Fräserachse bringen zu können.

Einen eigenartigen Schraubstock hauptsächlich für lange Werkstücke stellt die Abb. 186 dar. Er besteht aus drei einzeln auf den Fräsmaschinentisch zu befestigenden Gruppen, den beiden Spannbacken und dem Spindelteil. Durch Auseinanderrücken der Spannbackenteile kann er für jede beliebige Länge eines Werkstückes eingestellt werden.

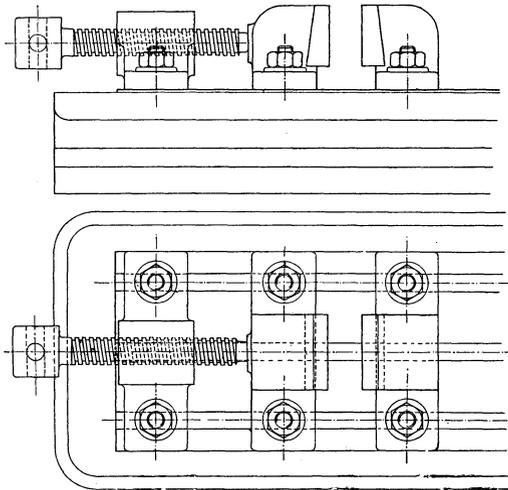
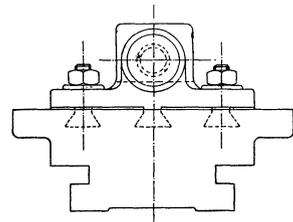


Abb. 186. In der Spanngröße verstellbarer Schraubstock.

In der Abb. 187 ist ein doppelter revolverähnlich arbeitender Schraub-



stock¹⁾ dargestellt, der schon im vorigen Kapitel erwähnt wurde. Auf dem kräftigen Unterteil befindet sich drehbar die Fußplatte für die beiden Schraubstockanordnungen.

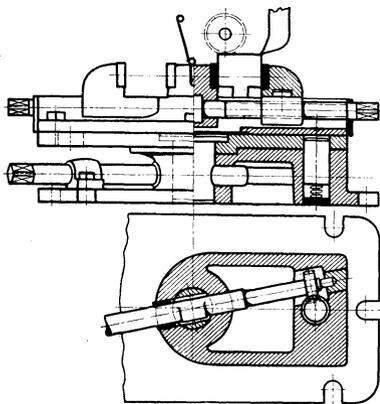


Abb. 187. Der revolverähnlich angeordnete Schraubstock.

Jede ihrer beiden Stellungen ist durch eine sichere Fixier- und Festklemmvorrichtung unverrückbar festgelegt. Durch Umlegen des Schlüssels, der die Spindel dreht, erfolgt zuerst die genaue Fixierung des Oberteiles und bei weiterer Drehung das Festklemmen auf das Unterteil. Die beiden Spannteile können jedes für sich bedient werden, so daß während des Fräsens auf der einen Schraubstockseite, das Ab- und Aufspannen auf der anderen erfolgen kann.

¹⁾ Werkstatttechnik 1907, S. 322: Patentbericht entnommen.

b. Die Aufspannvorrichtungen.

Unter dem Namen Fräsvorrichtungen verstehen wir die besonderen Aufspanneinrichtungen, die zum Fräsen einzelner Arbeitsgänge der in großen Stückzahlen zu bearbeitenden Werkstücke erforderlich sind. Verbilligung der Herstellung oder Austauschbarkeit der Werkstücke, sehr oft beides gemeinsam, ist ihr Zweck. Neben diesen treten die anderen Gesichtspunkte, die sehr oft die Vorrichtungen erforderlich machen, weit zurück. Z. B. unpassende Form des Werkstückes, die das Einspannen im Schraubstock nicht zuläßt, ferner die Notwendigkeit, die Aufnahme des Werkstückes von einem bereits gebohrten Loch oder einer bearbeiteten schiefen Ebene vornehmen zu müssen. In jedem Falle sollte der Anfertigung der Fräsvorrichtungen stets eine gewissenhafte Beurteilung des zu erwartenden wirtschaftlichen Vorteiles vorausgehen, um die Konstruktion darnach einzurichten.

Es wurde bereits hervorgehoben, daß bei richtiger Ausgestaltung der Schraubstöcke durch geeignete Spannbacken eine ganze Reihe von Fräsvorrichtungen, namentlich solange es sich um die ersten Arbeitsgänge handelt, umgangen werden können. Da jedoch die auswechselbaren Spannbacken hauptsächlich durch das erforderliche Ausarbeiten für die Form des Werkstückes, ebenfalls erhebliche Kosten verursachen, so wird man bei gerechter Bewertung beider Verfahren vielfach zu dem Schluß kommen, daß eine besondere Aufspannvorrichtung das billigere ist.

Tatsächlich ist man auch in den Betrieben, wo der Konstrukteur mit dem Werkstattleiter die Bearbeitung der Teile gemeinsam besprochen und festgelegt hat, wo also hinreichend Zeit zum Entwerfen und Anfertigen der Vorrichtungen und Werkzeuge vorhanden ist, immer wieder auf die besonderen Vorrichtungen zurückgekommen.

Die Ausführung der Aufspannvorrichtungen wird nun leider oft in einer Weise vollzogen, die dem gedachten Zweck in keiner Beziehung entspricht. Das geschieht namentlich in solchen Betrieben, die zwar nach Vorrichtungen arbeiten wollen, aber die Ausgaben für das Entwerfen der Vorrichtungen und Werkzeuge sparen und der Werkstatt überlassen, sich die erforderlichen Vorrichtungen zu bauen. Andere wieder schalten die Werkstatt dabei vollständig aus, sie wollen von „höheren Gesichtspunkten“ das „Wie“ des Bearbeitens vorschreiben und glauben die Erfahrungen der Werkstatt entbehren zu können.

Im ersteren Falle wird der Arbeiter aus Mangel an Zeit oft geneigt sein, die Vorrichtung aus Schmiedeeisenstücken herauszuarbeiten und sie mit einer Anzahl Winkel und Spanneisen besetzen, um mit wer weiß wieviel Unkosten ein Hilfsmittel herzustellen, das trotz aller Mühe und Arbeit unvollkommen bleibt und mit dem sich keine genaue Arbeit erzielen läßt. Früh genug wandert es in der Regel ins alte Eisen.

Im anderen Falle werden die vielen kleinen Vorteile, die sog. Werkstattkniffe, die zusammengefaßt erst den Erfolg zu garantieren ver-

mögen, völlig außer acht gelassen. Die Werkstatt betrachtet solche Vorrichtungen als etwas Fremdes.

Nur gemeinsames Zusammenarbeiten von Büro und Werkstatt kann zu dem Wege führen, der am Ende für den Betrieb von unschätzbarem Werte ist. Dieser Weg besteht darin, daß die Vorrichtungen — nach der bereits oben erwähnten gemeinsamen Beratung — zeichnerisch entworfen und die Körper möglichst nach Modellen gegossen werden. Nur wenige Flächen sind in der Regel bei diesem Verfahren zu bearbeiten, so daß sich die Modellkosten schon aus den ersparten Arbeitslöhnen decken. Wichtiger ist aber, daß eine solche Vorrichtung schon von vornherein auf den Arbeiter einen guten Eindruck macht. Hat er an dem ihr zugrunde liegenden Arbeitsverfahren noch etwas geistigen Anteil, so wird er in seiner vom Konstrukteur in schöne gefällige Formen gebrachten Idee vollends den Beweis gemeinsamer Arbeit erblicken und mit großem Interesse an eine richtige Ausnutzung herantreten.

In den Betrieben, wo die Konstruktion und Herstellung der Werkzeuge und Vorrichtungen in besonderen Abteilungen erfolgt, muß ein inniger Kontakt zwischen Büro und Werkstatt sorgfältig gepflegt werden.

Die Aufspannvorrichtung soll in erster Linie das einzuspannende Werkstück gut und sicher halten. Die Spannbacken sind deshalb derartig auszubilden, daß sie, dem Gesetz der Kräfte entsprechend, ihren Hauptdruck auf das Werkstück ausüben; was natürlich nicht möglich ist, wenn der Abstand von Mitte Spannschraube bis Mitte Spannbacke größer ist, als bis zum Gegenauflagepunkt der Spannbacke; ein Ausführungsfehler, den man sehr häufig beobachten kann. Sodann ist dafür Sorge zu tragen, daß etwa auftretende Vibrationen oder auch Biegungen der Vorrichtung den Fräser nicht in das Werkstück hineinreißen, sondern ihn herausdrücken. Bei hochgebauten Vorrichtungen ist hierauf besondere Rücksicht zu nehmen.

Eine vollkommene Aufspannvorrichtung muß aber auch das Einstellen des Fräasers rasch zu erledigen gestatten. Zu diesem Zwecke muß sie genau geschabte Ansätze besitzen, nach denen man unter Zuhilfenahme von Meßklötzchen den Fräser gleich fürs erste Stück richtig einstellen kann. Dieser Forderung kann nun wiederum am besten an gegossenen Körpern entsprochen werden. Leider wird sie noch recht wenig durchgeführt.

Ein Beispiel einer Aufspannvorrichtung, die alle notwendigen Einrichtungen aufweist, stellen die Abb. 188—190 dar. Es ist dabei bedeutungslos, welcher Art das einzuspannende Werkstück ist. In unserem Beispiel ist eine Hubklinke für die Füllungsregulatoren gewählt.

Der gußeiserne Körper *a*, der in bekannter Weise auf den Fräsmaschinentisch zu spannen ist, weist an seiner Grundplatte die Feder für die Tischnut und 2 Nocken für die Befestigungsschrauben auf. An seine vordere Fläche legt sich die Spannbacke *b*. Die Gegenbacke *c* ist mit dem Körper *a* verschraubt. Die kräftigen Schrauben *d* gestatten das Werkstück *w* sicher einzuspannen.

Um das Abspannen der Werkstücke schnell herbeizuführen, wird die Spannbacke *b* nach dem Lösen der Muttern durch die Feder *f* selbsttätig abgehoben. Zur besseren Führung der Spannbacke *b*, namentlich wenn bei schmälern Werkstücken nur eine Schraube Platz findet, kann man unter ihr noch einen Führungstift vorsehen.

Die Unterlage *g* muß sich der Form des Werkstückes anpassen und festgeschraubt sein. Bei geraden Flächen wird die einfache Unterlage, wie in Abb. 163 gezeigt, genügen.

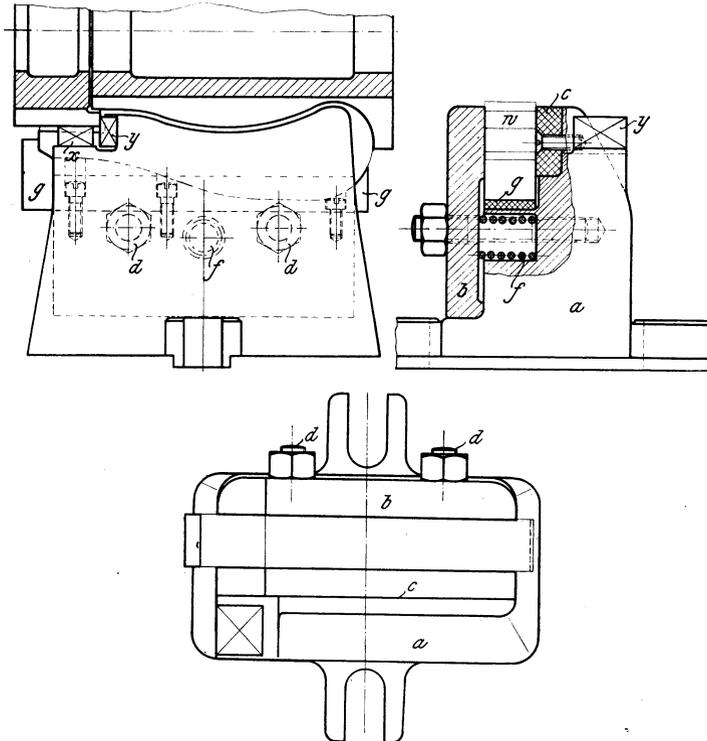


Abb. 188—190. Die Aufspannvorrichtung für kleine Profile.

In passender Höhe befindet sich am Gußkörper *a* noch ein Ansatz für die Einstellklötzchen angegossen. Er ist an den Flächen, wo die Meßklötzchen *x* und *y* angelegt werden, peinlich genau auf Maß geschabt, um nach dem Auflegen des vielleicht 5 oder 10 mm dicken Meßklötzchens genau die richtige Stellung des Fräasers anzugeben. Für solche Paßstellen nimmt man am besten diejenigen Partien des Werkstückes, die am genauesten sein müßten, einmal für die Höhen- und zum anderen für die Seiteneinstellung.

Um den Fräser einzustellen, kurbelt man die Paßflächen unter ihn und legt die Meßklötzchen dazwischen. Mit dünnem Papier kann man nun sehr leicht die richtige Stellung des Fräasers herbeiführen.

Eine solche Fräsvorrichtung wird allen Anforderungen, wie schnelles Einstellen des Fräasers, rasches Auf- und Abspannen und sichere Lage der Werkstücke und zitterfreies Arbeiten des Fräasers es sind, gerecht werden.

Es wurde schon die Frage gestreift, inwieweit die Stückzahl eines Werkstückes von Einfluß auf die Gestaltung der Vorrichtungen und Werkzeuge ist. Mit erheblichen Mitteln lassen sich naturgemäß andere Vorteile erzwingen, als mit beschränkten. Auch das Arbeitsverfahren, dem die Vorrichtung der Abb. 188 dienen soll, ist nicht die beste Lösung und kann also nur bei geringeren Stückzahlen empfohlen werden.

Wesentlich kürzere Arbeitszeiten würde das Fräsen in Reihen von 5 Stück, anstatt des Einzelarbeitens, ergeben. Für die Herstellungskosten der Fräsvorrichtung wäre es unerheblich, ob etwa der für *w* (Abb. 189) benötigte Raum 20 oder $5 \cdot 20 + 5 \cdot 2 = 110$ mm betragen würde. Dagegen müßte für das Fräsen der geraden Seiten eine besondere Einrichtung getroffen werden. Während bei dem obigen Verfahren das Bearbeiten der Seiten vor der Profilierung gedacht ist, müßte es jetzt nachher, am besten durch Zersägen, erfolgen, und zwar entweder mit der Einzelsäge oder noch besser mit dem Fräasersatz für 5 Stück.

Eine Gegenüberstellung der Arbeitszeiten¹⁾ dieser drei Verfahren dürfte nicht uninteressant sein und sei deshalb im nachstehenden wieder gegeben.

1. Verfahren: Einzelbearbeiten.

(Material: Stahl 35. 25. 125 mm.)

2 Flächen gerade fräsen:

Der Schaltweg ist 35 mm + 20 mm für den Anschnitt = 55 mm.

$55 : 30 \infty 2 \text{ Min.} \times 2 \dots\dots\dots = 4 \text{ Min.}$

dazu 2mal auf- und abspannen $\dots\dots\dots = \frac{1}{2}$ „ $4\frac{1}{2}$ Min.

2 Flächen profilieren:

Der Schaltweg ist 20 mm + 35 mm für den

Anschnitt = 55 mm.

$55 : 20 \infty 3 \text{ Min.} \times 2 \dots\dots\dots = 6 \text{ Min.}$

dazu 2mal auf- und abspannen $\dots\dots\dots = \frac{1}{2}$ „ $6\frac{1}{2}$ „

Demnach erhält man für das Stück eine Arbeitszeit von **11 Min.**

2. Verfahren: Profilieren zu 5 Stück und Einzelzersägen.

(Material: Stahl 35. 110. 125 mm.)

2 Flächen profilieren:

Der Schaltweg ist 110 mm + 35 mm für den Anschnitt = 145 mm.

$145 : 20 = 7\frac{1}{4} \text{ Min.} \times 2 \dots\dots\dots = 14\frac{1}{2} \text{ Min.}$

dazu 2mal auf- und abspannen $\dots\dots\dots = \frac{1}{2}$ „ 15 Min.

15 Min.

¹⁾ Als Wert des Anschnittes ist $\frac{1}{3}$ des Fräserdurchmessers angenommen. Der minutliche Schaltweg ist mit 30 bzw. 20 mm angesetzt.

Übertrag 15 Min.

4 Sägeschnitte und 2 Flächen fräsen:

Der Schaltweg ist 120 mm + 15 mm für den

Anschnitt = 135 mm.

135 : 30 = 4 $\frac{1}{2}$ Min. \times 6 = 27 Min.dazu 6mal auf- und abspannen 1 $\frac{1}{2}$ „ 28 $\frac{1}{2}$ „

43 $\frac{1}{2}$ Min.

Demnach entfällt auf 1 Stück eine Arbeitszeit von 8,8 Min.

3. Verfahren: Profilieren, Zersägen und Fräsen zu 5 Stück.

(Material: Stahl 35. 110. 125 mm.)

2 Flächen profilieren:

Wie unter Verfahren 2 = 15 Min.

1 Sägeschnitt (siehe Abb. 192) = 4 $\frac{1}{2}$ Min.1mal auf- und abspannen = 1 $\frac{1}{2}$ „ 5 „

20 Min.

Demnach braucht man für 1 Stück eine Arbeitszeit von 4 Min.

Somit weist schon das Verfahren 2 gegenüber Verfahren 1 einen Zeitgewinn von 20% auf, während Verfahren 3 eine Ersparnis von 67% erzielt. Zwischen Verfahren 2 und 3 liegen dann 55% Zeitgewinn.

Werden ähnliche Betrachtungen unter dem Gesichtswinkel des wirtschaftlichen Erfolges in vielen Fällen angestellt, so wird sich sehr bald für jeden Betrieb eine bestimmte Stückzahl ergeben, bei deren Überschreiten die weitgehendste Bereitstellung von Mitteln geboten erscheint, und die im anderen Falle eine weise Einschränkung empfiehlt.

Im folgenden sei noch kurz die einfache Fräsvorrichtung zum Zersägen der Werkstücke (Abb. 191 und 192) besprochen. An dem Gußkörper *a* sitzen rechts die Gegenhalter *b*, die zwecks guter Führung der Sägen beim Anschnitt gehärtet sind. Die einzelnen Spannbacken *c*₁—*c*₅ drücken durch die Schrauben *d* das Werkstück fest und finden im Winkelansatz *e* des Körpers *a* ihren Halt. Die Sägen und Fräser werden soweit wie zugänglich zwischen Scheiben gespannt, um das Ausweichen der Sägen verhindern zu können.

Mit Recht wird in letzter Zeit auf den größeren Fräsmaschinen das Hintereinanderspannen einer Anzahl von Werkstücken bevorzugt. Man spart dabei den jedesmaligen Anschnitt der oft sehr großen Fräser. Dies ist aber nicht ihr einziger Vorteil, da man sehr leicht beispielsweise eine Partie von 8 Lagerböcken aufspannen und nach dem Fräsen des dritten oder vierten Werkstückes mit dem Ab- und Aufspannen des ersten und zweiten wieder beginnen kann. Dabei darf jedoch nicht ein Werkstück an das andere gespannt werden, sondern jedes für sich oder doch wenigstens nur zu zweien zusammen. In allen Fällen, wo während des Arbeitens auf dem Tisch umgespannt wird, muß zum Schutz vor Unfällen ein Schutzblech dazwischen geschoben werden. Die

Zeitersparnis beim Fräsen ganzer Partien gegenüber dem Einzelfräsen beträgt 20—40%, was gewiß zur breitesten Einführung ermuntern muß.

Für schwache Schnitte wird man auf Schnellspannvorrichtungen großes Gewicht legen, wie die Abb. 193 und 194 eine solche darstellen

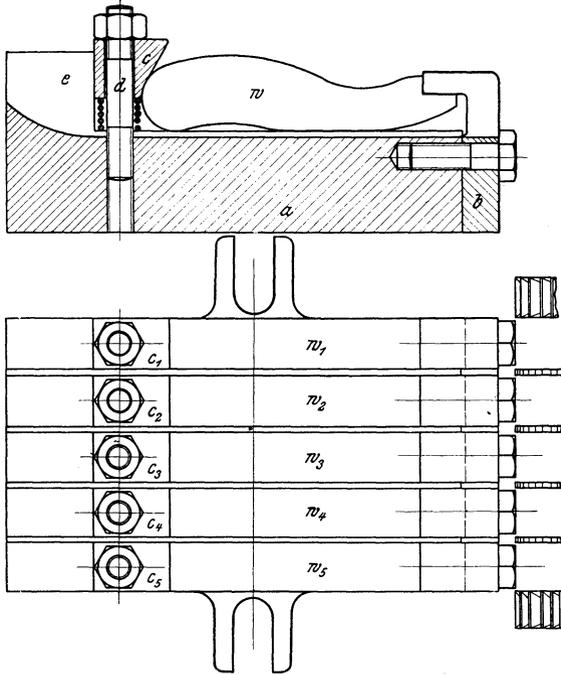


Abb. 191 u. 192. Die Aufspannvorrichtung zum Zersägen der profilierten Teile.

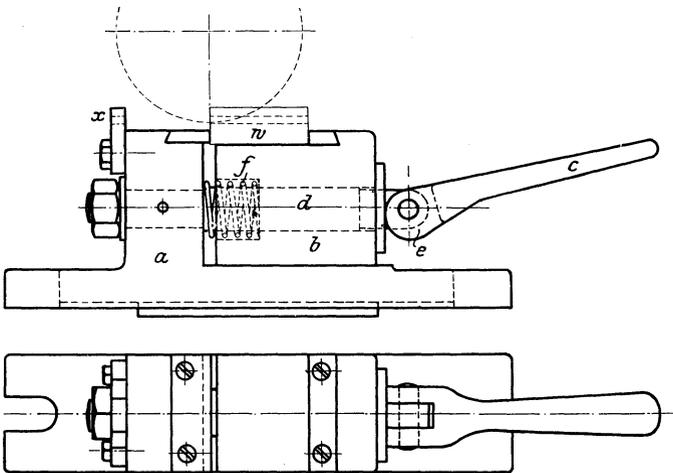


Abb. 193 und 194. Durch Hebeldruck spannende Aufspannvorrichtung.

Auf dem Körper *a* sitzt verschiebbar die Backe *b*. Der Hebel *c*, der am Bolzen *d* sitzt, ist bei *e* exzenterförmig ausgebildet, so daß er beim Niederdrücken die Backe *b* gegen das eingelegte Werkstück *w* preßt. Zwecks schnellen Lösen finden wir um *d* die Feder *f* gelegt. Das Einstellen des Fräasers erleichtert hier die angeschraubte Platte *x*, diesmal ohne Vermittlung des Meßklötzchens.

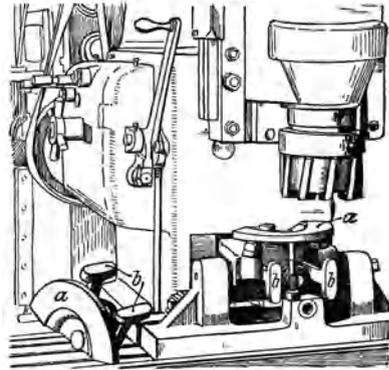


Abb. 195.

In überaus mannigfaltigen Arten werden die Aufspanvorrichtungen zur Aufnahme der bereits vorgearbeiteten Partien ausgeführt. Ein gutes Beispiel¹⁾ stellen die Abb. 195 u. 196 dar. Hier war die besondere Aufgabe zu lösen, an dem Konsol für die Umsteuervorrichtung der Landis-Schleifmaschine zwei zueinander senkrecht stehende Flächen, eine halbringförmige

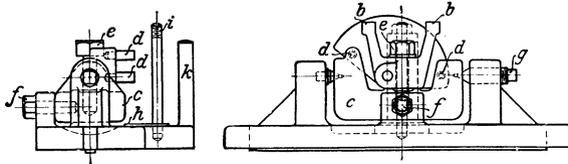


Abb. 196. Um 90° schwenkbare Fräsvorrichtung für Konsole.

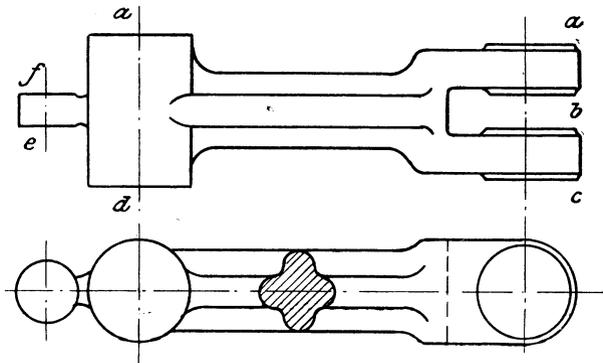


Abb. 197. Bearbeitete Pleuelgabel.

Scheibenfläche *a* und die Flächen *b* an den Konsolenfüßen, in einer Aufspannung zu fräsen. Einmal, beim Bearbeiten der Füße *b b* (Abb. 195

¹⁾ Der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1910, S. 1875, entnommen.

und 196) liegt die untere Fläche der halbringförmigen Scheibe gegen die Stifte $d d$ und zum andern, beim Fräsen der Fläche a , wird das Konsol

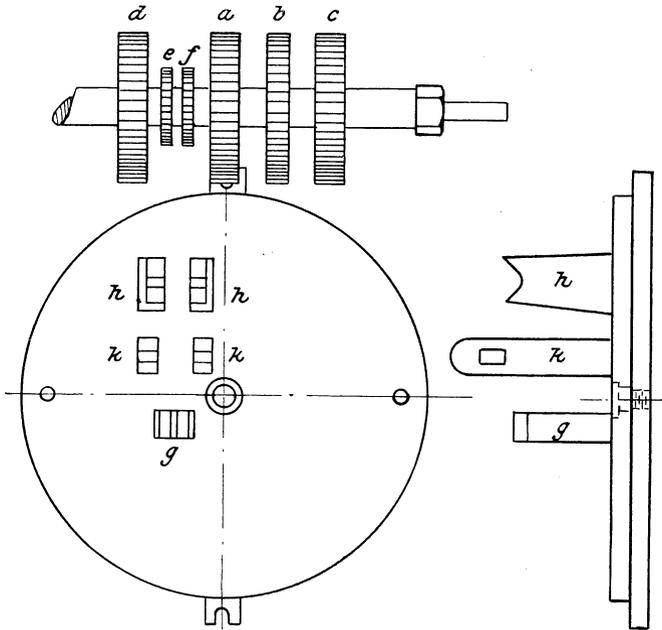


Abb. 198. Um 180° schwenkbare Aufspannvorrichtung für Pleuelgabeln.

in die Stellung der Abb. 195 gebracht, indem die Schraube f entfernt, die Schraube g gelöst und der Bügel e um 90° gedreht wird. Ein kleiner Bock, der bei h (Abb. 196) angebracht wird, dient als Stütze des Bügels c . Durch eine Klammer, die über den Bolzen i geschoben wird und gegen die Säule k anliegt, wird der Bügel festgeklemmt.

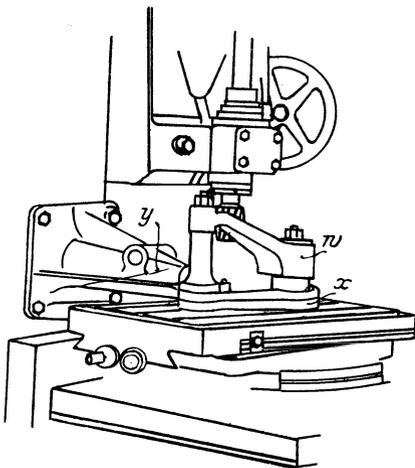


Abb. 199. Das Kopieren nach Schablone.

Eine andere interessante Vorrichtung zum Fräsen der Pleuelgabeln (Abb. 197) ist in der Abb. 198 wiedergegeben. Die beiden Fräsesätze zum Bearbeiten der Pleuelköpfe sind nebeneinander auf einem Fräsdorne angeordnet. Es sind die Fräser a, b, c, d, e und f . Auf der runden Grundplatte sind die Aufspannhilfsmittel h, k und g derartig seitlich angeordnet, daß einmal ein Pleuelkopf vor $d e f a$ zu stehen kommt und zum andern

nach Verdrehung von 180° der andere Pleuelkopf vor die Fräser *a b c* gerückt wird.

In Abb. 199 sei zum Schluß noch als Beispiel eine Aufspannvorrichtung in Verbindung mit einer Kopierschablone gezeigt. Der schräge Kurbelarm *w* sitzt auf zwei angesetzten Bolzen mit Spannschrauben, die unten die Schablone *x* tragen. Letztere läuft an der Rolle des Gegenarmes *y* und ermöglicht dadurch das genaue Kopieren der Kurbel *w*, die in entsprechende Stellung zum Fräser gebracht werden muß.

10. Die Fräsmaschinen für allgemeine und besondere Arbeiten in der Metallbearbeitung.

a. Die Einteilung der Fräsmaschinen.

Unter den obigen großen Begriff müßten eigentlich sämtliche Fräsmaschinen fallen. Jedoch aus Gründen, die in der Eigenart der auf einigen Fräsmaschinenarten ausgeführten Werkstücke liegen, wie bei Zahnrädern und Kurven, haben die Verfasser sich bestimmen lassen, die Maschinen für diese Verwendungszwecke in besondere Kapitel zu legen, obwohl die nachstehenden Einteilungen oftmals auch für sie gelten können.

Der Anzahl der Frässpindeln entsprechend, haben wir: ein-, zwei- und mehrspindelige Fräsmaschinen, die meistens als einfache, doppelte oder mehrfache Fräsmaschinen bezeichnet werden.

Die Lage der Frässpindeln teilt sie ferner in:

Wagerecht-(Horizontal-)Fräsmaschinen,
Senkrecht-(Vertikal-)Fräsmaschinen und
Wagerecht- und Senkrecht-Fräsmaschinen.

Die Frässpindeln sind im Maschinengestell oder im verschiebbaren Support selbst gelagert, je nachdem der Arbeitstisch mit oder ohne Höhenverstellung versehen ist.

Dementsprechend ruhen die Arbeitstische entweder auf dem Maschinengestell (= kasten) und sind in der Höhe nicht verstellbar oder auf einen in den senkrechten Führungen des Maschinengestells gleitenden Winkel- (Konsol-)Support und sind mit diesem in der Höhe verstellbar. Die erstere Konstruktion finden wir in der Regel bei den größeren und die letztere bei den kleineren Fräsmaschinen angewendet.

In der Werkstatt und im Handelsverkehr haben sich nun seit langem eine Anzahl Bezeichnungen für die verschiedenen Maschinenarten herausgebildet, die neben treffenden Bezeichnungen auch sehr viele untreffende aufweisen. Am sichersten sind noch die Sonderfräsmaschinen bezeichnet worden, da man sie nach ihrem Verwendungszweck benannt hat. Ganz unzutreffend ist z. B. die Bezeichnung: Planfräsmaschine; die darunter verstandene Maschine wird gerade am allerwenigsten zum Abplanen

von Werkstücken verwandt, richtiger wäre diese Bezeichnung bei den Senkrecht-(Vertikal-)Fräsmaschinen.

Im folgenden seien nach den obigen Gesichtspunkten die hauptsächlichsten Fräsmaschinenarten und ihre Kennzeichnung angeführt.

a. Die Universalfräsmaschine — allgemeine Wagerechtfräsmaschine — wird in den kleineren und mittelgroßen Modellen mit Konsol-support und festliegender Frässpindel und in den großen Modellen als Kastenmaschine mit in der Höhe verschiebbaren Frässpindelschlitten gebaut. Der Arbeitstisch ist mit einem Drehteil versehen, um in jeder Schräglage zur Umdrehungsebene des arbeitenden Fräasers gebracht werden zu können. Seine Tischspindel dient nicht nur zur Bewegung des Tisches, sondern auch zum Antrieb des Teilapparates. (Vgl. Abb. 200.)

b. Die Horizontal- oder Planfräsmaschine — einfache Wagerechtfräsmaschine — gleicht in der Bauart der vorgenannten, besitzt jedoch nicht das Drehteil des Arbeitstisches. (Vgl. Abb. 210.)

c. Die Langfräsmaschine — lange Wagerechtfräsmaschine — läßt ihren schweren Arbeitstisch in einem kräftigen Maschinen-gestell gleiten, das an beiden Seiten ausgebaut ist, zur Aufnahme der seitlich verschiebbaren Schlittenführungen für Frässpindellager und Gegenlager. Die Maschine läßt deutlich die für sie Vorbildlich gewesene Metallhobelmaschine erkennen, für deren Ersatz sie ja hauptsächlich bestimmt ist. (Vgl. Abb. 220.)

d. Die Planfräsmaschine System Lincoln — kleine Wage-rechtfräsmaschine mit Frässpindelschlitten — kennzeichnet sich durch ein durchgehendes Bett, das in der Mitte den einfachen Arbeits-tisch und an den Seiten den Frässpindelstock und Gegenlagerbock trägt. (Vgl. die Abb. 222.)

e. Die Handfräsmaschine — kleineWagerechtfräsmaschine mit Handvorschub — ist eine kleine Maschine der unter b genannten, mit dem Unterschiede, daß der Vorschub des Werkstückes gegen den Fräser von Hand erfolgt. Man schätzt das weiche An- und Ausschneiden des Fräasers an ihr.

f. Die Doppelfräsmaschine — doppelte Wagerechtfräs-maschine — gleicht, je nach ihrer Größe, den Maschinen unter c und d, nur daß sich an Stelle des Gegenlagerbockes der zweite Frässpindelstock befindet. An den kleineren Modellen ist sehr oft der Tisch in der Höhe verstellbar, während bei den größeren die Spindelstöcke die Höhenein-stellung besitzen. (Vgl. Abb. 223.)

g Die Vertikalfräsmaschinen — Senkrechtfräsmaschinen — finden wir ebenfalls mit Arbeitstischen, die entweder im Konsol-support oder im kastenförmigen Maschinengestell ruhen. Im letzteren Falle erhält der Frässpindelstock die Höhenverstellung. Die Maschine ist vielfach mit Rundtisch versehen, der auch oft als Zusatzapparat aufgeschraubt wird. (Vgl. Abb. 224, 230, 231 und 237.)

h. Die Langfräsmaschine mit Senkrechtspindel oder Vertikal-Langfräsmaschine — lange Senkrechtfräsmaschine — hat im allgemeinen dieselben Kennzeichen wie unter c genannt, nur mit senkrechter Frässpindel. Sie wird auch als doppelte Maschine mit 2 Frässpindeln ausgestattet (vgl. die Abb. 221).

i. Die Parallelfraemaschine — doppelte Senkrechtfräsmaschine —, eine von J. E. Reinecker in Chemnitz geschaffene besondere Maschinenart (vgl. die Abb. 238).

k. Die Rundfräsmaschine verdankt diese Bezeichnung ihrer Tätigkeit und ist zum Ersatz für Drehbänke bestimmt.

l. Die Zahnradfräsmaschinen zum Verzahnen der Stirnräder, Zahnstangen, Schraubenräder, Schneckenräder, Schnecken und Kegeleräder bestimmt. Das Durchfräsen der Zähne und das Weiterteilen geschieht an ihnen selbsttätig, im Gegensatz zu den Teilapparaten der Universalfräsmaschinen. (Vgl. Abb. 307, 309 und 320.)

m. Die Kurvenfräsmaschinen lehnen sich in der Bauart an die verschiedenen Maschinenarten an, je nach der Form der herzustellenden Kurve. (Vgl. Abb. 259, 260 und 261.)

n. Die Sonderfräsmaschinen umfassen alle die Maschinen, die für einen bestimmten Zweck besonders gebaut werden, wie für Fräser, Spiralbohrer, Gewindebohrer, Nuten, Keillöcher usw. Ihre Form lehnt sich ebenfalls an die anderen Maschinenarten an.

b. Die Beschreibungen von Fräsmaschinen.

1. Die Wagerechtfräsmaschinen.

Der Universalfräsmaschine fällt auch noch heute, wo wir die vielen Sonderfräsmaschinen besitzen, eine große Bedeutung zu, da sie, namentlich in kleineren und mittelgroßen Betrieben, neben den Teilkopfarbeiten zu den mannigfaltigsten Arbeiten herangezogen werden. Auch der Umstand, daß sie durch Zusatz-Spindelköpfe in eine Senkrechtfräsmaschine zu verwandeln ist, teilt ihrem Wirkungskreis ein großes Gebiet zu.

Zudem ist die heutige Maschine nicht mehr die nur für schwache Schnitte gebaute; ihr Support nebst Drehteil und ihre Frässpindellager haben so große Abmessungen erhalten, daß man ihr auch recht schwere Schnitte zumuten kann.

Aus diesen Gründen finden wir mit Recht die Universalfräsmaschine selbst in den kleinsten Betrieben; sie ist die gegebene, erste anzuschaffende Fräsmaschine.

Die Vielseitigkeit dieser Maschine hat nun aber leider oft zur Folge gehabt, daß man für die zweite, dritte und nachfolgende Maschine die gleichen wählte. Ja, man kann Betriebe finden, wo auf 3—4 solcher Maschinen dauernd Zahnräder geschnitten werden, anstatt dieses auf selbsttätigen Räderfräsmaschinen, wofür wahrscheinlich eine Maschine

genügte, auszuführen. Eine weitere Unsitte besteht darin, daß auf diesen teureren Maschinen alle Wellen genutet werden, einzig deshalb, weil dem Arbeiter das Einspannen im Teilkopf am bequemsten liegt. Eine kleine Nutenfräsmaschine, die höchstens ein Drittel kostete, könnte diese Arbeiten schneller und billiger besorgen als die teure Universalfräsmaschine.

Die Universalfräsmaschine mit Vorschubräderkasten
von L. Löwe & Co., A.-G., in Berlin.

Eine der bekanntesten Maschinen für mittelgroße Werkstücke stellt Abb. 200 dar. An dem geringen Durchmesserunterschied der Antriebs-

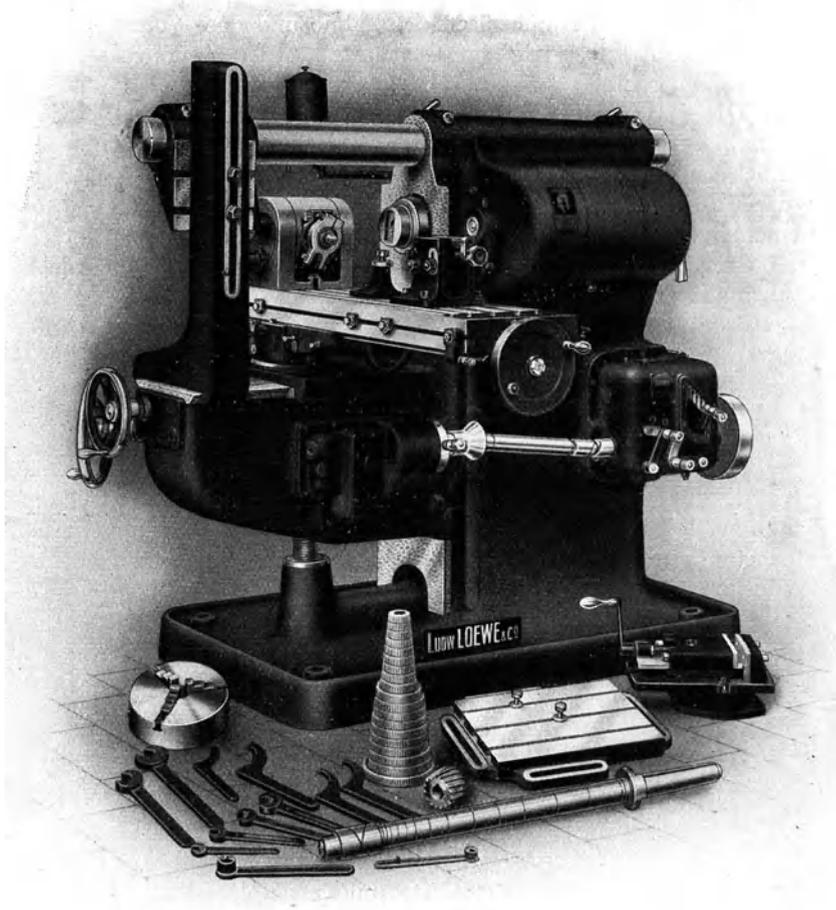


Abb. 200. Die Universalfräsmaschine von L. Löwe & Co.

stufenscheiben in Verbindung mit ihrer großen Breite geht schon hervor, daß hier weise auf die kräftige Ausnutzung einer großen Anzahl Fräserdurchmesser Bedacht genommen wurde. Zum besseren Halt der Fräsdorne ist die Frässpindel mit einer Ausfräsung versehen, in die sich der abgeflachte Bund des Fräsdornes legt.

Der Antrieb der Vorschubmechanismen erfolgt durch starre Übertragungsmittel. An dem links angeordneten Räderkasten sind die Hebel ersichtlich, durch deren Verlegen jede der verschiedenen Vorschubgeschwindigkeiten augenblicklich einzurücken ist. Die auf dem Deckel angebrachte Tabelle der Vorschubgrößen erleichtert dem Arbeiter die richtige Ausnutzung der Maschine. Bekanntlich läßt sehr oft die Scheu vor dem Riemenumlegen einen schnelleren Vorschub nicht zur Anwendung kommen.

Der Arbeitstisch hat nach beiden Seiten Selbstgang und selbsttätige Auslösung, eine Einrichtung, die eigentlich jede Fräsmaschine haben sollte.

Der diesen Maschinen beigegebene Universalteilkopf gestattet sowohl mittelbares als auch unmittelbares Teilen. Zum mittelbaren Teilen wird die beiderseitig gebohrte Teilscheibe mit Index benutzt, die mit der Teilkopfspindel durch Schnecke und Schneckenrad verbunden ist. Das unmittelbare Teilen geschieht durch eine zweite, an der Teilkopfspindel befindliche Teilscheibe; Teilungen von 2—24 können auf diese Weise unter Ausschaltung der Schnecke schnell und sicher ausgeführt werden. Durch die am Fuße der Maschine ersichtliche Unterlagplatte kann der Teilkopf auch parallel zur Frässpindel gestellt werden.

Die Universalfräsmaschine mit selbsttätigem Teil- und Schaltapparat von L. Löwe & Co., A.-G., in Berlin.

Der in Abb. 201 ersichtliche selbsttätige Teil- und Schaltapparat, D. R.-G.-M., stellt einen brauchbaren Zusatzapparat dar, der die Universalfräsmaschine fast einer selbsttätigen Räderfräsmaschine gleichstellt.

Nach richtiger Einstellung der Teilung und des Tischvorschubes arbeitet der Apparat ganz selbsttätig, er durchfräst den Zahn, zieht den Tisch mit starker Beschleunigung zurück und teilt weiter. Der Fräsarbeiter, der nur das Auf- und Abspannen des Rades vorzunehmen hat, kann bequem mehrere solcher Maschinen voll ausnutzen.

Der Antrieb des Apparates geschieht durch ein Deckenvorgelege. Der Tischvorschub erfolgt von den links im Bilde ersichtlichen Wechselrädern, die sonst beim Fräsen der Spiralarbeiten verwendet werden. Der in die Ausrückstange greifende Hebel des Schaltapparates bewirkt die jedesmalige Umsteuerung für den Arbeitsvorschub und den beschleunigten Rückgang.

Die rechts am Apparat befindlichen Wechselräder übertragen die nach jedesmaligem Rückgang des Tisches erforderliche Teilbewegung auf

den daneben sitzenden Teilkopf und stellen somit die Verbindung zwischen dem Teil- und Schaltapparat und dem Teilkopf her.

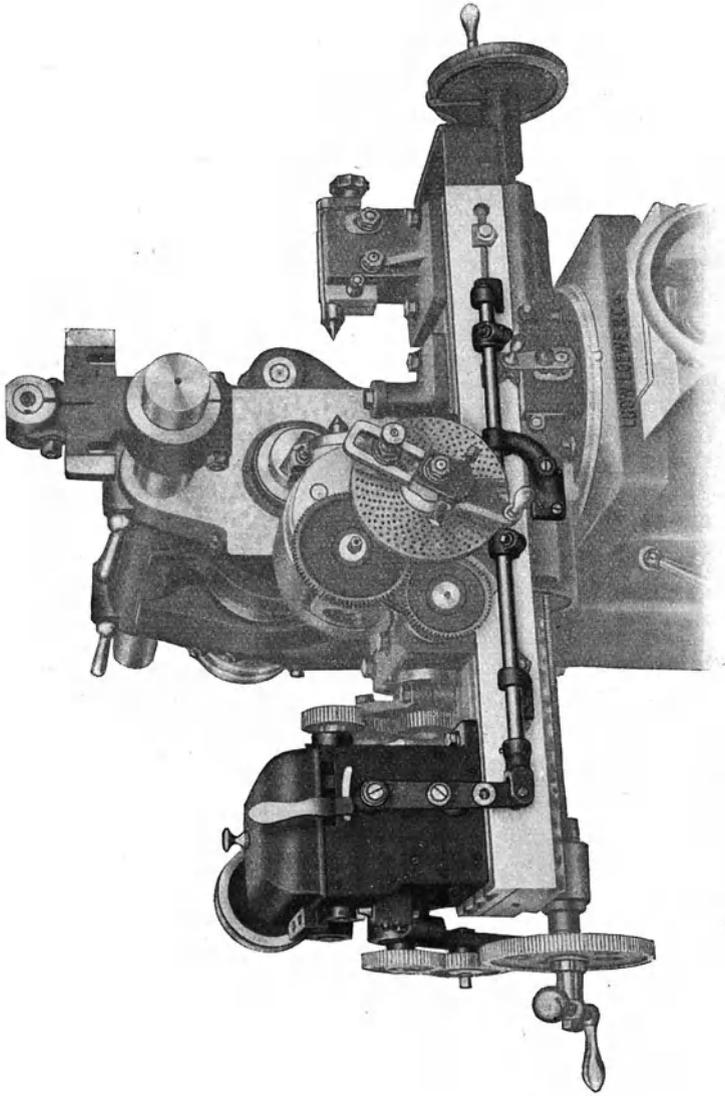


Abb. 201. Der selbsttätige Teil- und Schaltapparat von L. Löwe & Co.

Die selbsttätige Teileinrichtung des Apparates beruht auf dem Prinzip, daß für jedes Teilen eine volle Umdrehung der nach außen gehenden Welle erfolgt.

Um das für eine bestimmte Teilung erforderliche Übersetzungsverhältnis der Wechsellräder zu erhalten, wird das Verhältnis des

angeschlossenen Universalteilkopfes eingesetzt. Sind z. B. für eine volle Umdrehung der Teilkopfspindel 40 Umdrehungen erforderlich, ist also das Verhältnis 1 : 40 und soll ein Rad mit 16 Zähnen gefräst werden, so lassen sich die erforderlichen Wechselräder aus folgender Gleichung leicht bestimmen, worin u das fehlende Glied des Verhältnisses bedeutet:

$$\frac{1}{u} \cdot \frac{1}{40} = \frac{1}{16}$$

Aufgelöst:
$$\frac{1}{u} = \frac{40}{16} = \frac{5}{2};$$

also das Wechselräderverhältnis ist = Zahl der Schneckenspindelumdrehungen zu einer vollen Teilkopfspindelumdrehung, dividiert durch die Zähnezahl des zu fräsenden Zahnrades oder eines sonstigen Werkzeuges.

Die Universalfräsmaschine der Wanderer-Werke, A.-G.,
in Chemnitz.

Eine weitere sehr bekannte Maschine stellt Abb. 202 dar. Der Antrieb der Maschine erfolgt durch Einzelscheibe mit unveränderlicher

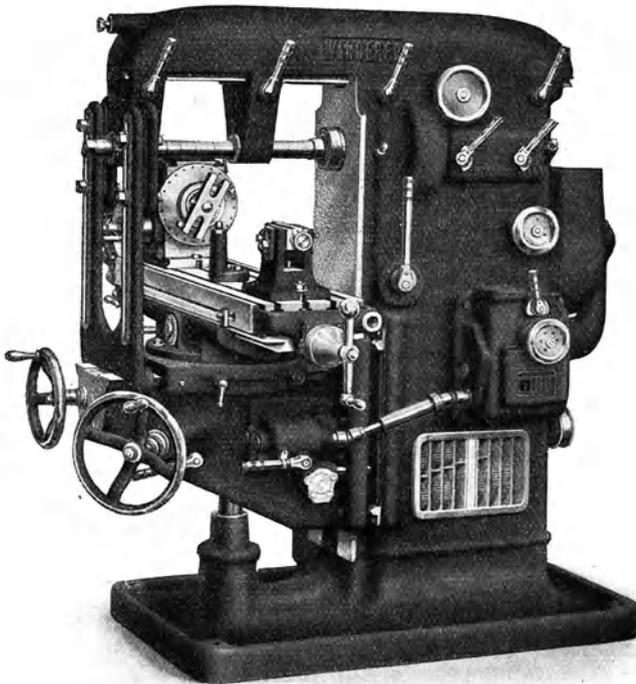


Abb. 202. Die Universalfräsmaschine der Wanderer-Werke.

Umdrehungszahl. Durch diese Anordnung, deren wirtschaftlicher Wert schon erörtert wurde, läßt sich auch das Umwechseln der Umdrehungszahlen für die Fräser augenblicklich ausführen. Das umständliche und so gern gemiedene Umlegen des Riemens ist dadurch umgangen. Die Antriebscheibe ist von einem leicht umstellbaren Riemenschutzgehäuse umschlossen. Sie läuft beiderseitig auf Kugellager, so daß die Frässpindel keiner schädlichen Wirkung des Riemenzuges ausgesetzt ist.

Beachtenswert ist die besonders kräftige und neuartige Ausbildung des Gegenlagerhalters als U-förmiger Balken. Er gleitet in Prismaführungen, in denen auch die Gegenlager der Frässpindel sicheren Halt finden.

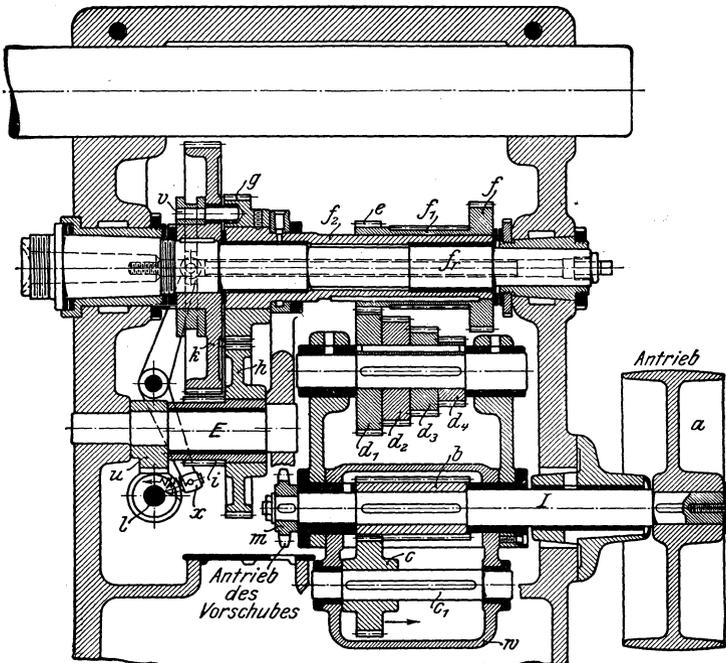


Abb. 203. Schnitt durch den Spindeltrieb der Maschine.

Die Abb. 203 zeigt einen Schnitt durch den Frässpindeltrieb. Die Antriebscheibe *a* versetzt das breite Zahngetriebe *b* in Umdrehung, in welches das auf einer schwingbaren Wippe *w* sitzende, auf Welle *c*₁ verschiebbare Zwischenrad *c* greift. Je nach der Stellung, in die es gebracht wird, treibt *c* die Vorgelegeräder *d*₁ *d*₂ *d*₃ *d*₄ an. Der Antrieb der Frässpindel *fr* erfolgt durch das Zahnrad *e*, das verschiebbar auf einer Büchse *f*₂ sitzt. Räder *e* und *f* sind aus einem Stück angefertigt. Das dazwischen liegende Stück *f*₁ hat rund umlaufende eingestochene Zähne, so daß es als Zahnstange wirkt. Durch ein in *f*₁ greifendes Ritzel kann *f*₁, *f*, *e* verschoben werden, so daß dann die Übertragung über *f* auf die

Frässpindel geht. Zur Verdoppelung dieser vier Geschwindigkeiten ist ferner ein Vorgelege *E* eingebaut, das, aus den Rädern *g*, *h*, *i*, *k* bestehend, in bekannter Weise durch einen Mitnehmer *v* entkuppelt und durch *u*, *l*, *x* zum Eingriff gebracht werden kann.

Der Vorschub dieser Maschine erfolgt ebenfalls durch starre Übertragung vom Kettenrad *m* nach einem Vorschubräderekasten. Die unteren beiden Hebel, die im Bilde ersichtlich sind, dienen zum Einschalten der verschiedenen Vorschübe.

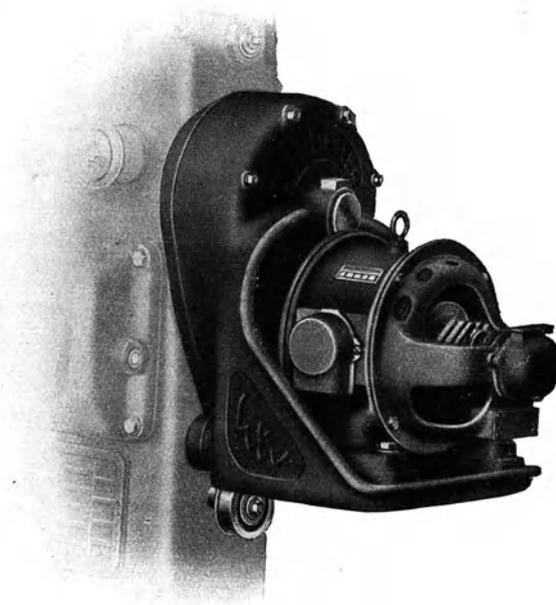


Abb. 204. Der elektrische Antrieb der Wanderer-Fräsmaschinen.

Die Stellungen für den Frässpindelantrieb und die für den Vorschubantrieb sind in übersichtlichen Tabellen zusammengestellt, die am Maschinengestell angebracht sind.

Der Arbeitstisch hat in der Längs- und Querrichtung nach beiden Seiten Selbstgang und selbsttätige Auslösung; desgleichen der Winkel-support.

Der dieser Maschine beigegebene Universalteilkopf kann hier übergangen werden, da er im nächsten Kapitel einer eingehenden Besprechung unterzogen wird.

Die Abb. 204 zeigt den Antrieb dieser Maschine durch Elektromotor in sehr gefälliger Form.

Die schwere Universalfräsmaschine von J. E. Reinecker
in Chemnitz.

Die in Abb. 205 und den Zeichnungen (Abb. 206—209) dargestellte Maschine weicht von der sonst für Universalfräsmaschinen üblichen Anordnung insofern ab, als bei ihr die Höhenverstellung vom Frässpindelschlitten ausgeführt wird und der die Werkstücke tragende Support, der auf einem kastenförmigen Untergestell ruht, nur die beiden wagerechten Bewegungen ausführt.

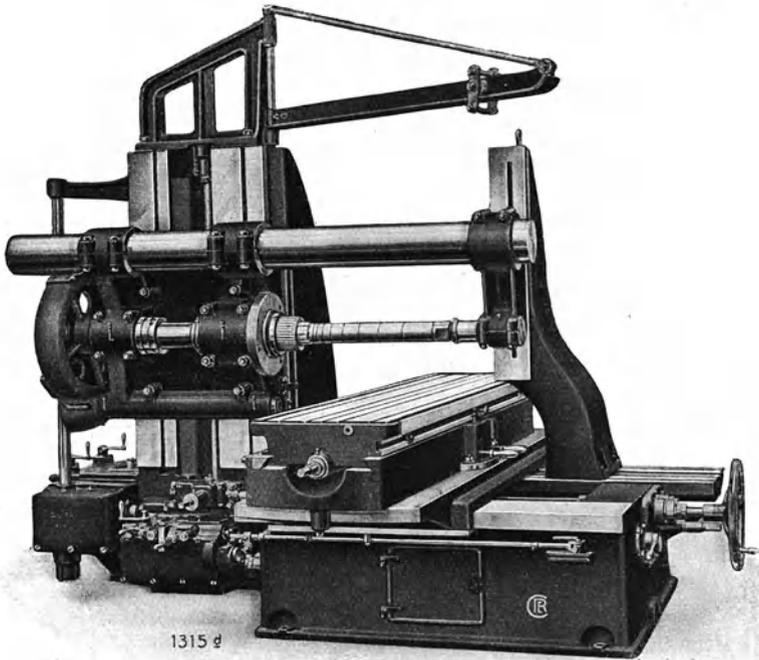


Abb. 205. Die Universalfräsmaschine von J. E. Reinecker.

Der Gesamtantrieb erfolgt durch die vierfache Stufenscheibe a über Winkelräder $b_1 b_2$ nach Welle h . Von hier erhält die Frässpindel durch das doppelte Rädervorgelege c , Kegelhäder d , senkrechte Schaftwelle e , Kegelhäder f und Stirnräderpaar $g_1 g_2$ ihren Antrieb. Durch Stufenscheibe a und Rädervorgelege c können der Frässpindel acht verschiedene Geschwindigkeiten, und zwar 13—152 Umdrehungen in der Minute, erteilt werden.

Der Antrieb für die Schaltbewegung wird von der unmittelbar auf Welle h sitzenden Stufenscheibe i_1 abgenommen und durch Gegenscheibe i_2

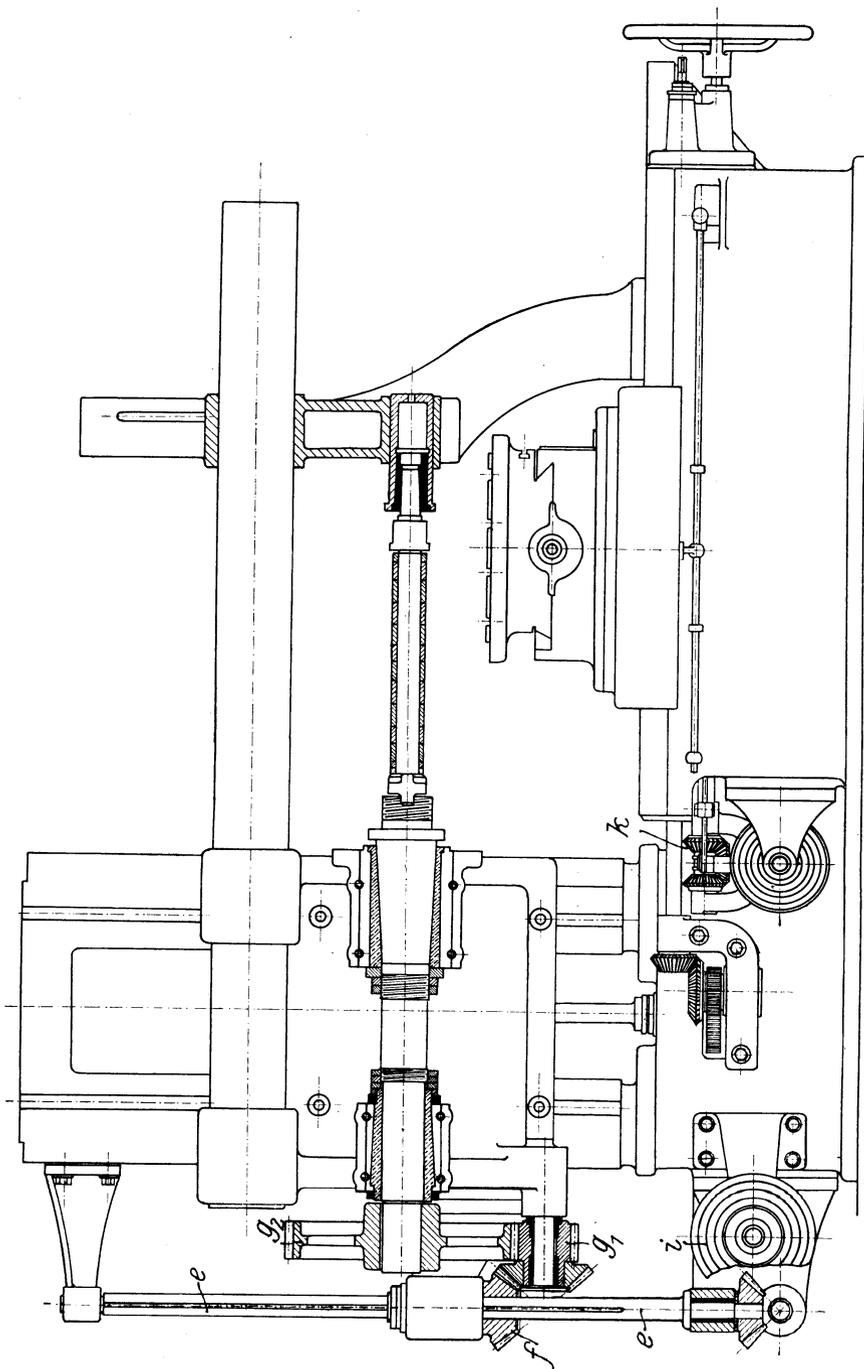


Abb. 206. Die Vorderansicht mit Schnitt durch den Antrieb.

in das Wendegetriebe *k* geleitet. Hiervon werden nun sowohl die beiden wagerechten als auch die senkrechte Schaltbewegung betätigt.

Besondere Beachtung muß dem durch D. R. P. Nr. 91 626 geschützten Antriebsmechanismus des Arbeitstisches gezollt werden. Er wird nicht durch Spindel, sondern durch eine Schnecke angetrieben, die mit ihren Gängen in das schalenähnliche Muttergewinde des Tisches ein-

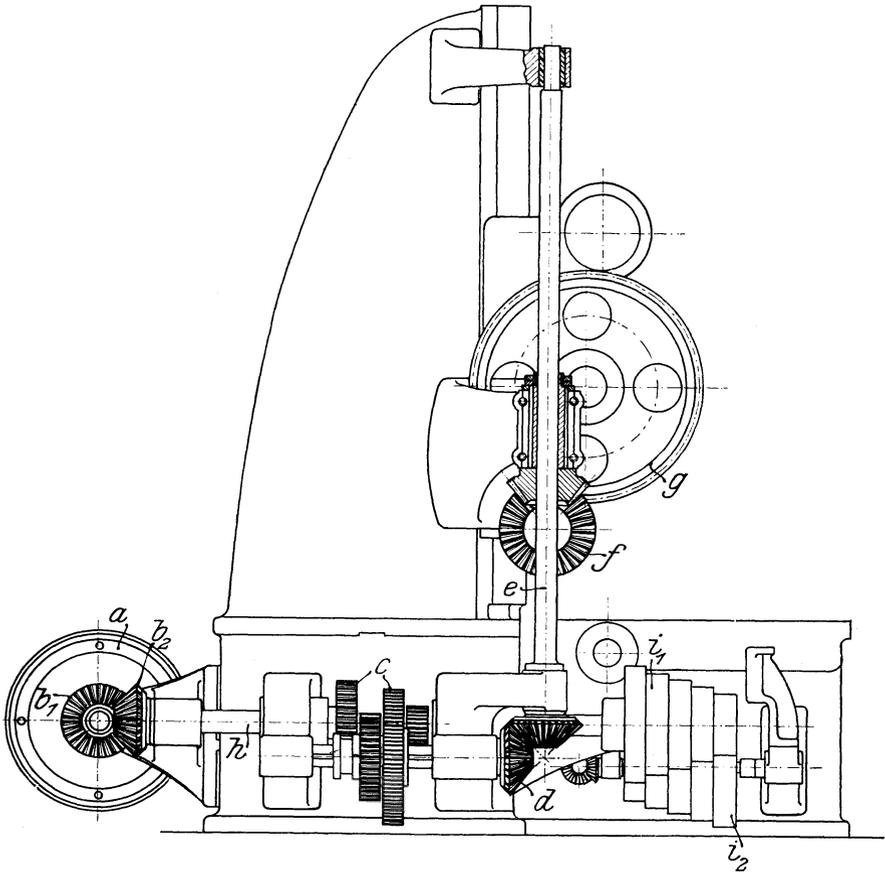


Abb. 207. Die Seitenansicht.

greift. Bisher glaubte man diese Anordnung nur für einfache Fräsmaschinen verwenden zu können. Die Vorzüge dieses Antriebes bestehen einmal im Wegfall der oftmals lästig werdenden Dehnungen und Biegungen der Supportspindel, die ein sprungweises und dadurch unsaubereres Arbeiten veranlassen, und ein zweites Mal darin, daß durch die erheblich vermehrten Angriffspunkte der Druck auf die einzelnen Gänge schwächer ist, wodurch eine bedeutend längere Gebrauchsdauer gewährleistet ist.

In den Abb. 208 und 209 ist die eben beschriebene Anordnung des Antriebsmechanismus dargestellt. Das Kegelräderpaar ll treibt den senkrechten Bolzen m an, dessen Stirnrad n in ein Gegenrad o greift. In letzterem sitzt ein Kegelrad p_1 , das mit einem weiteren Kegelrade p_2 im Eingriff steht. Rad p_2 sitzt auf einer Büchse, die, lose laufend, auf einer parallel zur Schlittenführung liegenden Welle q läuft. Diese Büchse trägt an der linken Seite ein weiteres Kegelrad r_1 und rechts ein Stirnrad r_3 . Rad r_1 greift in Rad r_2 . Das letztere ist mit der Schnecke s_1 aus einem Stück gefertigt. Stirnrad r_3 steht im Eingriff mit Rad r_4 . Die Schnecke t kann nun entweder durch Stirnräder $r_3 r_4$ r_5 oder durch Schneckentrieb $s_1 s_2$ angetrieben werden, und zwar dient der Schneckenantrieb für den Vorschub, während der Stirnräderantrieb für den beschleunigten Rücklauf gebraucht wird. Die Schnecke t greift in die schalenförmige halbe Gewindemutter u , die in einer der maximalen Tischbewegung entsprechenden Länge am Arbeitstisch befestigt ist. Zum Einschalten der beiden Bewegungen dienen die Hebel $v_1 v_2$.

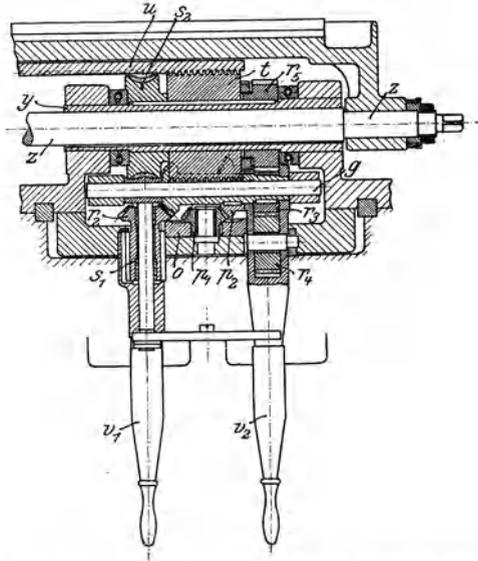


Abb. 208. Der Antrieb für den Tischvorschub.

Um nun einer etwaigen Unachtsamkeit der Bedienung vorzubeugen, die zu der einen eingeschalteten Bewegung noch eine andere zuschalten könnte, was dann unbedingt den Bruch eines Teiles zur Folge hätte, ist die Einrichtung getroffen worden, daß immer nur eine Gabel, v_1 oder v_2 , mit t im Eingriff stehen kann. Die Gabeln v_1 und v_2 sind deshalb mit einem Hebel verbunden, dessen Arme sich um einen Bolzen drehen und zugleich an ihren äußeren Enden v_1 und v_2 festhalten. In der Mittelstellung dieses Hebels sind beide Gabeln ausgeschaltet, folglich steht t still. In der Stellung für die Arbeitschaltung steht v_1 mit t im Eingriffe, es muß demnach Gabel v_2 von dem Hebe ausgeschaltet worden sein; dagegen ist, wenn Gabel v_2 beim Rücklaufe eingeschaltet ist, Gabel v_1 ausgeschaltet. Durch Hebel w und Anschläge x wird die selbsttätige Auslösung dieser beiden Bewegungen ausgeführt.

Von Schnecke t aus ist noch die Übertragung ihrer Bewegung zur Erzeugung der Spiralen zu verfolgen. Wie aus Abb. 208 und 209 hervor-

geht, ist in dem Arbeitstische eine Schaftwelle z gelagert, welche von der Bohrung der Hülse y — durch Federkeil vor Verdrehung gesichert — verschiebbar geführt wird. Indem man nun von dem einen Ende der

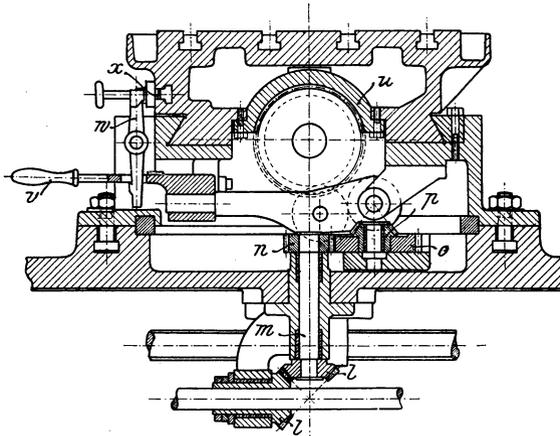


Abb. 209. Schnitt durch die Supporte.

Welle z mit den für die Spirale nötigen Wechselrädern den Teilapparat antreibt, ist die für eine Universalfräsmaschine unerläßliche Verbindung der Tisch- und Teilapparatbewegung hergestellt.

Außerdem dient Schaftwelle z noch zur Schaltung des Tisches von Hand. Denn sobald sich v_1 und v_2 in Mittelstellung befinden, also ausgeschaltet sind, kann man durch Drehen an der Kurbel der Welle z , mit welcher sich gleichzeitig Hülse y und Schnecke t drehen, den Tisch fortbewegen.

Die Wagerecht-Hochkraftfräsmaschinen von Biernatzki & Co. in Chemnitz.

Die Abb. 210 zeigt die Maschine im Schaubilde. Die Antriebs- und Schaltmechanismen sind in den Abb. 211—217 dargestellt.

Die Antriebsscheibe a (vgl. Abb. 211 u. 212) sitzt auf einer am Gehäuse sitzenden Büchse. Sie läuft auf Kugellagern und wird durch Friktionskupplung b mit der Antriebswelle c gekuppelt. Welle c ist in der ganzen Länge durchbohrt zur Aufnahme der die Kupplung betätigenden Zugstange. Abb. 212 zeigt die neue Anordnung der Lagerung und der Friktion. Das Ein- und Ausschalten geschieht durch den vorn am Gehäuse angebrachten langen Handhebel. Der Handhebel steht im Abhängigkeitsverhältnis mit dem Hebel zur Blockierung der Frässpindel, so daß jeweils ein Hebel eingerückt werden kann. Der mit dem Handhebel verbundene Fußtritt dient zur hilfsweisen Einschaltung der Friktion während des Umschaltens des Rädertriebes. Durch die Räder

e und f wird die Bewegung auf den Stufenrädersatz $g_1—g_2$ übertragen, welcher lose auf der feststehenden Welle h läuft. Auf der Hauptspindel p läuft lose die Büchse i . Auf dieser Büchse sitzt, auf Federkeil verschiebbar, das Räderpaar $k_1 k_2$ und das Rad e . Letzteres hat am vorderen Ende eine Kupplung und kann dadurch mit dem auf der Arbeitsspindel p festgekeilten Hauptantriebsrade m gekuppelt werden. Außerdem kann

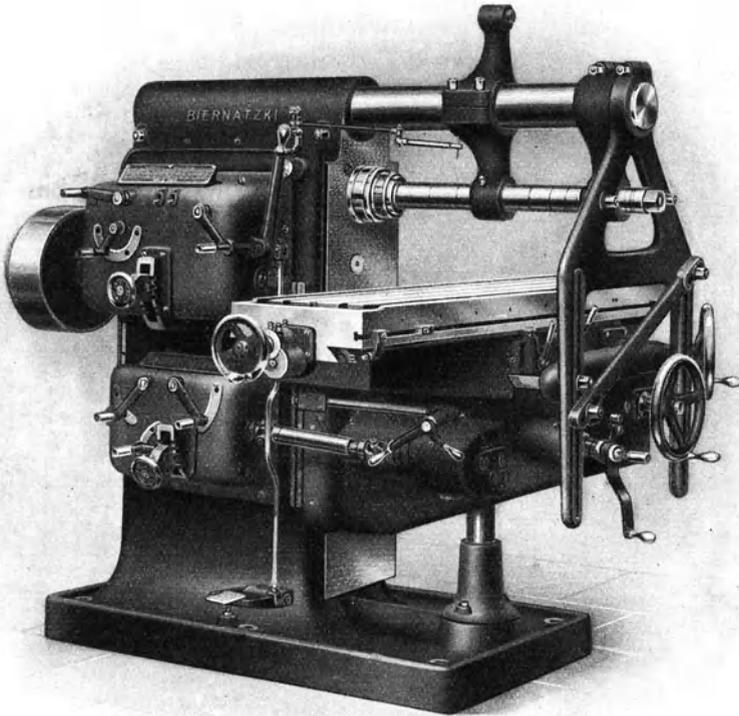


Abb. 210. Die Hochkraftfräsmaschine von Biernatzki & Co.

der Antrieb der Arbeitsspindel p noch von e über die Räder n und o nach m erfolgen. Räder n und o sind miteinander verbunden und laufen ebenfalls lose auf Welle h . Durch wechselweise Verschiebung von f , k_1 , k_2 , e und n o können der Arbeitsspindel 16 verschiedene, gleichmäßig abgestufte Geschwindigkeiten erteilt werden. Der Antrieb für die Tischvorschübe wird von der Antriebswelle abgenommen. Die Räder q_1 und q_2 treiben ein Kettenrad und leiten den Antrieb durch eine Rollen-

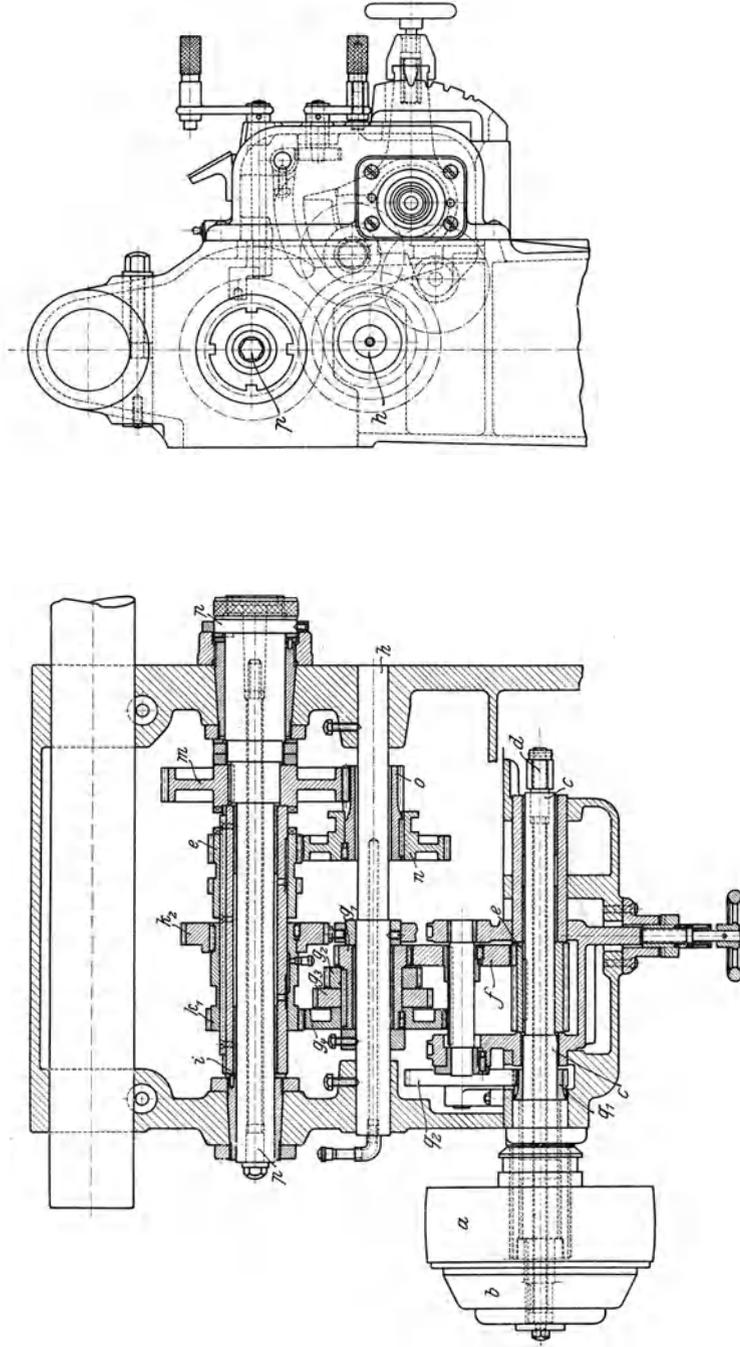


Abb. 211.
Schnitt und Rückansicht des Spindelstockes und des Wechselläderkastens.

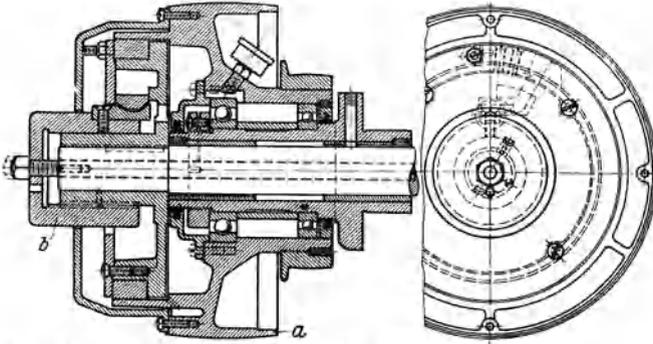


Abb. 212. Schnitt durch die Antriebscheibe und Friktionskupplung.

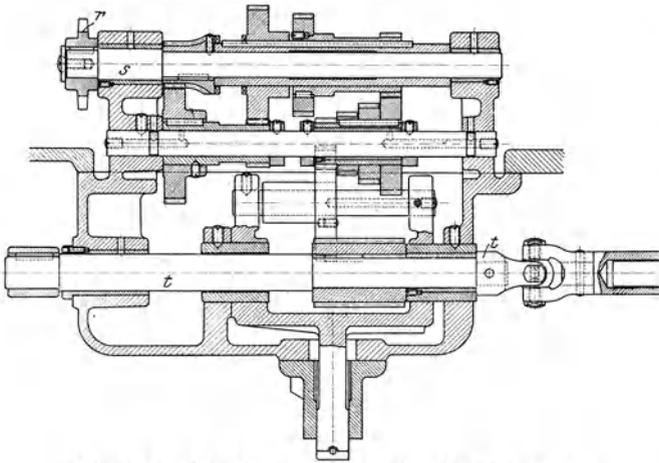


Abb. 213. Schnitt durch den Vorschubräderkasten.

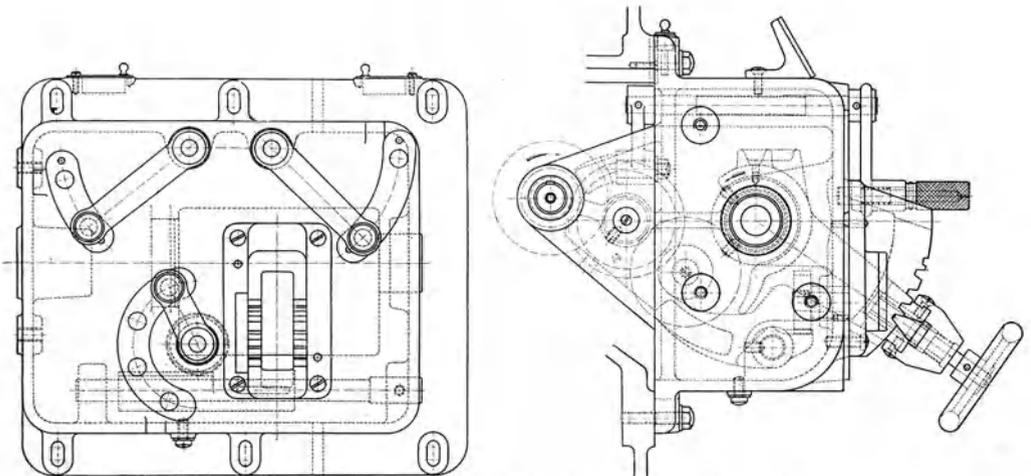


Abb. 214. Vorder- und Seitenansicht des Vorschubräderkastens.

kette, bei der größeren Maschine durch eine geräuschlose Zahnkette, Kettenrad r und Welle s in den Vorschubrädern, Abb. 213.

Die Übertragung nach der Gelenkwelle t und die Handhabung des Vorschubwechsels ist ganz ähnlich wie an der Hauptspindel und aus der Zeichnung Abb. 213 zu ersehen. Da die Räderanordnung die gleiche ist, lassen sich auch hier 16 verschiedene, gleichmäßig abgestufte Vorschubgeschwindigkeiten einstellen. (Vgl. die Abb. 213 und 214.)

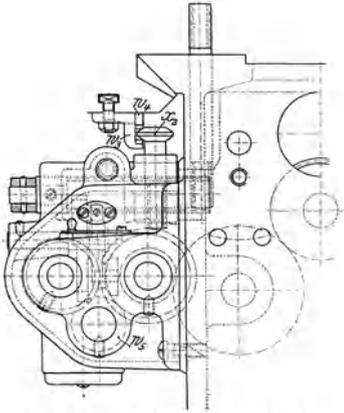


Abb. 215. Ansicht des Wendegetriebes für die Supportbewegungen.

Abb. 215 und 216 zeigen das Wendegetriebe für die Vorschübe. Gelenkwelle t trägt am letzten Glied eine Sicherheitskupplung t_1 , in welcher ein für das höchst belastete Drehmoment berechneter Stift sitzt, der bei Überlastung abgescheert wird. Es wird dadurch bei etwaigem Anrennen eines Supports der Bruch irgend eines Maschinenteiles verhindert. Das Wendegetriebe besteht aus den Stirnrädern u_1 , u_2 , u_3 , u_4 , einem zwischen u_3

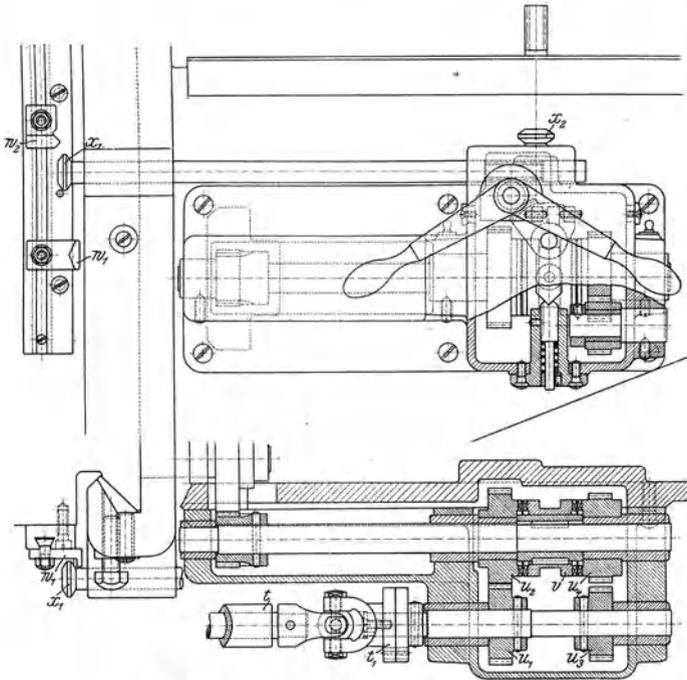


Abb. 216 Schnitte durch das Wendegetriebe.

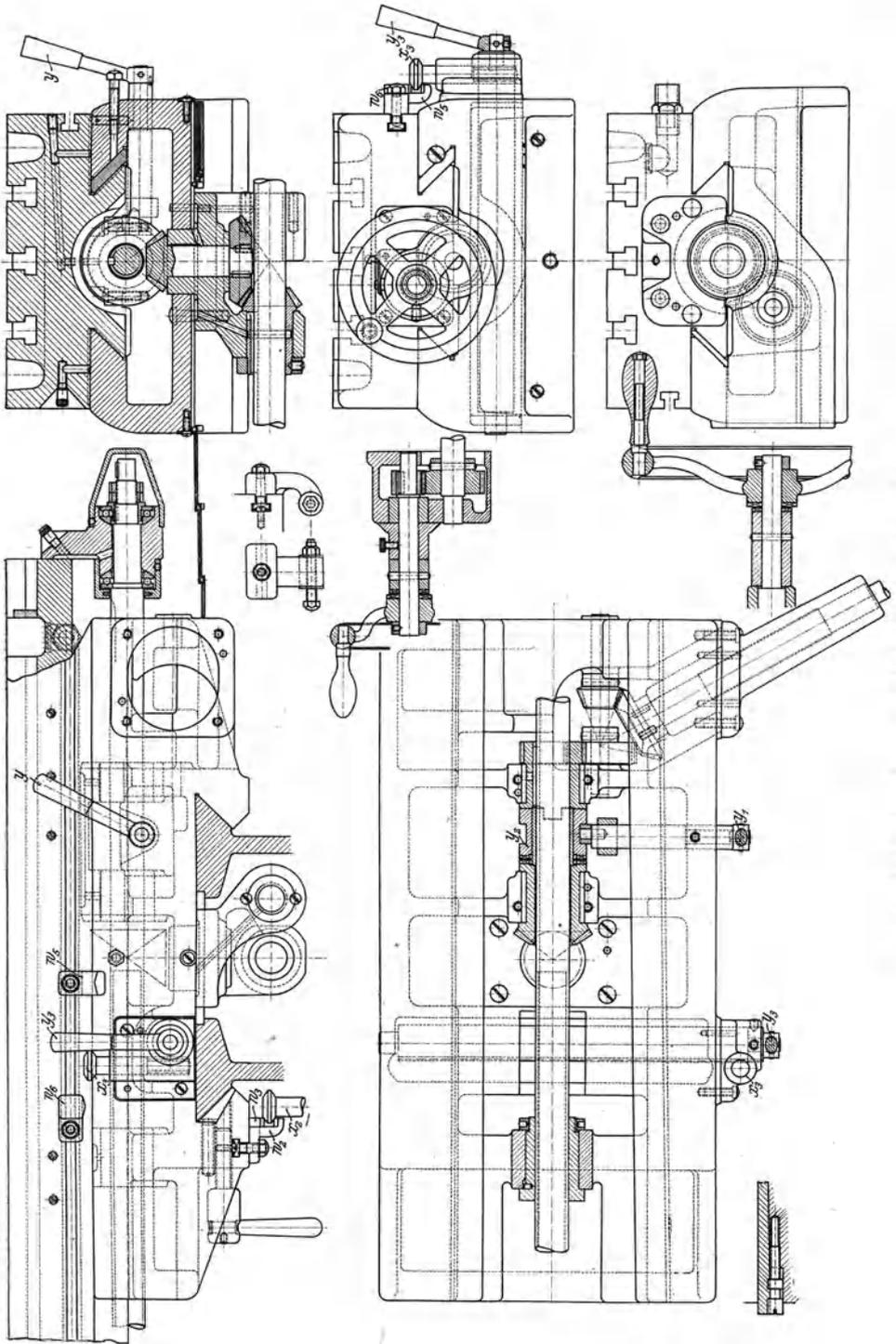


Abb. 217. Ansichten und Schnitte der Supporte.

und u_4 liegenden Zwischenrad und der Kupplung v . Von diesem Wendegetriebe werden alle Bewegungen abgeleitet (vgl. die Abb. 215—217). Andererseits kann die Auslösung des Selbstganges für die Längs-, Quer- und Höhenbewegung in jeder Richtung für jede Länge durch verstellbare Anschläge w_1 bis w_6 und Ausrückbolzen x_1 bis x_3 erfolgen.

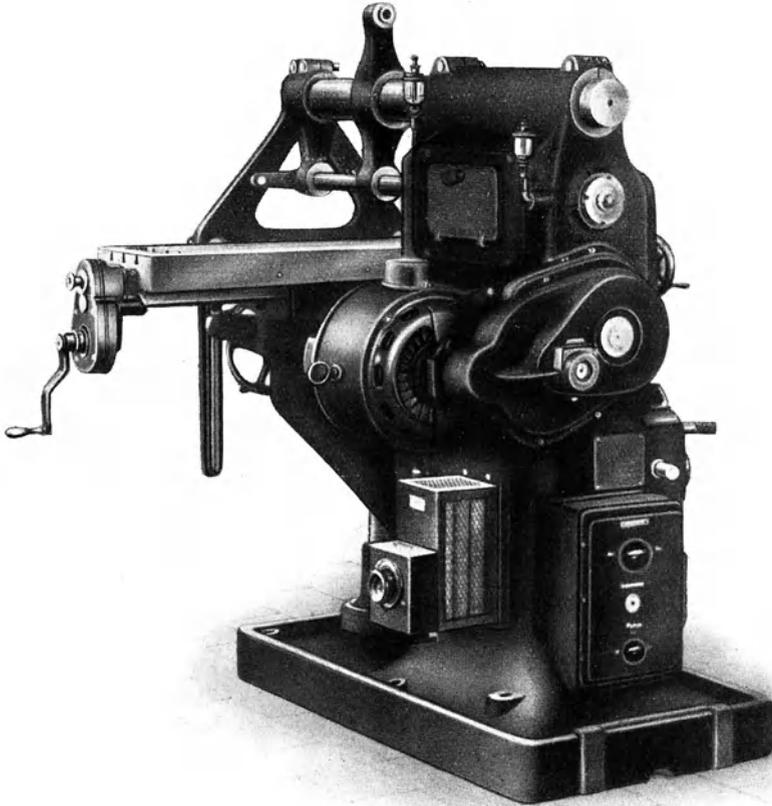


Abb. 218. Die Hochkraftfräsmaschine mit eingebautem Elektromotor von Biernatzki & Co.

Alle Ausrückbolzen übertragen durch sinnreiche Anordnung von Zahnstangen und Trieben ihre Bewegung auf die Kupplung v (Abb. 216). Die Auslösung der Kupplung erfolgt je nach der Schaltrichtung durch Heben oder Niederdrücken der Ausrückbolzen. Dementsprechend sind die Bolzenköpfe und die Anschläge ausgebildet, einmal wird der Kopf unten gefaßt und herausgezogen, das andere Mal von oben hineingedrückt. In Mittelstellung ist die Kupplung ganz ausgerückt und geht

der Kopf durch die beiden Anschläge hindurch. Durch Hebel y_1 , der auf Kupplung y_2 (Abb. 217) wirkt, kann die Längsbewegung des Tisches unabhängig vom Wendegetriebe ausgelöst werden. Hebel y_3 wirkt auf das Wendegetriebe und kann sowohl zum Stillsetzen als auch zur Umkehr der Tischbewegung benutzt werden.

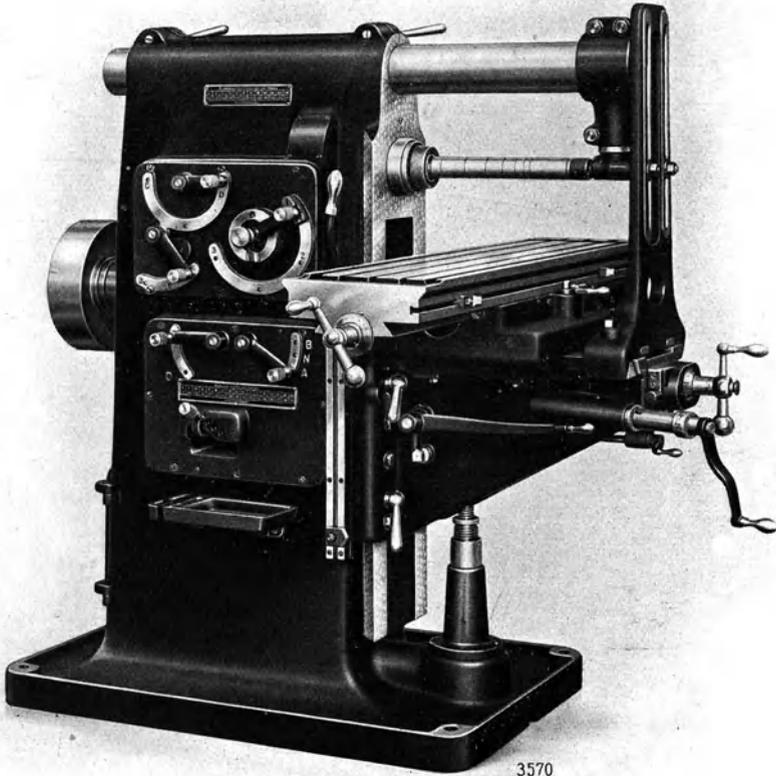


Abb. 219. Die Wagrechtfräsmaschine von Alfred H. Schütte.

Die Übertragung der Bewegungen auf die einzelnen Supportte ist ohne weiteres aus den Zeichnungen Abb. 216 und 217 zu ersehen. Durch bequem gelegte Handräder lassen sich alle Bewegungen auch leicht von Hand betätigen. An den Handrädern sind große Indexscheiben angebracht, die Feineinstellungen von 0,05 mm abzulesen gestatten.

In Abb. 218 ist eine weitere Hochkraftfräsmaschine von Biernatzki & Co. wiedergegeben. Der Antrieb erfolgt hier durch elektrischen

Gleichstrom-Reguliermotor, dessen Umdrehungen in den Verhältnissen 1 : 3 regulierbar sind. Der Räderkasten fällt daher an dieser Maschine weg. Alle elektrischen Teile bilden mit der Maschine ein einheitliches Ganzes und sind möglichst im Innern des Maschinenkörpers eingebaut.

Die einfache Wagerechtfräsmaschine von Alfred H. Schütte in Köln.

Die Abb. 219 zeigt eine mittelgroße Wagerechtfräsmaschine mit Einscheibenantrieb für allgemeine Fräsarbeiten. Die Schlitten haben durch eingebautes Wendegetriebe Selbstgang nach beiden Richtungen. Die Antriebe der Frässpindel und der Vorschübe werden von Wechselräderkasten, welche im Maschinengestell eingebaut sind, abgeleitet. Durch Handhebel können die einzelnen Geschwindigkeiten der Frässpindel und der Vorschübe eingerückt werden. Die Antriebsscheibe der Maschine ist durch eine nachstellbare Reibungskupplung mit der Welle verbunden.

Die Langfräsmaschine von Droop & Rein in Bielefeld.

Die Abbildung 220 stellt eine nach Art der Hobelmaschinen gebaute Wagerechtfräsmaschine dar, die hauptsächlich zum Bearbeiten von

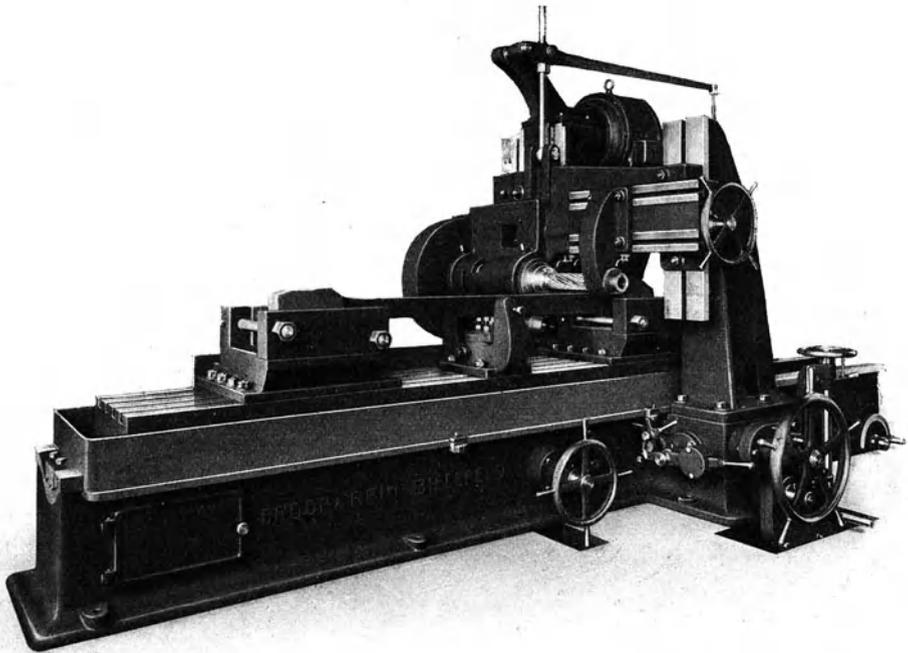


Abb. 220. Die Langfräsmaschine von Droop & Rein.

langen Werkstücken bestimmt ist. Auf dem kastenförmigen Maschinengestell gleitet ein schwerer Arbeitstisch, der in der Abbildung zum Langfräsen der Lokomotivkurbelstangen eingerichtet ist. An den beiden Seitenständern gleitet durch Gegengewichte ausgeglichene ebenfalls kräftig gehaltene Frässchlitten.

Die ganze Maschine ist zum Abnehmen starker Schnitte, also für hohe Spanabnahme gebaut und besonders für die Verwendung von Schnellstahlfräsern bestimmt.

Die Wagerecht- und Senkrechtfräsmaschine von J. E. Reinecker in Chemnitz.

Abb. 221 zeigt eine größere Maschine, die sich immer mehr und mehr einbürgert, da sie sich sowohl für lange als auch für kürzere, hinter-

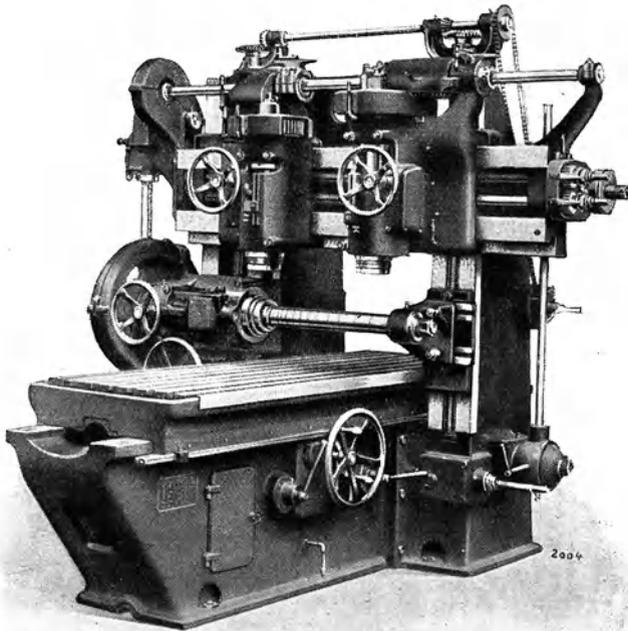


Abb. 221. Die Wagerecht- und Senkrechtfräsmaschine von J. E. Reinecker.

einandergespannte Arbeitsstücke vorzüglich bewährt hat. Durch die Anordnung einer wagerechten und zweier senkrechten Frässpindeln ist das Arbeitsgebiet ein sehr großes.

Alle Frässpindeln sind axial durch Gewindespindeln verstellbar und lassen sich unabhängig voneinander stillsetzen. Die Senkrechtfrässpindelstöcke haben in der Querrichtung zum Aufspanntisch Selbstgang.

Der Aufspanntisch hat nach beiden Richtungen Selbstgang und einstellbare Auslösung. Die Maschine wird sowohl mit Einscheibenantrieb und Räderkasten als auch mit Stufenscheiben ausgeführt. Die Antriebsorgane sind äußerst kräftig, so daß die Maschine der stärksten Beanspruchung gewachsen ist.

Die einfache Wagerechtfräsmaschine mit verstellbarem Frässpindelschlitten der Chemnitzer Werkzeugmaschinenfabrik vorm. J. Zimmermann in Chemnitz.

Eine dankbare Maschine für jeden Fräsereibetrieb ist die in Abb. 222 abgebildete. Billig in der Anschaffung und einfach im Bedienen, ersetzt

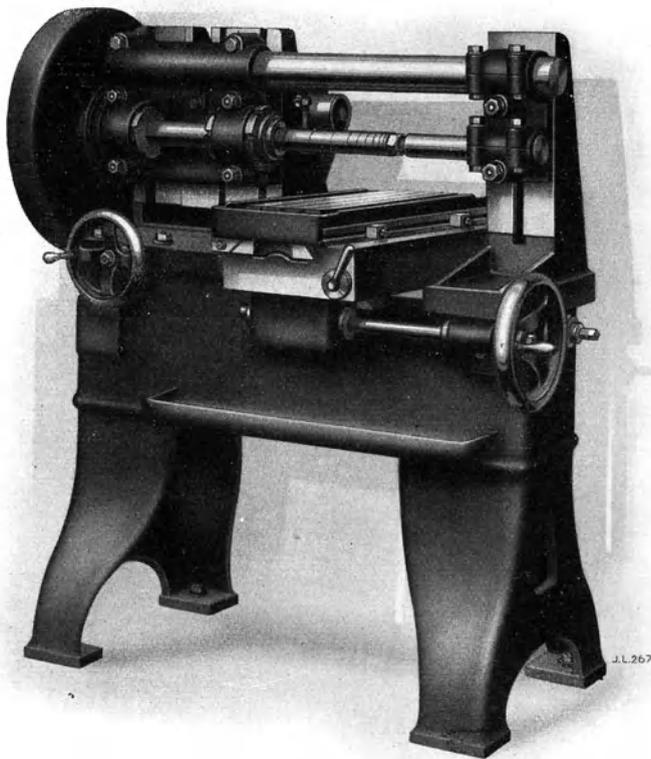


Abb. 222. Die einfache Wagerechtfräsmaschine von J. Zimmermann.

sie in den meisten Fällen die sehr teuren Wagerechtfräsmaschinen mit Konsolporten. Man kann einwenden, daß ihr Anwendungsgebiet ein

zu beschränktes sei. Gewiß! Aber liegt nicht darin schon der Anfang eines sparsamen Wirtschaftens, wenn eine sorgsame Scheidung einsetzen muß, um einfache Arbeiten den einfachen und billigen Maschinen und schwierigere Arbeiten den reich ausgestatteten und teureren Maschinen zu überweisen

Die obige Maschine eignet sich vorzugsweise zum Bearbeiten mittelst walzenförmigen oder zusammengesetzten Fräsern und wird hauptsächlich für Reihenarbeit in Frage kommen.

Die Doppelfräsmaschine von J. E. Reinecker in Chemnitz.

Zum gleichzeitigen Bearbeiten von Werkstücken auf zwei Seiten dient die in Abb. 223 wiedergegebene Maschine. Die ersten dieser Maschinen wurden für die Muttern- und Schraubenkopfbearbeitung gebaut, jedoch haben sie sich seit langem für die verschiedensten Teile in fast allen Betrieben eingeführt. Die Abbildung zeigt den Tisch mit einem Senkrechtheilapparat ausgerüstet, wie er für das Anfräsen von Sechs- und Vierkanten an Wellen und Spindeln gebraucht wird.

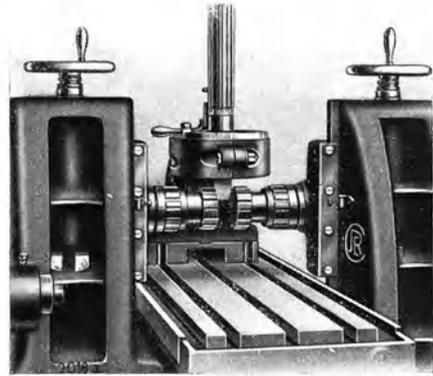


Abb. 223. Die Doppelfräsmaschine von J. E. Reinecker.

Die Spindelstöcke sind jeder für sich quer auf dem Bett verschiebbar angeordnet und tragen in der Höhe verstellbar den Frässpindelschlitten. Der Arbeitstisch hat nach beiden Seiten Selbstgang und Auslösung.

Die Maschine arbeitet überwiegend mit Stirnfräsern, für die oft große Durchmesser erforderlich sind. Dementsprechend sind kräftige Antriebe und reichlich bemessene Frässpindeln vorgesehen.

2. Die Senkrechtfräsmaschinen.

Die Senkrechtfräsmaschine von J. E. Reinecker in Chemnitz.

In Abb. 224 finden wir eine nach den neuesten Gesichtspunkten konstruierte Maschine vor. Einzelscheibenantrieb mit Räderkasten, Vor- und Rückschubwechsel durch Räderkasten, Feinverstellung der Frässpindel (trotzdem der Arbeitstisch Höhen-, Quer- und Längsverstellung besitzt), das sind die Merkmale dieser handlichen Maschine. Die Abb. 224—227 zeigen, daß Reinecker auch für diese Type seinen eigenen Weg gefunden hat.

Die Abb. 225 u. 226 zeigen die Einzeldurchbildung der Mechanismen des Frässpindeltriebes und die Abb. 227 die des Vorschubwechsels.

Der Antrieb der Maschine erfolgt von der Scheibe a , die fest auf der Welle b sitzt. Diese trägt außen die Pumpenscheibe a_1 und ein Kegelrad n zum Antrieb der Vorschubbewegungen. Ferner sitzen, mit Keilen auf b verschiebbar, die Räder $b_1 b_2$, die wechselweise mit c_1 und c_2 in Eingriff gebracht werden können, wodurch Welle c angetrieben wird. Auf Welle e sitzen wiederum verschiebbar die Räder

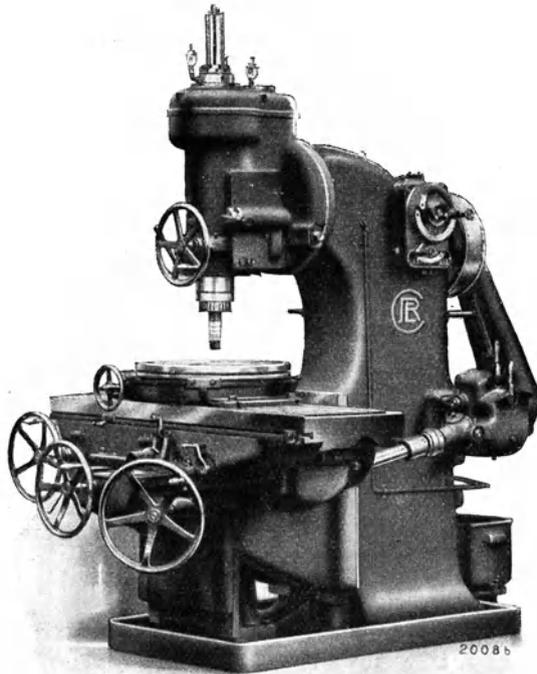


Abb. 224. Die Senkrechtfräsmaschine von J. E. Reinecker.

$e_1 e_2 e_3$, die ebenfalls abwechselnd von den auf c sitzenden Rädern ihren Antrieb erhalten. Für die Welle e lassen sich dadurch sechs verschiedene Geschwindigkeiten erreichen. Die Verschiebung der Räder geschieht durch die in Führungen gleitenden Gabeln, die durch bequem liegende Handkurbeln vermittelt Ritzel und Zahnstange betätigt werden.

Die Welle e trägt das Kegelrad f (Abb. 226), das in das Rad f_1 greift und auf die Nabe des Stirnrades g aufgekeilt ist. Das letztere trägt außerdem über dem Zahnkranz die Indexscheibe g_1 .

Die Frässpindel k kann nun entweder durch das Rädervorgelege g, h, h_1, h_2 oder bei ausgerücktem Vorgelege durch den eingelegten

Mitnehmerstift *i* direkt durch *g* mit je 6, also im ganzen mit 12 verschiedenen Geschwindigkeiten angetrieben werden. Zur Höhenverstellung der Frässpindel sitzt das untere Lager an einem kräftigen Schieber, der

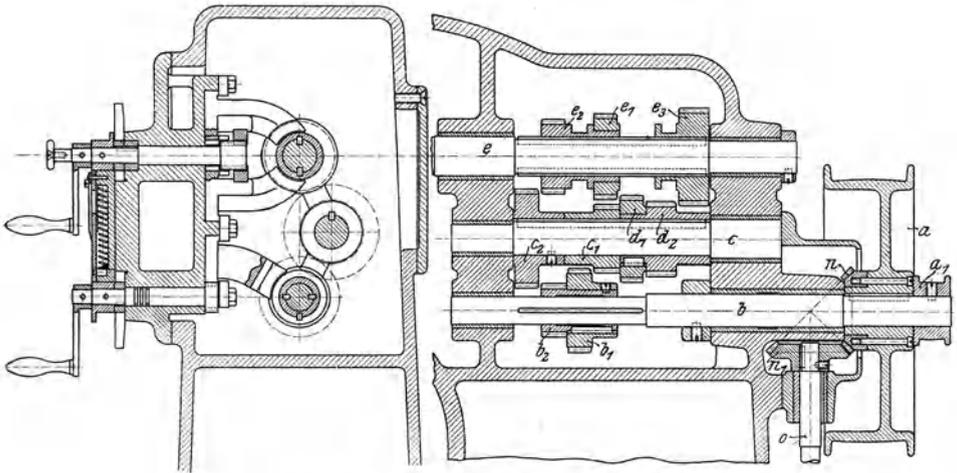


Abb. 225. Schnitte durch den Antrieb.

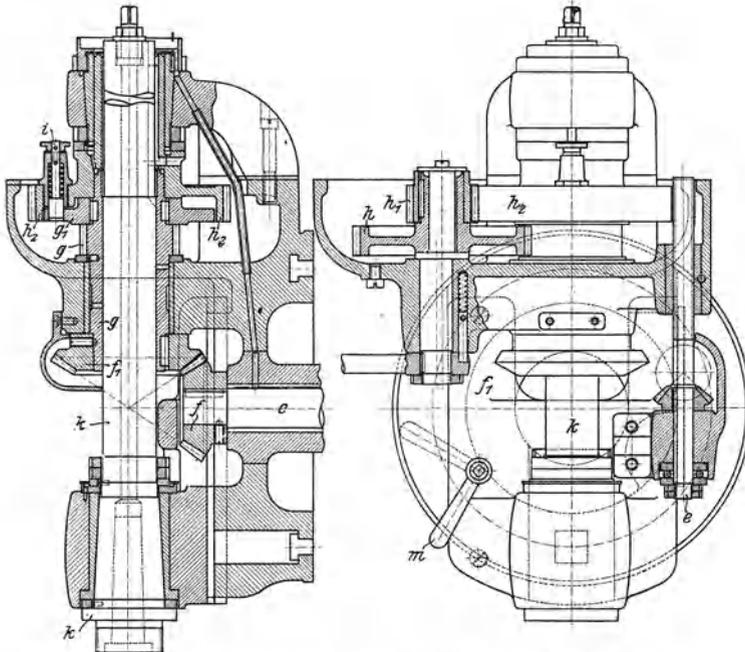


Abb. 226. Schnitt und Ansicht des Frässpindelkopfes.

durch Handrad und Gewindespindel *e* (Fig. 226) nach Skalascheibe genau einstellbar ist. Der Knebel *m* dient sodann zum Festziehen des Schiebers.

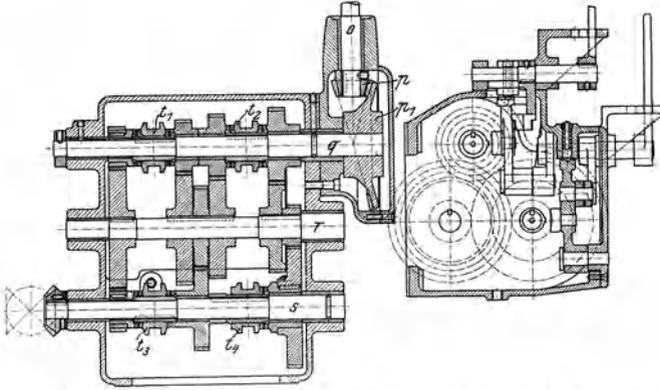
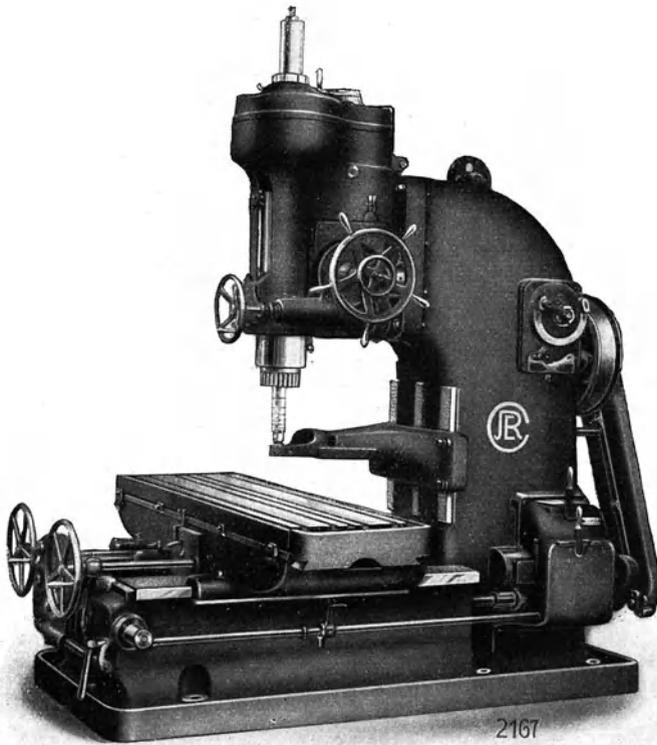


Abb. 227. Schnitt durch den Räderkasten für die Vorschübe.



2167

Abb. 228. Die große Senkrechtfräsmaschine von J. E. Reinecker.

Der ganze Spindelkopf ist um f drehbar und die Frässpindel kann bis zu 30° gegen die Tischebene verstellt werden.

Von der Scheibe a wird durch die Kegelräder n n_1 die Welle o (Abb. 227) des Kegelräderpaares p p_1 der Vorschubwechsel angetrieben. Durch die auf der Welle r sitzenden Zwischenräder und das wechselweise Einlegen der Kupplungen t_1 — t_4 können der Welle s 12 verschiedene Geschwindigkeiten erteilt werden, und zwar für jede der möglichen Umdrehungszahlen der Frässpindel.

Zur weitesten Ausnutzung der Maschine ist dem Arbeitstisch ein Rundtisch beigegeben.

Die große Senkrechtfräsmaschine von J. E. Reinecker in Chemnitz.

Die in Abb. 228 dargestellte Maschine kann infolge ihrer reichen Ausstattung zu den verschiedensten Arbeiten herangezogen werden. Sie

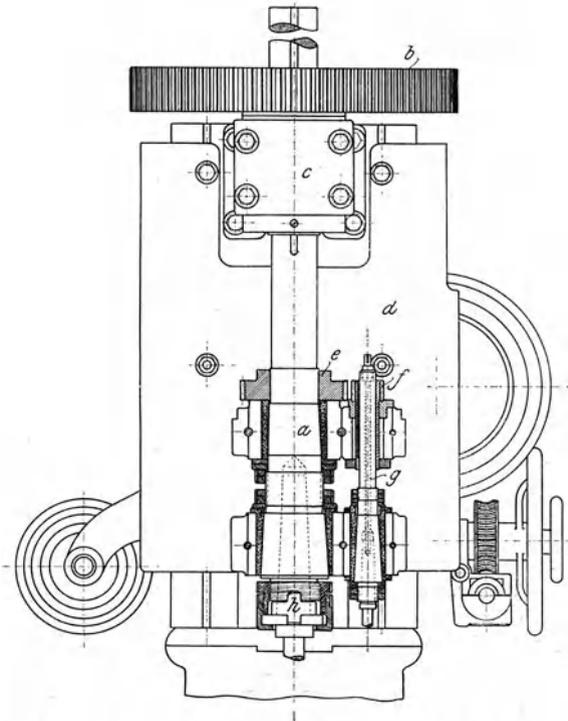


Abb. 229. Schnitt durch die beiden Frässpindeln.

wird mit eingebautem oder aufsetzbarem Rundtisch ausgeführt und die Kopiereinrichtung kann zum Rund- und Längskopieren eingestellt werden. Der Gegenlagerbock trägt an einem Schieber durch Gewinde-

spindel verstellbar, die Leitrolle. Für Arbeiten mit kleinen Fräserdurchmessern hat Reinecker an diesen größeren Maschinen noch eine zweite Nebenspindel für höhere Umdrehungszahlen vorgesehen, welche Anordnung die Abb. 229 im Schnitt wiedergibt.

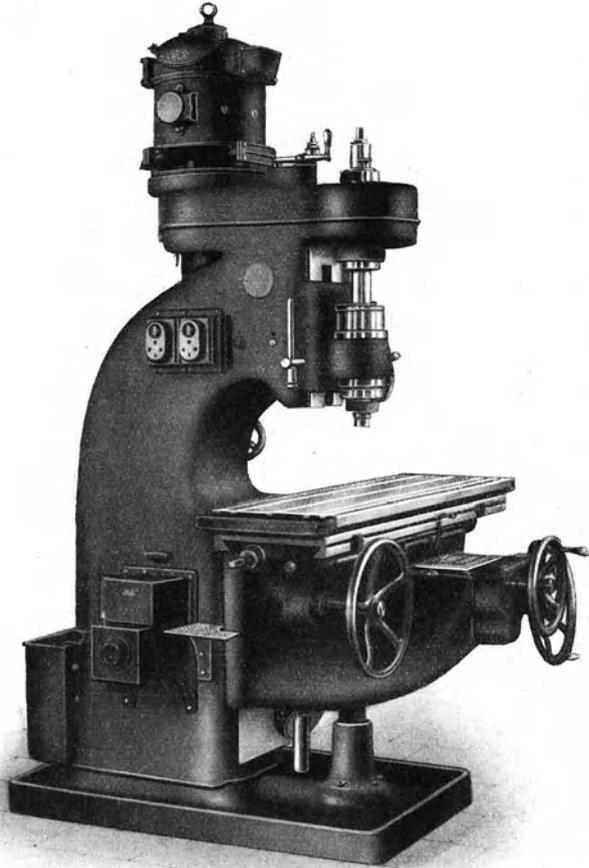


Abb. 230. Die Senkrechtfräsmaschine von Biernatzki & Co.

Die Hauptspindel *a* erhält ihren Antrieb vom Stirnrade *b*, das im festen Lagerbock *c* sitzt. Beim Verschieben des Schlittens *d*, in dem das Hauptlager sitzt, gleitet die Frässpindel *a* in einer Büchse des Rades *b*. Durch das Zahnrad *e* wird über ein ausschaltbares Zwischenrad das kleine Rad *f* und damit die Nebenfrässpindel *g* angetrieben, die auf die dreifache Umdrehungszahl der Hauptspindel übersetzt ist.

In der Abb. 229 ist der besondere Mitnehmer *h* für die Fräsdorne gut erkennbar¹⁾.

Die Senkrecht-Hochkraftfräsmaschine von Biernatzki & Co. in Chemnitz.

Die in Abb. 230 wiedergegebene Maschine ist von Grund auf für große Schnittleistungen konstruiert. Heute, wo wir mehr und mehr zum Abplanen die größeren Stirnfräser oder Fräsköpfe verwenden, erübrigt es sich, der Bedeutung dieser Maschine noch das Wort zu reden, und sei nur kurz darauf hinzuweisen, daß der erhebliche größere Anschnitt der Fräser leicht durch wechselseitiges Aufspannen der Werkstücke auf beiden Seiten des Arbeitstisches ausgeglichen werden kann. Der letztere ist zu diesem Zweck mit Selbstgang und Auslösung nach beiden Richtungen ausgestattet.

Die Konstruktion dieser Maschine ist darauf angelegt, zu ihrer Herstellung möglichst Einheitsteile-Gruppen für verschiedene Maschinentypen zu schaffen. So ist der Support und der Vorschubmechanismus genau der gleiche, wie der der Wagerecht-Hochkraftfräsmaschine (Abb. 214—217) und sei für diese Gruppe dorthin verwiesen. Der Antrieb der Frässpindel erfolgt durch den über der Maschine aufgebauten elektrischen Gleichstrom-Reguliermotor (vgl. Abb. 230) mit dem sich die Umdrehungen im Verhältnis 1 : 3 einregulieren lassen.

Die Senkrechtfräsmaschinen von Droop & Rein in Bielefeld.

Abb. 231 zeigt eine gut durchgebildete Senkrechtfräsmaschine, die besonders durch den für die Firma Droop & Rein typischen Winkelriementrieb auffällt. Der Antrieb der Frässpindel erfolgt durch unmittelbare Riemenübertragung von der auf der Rückseite der Maschine gelagerten Stufenscheibe aus. Der Riemen wird über Leitrollen geführt. Der senkrechten Verstellung der Frässpindel ist dabei durch eine entsprechend breite, auf der Frässpindel sitzende Riementrommel Rechnung getragen. Diese Antriebsart bietet bei leichteren Maschinen mancherlei Vorteile gegenüber den Rädertriebwerken und zwar: einfacheren Aufbau der Maschine, weniger Reparaturen, geringeren Kraftverbrauch, ruhigen Gang auch bei schnellstem Lauf und dadurch sauberes Arbeiten, besonders beim Schlichten. Für schwere Frässchnitte mittelster größerer Fräser ist am Frässpindelschlitten ein unmittelbar auf die Frässpindel treibendes doppeltes Rädervorgelege vorgesehen.

Bei direktem Antrieb durch Elektromotor wird an Stelle der Stufenscheibe der in der Abb. 232 und 233 dargestellte Rädertriebkasten gesetzt, der mit Hilfe von Stufenrädern dieselben Geschwindigkeitsabstufungen er-

¹⁾ Eine ausführliche Beschreibung dieser Maschine und Wiedergabe der mit ihr vorgenommenen Leistungsversuche findet sich in der Z. d. V. d. I. Jahrg. 1913; Seite 1409.

gibt wie die Stufenscheibenübersetzung. Die auf Welle I sitzenden Sternräder sind fest aufgekeilt, während auf Welle II sämtliche Räder lose laufend angeordnet sind und durch die Spreizringe *e* mit der Welle gekuppelt werden. Die Betätigung erfolgt durch Ziehkeil *b* und die Bolzen *d*.

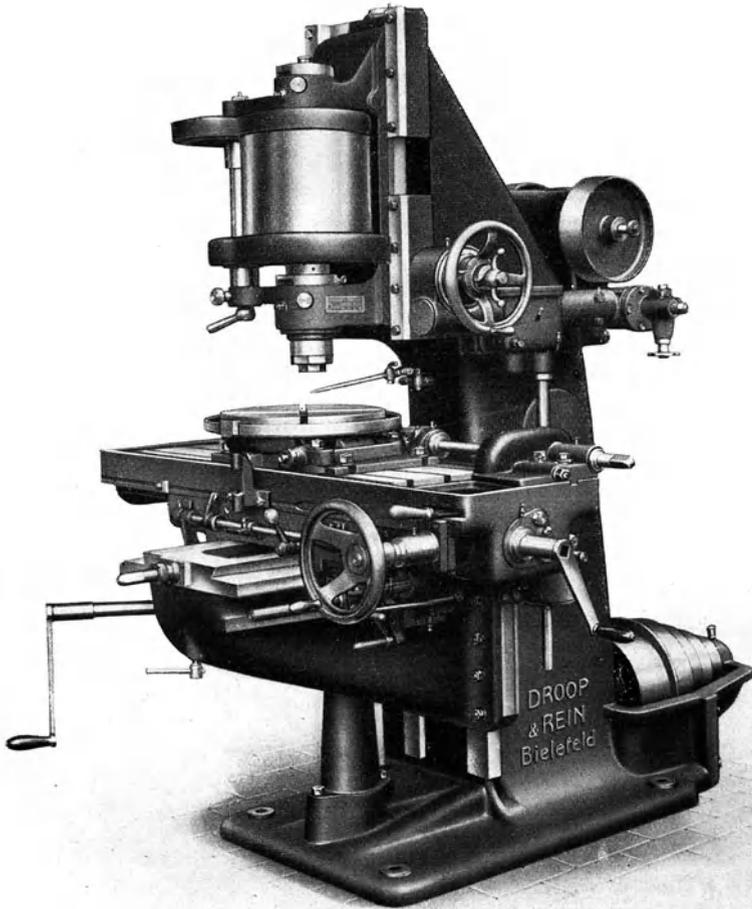


Abb. 231. Die Senkrechtfräsmaschine von Droop & Rein.

Die Verschiebung des Ziehkeiles erfolgt durch die Rillenzahnstange *g*, Ritzel *h* vom Handrad *i*. Zwecks leichteren Verschiebens ist eine Radübersetzung von 1 : 4 dazwischen geschaltet.

Sämtliche Schaltungen, auch die des abnehmbaren Rundtisches, sind ohne besondere Hilfsvorrichtungen zu betätigen. Durch die Umstellung eines Hebels kann von der Längsschaltung auf die Rundschaltung

oder auf die Querschaltung übergegangen werden. Alle Schaltungen sind selbsttätig auslösbar, achtfach veränderlich und umkehrbar. Auch die senkrechte Verstellung des Frässpindelkastens kann selbsttätig mit achtfacher Veränderung erfolgen. Der Antrieb der Schaltung geschieht

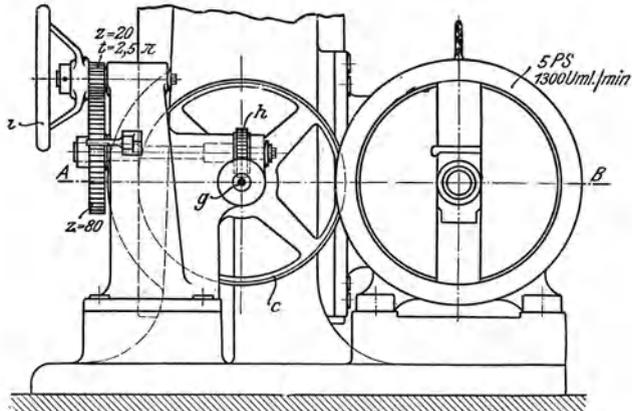


Abb. 232. Die Anordnung des direkten elektrischen Antriebes.

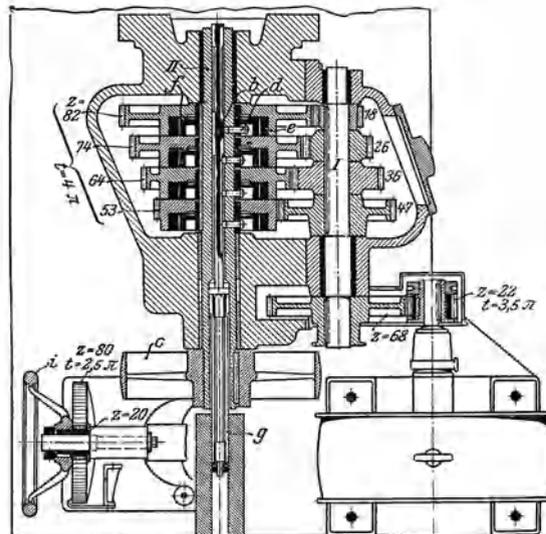


Abb. 233. Schnitt durch den Stufenrädernkasten.

von einer der Riemenleitrollen aus durch ein Stufenräderngetriebe, das in einem besonderen Gehäuse untergebracht ist. Durch das unter der Leitrolle sichtbare Handrädchen kann das Ein- und Ausrücken, sowie der Geschwindigkeitswechsel der Schaltung auch während des Ganges der Maschine bewirkt werden.

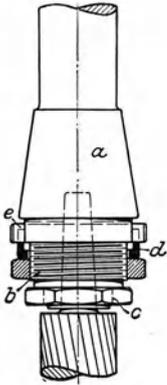


Abb. 234. Die Fräsdornbefestigung.

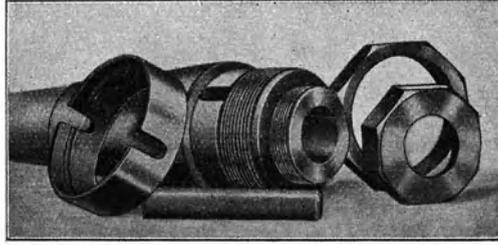


Abb. 235. Die einzelnen Teile der Fräsdornbefestigung.

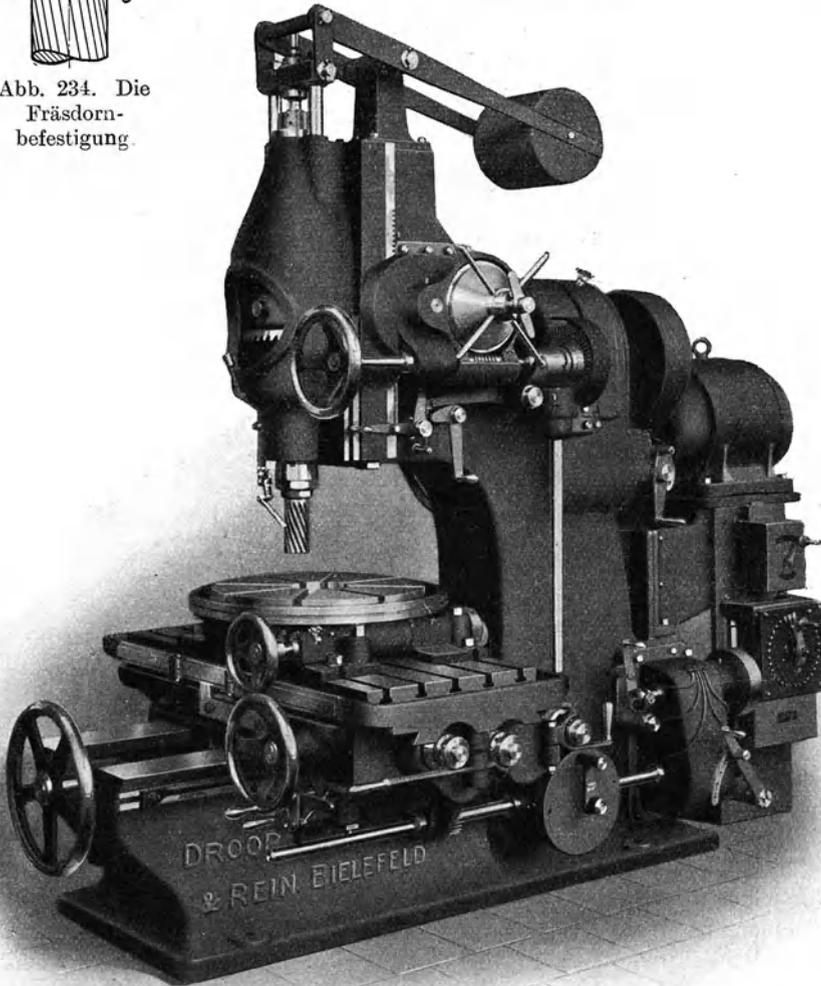


Abb. 236. Die große Senkrechtfräsmaschine von Droop & Rein.

Die Schnecke für den Selbstgang des Rundtisches ist auslösbar, so daß man den Tisch beim Ausrichten von Werkstücken schnell drehen kann.

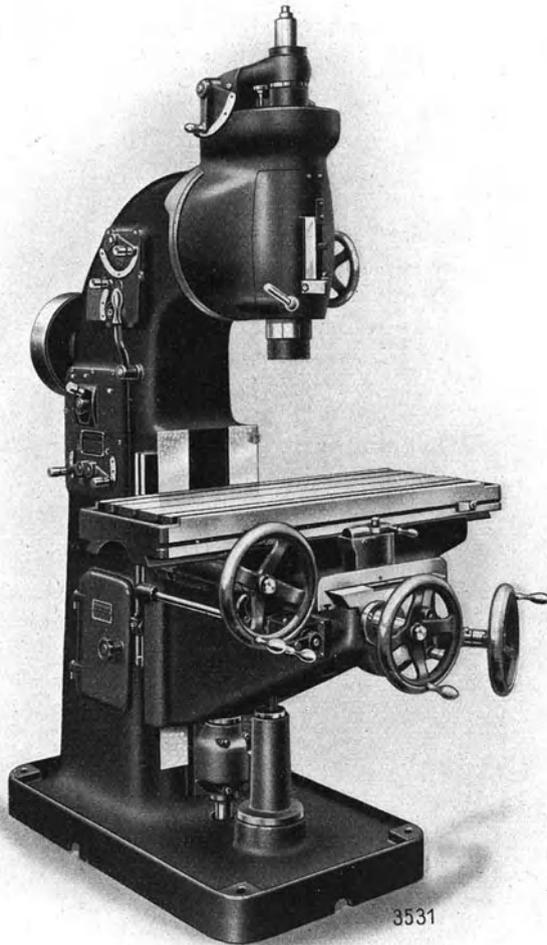


Abb. 237. Die Senkrechtfräsmaschine von Alfred H. Schütte.

Die der Firma patentierte Fräsdornbefestigung ist in Abb. 234 und 235 wiedergegeben¹⁾. Die Frässpindel *a* hat am unteren Ende zwei verschiedene Gewinde mit je einer Mutter und dicht über dem oberen Gewinde einen durchgehenden Schlitz. Die obere Mutter legt sich gegen einen Ring und drückt denselben gegen den durch den Schlitz geführten

¹⁾ D. R. P. Nr. 134 641.

prismatischen Keil. Der Fräsdorn hat ebenfalls ein auf Anzug gearbeitetes Keilloch, so daß beim Anziehen der oberen Mutter der Fräsdorn in den Kegel hineingezogen wird. Die untere Mutter dient zum Herausdrücken des Fräsdornes, der mit einem entsprechenden Ansatz versehen sein muß.

Die Abb. 236 zeigt die große Senkrechtfräsmaschine mit eingebautem Elektromotor und mit Rundtisch ausgestattet.

Die Senkrechtfräsmaschine von Alfred H. Schütte in Köln.

In der Abb. 237 ist eine Senkrechtfräsmaschine mit schwenkbaren Frässpindelkopf und Einscheibenantrieb dargestellt. Die Frässpindel läuft unten in einem kegeligen und oben in einem zylindrischen Lager; beide sind zentrisch nachstellbar. Eine Feinverstellung durch Handrad und Schneckengetriebe ist für die Frässpindel vorgesehen.

Für die Antriebe der Frässpindel und der Vorschübe sind Wechselräderräderkasten eingebaut. Die darin eingebauten Räder sind in der Weise angeordnet, daß sich immer nur die jeweils arbeitenden Räder im Eingriff befinden.

Der Arbeitstisch hat 3 Bewegungen mit Selbstgang, welche durch ein Wendegetriebe umkehrbar sind.

Die Parallelfräsmaschine von J. E. Reinecker in Chemnitz.

Zum Bearbeiten paralleler Flächen mit großer Genauigkeit dient die in Abb. 238 wiedergegebene zweispindlige Maschine. Obwohl sie anfangs nur zu einigen Sonderzwecken Verwendung fand, ist es ihr gelungen, sich ein ziemlich weites Arbeitsgebiet zu erwerben; nicht nur beim Bearbeiten gerader Flächen, sondern auch beim Fräsen mit dem Rundtisch.

Die Parallelfräsmaschine besitzt sehr viel Verstellbarkeit. Nicht nur, daß der Arbeitstisch längs, quer und senkrecht verstellt werden kann, sondern es sind auch die Frässpindeln in ihren Mittenabständen und in der Höhenlage verstellbar. Sie kann außerdem noch mit Längs- und Rundkopiereinrichtung ausgerüstet werden, wobei die beiden Frässpindeln unabhängig voneinander arbeiten können.

3. Die Sonderfräsmaschinen.

Die Keillochfräsmaschine von Droop & Rein in Bielefeld.

Die in Abb. 239 wiedergegebene Maschine stellt eine Sonderkonstruktion zum selbsttätigen Ausarbeiten durchgehender Schlitze für Keile in Wellen, Kreuzköpfen, Kolbenstangen und ähnlichen Teilen dar. Sie kann ohne weiteres auch zum Fräsen normaler Flachkeilnuten verwendet werden und zwar können an einem Werkstück zwei gegenüberliegende Keilnuten oder bei geeigneten Aufspannvorrichtungen an zwei Werk-

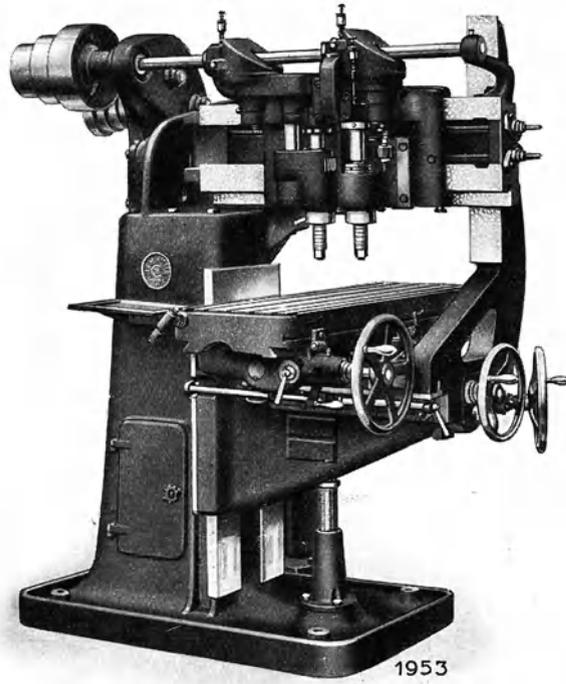


Abb. 238. Die Parallelfräsmaschine von J. E. Reinecker.

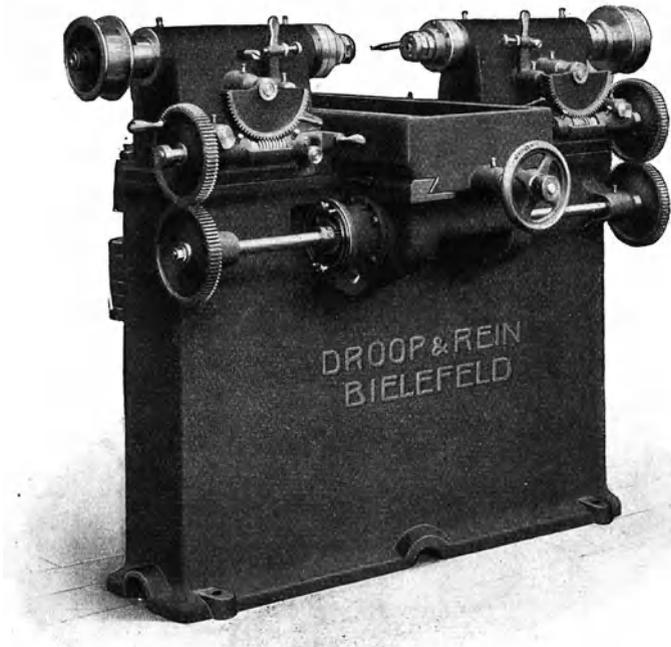


Abb. 239. Die Keillochfräsmaschine von Droop & Rein.

stücken einseitige Nuten gleichzeitig gefräst werden. Die Werkstücke werden auf dem Aufspanntisch befestigt und mit diesem der Schlitzlänge entsprechend hin- und herbewegt. Die Bewegung des Tisches erfolgt durch verstellbaren Kurbeltrieb. Durch elliptische Räder wird eine annähernd gleichmäßige Bewegung erzielt. Bei jeder Bewegungsumkehr werden die Frässpindeln in der Achsrichtung entsprechend dem Fräserdurchmesser und dem zu bearbeitenden Material vorgeschaltet. Die Frästiefe ist durch verstellbare Anschläge begrenzt. Die Spindeln werden nach erreichter Tiefe selbsttätig zurückgezogen. Beim Fräsen durchgehender Schlitze wird die Einstellung derart vorgenommen, daß die Schaltung solange gleichmäßig auf beiden Seiten erfolgt, bis die Fräser

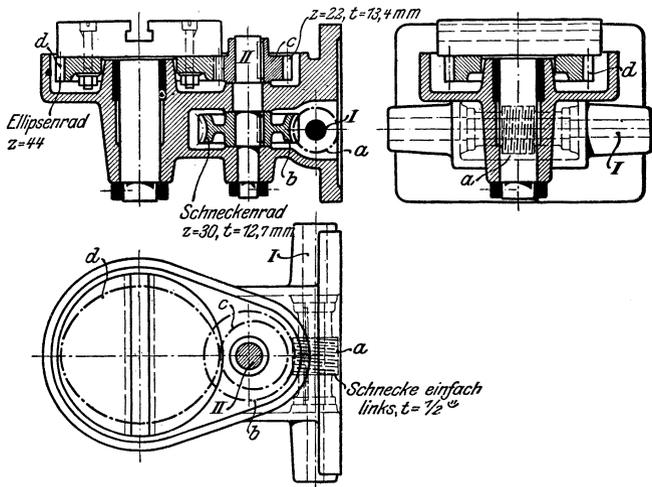


Abb. 240. Das Kurbelgetriebe.

noch 0,5 mm voneinander entfernt sind. Dann wird die eine Spindel zurückgezogen, während die andere das Loch fertigstellt um dann ebenfalls zurückzugehen.

In der Abb. 240 ist der berichtigte Kurbeltrieb für die Tischbewegung ausführlich dargestellt. Die durch Stufenscheibe angetriebene Welle I treibt durch Schnecke *a* und Schneckenrad *b* die Welle II. Auf Welle II sitzt exzentrisch das Stirnrad *c*. Mit *c* im Eingriff steht das an der Kurbelscheibe befestigte, der Exzentrizität von *c* entsprechend elliptische Rad *d*. Das Ellipsenrad muß die doppelte Zahnzahl des Antriebrades *c* haben und so mit der Hubscheibe verschraubt sein, daß die Nut senkrecht zur großen Achse der Ellipse steht. In dieser Stellung ist das Übersetzungsverhältnis der beiden Räder 1 : 3 und geht bei einer Vierteldrehung des Ellipsenrades bis auf 1 : 1 zurück. Es wird dadurch die dem direkten Kurbeltrieb anhaftende ungleichmäßige Tischbewegung fast ganz ausgeglichen.

Die Spiralbohrerfräsmaschine von Biernatzki & Co.
in Chemnitz.

Zur Herstellung der Spiralbohrer mit gleichbleibender Spiralsteigung von 12—100 mm Durchmesser und bis 1000 mm Länge dient die in Abb. 241 abgebildete Sonderfräsmaschine. Sie ist in den letzten Jahren ganz wesentlich vervollkommnet worden.

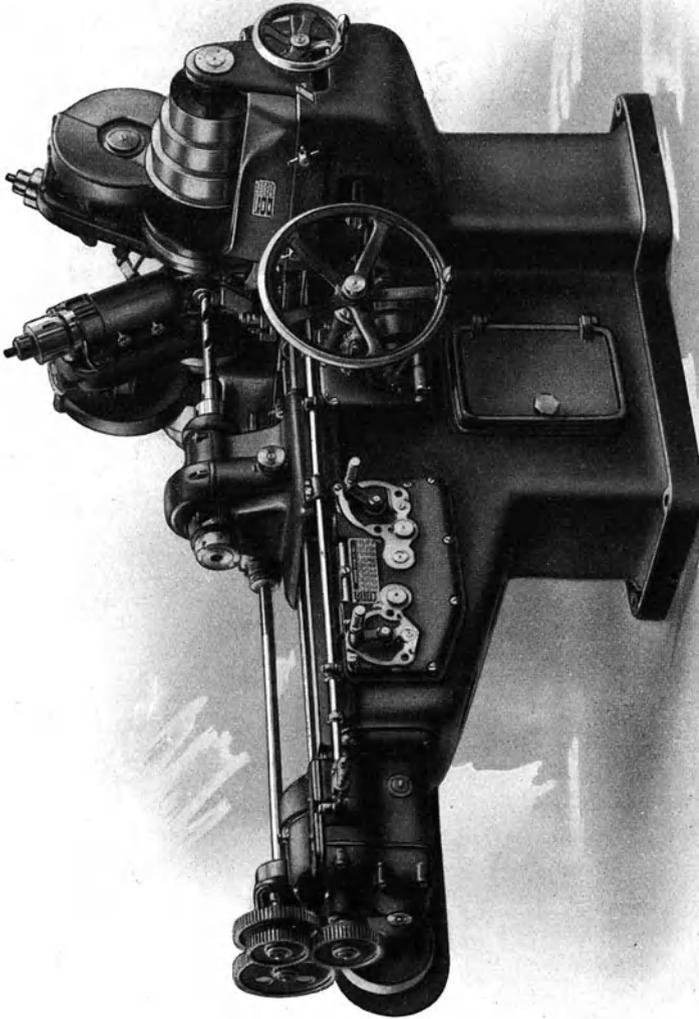


Abb. 241. Die Spiralbohrerfräsmaschine von Biernatzki & Co.

Die Maschine ist in allen Teilen kräftig gehalten. Auf den Schlittenführungen des kastenförmigen Unterteiles ist der durch Schraubenspindel getriebene Schlitten für die Aufspannvorrichtungen der Spiralbohrer angeordnet.

Die beiden durch Spindeln verstellbaren Frässpindelstöcke liegen rechtwinklig zu den vorerwähnten Schlittenführungen. Sie nehmen durch vierfache Stufenscheiben die Antriebsbewegung auf und leiten sie durch Stirn- und Kegelräder nach den senkrecht zur Stufenscheibenachse liegenden Frässpindeln. Diese sind mit ihren Gehäusen um den Mittelpunkt der Stufenscheiben drehbar, was ermöglicht, daß die etwa in der Gegend dieser Mittelpunkte befindlichen Fräser so einzustellen sind, wie es der jeweilig bedingte Steigungswinkel der Spiralen erfordert.

Um die Stärke des Spiralbohrerkernes verändern zu können, ist die Einrichtung getroffen, daß man denselben eine beliebig einstellbare Länge gerade fräsen und von dort aus nach und nach an Stärke zunehmen lassen kann.

Zum Hinterfräsen werden die Frässpindeln wagerecht eingestellt. Bei dem vorstehend abgebildeten schweren Modell werden zum Hinterfräsen besondere Frässpindelköpfe mitgeliefert, die gegen die schweren Nutenfrässpindeln ausgewechselt werden. Bei dem leichteren Modell können dieselben Spindeln sowohl zum Nuten als auch zum Hinterfräsen benützt werden.

Der Antrieb der Schaltung erfolgt vermittelt eines Vorschubräderekastens, der seinen Antrieb direkt vom Deckenvorgelege aus erhält. Der Vorschub wird dadurch unabhängig von der Fräserumdrehung. Es sind 9 verschiedene, durch Hebel einstellbare Geschwindigkeiten vorgesehen. Durch Wechselräderübersetzung wird dem zu fräsenden Spiralbohrer die langsame Drehung erteilt.

Die Schaltung der Maschine ist an jeder Stelle selbsttätig ausrückbar einzustellen oder von Hand auszurücken. Außerdem ist von Hand einstellbarer schneller Rücklauf vorgesehen. Behufs genauen Einstellens sind alle Spindeln mit Teilscheiben versehen, welche eine Einstellung von $\frac{1}{10}$ mm abzulesen gestatten.

Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Maschine sei bemerkt, daß Spiralbohrer bis 40 mm Durchmesser mit einem Schnitte vollkommen fertig gefräst werden. So beträgt beispielsweise die Herstellungszeit eines Spiralbohrers von 35 mm Durchmesser 14 Minuten. Zu dieser hohen Leistung trägt wesentlich der Umstand bei, daß der Bohrer unmittelbar vor den Fräsern in einem leicht auswechselbaren Lager geführt wird.

11. Die Berechnungen für Teil- und Spiralarbeiten.

a. Die Teilvorrichtungen.

Die Teilvorrichtungen, auch Teilapparate oder Teilköpfe genannt, dienen zum genauen Einteilen der Werkstücke beim Fräsen von Zähnen

oder in gleichmäßigen Abständen stehenden Nuten oder Flächen (Zahnräder, Kurbelvierkante, Muttern und Schraubenköpfe). Man unterscheidet: Teilapparate, auf denen sich nur eine kleine Anzahl Teilungen direkt ohne jede Übersetzung erzielen läßt, wie

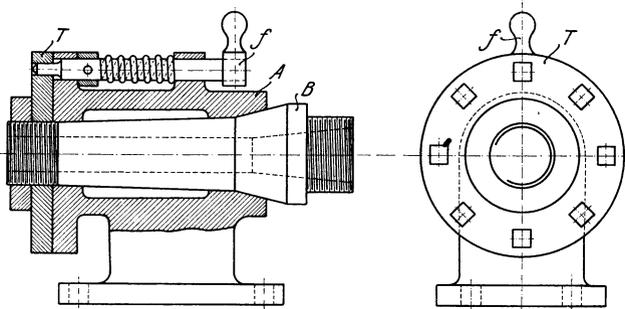


Abb. 242. Der einfache Teilapparat.

z. B. beim Fräsen der Drei-, Vier-, Fünf-, Sechs- und Vielkante, und Teilapparate, auf denen jede Teilung möglich ist, indem durch verschiedene Teilscheiben oder Wechselräder jede Teilbewegung durch Schnecke und Schneckenrad auf das Werkstück übertragen werden kann.

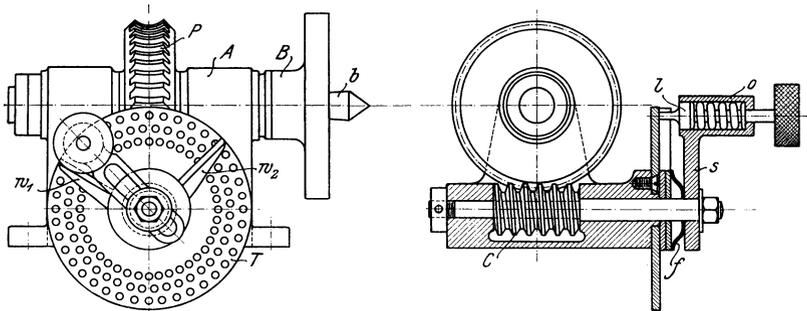


Abb. 243. Der Teilapparat mit Teilscheiben.

Den Teilapparat der ersteren Art stellt die Abb. 242 dar. Da dieser Apparat ohne weiteres verständlich ist, sei daher sogleich der in Abb. 243 dargestellte erläutert.

In dem Gestelle *A* ist die — zur Aufnahme der Körnerspitze *b* oder eines die Werkstücke tragenden Dornes — hohl gebohrte Spindel *B* gelagert, die auf ihrem vorderen Außengewinde eine Mitnehmerscheibe trägt. Mit *B* fest verbunden ist das Schneckenrad *P*, in das die im Öl-bade laufende Schnecke *C* greift. An der Lagernocke des die Schnecke drehenden Bolzens sitzt die Teilscheibe *T*, an die sich der durch ein Schraubchen in jeden Winkel einstellbare Zeigerwinkel w_1 w_2 anlegt. Auf der vorderen Abflachung der Spindel befindet sich der Kurbelhebel *s*

mit der als Griff ausgebildeten Indexhülse o , in welcher der durch eine Feder stets nach der Teilscheibe gedrückte Indexstift l sitzt. Letzterer kann durch den im Kurbelhebel s befindlichen Schlitz in jeden beliebigen Lochkreis der Teilscheibe eingestellt werden. Um ein stetes Andrücken des Zeigerwinkels an die Teilscheibe zu erhalten, ist zwischen w und s eine Stahlfeder f eingeschaltet worden.

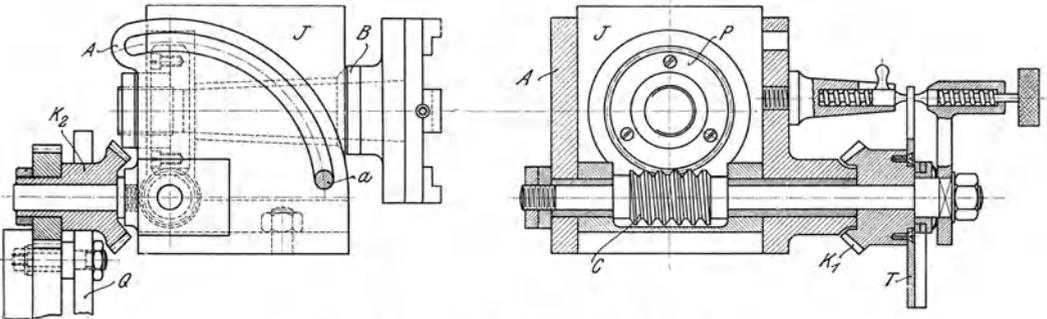


Abb. 244. Der Universalteilapparat.

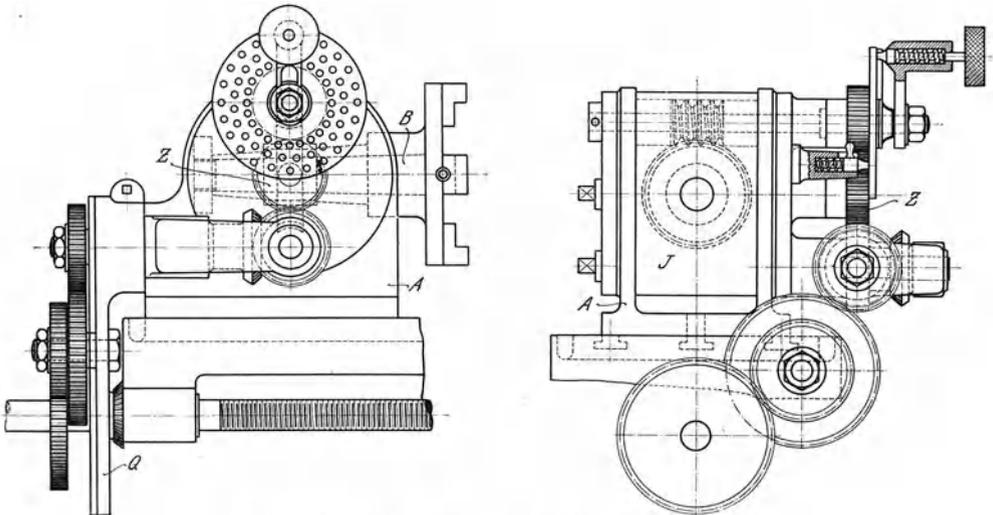


Abb. 245. Der amerikanische Universalteilapparat.

Einen vollkommeneren Teilapparat stellt die Abb. 244 dar. Er unterscheidet sich vom letztgenannten dadurch, daß seine Spindel von der wagerechten Lage bis in die senkrechte Lage gebracht und in jeder Stellung fixiert werden kann. Solche Apparate bezeichnet man als Universalteilapparate. Im Außengehäuse A sitzt, drehbar um den Mittelpunkt eines kreisbogenförmigen Schlitzes, das Innengehäuse J . Die hohle Spindel B trägt an ihrem hinteren Ende — in J vertieft liegend

— das Schneckenrad P . Um den bei Abnutzung entstehenden toten Gang ausgleichen zu können, besteht das Schneckenrad aus zwei gegeneinander verdrehbaren Scheiben.

Wie aus Abb. 244 ersichtlich ist, befindet sich Schnecke C im Drehpunkte des Innengehäuses J ; bei Verstellung des letzteren wird daher Schneckenrad P mit Schnecke C im steten Eingriffe bleiben, so daß in jeder Stellung geteilt werden kann. Die in den Schlitzen von A befindlichen Schrauben a dienen zum Feststellen des Ganzen. Auf dem Außengehäuse A befindet sich eine Gradeinteilung, nach welcher bei Schrägstellung der Spindel der erforderliche Winkel abgelesen werden kann.

Außerdem ist bei diesen Apparaten die Einrichtung zur Erzeugung spiralgewundener Nuten oder Riefen (Spiralsteigungen) vorgesehen. Sie wird dadurch erreicht, daß dem Werkstück während des Längsvorschubes eine von diesem abhängige gleichmäßige Drehung erteilt wird. Es ist zu diesem Zwecke die Teilscheibe T mit einem lose auf dem Schneckenbolzen befindlichen Kegeltriebe K_1 verbunden. In letzteres greift ein Gegentrieb K_2 (Abb. 244), der auf einem im Gehäuse A festgeschraubten Bolzen sitzt. Der Antrieb der Triebe K_1 und K_2 geschieht durch Wechselräder, welche auf der Nabe von K_2 , Wechselräderschere Q und Tischspindel der Fräsmaschine, der Steigung der Spirale entsprechend, angesteckt werden.

In der Abb. 245 ist ein Teilapparat amerikanischer Konstruktion dargestellt. Das Außengehäuse A bildet mit dem dazwischen drehbaren Innengehäuse J eine geschlossene Trommel, in der Schnecke und Rad gelagert ist. Das Schneckenrad sitzt hierbei genau in der Mitte der Trommel J auf der Spindel B , während Schnecke mit Bolzen seitlich in J angeordnet sind. Um nun den Antrieb in jeder Lage von den Kegelrädern auf die Schnecke zu übertragen, ist im Mittelpunkt von J ein Zwischentrieb Z eingeschaltet.

Die Abb. 246 und 247 geben einen Universalteilkopf wieder, wie er von den Wandererwerken gebaut wird. Die Schnecken­spindel ist exzentrisch in einer drehbar angeordneten Büchse 5 gelagert, die durch eine sinnreiche Konstruktion verdreht und gesichert werden kann. Dadurch ist es ermöglicht, die Teilschnecke 1 außer Eingriff mit dem Rad 13 zu bringen und den Apparat auch für direktes Teilen einzurichten. Teilscheibe und Index werden dabei an der Hauptspindel und am

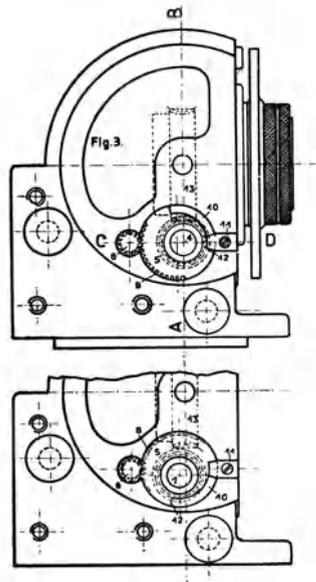


Abb. 246. Der Wanderer-Universalteilkopf.

Grundkörper in geeigneter Weise angebracht. Abb. 252 zeigt die Befestigung des Wechselrädربولzens in der Hauptspindel, eine Anordnung, wie sie beim Gewindefräsen und beim Differentialteilen gebraucht wird. Der das Wechselrad *D* tragende Bolzen *A* ist durchbohrt und wird durch den Spreizkegel *B* und eine durchgehende Schraube fest in die Hauptspindel geklemmt.

In der Bauart dem Apparate Abb. 244 ähnlich ist der von Reinecker konstruierte Teilapparat¹⁾. An ihm befindet sich statt der Teilscheiben ein Wechselrädresystem. Es wird dadurch das Teilen dem die Maschine bedienenden Arbeiter wesentlich leichter gemacht, da er nach jeder Einfräsung nur an der Teilkurbel eine genaue Umdrehung zu machen braucht und sich infolgedessen nicht verteilen kann

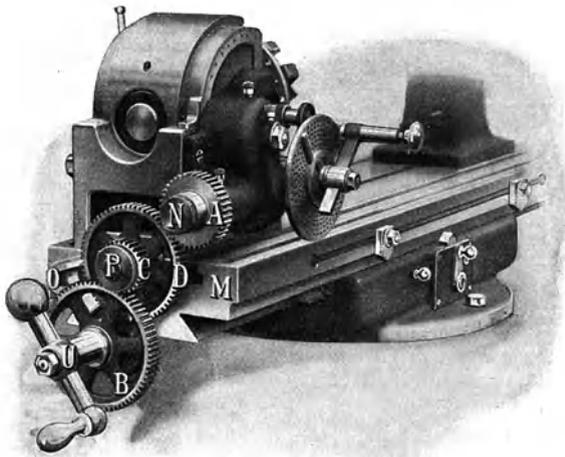


Abb. 247. Ansicht des Wanderer-Universalteilapparates.

Die Abb. 248 stellt die Konstruktion dieses Teilapparates, der nachstehend näher beschrieben ist, dar.

Im Gehäuse *a* sitzt, um 90° verstellbar, der Innenkörper *c*, in welchem die mit Innenkegel und Außengewinde versehene Spindel *b* lagert. Mit ihr fest verbunden ist das zweiteilige Schneckenrad *e*, das von der Schnecke *f* betätigt wird. Die Schneckenspindel *d* trägt außerhalb des Gehäuses *a* den losen doppelten Kegeltrieb *k*. Dahinter sitzt fest auf *d* ein Kreuzkopf, auf dessen Zapfen *g g* sich zwei lose drehende, mit Trieb *k* im Hingriff stehende Triebe *h h* befinden. Letztere stehen ferner mit einem Triebe *i* im Eingriff, das eine lose Büchse *p* der Spindel *d* trägt. Büchse *p* ist zugleich für die Aufnahme eines Wechselrades *q* bestimmt, das nach Einschaltung der Räder an der Schere vom Rade der Teilschnecke *r* seinen Antrieb erhält. Teilschnecke *r* trägt

¹⁾ D. R. P. Nr. 73 332.

die mit nur einem Loch versehene Teilscheibe s , in welche ein feststehender Indexstift t einschlägt.

Nachdem die Wechselräderverbindung zwischen q und r hergestellt ist, erfordert, wie schon erwähnt, jede Teilung nur eine Umdrehung der Teilschindel r .

Die Übertragung der Teilbewegung auf Spindel b geschieht wie folgt: Teilschindel r überträgt durch die Wechselräder ihre Umdrehung

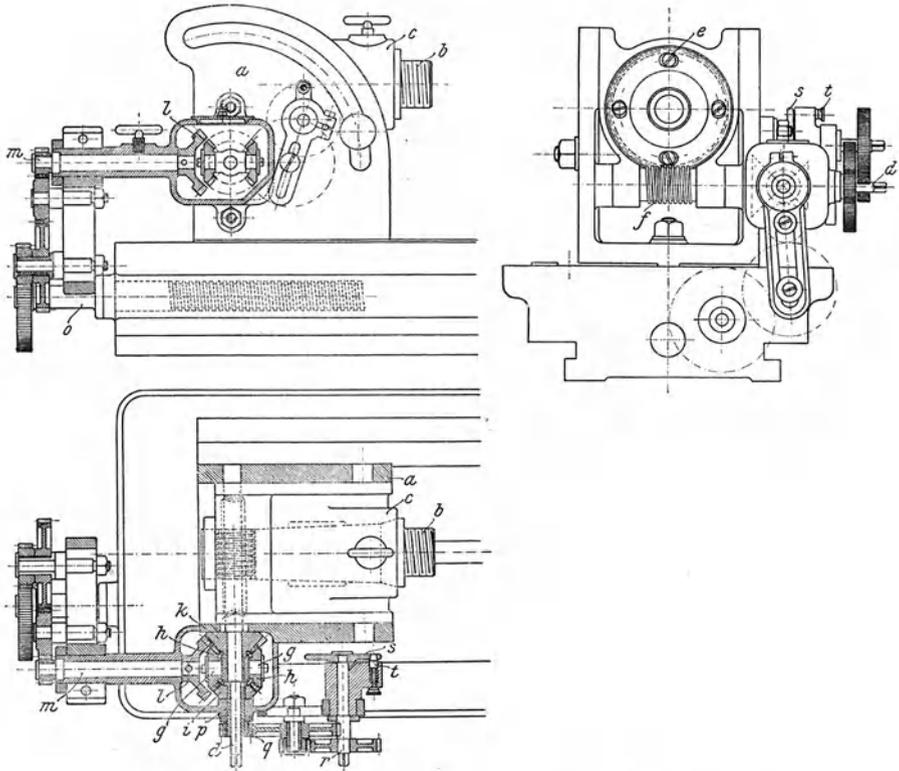


Abb. 248. Der Universalteilapparat von J. E. Reinecker.

auf Büchse p , mithin dreht sich Trieb i , das seinerseits die Triebe $h h$ antreibt. Da letztere mit dem stillstehenden Triebe k im Eingriff stehen, so müssen sie sich auf diesem abwälzen, wodurch außer der Drehung um ihre eigenen Achsen noch eine solche um Spindel d erfolgt. Gleichzeitig wird, da der Kopf $g g$ festsetzt, Spindel d angetrieben, die ihrerseits durch Schnecke f und Rad e Spindel b samt Werkstück umdreht.

Der Antrieb des Teilkopfes zum Erzeugen der Spiralen vollzieht sich folgendermaßen. Das Wechselrad der Tischspindel o treibt durch Zwischenräder der Schere das Wechselrad der Spindel m an, an deren

Ende sich das Trieb t befindet, das seinerseits Doppeltrieb k antreibt. Von hier aus erhalten die beiden Triebe $h h$ ihre Drehung um sich selbst, und da sie sich an dem feststehenden Trieb i abwälzen, so muß sich auch wiederum der Kopf mit dem Zapfen $g g$, mithin auch die Welle d drehen. Es erhält somit Spindel b durch Schnecke f und Rad e die zum Erzeugen der Spiralen notwendige langsame Umdrehung.

Einen Teilaufsatz derselben Firma zum Fräsen von Stirnrädern zeigt die Abb. 249. Er bedingt an der Maschine senkrechten Selbstgang. An ihm kommt gleichfalls das schon erwähnte Wechselrädersystem zur

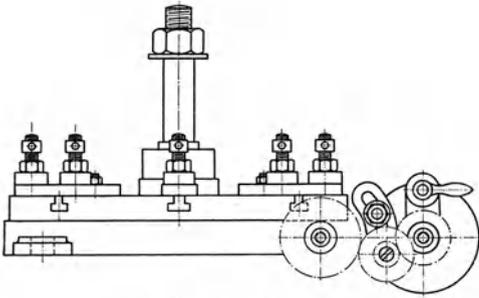


Abb. 249. Der Stirnräderteilapparat von J. E. Reinecker.

Anwendung. Seine Einrichtung und Handhabung dürfte durch die Zeichnung genügend erklärt sein.

Herbert Lindner, erste Spezialfabrik für Teilapparate in Berlin, stellt einen Universalteilapparat her, der neben auslösbarer Schnecke zum direkten Teilen für geringe Zähnezahlen — Reibahlen, Gewindebohrer, Fräser und

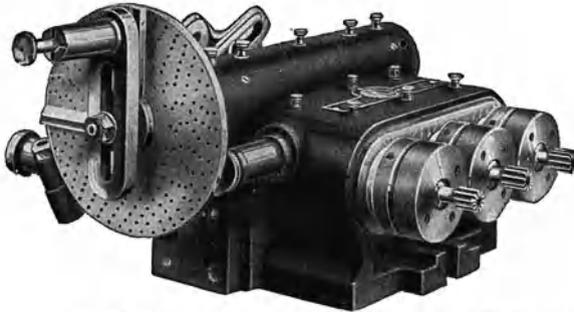


Abb. 250. Der dreifache Teilapparat von Lindner.

dgl. —, zum Teilen mit Teilscheiben für gerade und spiralgewundene Zähne eingerichtet ist und der ferner unter Zuhilfenahme von Wechselrädern das indirekte Teilen gestattet.

In Abb. 250 ist ein dreifacher Teilapparat der letztgenannten Firma zum Fräsen der Gewindebohrer, Reibahlen, Fräser u. dgl. dargestellt.

b. Das Teilen und die Teilscheiben.

Entsprechend den vorbeschriebenen Teilapparaten unterscheidet man beim Teilen direktes und indirektes Teilen. Für das direkte Teilen ist keinerlei Berechnung erforderlich, da die entsprechende Teildrehung

der Teilkopfspindel direkt mit der Teilscheibe vorgenommen wird. Wie dies geschieht, geht aus der Beschreibung der dafür eingerichteten Apparate hervor und kann daher hier übergangen werden.

Nachstehend soll nun das indirekte Teilen an Hand von Beispielen genau erläutert werden. Man nennt es indirektes Teilen, weil die Teilbewegung nicht direkt von der Teilscheibe, sondern vermitteltst Schnecke und Schneckenrad auf das Werkstück übertragen wird. Zu beachten ist dabei die Zähnezahzahl des Schneckenrades und die Gängigkeitszahl der Schnecke. Die Zähnezahzahl des Schneckenrades dividiert durch die Gängigkeitszahl der Schnecke ergibt die erforderliche Anzahl der Schneckenumdrehungen für eine volle Umdrehung des Schneckenrades und des zu teilenden Werkstückes. Die meisten Teilapparate besitzen eine einfache Schnecke und ein Schneckenrad von 40 Zähnen. Größere Zähnezahlen und mehrgängige Schnecken finden sich nur an den Teilvorrichtungen von Sondermaschinen, bei welchen eine sehr große Genauigkeit verlangt wird, denn je größer das Schneckenrad (Teilrad) im Verhältnis zu dem zu teilenden Werkstücke ist, desto kleiner sind unvermeidliche Fehler im Teilrad und Teilscheibe auf dem Werkstück bemerkbar.

Da nun ein mit Zähnen, Nuten oder Riefen zu versehenes Werkstück bei einer vollen Umdrehung alle Zähne erhalten haben muß, so ist erforderlich, daß die Umdrehung des Schneckenrades in soviel gleiche Teildrehungen zerlegt werden muß, als das Werkstück Zähne erhalten soll. Es muß also, z. B. bei 2 Zähnen, das Schneckenrad für eine Einstellung $\frac{1}{2}$ Umdrehung machen, bei 3 Zähnen $\frac{1}{3}$ Umdrehung, bei 4, 5, 7, 9, 10 Zähnen $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{7}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{10}$ Umdrehung für jede Einstellung machen. Daraus geht hervor, daß alle Einstellungen zusammen soviel Umdrehungen der Kurbel bzw. der Schnecke ergeben müssen, als zu einer ganzen Umdrehung des Schneckenrades erforderlich sind.

Nehmen wir als Beispiel ein Schneckenrad mit 40 Zähnen und eine einfache Schnecke an. Für eine Umdrehung des Schneckenrades sind also $\frac{40}{1} = 40$ Kurbelumdrehungen nötig. Soll nun ein Rad mit 20 Zähnen gefräst werden, so entfallen auf die 20 Einstellungen 40 Kurbelumdrehungen, folglich auf eine Einstellung $\frac{40}{20} = 2$ Kurbel- bzw. Schneckenumdrehungen. Dies ergibt kurz zusammengefaßt: Anzahl der Schneckenumdrehungen für eine ganze Schneckenradumdrehung, dividiert durch die Anzahl der Einstellungen, ist gleich der Anzahl Schneckenumdrehungen für eine Einstellung.

Je nach der Zahl der zu fräsenden Zähne ergeben sich nun nicht immer volle Schneckenumdrehungen für eine Einstellung, sondern Voll- und Teildrehungen, und für größere Zähnezahlen nur Teildrehungen der Schnecke.

Führen wir nun folgende Bezeichnungen ein:

z = Zähnezahl des Schneckenrades.

g = Gängigkeitszahl der Schnecke (bei einfacher Schnecke = 1, bei doppelgängiger Schnecke = 2 usw.).

e = Anzahl der Umdrehungen des Kurbelhebels bzw. der Schnecke, welche zu einer vollen Umdrehung des Schneckenrades nötig sind.

m = Anzahl der in gleichen Teilen einzufräsenden Zähne, Nuten oder Riefen.

n = Anzahl der nötigen Kurbelumdrehungen, die sich aus:

u = den ganzen Kurbelumdrehungen und

x = der für die Teildrehung erforderlichen Anzahl Löcher eines Lochkreises zusammensetzen (vom Zeigerwinkel einzuschließen),

p = der jeweilig bedingte Lochkreis.

Dann erhalten wir mit Bezug auf unsere angenommenen Bezeichnungen:

$$\frac{e}{m} = n.$$

und auf obiges Beispiel angewendet

$$\frac{40}{20} = 2.$$

Geht die Zahl der Einstellungen in der Zahl e ohne Rest auf, so hat man den Zeigerwinkel nicht nötig, denn der Indexstift kommt dabei immer wieder in ein und dasselbe Loch. Anders liegt die Sache dort, wo ein Rest bleibt, wo also bei der Rechnung ein Bruch herauskommt. Sei z. B. die Zähnezahl des Schneckenrades 120, die Schnecke doppelgängig, also die Gängigkeitszahl 2, und ein Rad von 48 Zähnen zu fräsen,

so ergibt sich: $\frac{e}{m} = \frac{60}{48} = 1 + \frac{12}{48} = 1 + \frac{3}{12}$. Diesen Bruch wird man

nun solange kürzen oder erweitern, bis man den Nenner mit einem Lochkreise auf der Teilscheibe in Übereinstimmung gebracht hat. Der Zähler gibt dann die Anzahl der Löcher in diesem Lochkreise an, welche noch zu den ganzen Umdrehungen hinzukommen. Ist also im obigen Beispiel ein Lochkreis von 48 vorhanden, so hat man bei jeder Einstellung eine ganze Umdrehung und noch 12 Löcher in diesem Lochkreise zu teilen. In einem Lochkreis von 24 hätte man nur, 6 in einem solchen von 12 nur 3 Löcher zu teilen.

Um nun nicht bei jeder Einstellung die Löcher einzeln zählen zu müssen, stellt man den Zeigerwinkel so ein, daß seine beiden Schenkel, das Loch, in welchem der Indexstift sitzt, sowie die Löcher, die der erforderlichen Teildrehung entsprechen, einschließen. Im letzten Beispiel würde also der Zeigerwinkel so einzustellen sein, daß er im Lochkreis 48 13 Löcher und im Lochkreis 24 7 Löcher einschließt.

Kurz zusammengefaßt ist

$$e = \frac{z}{g}.$$

Ferner ist
$$n = \frac{e}{m}.$$

Da n nicht immer eine ganze Zahl ist, setzen wir

$$n = u + \frac{x}{p}.$$

Sei z. B. $z = 40,$
 $g = 1,$
 $m = 14,$

so ergibt sich folgende Rechnung:

$$e = \frac{z}{g} = \frac{40}{1} = 40,$$

$$n = \frac{e}{m} = \frac{40}{14},$$

zerlegt
$$n = u + \frac{x}{p} = 2^{12}/_{14} = 2^{24}/_{28} = 2^{30}/_{35}.$$

Esläßt sich auf jede Rechnung rasch die Gegenprobe machen, denn da

$$n = \frac{e}{m} \text{ ist, muß } m \cdot n = e \text{ sein;}$$

das heißt: Anzahl der Einstellungen mal Anzahl der Umdrehungen bei einer Einstellung ist gleich der Anzahl der Umdrehungen der Schnecke bei einer vollen Umdrehung des Schneckenrades.

Die Probe auf das letzte Beispiel angewendet ergibt:

$$m \cdot n = e = 14 \cdot 2^{30}/_{35} = 40.$$

Zum besseren Verständnis seien hier noch einige Beispiele angeführt.

- I. Zähnezahl des Schneckenrades im Teilapparate $z = 180$
 Schnecke zweigängig, also $g = 2$
 Anzahl der Einstellungen am Werkstücke $m = 246$
 Es ist dann

$$e = \frac{z}{g} = \frac{180}{2} = 90$$

und

$$n = \frac{e}{m} = \frac{90}{246} = \frac{15}{41};$$

also im Lochkreise 41 sind für jede Einstellung 15 Löcher zu teilen.

$$\text{Gegenprobe: } (m \cdot n = e) \quad 246 \cdot \frac{15}{41} = 90.$$

- II. $z = 40,$
 $g = 1,$
 $m = 17,$

$$e = \frac{z}{g} = \frac{40}{1} = 40,$$

$$n = \frac{e}{m} = \frac{40}{17} = 2^8/_{17} = u + \frac{x}{p}.$$

$$\text{Gegenprobe: } 17 \cdot 2^8/_{17} = 40.$$

III. Auf einem Teilapparate mit einem Schneckenrade von 40 Zähnen und einer eingängigen Schnecke soll ein Dreikant gefräst werden.

$$\begin{aligned} z &= 40, \\ g &= 1, \\ m &= 3, \end{aligned}$$

$$e = \frac{z}{g} = \frac{40}{1} = 40,$$

$$n = \frac{e}{m}; \frac{40}{3} = 13\frac{1}{3} = 13\frac{6}{18} = 13\frac{8}{24} = 13\frac{11}{33} \dots = u = \frac{x}{p}.$$

Man muß also hier einen Lochkreis nehmen, dessen Lochzahl durch 3 teilbar ist und für jede Einstellung 13 ganze Kurbelumdrehungen und ein Drittel der Lochzahl eines solchen Lochkreises teilen.

Es seien hier noch die gebräuchlichsten Teilscheiben-Lochkreise, wie man sie an kleineren und mittleren Teilapparaten vorfindet, angegeben. Dieselben sind nun entweder alle auf einer Teilscheibe angebracht oder, wie man sie namentlich in neuerer Zeit ausführt, auf 3—5 Scheiben verteilt, und kann man mit ihnen fast alle vorkommenden Teilungen ausführen. Es sind dies die Lochkreise: 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 29, 31, 32, 33, 37, 39, 41, 43, 47 und 49.

Mit diesen Lochkreisen lassen sich bei einem Schneckenrad von 40 Zähnen alle Zähnezahlen von 2—49, alle geraden Zahlen von 50—100, sowie alle fünffachen bis 100 teilen. Über 100 sind jedoch nur einzelne Zahlenwerte in größeren Abständen, wie 104, 108, 110, 115, 116, 120 usw., zu teilen.

Nachstehend seien noch einige Regeln für das Teilen selbst gegeben. Nachdem der erforderliche Lochkreis nach der eben beschriebenen Rechnung oder mit Hilfe einer Tabelle ermittelt ist, wird die entsprechende Teilscheibe aufgesteckt und der Kurbelhebel s so eingestellt, daß sein Indexstift l genau in alle Löcher des bestimmten Lochkreises einschnappt. Dann wird der Zeigerwinkel $w_1 w_2$ (Abb. 243) so eingestellt, daß er mit seinen Schenkeln ein Loch mehr einschließt als man zu teilen hat. (Sind also 18 Löcher weiterzuteilen, so muß der Zeigerwinkel 19 Löcher einschließen, da das Loch, in dem der Indexstift sitzt, beim Weiterdrehen des Winkels immer mit eingeschlossen bleibt.) Um möglichst genaue Teilungen zu erzielen, achte man besonders darauf, daß die Kurbel nicht über das letzte Loch hinaus und dann zurückgedreht wird, denn schon beim geringsten toten Gang im Teilapparat führt dies zu Ungenauigkeiten. Ratsam ist es, jeden im Gebrauch befindlichen Teilapparat in gewissen Zeitabständen zu untersuchen und den durch Verschleiß im Schneckengetriebe eingetretenen toten Gang durch Nachstellen des Schneckenrades zu beseitigen.

Nachstehend sind für die gebräuchlichsten Apparate einige Tabellen eingefügt, die nach dem vorangegangenen ohne weitere Erläuterung verständlich sein dürften.

Teiltabelle für $e = 40$.

Anwendbar für Teilapparate mit Schneckenrad $z = 40$ und 1gängiger Schnecke.

„ „ „ „ „ $z = 80$ „ 2 „ „
 „ „ „ „ „ $z = 120$ „ 3 „ „

m = Zahl der Einstellungen, p = Lochkreis, $u + \frac{x}{p}$ = Umdrehungen der Kurbel und Anzahl der Löcher, welche im unter p bezeichneten Lochkreise weitergeteilt werden.

m	p	$u + \frac{x}{p}$												
2	—	20	26	39	$1^{21}/_{39}$	50	20	$16/_{20}$	90	27	$12/_{27}$	152	19	$5/_{19}$
3	39	$13^{13}/_{39}$	27	27	$1^{13}/_{27}$	52	39	$30/_{39}$	92	23	$10/_{23}$	155	31	$8/_{31}$
4	—	10	28	49	$1^{21}/_{49}$	54	27	$20/_{27}$	94	47	$20/_{47}$	156	39	$10/_{39}$
5	—	8	29	29	$1^{11}/_{29}$	55	33	$24/_{33}$	95	19	$8/_{19}$	160	20	$5/_{20}$
6	39	$6^{26}/_{39}$	30	39	$1^{13}/_{39}$	56	49	$35/_{49}$	96	24	$10/_{24}$	164	41	$10/_{41}$
7	49	$5^{35}/_{49}$	31	31	$1^9/_{31}$	58	29	$20/_{29}$	98	49	$20/_{49}$	165	33	$8/_{33}$
8	—	5	32	20	$1^5/_{20}$	60	39	$26/_{39}$	100	20	$8/_{20}$	168	21	$5/_{21}$
9	27	$4^{12}/_{27}$	33	33	$1^7/_{33}$	62	31	$20/_{31}$	104	39	$15/_{39}$	170	17	$4/_{17}$
10	—	4	34	17	$1^3/_{17}$	64	16	$10/_{16}$	108	27	$10/_{27}$	172	43	$10/_{43}$
11	33	$3^{21}/_{33}$	35	49	$1^7/_{49}$	65	39	$24/_{39}$	110	33	$12/_{33}$	180	27	$6/_{27}$
12	39	$3^{13}/_{39}$	36	27	$1^3/_{27}$	66	33	$20/_{33}$	115	23	$8/_{23}$	184	23	$5/_{23}$
13	39	$8^3/_{39}$	37	37	$1^3/_{37}$	68	17	$10/_{17}$	116	29	$10/_{29}$	185	37	$8/_{37}$
14	49	$2^{42}/_{49}$	38	19	$1^{11}/_{19}$	70	49	$28/_{49}$	120	39	$13/_{39}$	188	47	$10/_{47}$
15	39	$2^{26}/_{39}$	39	39	$1^{11}/_{39}$	72	27	$15/_{27}$	124	31	$10/_{31}$	190	19	$4/_{19}$
16	20	$2^{10}/_{20}$	40	—	1	74	37	$20/_{37}$	128	16	$5/_{16}$	195	39	$8/_{39}$
17	17	$2^6/_{17}$	41	41	$40/_{41}$	75	15	$8/_{15}$	130	39	$12/_{39}$	196	49	$10/_{49}$
18	27	$2^6/_{27}$	42	21	$20/_{21}$	76	19	$10/_{19}$	132	33	$10/_{33}$	200	20	$4/_{20}$
19	19	$2^2/_{19}$	43	43	$40/_{43}$	78	39	$20/_{39}$	135	27	$8/_{27}$	210	21	$4/_{21}$
20	—	2	44	33	$30/_{33}$	80	20	$10/_{20}$	136	17	$5/_{17}$	220	33	$6/_{33}$
21	21	$1^{19}/_{21}$	45	27	$24/_{27}$	82	41	$20/_{41}$	140	49	$14/_{49}$	230	23	$4/_{23}$
22	33	$1^{27}/_{33}$	46	23	$20/_{23}$	84	21	$10/_{21}$	144	18	$5/_{18}$	240	18	$3/_{18}$
23	23	$1^{17}/_{23}$	47	47	$40/_{47}$	85	17	$8/_{17}$	145	29	$8/_{29}$	248	31	$5/_{31}$
24	39	$1^{26}/_{39}$	48	18	$15/_{18}$	86	43	$20/_{43}$	148	37	$10/_{37}$	280	49	$7/_{49}$
25	20	$1^{12}/_{20}$	49	49	$40/_{49}$	88	33	$15/_{33}$	150	15	$4/_{15}$	300	15	$2/_{15}$

Teiltabelle für $e = 60$.

Anwendbar für Schneckenrad von $z = 60$ und 1gängiger Schnecke.

„ „ „ „ $z = 120$ „ 2 „ „
 „ „ „ „ $z = 180$ „ 3 „ „

m = Zahl der Einstellungen, p = Lochkreis, $u + \frac{x}{p}$ = Umdrehungen der Kurbel
 bzw. Schnecke.

m	p	$u + \frac{x}{p}$												
2	—	30	37	37	$1^{23}/_{37}$	80	20	$15/_{20}$	138	23	$10/_{23}$	235	47	$12/_{47}$
3	—	20	38	19	$1^{11}/_{19}$	81	27	$20/_{27}$	140	21	$9/_{21}$	240	20	$5/_{20}$
4	—	15	39	39	$1^{21}/_{39}$	82	41	$30/_{41}$	144	24	$10/_{24}$	245	49	$12/_{49}$
5	—	12	40	20	$1^{10}/_{20}$	84	21	$15/_{21}$	145	29	$12/_{29}$	260	39	$9/_{39}$
6	—	10	41	41	$1^{19}/_{41}$	85	17	$12/_{17}$	147	49	$20/_{49}$	264	44	$10/_{44}$
7	21	$8^{12}/_{21}$	42	21	$1^9/_{21}$	86	43	$30/_{43}$	148	37	$15/_{37}$	270	27	$6/_{27}$
8	24	$7^{12}/_{24}$	43	43	$1^{17}/_{43}$	87	29	$20/_{29}$	150	20	$8/_{20}$	276	23	$5/_{23}$
9	27	$6^{18}/_{27}$	44	33	$1^{12}/_{33}$	88	22	$15/_{22}$	155	31	$12/_{31}$	280	14	$3/_{14}$
10	—	6	45	33	$1^{11}/_{33}$	90	39	$26/_{39}$	156	26	$10/_{26}$	290	29	$6/_{29}$
11	33	$5^{15}/_{33}$	46	23	$1^7/_{23}$	92	23	$15/_{23}$	158	79	$30/_{79}$	300	20	$4/_{20}$
12	—	5	47	47	$1^{13}/_{47}$	93	31	$20/_{31}$	160	16	$6/_{16}$	310	31	$6/_{31}$
13	39	$4^{24}/_{39}$	48	20	$1^5/_{20}$	94	47	$30/_{47}$	164	41	$15/_{41}$	320	16	$3/_{16}$
14	21	$4^9/_{21}$	49	49	$1^{11}/_{49}$	95	19	$12/_{19}$	165	33	$12/_{33}$	330	33	$6/_{33}$
15	—	4	50	20	$1^4/_{20}$	96	16	$10/_{16}$	170	17	$6/_{17}$	340	17	$3/_{17}$
16	20	$3^{15}/_{20}$	51	17	$1^3/_{17}$	98	49	$30/_{49}$	172	43	$15/_{43}$	345	23	$4/_{23}$
17	17	$3^9/_{17}$	52	39	$1^9/_{39}$	99	33	$20/_{33}$	174	29	$10/_{29}$	360	18	$3/_{18}$
18	39	$3^{13}/_{39}$	54	27	$1^3/_{27}$	100	20	$12/_{20}$	180	18	$6/_{18}$	370	37	$6/_{37}$
19	19	$3^8/_{19}$	55	33	$1^3/_{33}$	102	17	$10/_{17}$	185	37	$12/_{37}$	372	31	$5/_{31}$
20	—	3	56	28	$1^2/_{28}$	104	26	$15/_{26}$	188	47	$15/_{47}$	380	19	$3/_{19}$
21	21	$2^{18}/_{21}$	57	19	$1^1/_{19}$	105	21	$12/_{21}$	190	19	$6/_{19}$	390	39	$6/_{39}$
22	33	$2^{24}/_{33}$	58	29	$1^1/_{29}$	108	27	$15/_{27}$	192	16	$5/_{16}$	400	20	$3/_{20}$
23	23	$2^{14}/_{23}$	60	—	1	110	33	$18/_{33}$	195	39	$12/_{39}$	410	41	$6/_{41}$
24	20	$2^{10}/_{20}$	62	31	$30/_{31}$	111	37	$20/_{37}$	196	49	$15/_{49}$	420	21	$3/_{21}$
25	20	$2^8/_{20}$	63	21	$20/_{21}$	114	19	$10/_{19}$	200	20	$6/_{20}$	430	43	$6/_{43}$
26	39	$2^{12}/_{39}$	64	16	$15/_{16}$	115	23	$12/_{23}$	204	17	$5/_{17}$	440	22	$3/_{22}$
27	27	$2^9/_{27}$	65	39	$36/_{39}$	116	29	$15/_{29}$	205	41	$12/_{41}$	450	15	$2/_{15}$
28	21	$2^8/_{21}$	66	33	$30/_{33}$	117	39	$20/_{39}$	210	21	$6/_{21}$	460	23	$3/_{23}$
29	29	$2^3/_{29}$	68	17	$15/_{17}$	120	20	$10/_{20}$	215	43	$12/_{43}$	470	47	$6/_{47}$
30	—	2	69	23	$20/_{23}$	123	41	$20/_{41}$	216	18	$5/_{18}$	480	16	$2/_{16}$
31	31	$1^{29}/_{31}$	70	21	$18/_{21}$	124	31	$15/_{31}$	220	33	$9/_{33}$	510	17	$2/_{17}$
32	24	$1^{21}/_{24}$	72	18	$15/_{18}$	126	21	$10/_{21}$	222	37	$10/_{37}$	540	27	$3/_{27}$
33	33	$1^{27}/_{33}$	74	37	$30/_{37}$	129	43	$20/_{43}$	225	15	$4/_{15}$	600	20	$2/_{20}$
34	17	$1^{13}/_{17}$	75	20	$16/_{20}$	130	39	$18/_{39}$	228	19	$5/_{19}$			
35	21	$1^{15}/_{21}$	76	19	$15/_{19}$	132	33	$15/_{33}$	230	23	$6/_{23}$			
36	39	$1^{26}/_{39}$	78	39	$30/_{39}$	135	18	$8/_{18}$	234	39	$10/_{39}$			

Obwohl man die allgemine gebräuchlichen Teilapparate mit Schneckentrieb und Teilscheiben oder Wechselrädern gemeinhin als Universalteilapparate bezeichnet, so lassen sich mit den mitgelieferten Teilscheiben doch nur eine beschränkte Anzahl Teilungen erreichen. Wird in einem Betriebe eine Zähnezahl, die sich normalerweise nicht teilen läßt, öfter gebraucht, so wird man sich zweckmäßig die dazu erforderliche Teilscheibe mit dem entsprechenden Lochkreise beschaffen. An den einfachen Universalteilapparaten lassen sich nun verschiedene Zwischenwerte, für die man keine Lochkreise besitzt, durch das sog. Differentialteilen erreichen. Es besteht darin, daß man anstatt mit einem Lochkreis (p) mit zweien (p und q) arbeitet, und zwar ist in p der Kurbelindexstift eingelegt, während in q der Gegenindex sitzt. Es setzt dies voraus, daß sich die beiden Lochkreise auf einer Teilscheibe befinden, oder daß man zwei gegen Verdrehung miteinander verbundene Teilscheiben verwendet.

Es sei beispielsweise angenommen: Die Indexkurbel stehe in dem Lochkreise 5 und der Gegenindex in dem Lochkreise 6. Die Teilbewegung der Indexkurbel bis in das nächste Teilkreisloch des Kreises p beträgt dann $\frac{1}{5}$ Umdrehung. Entfernt man nun den Gegenindex aus seinem Loche und dreht die Teilscheibe mitsamt der eingelegten Indexkurbel ebenfalls um 1 Loch im Kreise q weiter, und zwar in derselben Richtung, als man vorher die Indexkurbel drehte, so erfolgt eine weitere Teilbewegung von $\frac{1}{6}$ Umdrehung. Beide Teilbewegungen (n) betragen demnach

$$n = \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{5} + \frac{1}{6} = \frac{11}{30}.$$

Dreht man hingegen die Teilscheibe im Kreise q ein Loch nach der entgegengesetzten Seite, so ist

$$n = \frac{1}{p} - \frac{1}{q} = \frac{1}{5} - \frac{1}{6} = \frac{1}{30}.$$

Mit diesem Verfahren, zu der einen Teilung noch eine zweite hinzuzuteilen, deren Summe oder Differenz dem gesuchten Zwischenwert gleich sein muß, kann man sich bei dem Teilen höherer Zahlenwerte (m), für die man keine Lochkreise hat, oftmals helfen. Bedingung ist, daß sich m in zwei Faktoren zerlegen läßt, z. B. $77 = 7 \cdot 11$; $87 = 3 \cdot 29$ usw.

Es setzt sich bei diesem Differentialteilen die Teilbewegung (n) für jede Einstellung (m) aus der Indexbewegung und der Gegenindexbewegung zusammen.

Werden beide Teilbewegungen nach einer Richtung ausgeführt, so ist

$$n = \left(u + \frac{x}{p}\right) + \left(o + \frac{y}{q}\right),$$

sind dieselben jedoch nach entgegengesetzten Richtungen erfolgt, so ist

$$n = \left(u + \frac{x}{p}\right) - \left(o + \frac{y}{q}\right),$$

wobei, wie zu Anfang dieses Kapitels bereits festgelegt wurde, u , mithin auch o , die ganzen Umdrehungen und x , mithin auch y , die für die Teildrehung erforderliche Anzahl Löcher der Teilkreise p und q bedeutet.

Da man für alle Zähnezahlen, welche kleiner sind als e , meist passende Teilkreise hat, so wird sich dieses Differentialteilen nur bei größeren Werten, bei denen also e kleiner als m ist, nötig machen, wobei dann die ganzen Umdrehungen (u und o) wegfallen. Es wird also immer

$$n = \frac{x}{p} + \frac{y}{q} \text{ oder}$$

$$n = \frac{x}{p} - \frac{y}{q} \text{ sein.}$$

Es ist dann

$$\frac{e}{m} = n = \left(\frac{x}{p} + \frac{y}{q} \right) \text{ oder } \left(\frac{x}{p} - \frac{y}{q} \right).$$

Um die passenden Lochkreise für eine bestimmte Zähnezahl zu ermitteln bzw. um zu sehen, ob man die erforderliche Anzahl Einstellungen mit den vorhandenen Lochkreisen erreichen kann, geht man zweckmäßig, wie nachstehendes Beispiel zeigt, vor.

$$\begin{aligned} \text{Es sei} \quad e &= 40, \\ m &= 51. \end{aligned}$$

Der Bruch, von dem wir auszugehen haben, lautet dann $\frac{40}{51}$. Man zerlegt zunächst den Nenner des Bruches in zwei Faktoren, die entweder vorhandenen Lochkreisen entsprechen oder sich durch Multiplikation oder Division auf einen solchen bringen lassen. Dann zerlegt man den Zähler in zwei Summanden, so daß man aus dem einen Bruch zwei Brüche bilden kann. Die Summanden wählt man so, daß sich je einer der Faktoren im Nenner dagegen wegheben läßt. Auf die oben angeführten Zahlen angewendet, ergibt sich folgende Rechnung:

$$\frac{40}{51} = \frac{40}{3 \cdot 17} = \frac{34 + 6}{3 \cdot 17} = \frac{34}{3 \cdot 17} + \frac{6}{3 \cdot 17} = \frac{2}{3} + \frac{2}{17}.$$

Statt $\frac{2}{3}$ kann man $\frac{10}{15}$, $\frac{12}{18}$, $\frac{14}{21}$ usw. einsetzen. Es sind also, um 51 Teile zu erhalten, im Lochkreis 15 zehn Löcher und im Lochkreis 17 zwei Löcher weiterzuteilen.

Beispiel II:

$$\begin{aligned} e &= 40, \\ m &= 77, \\ n &= \frac{e}{m} = \frac{40}{77} = \frac{40}{7 \cdot 11} = \frac{33 + 7}{7 \cdot 11} = \frac{33}{7 \cdot 11} + \frac{7}{7 \cdot 11} = \frac{3}{7} + \frac{1}{11}. \end{aligned}$$

Als Lochkreise können hier 35 und 33 oder 21 und 22 benutzt werden. Die beiden Brüche sind dementsprechend zu erweitern.

Beispiel III:

$$\begin{aligned} e &= 40, \\ m &= 189, \\ n &= \frac{e}{m} = \frac{40}{189} = \frac{40}{7 \cdot 27} = \frac{49-9}{7 \cdot 27} = \frac{7}{27} - \frac{1}{21}. \end{aligned}$$

Da sich der Zähler in diesem Falle nicht in zwei Summanden zerlegen läßt, die sich gegen die im Nenner stehenden Faktoren kürzen lassen, ist der Nenner hier statt in einer Summe in einer Differenz ausgedrückt, denn ohne den Wert zu ändern, kann man statt 40 auch 49—9 setzen. Statt 49—9 hätte man im obigen Beispiel auch 54—14 setzen können. Es ergibt sich dann folgendes:

$$\frac{40}{189} = \frac{54-14}{7 \cdot 27} = \frac{2}{7} - \frac{2}{27}.$$

wobei $\frac{2}{7}$ auf $\frac{6}{21}$, $\frac{8}{28}$ oder $\frac{10}{35}$ erweitert werden kann. Der Endwert ist in beiden Fällen der gleiche; im ersten Falle ergibt sich:

$$\frac{7}{27} - \frac{1}{21} = \frac{49}{189} - \frac{9}{189} = \frac{40}{189}$$

im zweiten Falle:

$$\frac{2}{7} - \frac{2}{27} = \frac{54}{189} - \frac{14}{189} = \frac{40}{189}.$$

Wie ersichtlich, kann man nur durch systematisches Suchen der entsprechenden Zahlen zum Ziele gelangen¹⁾, und lassen sich auch hierdurch nur bestimmte Zahlenwerte, die sich in die entsprechenden Faktoren zerlegen lassen, erreichen.

Obwohl sich an den nach Abb. 248 zum Teilen mit Wechselrädern eingerichteten Teilköpfen durch das Verbinden des Teilscheiben- und Wechselräderteilens, das sog. Verbundteilen, noch verschiedene Zwischenwerte erreichen lassen, indem man die an einem Glied angesteckte Teilung durch das andere Glied entsprechend vervielfältigt oder zerlegt, ließ sich das Teilen größerer Primzahlen ohne besondere Teilscheiben doch nicht ermöglichen.

Als eine wesentliche Neuerung ist daher ein von der Firma Brown & Sharp eingeführter Teilapparat, der in Deutschland in ähnlicher Weise auch von den Wandererwerken hergestellt wird, zu bezeichnen. Bei diesem Teilkopf ist die Hauptspindel an ihrem hinteren Ende zur Aufnahme eines Wechselrades eingerichtet (siehe Abb. 251 und 252). Durch die Wechselräderverbindung $A B C D$ zwischen Hauptspindel und Teilscheibenantrieb wird beim Teilen die Teilscheibe der Wechselräderübersetzung entsprechend gedreht. Der Teilscheibenantrieb ist dabei derselbe, wie er zum Fräsen von Spiralen benutzt wird. Durch Einschalten von einem oder zwei Zwischenrädern läßt sich dabei

¹⁾ Vgl. G. Schlesinger, Teilapparate: Werkstattstechnik, Oktober 1910.

eine der Indexkurbel folgende oder entgegengesetzte Drehung der Teilscheibe erreichen. Im Grunde ist dieser Vorgang des Verbundteilens genau so wie bei dem vorhin beschriebenen Differentialteilen, da auch hier zu der mit dem vorderen Index vorgenommenen Teilung noch eine zusätzliche oder abzügliche Teildrehung der Teilscheibe erfolgt. Es läßt sich ohne große Schwierigkeit jeder Teilkopf, der zum Fräsen von Spiralen eingerichtet

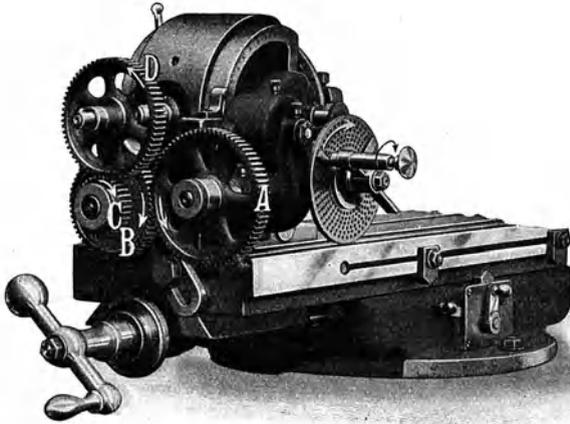


Abb. 251. Der Wandererteilkopf eingerichtet zum Differentialteilen.

ist, dazu einrichten, indem man die Hauptspindel an ihrem hinteren Ende mit einem Zapfen für die Aufnahme von Wechselrädern versieht. Abb. 252 zeigt die an dem Wanderer Teilkopf vorgesehenen Befestigungen des Wechselrades *D*. Bolzen *A* ist an dem in der Spindel sitzenden Ende geschlitzt und wird vermittelt der durchgehenden Schraube und der konischen Mutter *B* gespreizt und dadurch festgeklammt. Als Wechselräder benutzt man dieselben, die man sonst zum Fräsen von Spiralen verwendet, da beim Spiralenfräsen diese Anordnung sowieso nicht gebraucht werden kann, weil sich dabei die Teilscheibe gegen die Indexkurbel verdreht.

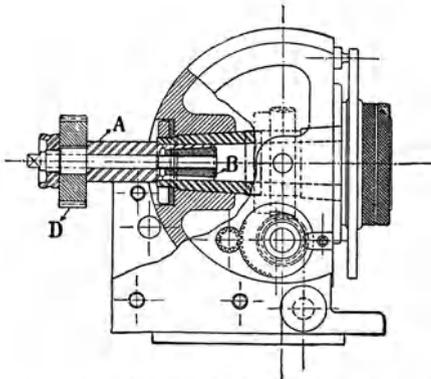


Abb. 252. Die Befestigung des Wechselrades an der Hauptspindel.

Würden also an einem Teilkopf, dessen Schneckenrad 40 Zähne hat, an die Hauptspindel und an den Teilscheibenantrieb gleiche Wechselräder gesteckt und nur ein Zwischenrad eingeschaltet, so wird sich die

Teilscheibe bei einer ganzen Umdrehung der Hauptspindel auch einmal mitgedreht haben, so daß sich, wenn der Index immer in ein und dasselbe Loch gebracht wird, die Hauptspindel schon bei 39 Einstellungen einmal herumgedreht hat. Durch Einschalten eines zweiten Zwischenrades erhält die Teilscheibe eine gegensätzliche Drehung, so daß 41 Einstellungen zu einer ganzen Umdrehung der Hauptspindel erforderlich sind.

Beispiel: Ein Rad soll mit 97 Zähnen versehen werden. Die nächstliegende Zahl, welche sich mit vorhandenen Teilkreisen erreichen läßt, ist 100. Die Einstellung für 100 ist $\frac{40}{100} = \frac{8}{20}$. Da wir aber nur 97 Einstellungen haben, muß die Teilscheibe bei einer vollen Umdrehung der Hauptspindel um $3 \cdot \frac{8}{20} = \frac{24}{20}$ vorgeeilt sein; es muß also zwischen

Hauptspindel und Teilscheibe eine Wechselräderverbindung im Verhältnis von 24 : 20 angesteckt werden, welche durch Zwischenräder so zu schalten ist, daß sich die Teilscheibe in der gleichen Richtung wie die Indexkurbel dreht. Wird durch die Räderübersetzung eine gegensätzliche Drehung der Teilscheibe hervorgerufen, so dreht sie sich in diesem

Falle um $3 \cdot \frac{8}{20}$ zurück, wodurch sich 103 Einstellungen für eine volle Umdrehung der Hauptspindel ergeben. Man erhält dann 103 Zähne. Da jedes Zwischenrad ohne Einfluß auf die Übersetzung ist, kann man also die Drehrichtung der Teilscheibe durch das Einschalten von einem oder zwei Zwischenrädern beliebig verändern.

Man kann also durch dieses Verfahren die Grundzahl des Teilkopfes (e), die sich aus Zähnezahl des Schneckenrades und der Gängigkeitszahl der Schnecke ergibt, durch Wechselräder beliebig verändern und auch in eine gebrochene Zahl bringen. Wir wollen diese neue Grundzahl in der Folge mit e^1 bezeichnen. Man bezieht dabei die zu einer vollen Umdrehung der Hauptspindel erforderlichen vollen Kurbelumdrehungen nicht mehr auf das Schneckenrad, sondern auf die Teilscheibe, und erreicht dadurch, je nachdem man der Teilscheibe während des Teilens durch die Wechselräder eine zusätzliche oder entgegengesetzte Drehrichtung erteilt, eine kleinere oder größere Zahl Kurbelumdrehungen für eine volle Umdrehung des Werkstückes.

An einigen weiteren Beispielen lassen sich die Vorgänge zur Bestimmung der erforderlichen Wechselräder und die nötige Teildrehung an der Kurbel am besten erläutern.

Angenommen sei ein Teilapparat mit einem Schneckenrad von 40 Zähnen, Zähnezahl des Werkstückes = 83. Bei feststehender Teilscheibe würde also der Anfangsbruch $\frac{e}{m} = \frac{40}{83}$ sein. Da diese Teilscheibe nicht vorhanden ist, nehmen wir für $e = 40$, eine andere, dieser möglichst naheliegende Zahl, die in m restlos aufgeht oder sich entsprechend

kürzen läßt. In diesem Falle wird man $\frac{83}{2} = 41\frac{1}{2}$ dafür einsetzen und dadurch $\frac{41\frac{1}{2}}{83} = \frac{83}{2 \cdot 83} = \frac{1}{2}$ als Teildrehung für die Kurbel erhalten, die dann in jeden geraden Lochkreis $\left(\frac{9}{18}, \frac{10}{20}, \frac{11}{22} \text{ usw.}\right)$ geteilt werden kann. Die sich aus der Grundzahl (e) des Teilapparates und der erforderlichen neuen Grundzahl (e^1) ergebende Differenz muß nun durch entsprechende Wechselräder ausgeglichen werden.

Unter Bezugnahme auf die oben angenommenen Zahlen ergibt sich also

$$e - e^1 = 40 - 41\frac{1}{2} = -\frac{3}{2}.$$

Es ist dabei immer e^1 von e abzuziehen; das sich für den Rest ergebende Vorzeichen gibt die Drehrichtung an, in welcher sich die Teilscheibe zur Drehrichtung der Kurbel bewegen muß, und zwar gibt das + -Zeichen die zusätzliche, das — -Zeichen die gegensätzliche Drehung an. Das sich aus dem Zähler ergebende Rad ist dabei immer an die Hauptspindel zu stecken, während das aus dem Nenner sich ergebende Rad an den Teilscheibenantrieb gesteckt wird. Bei mehrfacher Übersetzung sind demgemäß alle aus dem Zähler hervorgehenden Räder als treibende und die aus dem Nenner hervorgehenden als getriebene Räder anzustecken.

Die meisten Teilapparate sind so eingerichtet, daß sich durch Einschalten von einem Zwischenrad eine zusätzliche und durch zwei Zwischenräder eine gegensätzliche Drehrichtung der Teilscheibe ergibt. Auf das angenommene Beispiel zurückkommend, ergibt sich also eine Wechselräderübersetzung im Verhältnis von 3 : 2; entsprechende Räder sind dann 36 : 24 oder 48 : 32. Davon ist das größere Rad an die Hauptspindel und das kleinere auf die Teilscheibenwelle zu stecken. Da wir das negative (—) Vorzeichen haben, muß sich die Teilscheibe gegensätzlich drehen, es müssen also zwei Zwischenräder eingeschaltet werden.

Beispiel II:

$$e = 40,$$

$$m = 77,$$

$$e = 40$$

$$\frac{m}{m} = \frac{77}{77},$$

für e^1 angenommen $\frac{77}{2} = 38\frac{1}{2},$

$$\frac{e^1}{m} = \frac{38\frac{1}{2}}{77} = \frac{1}{2},$$

$$e - e^1 = 40 - 38\frac{1}{2} = +\frac{3}{2}.$$

Es ergeben sich hierbei genau die gleichen Zahlen, nur mit dem Unterschied, daß die Differenz zwischen e und e^1 hier positiv ist, d. h. man kann genau mit dem gleichen Lochkreis, der Löcherzahl und den Wechselrädern arbeiten, nur daß hier statt zwei nur ein Zwischenrad verwendet wird, da die Teilscheibe eine zusätzliche Drehung erhalten muß.

Beispiel III:

$$e = 40,$$

$$m = 373,$$

$$\frac{e}{m} = \frac{40}{373},$$

für e^1 angenommen $\frac{373}{9} = 41\frac{4}{9},$

$$\frac{e^1}{m} = \frac{41\frac{4}{9}}{373} = \frac{373}{9 \cdot 373} = \frac{1}{9} = \frac{3}{27},$$

$$e - e^1 = 40 - 41\frac{4}{9} = -1\frac{4}{9} = -\frac{13}{9} = \frac{26}{18}.$$

Es sind also im Lochkreis 27 jedesmal 3 Löcher zu teilen. Zwischen Hauptspindel und Teilscheibe ist eine Wechselräderübersetzung im Verhältnis von 13 : 9 anzustecken. Da das Vorzeichen negativ ist, müssen 2 Zwischenräder eingeschaltet werden.

Für e^1 könnte im obigen Beispiel statt $\frac{373}{9}$ auch $\frac{373}{10} = 37\frac{3}{10}$ eingesetzt werden; es ergibt sich dann:

$$\frac{e^1}{m} = \frac{37\frac{3}{10}}{373} = \frac{373}{10 \cdot 373} = \frac{1}{10} = \frac{3}{20},$$

$$e - e^1 = 40 - 37\frac{3}{10} = 2\frac{7}{10} = \frac{27}{10}.$$

Es sind also im Lochkreis 20 jedesmal 2 Löcher zu teilen und zwischen Hauptspindel und Teilscheibenwelle ist eine Räderübersetzung von 27 : 10 anzustecken. Da für einfache Übersetzung in diesem Verhältnis meist keine Wechselräder vorhanden sind, wird doppelte Übersetzung vorgenommen und das Verhältnis $\frac{27}{10}$ in $\frac{3 \cdot 9}{2 \cdot 5}$ zerlegt, woraus sich

die Wechselräder $\frac{48}{32}$ und $\frac{72}{40}$ ergeben. Hierbei sind, von der Hauptspindel aus gerechnet, die Räder 48 und 72 als treibende und die Räder 32 und 40 als getriebene Räder anzustecken. Da das Vorzeichen positiv ist, müßte hier bei einfacher Übersetzung ein Zwischenrad eingeschaltet werden, da jedoch durch die doppelte Übersetzung die Drehrichtung geändert wird, fällt es hierbei weg.

Zum Schluß sei noch darauf hingewiesen, daß dieses Verbundteilen nur für gerade Zähne oder Nuten, nicht aber für Spiralarbeiten anwendbar ist.

c. Die Herstellung spiralgewundener Nuten, Zähne und Riefen.

Sobald zu einer geraden Schaltung des Werkstückes in der Achsrichtung noch eine gleichmäßige Drehung desselben um diese Achse erfolgt, erzeugt der arbeitende Fräser eine spiralgewundene oder schraubengangartige Nute, wie wir sie an Spiralbohrern, Fräsern und Schraubener oder Spiralzahnradern vorfinden.

Zur Erzeugung dieser gleichmäßigen Drehung wird ebenfalls der Teilapparat benutzt. Durch ein Wechselrädernsystem wird die Teilscheibe von der Tischspindel angetrieben und dadurch die Werkstückdrehung von der Tischbewegung abhängig gemacht. Der beim Fräsen gerader Nuten die Teilscheibe haltende Gegenindex muß dabei gelöst werden. Die Stellung der Teilscheibe zum Werkstück ist durch die Wechselräder gesichert, so daß das Teilen in jeder Stellung erfolgen kann.

Der Antrieb für die Drehung des Werkstückes bzw. des Teilapparates ist aus Abb. 247 ersichtlich. Auf der die Schaltung bewirkenden Spindel U sitzt das jeweilig erforderliche Wechselrad B und auf der Spindel des Teilapparates das Gegenrad A . Zugleich trägt der Teilapparat die Wechselrädernschere O , an der mittelst des Stellbolzens P die erforderlichen Zwischenräder C und D befestigt werden.

Des besseren Verständnisses halber sei ein Beispiel vorausgeschickt. Angenommen sei: Die Wechselräder A und B von gleicher Zähnezah, die direkt ineinandergreifen oder durch direkt wirkende Zwischenräder verbunden sind, die Zähnezah des Schneckenrades im Teilapparate = 40, die Schnecke eingängig und die Steigung der Supportspindel $\frac{1}{4}$ Zoll. Nach diesen Annahmen wird bei 40 Umdrehungen der Supportspindel U das Werkstück eine Umdrehung gemacht haben, denn 40 Umdrehungen hat auch das Rad A mit dem Bolzen N gemacht. Ebenso ist durch die Kegelräder die Teilscheibe mit Schnecke 40mal umgedreht worden. Bei diesen 40 Umdrehungen hat sich nun der Tisch um $40 \cdot \frac{1}{4} = 10$ Zoll weiter vorgeschoben. Eine auf diese Weise hergestellte Spirale (Schraubengang) würde also eine Steigung von 10 Zoll haben. Die Umdrehungen der Supportspindel verhalten sich also hier zu denen des Werkstückes wie 40 : 1.

Nun kann man aber beim Fräsen von Spiralen nicht von den Rädern, sondern nur von der Steigung der Spirale ausgehen, die selbst oder durch den erforderlichen Winkel bekannt ist. Zur Berechnung der nötigen Wechselräder ist nötig, die Steigung der Spirale zu kennen, d. h. mit anderen Worten: Wieviel Zoll muß sich der Support vorgeschoben haben, wenn das Werkstück eine Umdrehung gemacht hat. Die Steigung der Spirale aus dem Steigungswinkel und dem Durchmesser des Werkstückes zu berechnen, wird später ausführlich besprochen und kann hier einstweilen außer acht gelassen werden.

Es liegt hier der gleiche Fall vor, wie beim Berechnen der Gewinde-Wechselräder für die Drehbank. Dort ist durch die Gewindesteigung der Leitspindel bzw. der Gangzah auf einen Zoll eine Größe ge-

geben, von der man beim Berechnen ausgeht. Hier ist sie ebenfalls gegeben, und zwar in der Zähneanzahl des Schneckenrades dividiert durch die Anzahl der Gänge auf einen Zoll der Tischspindel, das wäre in unserm Fall $\frac{40}{4} = 10$. Dies gilt jedoch nur dann, wenn die Schnecke des Teilkopfes eingängig ist; bei einer doppel- oder mehrgängigen ist die im Kapitel „Das Teilen und die Teilscheiben“ mit e bezeichnete Zahl an Stelle der Zähnezahl einzusetzen. Es ist dann die Anzahl der Schneckenradzähne erst durch die Gängigkeitszahl der Schnecke, bei einfachem Gewinde 1, bei doppeltem 2, bei dreifachem 3 usw., und dann erst mit der Gangzahl der Spindel zu dividieren. Man verwechsle aber hierbei nicht Gängigkeitszahl mit Gangzahl. Die Gängigkeitszahl gibt an, wie vielfach das Gewinde geschnitten wird, ohne Rücksicht auf die Steigung, während die Gangzahl die Anzahl der Gänge angibt, die auf 1 Zoll oder Zentimeter Länge entfallen. Wäre also bei 40 Zähnen die Schnecke doppelgängig, so wäre $e = \frac{40}{4} = 5$.

Aus den folgenden Beispielen läßt sich der Gang der Berechnung ohne weiteres ersehen. Angenommen sei als Spiralsteigung 12 Zoll, die Anzahl der Zähne des Schneckenrades 40 und die Gangzahl der Tischspindel 4. Da die Konstante auch hier 10 ist, so müssen sich also die Wechselräder A und B zueinander wie 12 : 10 verhalten. Wollen wir dies in eine Formel kleiden, so wird diese wie folgt aussehen: $A : B = x : c$, worin A das Wechselrad an der Schneckenspindel, B das auf der Tischspindel, c die, wie oben angegeben, zu bestimmende konstante Zahl und endlich x die Länge der zu fräsenden Spirale bedeutet.

Die Glieder eines Verhältnisses kann man nun wie jeden Bruch kürzen oder erweitern, ohne daß sich dadurch das Verhältnis änderte, und zwar indem jedes Glied mit ein und derselben Zahl multipliziert oder dividiert wird. Man wird also A und B so lange kürzen oder erweitern, bis sie mit vorhandenen Wechselrädern übereinstimmen. Im letzteren

Beispiel würde also unsere Rechnung $\frac{A}{B} = \frac{12}{10} = \frac{6}{5}$ ergeben und entsprechende Räder würden $\frac{18}{15}, \frac{24}{20}, \frac{30}{25}, \frac{36}{30}$ usw., je nach den vorhandenen Wechselrädern, sein.

Beim Anstecken der Räder ist gewissenhaft darauf zu sehen, daß das Rad, welches sich aus der Konstante c ergibt, immer an die Tischspindel gesteckt wird, während das aus der Spiralsteigung sich ergebende auf die Schneckenspindel gebracht wird. Ist das Verhältnis zu groß bzw. sind keine so großen Wechselräder vorhanden, so zerlegt man sich ersteres genau so wie beim Gewindeschneiden auf der Drehbank in zwei Verhältnisse. Soll z. B. eine Spirale von 150 Zoll Steigung mit dem Verhältnis $\frac{150}{10}$ geschnitten werden, und es sind dafür keine Wechsel-

räder vorhanden, so muß eine Übersetzung derselben vorgenommen werden. Dies geschieht, indem jedes der beiden Glieder in zwei Faktoren zerlegt wird, d. h. man sucht zwei Zahlen, die, miteinander multipliziert, die erste ergeben. Faktoren sind nun z. B. von 150, 6 und 25 und von 10, 2 und 5. Wir haben dann die Verhältnisse $\frac{6}{2}$ und $\frac{25}{5}$, wozu leicht die erforderlichen Wechselräder zu bestimmen sind, z. B. für das Verhältnis $\frac{6}{2}$ die Räder 60 und 20 und für das Verhältnis $\frac{25}{5}$ die Räder 75 und 15.

Es muß auch hier besonders darauf geachtet werden, daß die sich aus der Konstante ergebenden Räder, für diesen Fall also die Räder 20 und 15, als treibende Räder angesteckt werden. Unter Bezugnahme auf Abb. 247 sind also *B* und *D* treibende und *C* und *A* getriebene Räder, denn der Antrieb des Spiralkopfes erfolgt von der Spindel *U*.

Sowohl treibende als auch getriebene Räder können unter sich, aber nur unter sich, vertauscht werden, ohne daß das Übersetzungsverhältnis geändert wird.

Auf diese Weise kann auch ein Verhältnis, falls es für die vorhandenen Räder noch zu groß ist, noch einmal zerlegt werden, wobei jedoch immer wieder treibende oder getriebene Räder auseinander zu halten sind. Es sei hier darauf hingewiesen, daß ein für rechts- oder linksgängige Spirale sich nötig machendes Zwischenrad ohne Einfluß auf die Übersetzung ist, also beliebig groß gerommen werden kann, was sich an einem Beispiel leicht beweisen läßt. Soll z. B. eine Übersetzung von 1 : 4 angesteckt werden, wozu die Räder 25 und 100 verwendet werden, so wird sich, um eine Umdrehung des 100er Rades zu ermöglichen, das 25er 4mal umdrehen müssen. Wird jetzt zwischen diese beiden Räder ein Rad mit 20 Zähnen gebracht, so muß sich letzteres, wenn sich das 25er Rad 4mal gedreht hat, 5mal drehen, denn es haben $4 \cdot 25 = 100$ Zähne des 25er Rades die Eingriffsstelle passiert, es müssen daher auch 100 Zähne des 20er Rades dieselben passiert haben und dies entspricht 5 Umdrehungen. Diese 5 Umdrehungen des 20er Rades werden wieder eine Umdrehung des 100er Rades bewirken. Ganz dasselbe bliebe es, wenn wir ein 30er, 40er oder irgend ein beliebiges Rad zwischen das 25er und 100er Rad steckten. Vier Umdrehungen des 25er Rades werden immer eine Umdrehung des 100er Rades zur Folge haben. Es bliebe auch dasselbe, wenn man noch mehr Zwischenräder einschaltete, denn von einer beliebigen Anzahl Räder, welche ineinander greifen, ist nur das erste und das letzte für die Übersetzung maßgebend. Sobald man jedoch, wie in Abb. 247, 2 Räder auf einen Bolzen steckt und dann das zweite weiter treiben läßt, ändert sich natürlich das Übersetzungsverhältnis im Verhältnisse dieser beiden Räder.

Die Berechnung ist für Zollsteigung der Tischspindel durchgeführt. Die Spiralsteigung muß dabei natürlich auch immer in Zoll ausgedrückt

werden. Man kann aber statt der konstanten Zahl 10, die sich aus der Zähnezahle des Teilkopfes und der Steigung der Tischspindel ergibt, ohne weiteres 254 Millimeter einsetzen, denn die Zahl 10 bedeutet ja weiter nichts als 10 Zoll Tischbewegung für eine Werkstückumdrehung, bei einer Wechselläderübersetzung von 1 : 1. Die zu fräsende Spiralsteigung ist dann natürlich auch in Millimetern auszudrücken. Mit einem Wechselrad von 127 Zähnen lassen sich dann auch meistens passende Übersetzungsverhältnisse herausfinden.

Weist die Tischspindel metrische Steigung auf, so bestimmt man die Konstante, indem man die Zähnezahle des Schneckenrades mit der Steigung der Spindel multipliziert. Eine Gewindespindel mit 5 mm Steigung ergibt also in Verbindung mit einem 40zähligen Schneckenrad $40 \cdot 5 = 200$ als Konstante. Für die Bestimmung der Wechselläder gilt dann genau das gleiche wie bei der Zollsteigung. Selbstverständlich ist hier die Spiralsteigung in Millimetern einzusetzen. Zum Beispiel es sei eine Spiralsteigung von 450 mm zu fräsen. Es ist also $c = 200$, $x = 450$, infolgedessen $\frac{A}{B} = \frac{450}{200} = \frac{9}{4}$, d. h. die erforderlichen Wechselläder müssen sich wie 9 : 4 verhalten.

Nach vorstehendem dürfte es nicht schwer fallen, zu einer gegebenen Spiralsteigung die erforderlichen Wechselläder zu bestimmen und wollen wir jetzt dazu übergehen, aus einem gegebenen Winkel und dem Durchmesser des Werkstückes die Spiralsteigung, das ist, wie schon früher gesagt, die Länge einer Windung, zu bestimmen. Unter Spiralsteigung soll hier immer die Länge einer Windung in bezug auf die Achse des Werkstückes, also der zu einer vollen Windung erforderliche Tischweg, verstanden sein, denn nur dieser ist zur Bestimmung der Wechselläder erforderlich, vgl. Abb. 253, Schenkel b^1). Die Länge der dem Fräserweg für eine volle Windung entsprechenden Seite c kommt für die Berechnung nicht in Frage und braucht infolgedessen nicht ermittelt zu werden. Zeichnerisch läßt sich dieses in der Weise durchführen, daß man sich die Abwicklung des Umfanges, also $d \cdot \pi = \text{Durchmesser} \times 3,14$, als gerade Strecke aufträgt, an dem einen Ende eine Senkrechte errichtet und an dem anderen Ende mit Hilfe eines Transporteurs oder Winkelmessers den Winkel, den die Spirale mit dem Stirnende bildet, anträgt. Die Länge, welche die Senkrechte vom Fuß bis zum Schnittpunkt mit dem Winkelschenkel hat, ist dann die gesuchte Spirallänge. Um bei großem Durchmesser und großem Winkel, z. B. bei Schraubenrädern, nicht eine zu große Zeichenfläche zu brauchen, hilft man sich dadurch, daß die Länge $d \cdot \pi$ durch 10 geteilt, daran der abgemessene Winkel und die Senkrechte angetragen und dann das Resultat, die Senkrechte, mit 10 multipliziert wird. Abb. 253 dürfte zur Erläuterung des oben Gesagten das ihre beitragen.

¹⁾ Spiralsteigung gleichbedeutend mit Spirallänge.

Weniger umständlich und auch genauer ist die Bestimmung der Länge durch Rechnung mit Hilfe der Trigonometrie. Unter trigonometrischen Funktionen versteht man die sechs Verhältnisse, die sich zwischen den drei Seiten eines rechtwinkligen Dreiecks bilden lassen. Diese sechs Seitenverhältnisse führen die Namen Sinus, Kosinus, Tangens, Kotangens, Sekans und Kosekans. Da es nun nicht der Zweck dieses Buches ist, die Trigonometrie zu lehren, so soll hier nur das Allernötigste angeführt und auch nur so weit erläutert werden, wie es zur richtigen Anwendung unbedingt erforderlich ist.

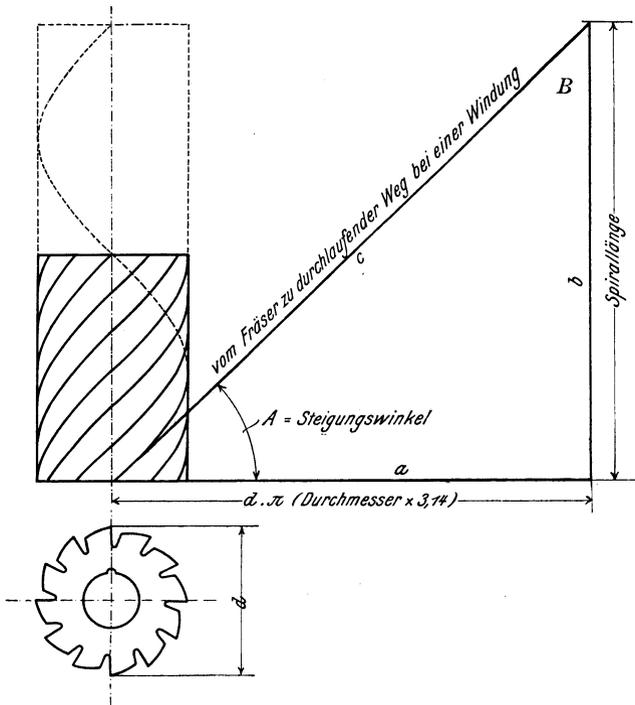


Abb. 253. Steigungswinkel und Spiralsteigung.

Wie schon gesagt, handelt es sich hierbei um die Verhältnisse, welche sich zwischen den Seiten eines rechtwinkligen Dreiecks bilden lassen. Mit Bezug auf Abb. 253 ist nun b geteilt durch a gleich Tangens des Winkels A ; ferner ist a geteilt durch b gleich Kotangens des Winkels A . Es ist also im rechtwinkligen Dreieck die einem spitzen Winkel gegenüberliegende Kathete geteilt durch die diesem Winkel anliegende Kathete gleich Tangens und die anliegende Kathete geteilt durch die Gegenüberliegende gleich Kotangens von diesem Winkel. Sei nun in der Abb. 253 die Seite a 4 cm, die Seite b 3 cm lang, so ist $\frac{3}{4} = 0,75 = \text{Tangens}$ und $\frac{4}{3} = 1,333 = \text{Kotangens}$ des

Winkels A . Wie aus Abb. 253 ersichtlich, ist die dem Winkel A anliegende Kathete dem Winkel B gegenüberliegend und ferner die dem Winkel A gegenüberliegende Kathete dem Winkel B anliegend. Daraus ergibt sich nun von selbst, daß Tangens des Winkels A gleich Kotangens des Winkels B und Kotangens des Winkels A gleich Tangens des Winkels B sein muß.

Zur Berechnung der Spiralsteigung würden uns diese beiden Funktionen genügen, doch soll an dieser Stelle auch gleich die sich beim Berechnen der Schraubenräder notwendig machende Sinus- und Kosinusfunktion erläutert werden. Wir nehmen wieder Bezug auf nebenstehende Abb. 253 und es ist dann weiter b geteilt durch c gleich Sinus und a ge-

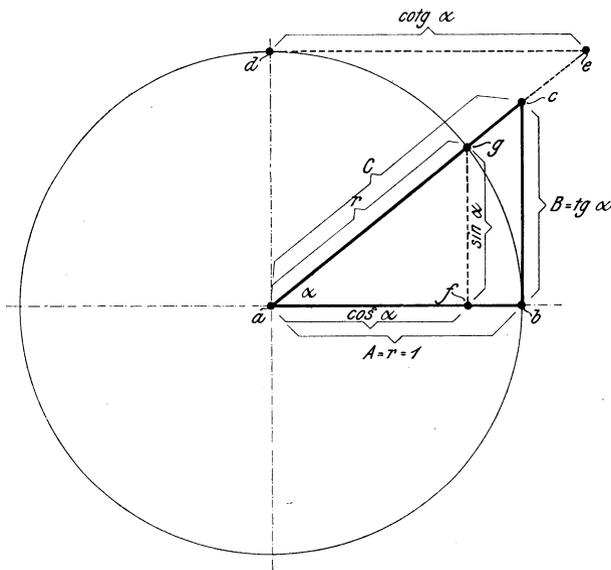


Abb. 254. Die Winkelfunktionen.

teilt durch c gleich Kosinus des Winkels A . Also ist im rechtwinkligen Dreieck die einem spitzen Winkel gegenüberliegende Kathete geteilt durch die Hypotenuse (man nennt im rechtwinkligen Dreieck die dem rechten Winkel gegenüberliegende Seite die Hypotenuse) gleich dem Sinus und ferner die demselben Winkel anliegende Kathete geteilt durch die Hypotenuse gleich dem Kosinus dieses Winkels. Nach den vorhergehenden Annahmen für $a = 4$ und $b = 3$ cm ist die Hypotenuse 5 cm lang, demnach $\frac{3}{5} = 0,6 = \text{Sinus}$ und $\frac{4}{5} = 0,8 = \text{Kosinus}$ des Winkels. Es ergibt sich auch hier von selbst, daß Sinus des Winkels A gleich Kosinus des Winkels B und Kosinus des Winkels A gleich Sinus des Winkels B ist.

Da die Hypothenuse immer größer als jede Kathete ist, so bleiben Sinus und Kosinus immer echte Brüche, also kleiner als 1, während Tangens, sobald der Winkel größer als 45° , und Kotangens, sobald er kleiner als 45° wird, unechte Brüche, also größer als 1, werden. Diese Seitenverhältnisse sind unabhängig von der Größe des Dreiecks, sie sind nur abhängig von der Größe des betreffenden Winkels. Zieht man sich einen Kreis mit dem Radius 1, so kann man, wenn ein Winkel in diesem Kreise abgetragen wird, nach vorstehender Abbildung die Werte für die Seitenverhältnisse auch zeichnerisch ermitteln. Nimmt man z. B. als Radius 1 dm = 100 mm, so kann man für jeden eingezeichneten Winkel, wenn man die in der Abb. 254 eingezeichneten Hilfslinien zieht, den Sinus, Kosinus, Tangens und Kotangens auf zwei Dezimalen genau als Millimeter abgreifen. Die dritte Dezimalstelle läßt sich annähernd genau schätzen.

Unter Bezugnahme auf Abb. 254 ergibt sich also:

$$\begin{aligned} g-f &= \sin a, \\ a-f &= \cos a, \\ b-c &= \operatorname{tg} a, \\ d-e &= \operatorname{cotg} a. \end{aligned}$$

Denkt man sich den Schenkel C beweglich, so läßt sich aus der Abbildung ohne weiteres die Veränderung der Verhältnisse bei größer oder kleiner werdendem Winkel erkennen. Man ersieht daraus, daß Sinus und Tangens mit größer werdendem Winkel größer, während Kosinus und Kotangens kleiner werden, ferner, daß Sinus und Kosinus nie größer als 1 und Tangens und Kotangens unendlich groß werden können.

Des weiteren läßt sich auf diese Art, an Hand einer trigonometrischen Tabelle, jeder beliebige Winkel ohne Winkelmesser auftragen. Man reißt die Seite A in einer Länge von genau 100 mm auf und trägt an einem Endpunkt den aus der Tangententabelle für den betreffenden Winkel entnommenen Wert mit 100 multipliziert rechtwinklig (ebenfalls in Millimetern) an. Verbindet man die beiden freien Endpunkte durch Linie C , so schließen A und C den gewünschten Winkel ein.

Zum Beispiel: Aufzureißen ein Winkel von 36° .

$$\text{Seite } A = 100 \text{ mm.}$$

$$\text{Seite } B = \operatorname{tg} 36^\circ \cdot 100 = 0,727 \cdot 100 = 72,7 \text{ mm.}$$

Es gibt also für jeden Winkel von $0-90^\circ$ einen von seiner Schenkellänge vollständig unabhängigen, festliegenden und unveränderlichen Wert. Bei Sinus und Kosinus bewegt sich dieser Wert zwischen 0 und 1 bzw. zwischen 1 und 0, bei Tangens zwischen Null und Unendlich bzw. zwischen Unendlich und Null.

In den nachstehenden trigonometrischen Tabellen sind diese Werte für alle Winkel, von 10 zu 10 Minuten steigend, zusammengestellt, und ist deren Anwendung aus den angeführten Beispielen ersichtlich.

Sinus- und Kosinus-Tabelle.

Sinus								
Grad	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	0,000	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	0,017	89
1	0,017	0,020	0,023	0,026	0,029	0,032	0,035	88
2	0,035	0,038	0,041	0,044	0,047	0,049	0,052	87
3	0,052	0,055	0,058	0,061	0,064	0,067	0,070	86
4	0,070	0,073	0,076	0,078	0,081	0,084	0,087	85
5	0,087	0,090	0,093	0,096	0,099	0,102	0,105	84
6	0,105	0,107	0,110	0,113	0,116	0,119	0,122	83
7	0,122	0,125	0,128	0,131	0,133	0,136	0,139	82
8	0,139	0,142	0,145	0,148	0,151	0,154	0,156	81
9	0,156	0,159	0,162	0,165	0,168	0,171	0,174	80
10	0,174	0,177	0,179	0,182	0,185	0,188	0,191	79
11	0,191	0,194	0,197	0,199	0,202	0,205	0,208	78
12	0,208	0,211	0,214	0,216	0,219	0,222	0,225	77
13	0,225	0,228	0,231	0,233	0,236	0,239	0,242	76
14	0,242	0,245	0,248	0,250	0,253	0,256	0,259	75
15	0,259	0,262	0,264	0,267	0,270	0,273	0,276	74
16	0,276	0,278	0,281	0,284	0,287	0,290	0,292	73
17	0,292	0,295	0,298	0,301	0,303	0,306	0,309	72
18	0,309	0,312	0,315	0,317	0,320	0,323	0,326	71
19	0,326	0,328	0,331	0,334	0,337	0,339	0,342	70
20	0,342	0,345	0,347	0,350	0,353	0,356	0,358	69
21	0,358	0,361	0,364	0,367	0,369	0,372	0,375	68
22	0,375	0,377	0,380	0,383	0,385	0,388	0,391	67
23	0,391	0,393	0,396	0,399	0,401	0,404	0,407	66
24	0,407	0,409	0,412	0,415	0,417	0,420	0,423	65
25	0,423	0,425	0,428	0,431	0,433	0,436	0,438	64
26	0,438	0,441	0,444	0,446	0,449	0,451	0,454	63
27	0,454	0,457	0,459	0,462	0,464	0,467	0,469	62
28	0,469	0,472	0,475	0,477	0,480	0,482	0,485	61
29	0,485	0,487	0,490	0,492	0,495	0,497	0,500	60
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	

Kosinus

Sinus								
Grad	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
30	0,500	0,503	0,505	0,508	0,510	0,513	0,515	59
31	0,515	0,518	0,520	0,522	0,525	0,527	0,530	58
32	0,530	0,532	0,535	0,537	0,540	0,542	0,545	57
33	0,545	0,547	0,550	0,552	0,554	0,557	0,559	56
34	0,559	0,562	0,564	0,566	0,569	0,571	0,574	55
35	0,574	0,576	0,578	0,581	0,583	0,585	0,588	54
36	0,588	0,590	0,592	0,595	0,597	0,599	0,602	53
37	0,602	0,604	0,606	0,609	0,611	0,613	0,616	52
38	0,616	0,618	0,620	0,623	0,625	0,627	0,629	51
39	0,629	0,632	0,634	0,636	0,638	0,641	0,643	50
40	0,643	0,645	0,647	0,649	0,652	0,654	0,656	49
41	0,656	0,658	0,660	0,663	0,665	0,667	0,669	48
42	0,669	0,671	0,673	0,676	0,678	0,680	0,682	47
43	0,682	0,684	0,686	0,688	0,690	0,693	0,695	46
44	0,695	0,697	0,699	0,701	0,703	0,705	0,707	45
45	0,707	0,709	0,711	0,713	0,715	0,717	0,719	44
46	0,719	0,721	0,723	0,725	0,727	0,729	0,731	43
47	0,731	0,733	0,735	0,737	0,739	0,741	0,743	42
48	0,743	0,745	0,747	0,749	0,751	0,752	0,755	41
49	0,755	0,757	0,759	0,760	0,762	0,764	0,766	40
50	0,766	0,768	0,770	0,772	0,773	0,775	0,777	39
51	0,777	0,779	0,781	0,783	0,784	0,786	0,788	38
52	0,788	0,790	0,792	0,793	0,795	0,797	0,799	37
53	0,799	0,800	0,802	0,804	0,806	0,807	0,809	36
54	0,809	0,811	0,812	0,814	0,816	0,817	0,819	35
55	0,819	0,821	0,822	0,824	0,826	0,827	0,829	34
56	0,829	0,831	0,832	0,834	0,835	0,837	0,839	33
57	0,839	0,840	0,842	0,843	0,845	0,847	0,848	32
58	0,848	0,850	0,851	0,853	0,854	0,856	0,857	31
59	0,857	0,859	0,860	0,862	0,863	0,865	0,866	30
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	
Kosinus								

Sinus								
Grad	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
60	0,866	0,867	0,869	0,870	0,872	0,873	0,875	29
61	0,875	0,876	0,877	0,879	0,880	0,882	0,883	28
62	0,883	0,884	0,886	0,887	0,888	0,890	0,891	27
63	0,891	0,892	0,894	0,895	0,896	0,898	0,899	26
64	0,899	0,900	0,901	0,903	0,904	0,905	0,906	25
65	0,906	0,908	0,909	0,910	0,911	0,912	0,914	24
66	0,914	0,915	0,916	0,917	0,918	0,919	0,921	23
67	0,921	0,922	0,923	0,924	0,925	0,926	0,927	22
68	0,927	0,928	0,929	0,930	0,931	0,933	0,934	21
69	0,934	0,935	0,936	0,937	0,938	0,939	0,940	20
70	0,940	0,941	0,942	0,943	0,944	0,945	0,946	19
71	0,946	0,947	0,948	0,949	0,950	0,951	0,952	18
72	0,952	0,952	0,953	0,954	0,955	0,955	0,956	17
73	0,956	0,957	0,958	0,959	0,960	0,960	0,961	16
74	0,961	0,962	0,963	0,964	0,964	0,965	0,966	15
75	0,966	0,967	0,967	0,968	0,969	0,970	0,970	14
76	0,970	0,971	0,972	0,972	0,973	0,974	0,974	13
77	0,974	0,975	0,976	0,976	0,977	0,978	0,978	12
78	0,978	0,979	0,979	0,980	0,981	0,981	0,982	11
79	0,982	0,982	0,983	0,983	0,984	0,984	0,985	10
80	0,985	0,985	0,986	0,986	0,987	0,987	0,988	9
81	0,988	0,988	0,989	0,989	0,989	0,990	0,990	8
82	0,990	0,991	0,991	0,991	0,992	0,992	0,993	7
83	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,995	6
84	0,995	0,995	0,995	0,996	0,995	0,996	0,996	5
85	0,996	0,996	0,997	0,997	0,997	0,997	0,998	4
86	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,999	3
87	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	2
88	0,999	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1
89	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	

Kosinus

Tangens- und Kotangens-Tabelle.

Tangens								
Grad	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	0,000	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	0,017	89
1	0,017	0,020	0,023	0,026	0,029	0,032	0,035	88
2	0,035	0,038	0,041	0,044	0,047	0,049	0,052	87
3	0,052	0,055	0,058	0,061	0,064	0,067	0,070	86
4	0,070	0,073	0,076	0,079	0,082	0,085	0,087	85
5	0,087	0,090	0,093	0,096	0,099	0,102	0,105	84
6	0,105	0,108	0,111	0,114	0,117	0,120	0,123	83
7	0,123	0,126	0,129	0,132	0,135	0,138	0,141	82
8	0,141	0,144	0,146	0,149	0,152	0,155	0,158	81
9	0,158	0,161	0,164	0,167	0,170	0,173	0,176	80
10	0,176	0,179	0,182	0,185	0,188	0,191	0,194	79
11	0,194	0,197	0,200	0,203	0,206	0,210	0,213	78
12	0,213	0,216	0,219	0,222	0,225	0,228	0,231	77
13	0,231	0,234	0,237	0,240	0,243	0,246	0,249	76
14	0,249	0,252	0,256	0,259	0,262	0,265	0,268	75
15	0,268	0,271	0,274	0,277	0,280	0,284	0,287	74
16	0,287	0,290	0,293	0,296	0,299	0,303	0,306	73
17	0,306	0,309	0,312	0,315	0,318	0,322	0,325	72
18	0,325	0,328	0,331	0,335	0,338	0,341	0,344	71
19	0,344	0,348	0,351	0,354	0,357	0,361	0,364	70
20	0,364	0,367	0,371	0,374	0,377	0,381	0,384	69
21	0,384	0,387	0,391	0,394	0,397	0,401	0,404	68
22	0,404	0,407	0,411	0,414	0,418	0,421	0,424	67
23	0,424	0,428	0,431	0,435	0,438	0,442	0,445	66
24	0,445	0,449	0,452	0,456	0,459	0,463	0,466	65
25	0,466	0,470	0,473	0,477	0,481	0,484	0,488	64
26	0,488	0,491	0,495	0,499	0,502	0,506	0,510	63
27	0,510	0,513	0,517	0,521	0,524	0,528	0,532	62
28	0,532	0,535	0,539	0,543	0,547	0,551	0,554	61
29	0,554	0,558	0,562	0,566	0,570	0,573	0,577	60
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	

Kotangens

Tangens								
Grad	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
30	0,577	0,581	0,585	0,589	0,593	0,597	0,601	59
31	0,601	0,605	0,609	0,613	0,617	0,621	0,625	58
32	0,625	0,629	0,633	0,637	0,641	0,645	0,649	57
33	0,649	0,654	0,658	0,662	0,666	0,670	0,675	56
34	0,675	0,679	0,683	0,687	0,692	0,696	0,700	55
35	0,700	0,705	0,709	0,713	0,718	0,722	0,727	54
36	0,727	0,731	0,735	0,740	0,744	0,749	0,754	53
37	0,754	0,758	0,763	0,767	0,772	0,777	0,781	52
38	0,781	0,786	0,791	0,795	0,800	0,805	0,810	51
39	0,810	0,815	0,819	0,824	0,829	0,834	0,839	50
40	0,839	0,844	0,849	0,854	0,859	0,864	0,869	49
41	0,869	0,874	0,880	0,885	0,890	0,895	0,900	48
42	0,900	0,906	0,911	0,916	0,922	0,927	0,933	47
43	0,933	0,938	0,943	0,949	0,955	0,960	0,966	46
44	0,966	0,971	0,977	0,983	0,988	0,994	1,000	45
45	1,000	1,006	1,013	1,018	1,024	1,030	1,036	44
46	1,036	1,042	1,048	1,054	1,060	1,066	1,072	43
47	1,072	1,079	1,085	1,091	1,098	1,104	1,111	42
48	1,111	1,117	1,124	1,130	1,137	1,144	1,150	41
49	1,150	1,157	1,164	1,171	1,178	1,185	1,192	40
50	1,192	1,199	1,206	1,213	1,220	1,228	1,235	39
51	1,235	1,242	1,250	1,257	1,265	1,272	1,280	38
52	1,280	1,288	1,294	1,303	1,311	1,319	1,327	37
53	1,327	1,335	1,343	1,351	1,360	1,368	1,376	36
54	1,376	1,385	1,393	1,402	1,411	1,419	1,428	35
55	1,428	1,437	1,446	1,455	1,464	1,473	1,483	34
56	1,483	1,492	1,501	1,511	1,520	1,530	1,540	33
57	1,540	1,550	1,560	1,570	1,580	1,590	1,600	32
58	1,600	1,611	1,621	1,631	1,643	1,653	1,664	31
59	1,664	1,675	1,686	1,698	1,709	1,720	1,732	30
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	
Kotangens								

Tangens								
Grad	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
60	1,732	1,744	1,756	1,767	1,780	1,792	1,804	29
61	1,804	1,816	1,829	1,842	1,855	1,868	1,881	28
62	1,881	1,894	1,907	1,921	1,935	1,949	1,963	27
63	1,963	1,977	1,991	2,006	2,020	2,035	2,050	26
64	2,050	2,066	2,081	2,097	2,112	2,128	2,145	25
65	2,145	2,161	2,177	2,194	2,211	2,229	2,246	24
66	2,246	2,264	2,282	2,300	2,318	2,337	2,356	23
67	2,356	2,374	2,394	2,414	2,434	2,455	2,475	22
68	2,475	2,496	2,517	2,539	2,560	2,583	2,605	21
69	2,605	2,628	2,651	2,675	2,699	2,723	2,747	20
70	2,747	2,773	2,798	2,824	2,850	2,877	2,904	19
71	2,904	2,932	2,960	2,989	3,018	3,047	3,078	18
72	3,078	3,108	3,140	3,172	3,204	3,237	3,271	17
73	3,271	3,305	3,340	3,376	3,412	3,450	3,487	16
74	3,487	3,526	3,566	3,606	3,647	3,689	3,732	15
75	3,732	3,776	3,821	3,867	3,914	3,962	4,011	14
76	4,011	4,061	4,113	4,165	4,219	4,275	4,331	13
77	4,331	4,390	4,449	4,511	4,574	4,638	4,705	12
78	4,705	4,773	4,843	4,915	4,989	5,066	5,145	11
79	5,145	5,226	5,309	5,396	5,485	5,576	5,671	10
80	5,671	5,769	5,871	5,976	6,084	6,197	6,314	9
81	6,314	6,435	6,561	6,691	6,827	6,968	7,115	8
82	7,115	7,269	7,429	7,596	7,770	7,953	8,144	7
83	8,144	8,345	8,556	8,777	9,010	9,255	9,514	6
84	9,514	9,788	10,08	10,39	10,71	11,06	11,43	5
85	11,43	11,83	12,25	12,71	13,20	13,73	14,30	4
86	14,30	14,92	15,60	16,35	17,17	18,07	19,08	3
87	19,08	20,21	21,47	22,90	24,54	26,43	28,64	2
88	28,64	31,24	34,37	38,19	42,96	49,10	57,29	1
89	57,29	68,75	85,94	114,6	171,9	343,8	∞	0
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	

Kotangens

Ist also im rechtwinkligen Dreieck einer von den spitzen Winkeln und eine Seite bekannt, so kann man mit Hilfe dieser trigonometrischen Zahlen leicht die anderen Seiten berechnen. Wie Abb. 253 zeigt, stellt eine Spirale in der Abwicklung ein solches rechtwinkliges Dreieck dar. Die Seite a entspricht dem Umfange gleich $d \cdot \pi$, während die Seite b

der Steigung entspricht. Wie wir oben sahen, ist $\frac{b}{a} = \text{Tangens } A$,

also ist $b = a \times \text{Tangens } A$. Man hat also, um die Seite b , das ist die Spiralsteigung, zu erhalten, die Seite a , gleich Durchmesser mal 3,14, mit dem Verhältnisse, das man für den betreffenden Winkel aus der Tabelle entnimmt, zu multiplizieren. In den meisten Fällen wird jedoch der Winkel B , das ist der, den die Spirale mit der Achse des Werkstückes bildet, gegeben sein. Man rechnet dann vorteilhafter mit Ko-

tangens, weil man da auch nur zu multiplizieren hat, denn $\frac{b}{a}$ ist gleich

Kotangens B , folglich $b = a \times \text{Kotangens } B$. Wollte man mit Tangens rechnen, so würde sich folgende Rechnung ergeben: $\frac{a}{b} = \text{Tangens } B$;

$b = \frac{a}{\text{Tangens } B}$. Man würde also eine Division ausführen müssen, und

dies ist bei Dezimalbrüchen immer umständlicher als eine Multiplikation.

Bemerkt sei hier noch, daß beim Schrägstellen des Supports immer der Winkel in Betracht kommt, den die Spirale mit der Achse des Werkstückes bildet. Da die beiden spitzen Winkel eines rechtwinkligen Dreiecks zusammen einen rechten Winkel, also 90° , ergeben, so kann auch, wenn einer davon bekannt ist, der andere dadurch leicht gefunden werden, daß der bekannte Winkel von 90° abgezogen wird.

Will man an vorhandenen Werkstücken den Winkel abmessen, so bedient man sich am besten eines verstellbaren Transporteurs oder Winkelmessers, wie solche von jeder besseren Werkzeughandlung geliefert werden.

Um die Anwendung der Tabellen zu erleichtern, sollen einige Beispiele angeführt werden. Zur Erläuterung sei vorerst noch folgendes erwähnt. Im rechtwinkligen Dreieck ergänzen sich die beiden spitzen Winkel zu einem rechten, geben also zusammen 90° . Nun sahen wir früher, daß Sinus A gleich Kosinus B und Sinus B gleich Kosinus A , ferner Tangens A gleich Kotangens B und Tangens B gleich Kotangens A ist. Es ist also z. B. Sinus 25° gleich Kosinus $90^\circ - 25^\circ$ gleich 65° , ferner Tangens $30^\circ 20$ Minuten gleich Kotangens $59^\circ 40$ Minuten usw. Dies ist bei der Zusammenstellung der Tabellen benutzt worden, indem für Sinus und Kosinus, Tangens und Kotangens je nur eine Tabelle errichtet ist und auf der linken Seite die Grade von oben nach unten und auf der rechten Seite von unten nach oben laufend stehen. Man hat also bei Sinus und Tangens die Grade auf der linken Seite und die Minuten

von links nach rechts und bei Kosinus und Kotangens die Grade auf der rechten Seite und die Minuten von rechts nach links zu suchen. Die Minuten sind für unsere Zwecke genau genug, nur von 10 zu 10, gleich $\frac{1}{6}^\circ$, angegeben. Ist ein ausgerechneter Wert in der Tabelle nicht genau zu finden, so wird der diesem am nächsten liegende genommen. Soll der Winkel auf Minuten genau sein, so muß die Differenz zweier nebeneinander liegender Werte durch 10 geteilt werden, was dann die Differenz für 1 Minute ergibt.

I. Beispiel: Es sei ein Walzenfräser mit Spiralnuten herzustellen, dessen Durchmesser 100 mm betrage, und dessen Zähne in einem Winkel von 20° zur Fräserachse liegen. Es ist dies mit Bezug auf unsere Abb. 253 der Winkel B . Wir rechnen zunächst den Umfang, nach unserer Abbildung die Seite a , aus; sie ist gleich $d \cdot \pi = 100 \cdot 3,14 = 314$ mm. Jetzt suchen wir aus der Tabelle S. 230 Kotangens des Winkels 20° und finden dafür 2,747; dies mit 314 multipliziert, ergibt 862,5 mm als Spiralsteigung.

Wir brauchen aber zu unserer Räderberechnung die Steigung in engl. Zollen und haben daher diesen Wert noch durch $25,4 = 1$ Zoll engl. zu teilen. Dies ergibt rund 34 Zoll.

Ist die Steigung der zu schneidenden Spirale bekannt und will man daraus den Winkel für das Schrägstellen des Supports berechnen, so wird umgekehrt verfahren, indem das Verhältnis ausgerechnet und dann in der Tabelle der zugehörige Winkel aufgesucht wird.

II. Beispiel: Es sei eine Spirale von 25 Zoll Steigung auf ein Werkstück von 80 mm Durchmesser zu schneiden. Die Seite a ist $80 \cdot 3,14 = 251$ mm, die Seite b $25,4 \cdot 25 = 635$ mm. Für uns kommt der Winkel B in Betracht. Wie früher gezeigt, ist $\frac{a}{b} = \text{Tangens } B$. also $\frac{251}{635} 0,395 = \text{Tangens } B$. Dafür finden wir nun in der Tabelle bei $21^\circ 30$ Min. in der vierten Reihe den Wert 0,394 als unseren ausgerechneten am nächsten. Wir müssen also den Support um $21^\circ 30$ Minuten gleich $21\frac{1}{2}^\circ$ schrägstellen.

III. Beispiel: Es sei ein Schraubenräderpaar zu fräsen, deren Achsen sich unter einem Winkel von 60° kreuzen. Die Übersetzung sei 1 : 2. Wir nehmen für jedes Rad einen Achsenwinkel von 30° . Der Teilkreisdurchmesser des kleinen Rades sei 150, der des großen ist dann 300 mm.

Für das kleine Rad ist dann die Seite $a = 150 \cdot 3,14 = 471$ mm, für das große Rad $300 \cdot 3,14 = 942$ mm. Der Achsenwinkel von 30° ist nach Abb. 255 der Winkel B . Für Kotangens 30° finden wir in der Tabelle den Wert 1,732. Es ist also für das kleine Rad die Spiralsteigung $471 \cdot 1,732 = 815,77$ mm, $815,77 : 25,4 = 32,1$ Zoll und für das große Rad $942 \cdot 1,732 = 1631,54$, $1631,54 : 25,4 = 64,2$ Zoll.

Bei Schraubenrädern, deren Achsen sich rechtwinklig kreuzen, und deren Achsenwinkel zu je 45° angenommen werden, ist die Spiralsteigung gleich dem Teilkreisumfang, weil für 45° Tangens und Kotangens gleich 1 ist.

Es sei an dieser Stelle auch darauf hingewiesen, daß sich bei Schraubenrädern die Durchmesser der Teilkreise nur dann im Übersetzungsverhältnisse ändern, wenn die Winkel beider Räder gleich sind. Bei ungleich großen Winkeln werden z. B. bei einer Übersetzung von 1 : 1 die Räder nicht gleich groß und bei einer Übersetzung von 1 : 2 wird das größere nicht doppelt so groß als das kleinere werden¹⁾.

Nachstehend sei noch einmal alles kurz zusammengefaßt und zur besseren Übersicht zusammengestellt, um alle an der Fräsmaschine vorkommenden Berechnungen leicht ausführen zu können, vgl. Abb. 255.

1. Bei der Berechnung von Spiralsteigungen entspricht:

Seite a dem Umfang des Werkstückes, das ist $d \cdot \pi$ (bei Zahnrädern ist für d der Teilkreisdurchmesser einzusetzen),

Seite b der Spiralsteigung (Spirallänge),

Winkel A dem Winkel, den die Spirale mit dem Stirnende des Werkstückes bildet (Stirn- oder Steigungswinkel) und

Winkel B dem Winkel, der Spirale zur Achse (Achsen- oder Zahnwinkel)²⁾.

Winkel B gibt zugleich an, um wieviel Grade der Support schräg zu stellen ist.

2. Bei der Berechnung von Schneckenrädern entspricht:

Seite a dem Umfang der Schnecke (im Teilkreis gemessen),

Seite b der Gewindesteigung der Schnecke,

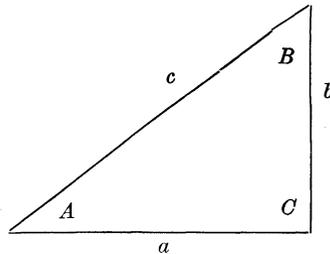


Abb. 255.

Winkel A dem Steigungswinkel der Schnecke, derselbe ist für das Schrägstellen des Supports beim Fräsen der Schneckenradzähne maßgebend, Winkel B dem Winkel, den die Zähne des Schneckenrades mit der Stirnseite bilden. (Ist für die Berechnung nicht erforderlich.)

¹⁾ Vgl. im Anhang: Zahn- und Schraubenräder.

²⁾ Bei Schrauben- bzw. Spiralzahnradern wird dieser Winkel meist als Steigungswinkel bezeichnet, da jede Spirale aber ein steilgängiges Gewinde darstellt, ist diese Bezeichnung unzutreffend und in diesem Buche auch überall durch Zahnwinkel ersetzt. Als Steigungswinkel ist, wie beim Gewinde, der Winkel zu betrachten, den die Spirale mit dem Stirnende bildet.

Formel-Tabelle für die Spiralarbeiten. (Vgl. Abb. 253 und 255.)

Gegeben	Gesucht	Auflösung	Anwendungsbeispiele
$A a$	b	$b = a \cdot \operatorname{tg} A$	Gesucht Spiralsteigung, gegeben Stirnwinkel und Durchmesser.
$B a$	b	$b = a \cdot \operatorname{cotg} B$	Gesucht Spiralsteigung, gegeben Zahnwinkel und Durchmesser.
$a b$	B	$\left. \begin{aligned} \frac{a}{b} &= \operatorname{tg} B \\ \frac{b}{a} &= \operatorname{cotg} B \end{aligned} \right\}$	Gesucht Zahnwinkel, gegeben Durchmesser und Spiralsteigung.
$a b$	A	$\frac{b}{a} = \operatorname{tg} A$	Gesucht Steigungswinkel der Schnecke (Zahnschräge des Schneckenrades), gegeb. Durchmesser und Steigung der Schnecke.
$A b$	a	$a = b \cdot \operatorname{cotg} A$	Gesucht Schneckendurchmesser, gegeb. Zahnschräge und Gangsteigung.
$A a$	c	$c = \frac{a}{\cos A}$	Gesucht Stirnteilung eines Spiralzahnades, gegeben Zahnwinkel und Normalteilung. (Vgl. Anhang: Bestimmung d. Schraubenträder.)
$A c$	a	$a = c \cdot \cos A$	Gesucht Normalteilung eines Spiralzahnades gegeben Zahnwinkel und Stirnteilung.

3. Bei der Berechnung von Schraubenrädern entspricht:

Seite a der Normalteilung,

Seite c der Stirnteilung, und der von beiden eingeschlossene

Winkel A dem Winkel, den der Zahn mit der Achse bildet,

Winkel B dem Winkel, welchen der Zahn mit der Stirnseite des Rades bildet, derselbe ist zur Bestimmung der Stirnteilung nicht erforderlich.

Obwohl durch die vorstehenden Angaben jede Gradstellung nach der vorhin erläuterten Berechnung und den angeführten Beispielen leicht zu finden ist, seien doch in der Tabelle S. 236 und 237 die gebräuchlichsten Durchmesser und Spiralsteigungen mit den dazu gehörigen Winkelstellungen zusammengestellt.

Die Anwendung der Tabelle ist nun eine mehrfache und sei kurz an einigen Beispielen erklärt.

An einem Schraubenrade von 160 mm Durchmesser (womit bei Getrieben immer der Teilkreisdurchmesser gemeint ist) sollen die Zähne 40° Steigung bekommen. Man wird daher in der Senkrechtreihe (S. 237), über welcher der Durchmesser 160 steht, heruntergehen, bis man auf die verlangte Gradanzahl (oder der zunächst liegenden größeren oder kleineren) kommt (in unserem Beispiel 40°); jetzt geht man die Querreihe vor und findet in der ersten senkrechten Reihe „Steigung der Spirale“ die gesuchte Länge, welche in diesem Falle 600 mm oder $23\frac{5}{8}$ “ engl. ist.

Ein Räderpaar, dessen Achsen parallel liegen, soll spiralgewundene Zähne von 27° Steigung erhalten. Die Räder sind 120 mm und 90 mm im Durchmesser. Dann ist für das Rad von 120 mm Durchmesser $750 \text{ mm} = 29\frac{9}{16}$ “ engl. und für das Rad von 90 mm Durchmesser $550 \text{ mm} = 21\frac{5}{8}$ “ engl. die gesuchte Spiralsteigung.

Ebenso läßt sich durch die Tabelle bei bekanntem Durchmesser und bekannter Steigung der Spirale leicht der Verstellungsgrad auffinden, indem man, wenn der Durchmesser (d) = 100 mm und die Länge (l) = 800 mm ist, diejenige Gradzahl annimmt, wo sich die Reihen der Durchmesser und Spiralsteigungen schneiden; das ist beim ebengenannten Beispiele die Gradanzahl = $21\frac{3}{6}$.

In dem wohl selten auftretenden Falle des Suchens des Durchmessers, wenn Spiralsteigung und Gradanzahl bekannt sind, wird ähnlich dem ersten Beispiele verfahren, indem man in der Querreihe der Spiralsteigungen weiter geht, bis man auf die bekannte Gradanzahl stößt, um sodann oben den Durchmesser zu ersehen, z. B. Steigung der Spirale = 1400 mm und Anzahl der Grade = 15, dann ist $D = 120 \text{ mm}$.

Grad-Tabelle

Steigung der Spirale in mm	Steigung der Spirale in engl. Zoll annähernd	Durchmesser des Werkstückes in Millimeter										
		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
50	2	32.3	43.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
75	3	23	32.3	40.1	—	—	—	—	—	—	—	—
100	4	18.3	25.2	32.1	38.1	43.2	—	—	—	—	—	—
125	5	14	21.2	26.3	31.1	37	41.2	45	—	—	—	—
150	6	11.5	17.3	22.5	27.4	32.1	36.1	40	43.2	45.1	—	—
175	7	10.2	15.1	19.5	24.2	28.1	32	35.5	39	41	44.4	—
200	8	9	13.1	17.3	21.2	25.1	28.4	31	35.3	38.1	40.5	—
225	9	8	11.5	15.4	19.2	22.4	26	19.2	32.1	35	37.2	—
250	10	7.1	11	14.1	16.5	20.4	23.5	26.3	29.3	32.1	34.4	—
275	10 ³ / ₄	6.3	9.4	12.5	15.5	18.5	21.5	24.3	27.1	29.4	31.5	—
300	11 ³ / ₄	6	9	11.5	14.4	17.3	20	22.5	25.1	28.1	30.1	—
325	12 ³ / ₄	5.4	8.2	11.1	13.4	16.1	18.5	21.4	23.3	25.5	28	—
350	13 ³ / ₄	5.1	7.4	10.1	12.4	15.1	17.2	19.5	22.2	24.1	26.2	—
375	14 ³ / ₄	4.5	7.1	9.3	11.2	14.1	16.2	18.3	21.2	22.5	24.4	—
400	15 ³ / ₄	4.3	6.4	9	11	13.1	15.2	17.2	19.3	21.3	23.2	—
425	16 ³ / ₄	4.1	6.2	8.3	10.3	12.3	14.1	16.3	18.3	20.2	22.1	—
450	17 ³ / ₄	4	6	8	10	11.5	13.4	15.4	17.1	19.5	21.2	—
475	18 ³ / ₄	3.5	5.4	7.3	9.3	11.1	13	14.4	16.3	18.2	20	—
500	19 ³ / ₄	3.4	5.3	7.1	9	10.4	12.3	14	15.4	17.3	19	—
525	20 ⁵ / ₈	3.2	5	6.4	8.3	10.1	11.5	13.2	15	16.4	18.2	—
550	21 ⁵ / ₈	3.1	4.5	6.3	8.1	9.4	11.2	12.5	14.2	15.5	17.2	—
575	22 ⁵ / ₈	3.1	4.4	6.1	7.4	9.2	10.5	12.2	13.5	15.2	16.4	—
600	23 ⁵ / ₈	3	4.3	6	7.3	9	10.2	11.5	13.1	14.4	16	—
625	24 ⁵ / ₈	2.5	4.1	5.4	7.1	8.4	10	11.2	12.4	14.1	15.4	—
650	25 ⁵ / ₈	2.5	4	5.3	6.5	8.1	9.4	10.4	12.1	13.3	14.5	—
700	27 ⁹ / ₁₆	2.3	3.5	5.1	6.2	7.4	9	10.1	11.2	12.4	14	—
750	29 ⁹ / ₁₆	2.2	3.3	4.5	6	7.1	8.2	9.3	10.4	11.5	13	—
800	31 ¹ / ₂	2.1	3.2	4.2	5.4	6.4	7.5	8.5	10	11.1	12.1	—
850	33 ¹ / ₂	2.1	3.1	4.1	5.2	6.2	7.2	8.3	9.3	10.3	11.1	—
900	35 ⁷ / ₁₆	2	3	4	5	6	7	7.5	9	9.5	10.5	—
950	37 ⁷ / ₁₆	2	2.5	3.5	4.4	5.4	6.2	7.3	8.3	9.3	10.2	—
1000	39 ³ / ₈	1.5	2.4	3.4	4.3	5.1	6.1	7.1	8	9	9.5	—
1100	43 ³ / ₁₆	1.4	2.3	3.2	4.1	4.5	5.5	6.3	7.2	8.1	9	—
1200	47 ⁷ / ₁₆	1.3	2.2	3	3.5	4.3	5.2	6	6.4	7.5	8.1	—
1300	51 ³ / ₁₆	1.2	2.1	2.5	3.3	4.1	4.5	5.3	6.1	7.1	7.3	—
1400	55 ¹ / ₈	1.2	2	2.3	3.1	3.5	4.3	5.1	5.4	6.3	7	—
1500	59	1.1	1.5	2.2	3	3.3	4.1	4.4	5.3	6	6.3	—
1600	63	1.1	1.4	2.1	2.5	3.1	3.5	4.3	5.1	5.4	6.1	—
1700	67	1.1	1.3	2	2.4	3	3.4	4.1	4.4	5.2	5.5	—
1800	70 ³ / ₄	1	1.3	2	2.3	3	3.3	4	4.3	5	5.2	—
1900	74 ³ / ₄	1	1.2	1.5	2.2	2.5	3.2	3.5	4.1	4.4	5.1	—
2000	78 ³ / ₄	1	1.2	1.5	2.1	2.4	3.1	3.3	4	4.3	5	—
2100	82 ³ / ₄	—	1.2	1.5	2.1	2.4	3	3.2	4	4.2	4.5	—
2200	86 ³ / ₄	—	—	1.4	2	2.4	2.5	3.1	3.4	4	4.3	—
2300	90 ³ / ₄	—	—	—	2	2.3	2.5	3	3.3	3.5	4.2	—
2400	94 ³ / ₄	—	—	—	—	2.2	2.4	3	3.2	3.4	4.1	—
2500	98 ³ / ₄	—	—	—	—	—	2.4	2.5	3.1	3.3	4.4	—
3000	118	—	—	—	—	—	—	2.2	2.4	3	3.2	—

für Supportstellungen.

Durchmesser des Werkstückes in Millimeter											
60	65	70	80	90	100	120	140	160	180	200	240
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
45.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
36.5	39.1	41.2	43.1	45	—	—	—	—	—	—	—
34.1	36	38.4	42.3	44	—	—	—	—	—	—	—
32.2	34.1	36.1	40	43.1	45.1	—	—	—	—	—	—
30.1	32.1	34.1	38.2	41	44	—	—	—	—	—	—
28.2	30.1	32	35.5	39.2	41.5	45.1	—	—	—	—	—
27	28.3	30.3	33.5	37	40	44	—	—	—	—	—
24.2	27.1	28.5	32.1	35.1	38.1	42.2	47.4	—	—	—	—
23.5	25.4	27.2	30.3	33.4	36.3	41.3	46	—	—	—	—
22.5	24.2	26	29.1	32.1	34.5	40	44.2	—	—	—	—
21.4	23.2	24.5	27.5	30.4	33.3	38.3	42	46.2	—	—	—
20.3	22.1	23.4	26.4	29.3	32.5	37	41.1	45	—	—	—
19.5	21.1	22.4	25.3	28.2	30.5	35.5	40	43	—	—	—
18.5	20.2	21.5	24.3	27.1	29.4	34.2	38.4	42.3	45.4	—	—
18.1	19.3	20.5	23.3	26.1	28.4	33.2	37.2	41.1	44.3	—	—
17.3	18.2	20	23	25.2	27.4	32.1	36.1	40	43.2	46.2	—
16.5	18	19.3	21.5	24.3	26.4	31	35	38.5	42.1	45	—
16.1	17.2	18.4	21.1	23.3	25.4	30.1	33.4	37.2	41	44	49.2
15	16.1	17.3	19.4	22	24.1	28.2	32.1	35.4	38.5	41.5	47
14.1	15.1	16.2	18.3	20.4	22.4	26.4	30.2	33.5	37	40	45.1
13.2	14.2	15.2	17.2	19.3	21.3	25.2	28.5	32	35.2	38.1	43.3
12.3	13.3	14.3	16.3	18.2	20.1	23.5	27.2	30.3	33.4	36.3	41.3
11.5	12.4	13.4	15.4	17.3	19.1	22.4	26	28.4	32.1	35	40
11.1	12	12.5	14.5	16.3	18.3	21.4	24.4	27.5	30.5	33.3	38.3
10.4	11.3	12.2	14.1	15.5	17.3	20.4	23.4	26.4	29.3	32.1	37
9.5	10.3	11.2	12.5	14.2	15.5	19	21.5	24.4	27.1	29.5	34.2
9	10	10.3	11.5	13.1	14.4	17.3	20.1	22.4	25.1	27.4	32.1
8.2	9	9.4	11	12.2	13.3	16.1	18.3	21.1	23.3	25.5	30.1
7.4	8.3	9	10.1	11.3	12.4	15	17.3	19.4	22	24.5	28
7.1	7.4	8.2	9.3	10.4	11.5	14.1	16.2	18.3	20.4	23.1	26.4
6.4	7.1	7.5	8.5	9.5	11.1	13.2	15.2	17.2	19.3	21.3	25.2
6.3	6.5	7.2	8.3	9.3	10.3	12.3	14.3	16.3	18.2	20.1	23.5
6.1	6.3	7	7.5	8.5	10	11.2	13.3	15.3	17.4	19.3	22.4
5.4	6.1	6.3	7.3	8.3	9.3	11	12.5	14.5	16.5	18.3	21.3
5.2	5.5	6.2	7.1	8	9	10.4	11.5	14.1	15.5	17.3	20.3
5.1	5.4	6	6.5	7.5	8.3	10.2	11.3	13.3	15	16.4	19.2
5	5.2	5.4	6.3	7.2	8	9.5	11.1	12.5	14.2	16	18.5
4.4	5.1	5.3	6.1	7	7.5	9.3	11	12.1	13.5	15.2	18
4.3	5	5.2	6	6.4	7.3	9	10.3	11.5	13.2	14.4	17.3
4.2	4.4	5	5.4	5.5	7	8.3	10	11.3	12.5	14	17
3.3	4	4.1	4.5	5.2	6	7.1	8.3	9.1	11	12	14

Gradtable für die Schrägstellung

Teilkreis- Durch- messer der Schnecke in mm	Anzahl der Schneckengänge in 1 engl. Zoll										
	4 Gang 1" engl.	3 1/2 Gang 1" engl.	3 Gang 1" engl.	2 3/4 Gang 1" engl.	2 1/2 Gang 1" engl.	2 1/4 Gang 1" engl.	2 Gang 1" engl.	1 3/4 Gang 1" engl.	1 1/2 Gang 1" engl.	1 1/4 Gang 1" engl.	1 Gang 1" engl.
25	4.3	5.1	6.1	6.4	7.2	8.1	9.1	10.5	12	14.3	18
30	3.5	4.3	5.1	5.4	6.1	6.5	7.4	9	10	12	15.1
35	3.2	3.5	4.2	4.5	5.2	5.5	6.3	7.4	8.5	10.3	13
40	2.5	3.1	3.5	4.1	4.3	5	5.5	6.5	7.3	9.1	11.3
45	2.4	2.5	3.3	3.5	4.1	4.3	5	6	6.5	8	10
50	2.2	2.4	3.1	3.2	3.4	4.1	4.4	5.3	6.1	7.2	9.1
55	2.1	2.3	2.5	3.1	3.2	3.4	4.1	4.5	5.3	6.4	8.2
60	2	2.1	2.3	2.5	3.1	3.2	3.5	4.3	5	6.1	7.4
65	1.5	2	2.2	2.3	2.5	3.1	3.3	4.1	4.4	5.4	7
70	1.4	2	2.1	2.2	2.4	3	3.2	3.5	4.2	5.2	6.4
75	1.4	1.5	2	2.1	2.3	2.4	3.1	3.3	4	5	6.1
80	1.3	1.4	1.5	2	2.2	2.3	2.5	3.2	3.5	4.4	5.5
85	1.2	1.3	1.5	2	2.2	2.3	2.4	3.1	3.4	4.2	5.2
90	—	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	3	3.3	4	5.1
95	—	—	1.4	1.5	2	2.1	2.2	2.5	3.2	3.5	4.5
100	—	—	—	1.4	1.5	2	2.1	2.4	3	3.4	4.4
110	—	—	—	—	1.4	1.5	2	2.3	2.5	3.2	4.1
120	—	—	—	—	—	1.4	1.5	2.2	2.4	3.1	3.5
130	—	—	—	—	—	—	1.4	2.1	2.3	2.5	3.3
140	—	—	—	—	—	—	—	1.5	2.2	2.4	3.2
150	—	—	—	—	—	—	—	—	2.1	2.3	3.1
180	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2.3
200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.2

Gradtable für die Schrägstellung

Schnecken- teilkreis- Durchmes- ser in mm	Steigung der Schneckengänge in Millimetern										
	6	8	10	12	15	18	20	25	30	35	40
25	4.2	5.5	7.1	8.4	10.5	12.5	14.2	17.4	20.5	25	27
30	3.4	4.5	6	7.2	9	10.5	12	14.5	17.4	20.2	22
35	3.1	4.1	5.1	6.1	7.5	9.2	10.2	12.5	15.2	17.4	20
40	2.4	3.4	4.3	5.3	7	8.1	9.1	11.2	13.4	15.3	17.4
45	2.3	3.2	4	4.5	6	7.1	8	10	12	13.5	15.5
50	2.1	3	3.4	4.2	5.3	6.3	7.2	9	10.5	12.4	14.2
55	2	2.4	3.2	4	4.5	6	6.3	8.1	10	11.3	13
60	1.5	2.3	3	3.4	4.2	5.3	6	7.3	9	10.3	12
65	1.4	2.2	2.5	3.2	4.1	5	5.4	7	8.2	9.4	11.1
70	1.3	2.1	2.4	3.1	3.5	4.4	5.1	6.3	7.5	9	10.2
75	1.3	2	2.3	3	3.4	4.2	4.5	6.1	7.1	8.3	9.4
80	1.2	1.5	2.2	2.5	3.3	4	4.3	5.5	6.5	7.5	9
85	1.2	1.4	2.1	2.4	3.2	3.5	4.2	5.3	6.4	7.3	8.3
90	1.2	1.4	2	2.3	3.1	3.4	4	5.1	6.1	7	8
95	1.1	1.3	1.5	2.2	3	3.3	3.5	4.5	5.5	6.5	7.3
100	1.1	1.3	1.5	2.1	2.4	3.2	3.4	4.3	5.2	6.3	7.1
110	—	1.2	1.4	2	2.2	3	3.2	4.1	5	6	6.4
120	—	—	1.3	1.5	1.5	2.4	3	3.5	4.3	5.3	6
130	—	—	—	1.4	1.5	2.3	2.5	3.3	4.1	5	5.4
140	—	—	—	—	1.4	2.2	2.4	3.1	4	4.3	5.1
150	—	—	—	—	—	2.1	2.2	3	3.4	3.3	4.5
180	—	—	—	—	—	—	2.1	2.3	3.1	3.1	4
200	—	—	—	—	—	—	—	2.1	2.4	2.5	3.3

beim Fräsen von Schneckenrädern nach Zoll.

Steigung der Schneckengänge in engl. Zoll											
1 1/4" engl. Steig.	1 1/2" engl. Steig.	1 3/4" engl. Steig.	9" engl. Steig.	2 1/4" engl. Steig.	2 1/2" engl. Steig.	2 3/4" engl. Steig.	3" engl. Steig.	3 1/2" engl. Steig.	4" engl. Steig.	4 1/2" engl. Steig.	5" engl. Steig.
22	25.5	29	33	36.3	—	—	—	—	—	—	—
18.2	22	25.1	28.2	31.1	33.5	—	—	—	—	—	—
16.1	19.1	22	24.4	27.3	30.1	32.3	—	—	—	—	—
14.1	16.5	19.3	22	24.1	26.3	28.3	32.1	—	—	—	—
12.4	15	17.3	19.4	22	24.1	26.3	28.3	32.1	—	—	—
11.3	13.4	15.3	18	20.2	22	23.5	25.5	29	33	—	—
10.3	12.2	14.2	16.2	18.2	20.1	22	23.5	27.1	30.5	33.3	—
9.4	11.3	13.2	15	16.5	18.4	20.2	22	25.2	28.1	31.1	34.1
8.5	10.4	12.1	14	15.4	17.1	19	20.3	23.3	26.2	29.2	31.5
8.2	10.1	11.3	13	14.3	16.1	17.4	19.1	22.1	24.4	27.3	30.1
7.4	9.1	10.3	12.1	14	15.1	16.4	18	20.1	23.2	26.3	28.2
7.1	8.4	10	11.3	12.5	14.1	15.3	16.5	19.3	22	25	26.5
6.5	8.1	9.3	10.3	12	13.3	14.4	16	18.2	20	23.1	25.3
6.2	7.4	9	10.1	11.3	12.4	14	15.1	17.3	19.3	22.1	24.1
6.1	7.2	8.3	9.4	10.5	12.2	13.1	14.2	16.4	19	20.5	23.3
5.5	7	7.5	9.1	10.3	11.3	12.2	13.4	15.3	18	19.5	22
5.2	6.2	7.2	8.2	9.3	10.3	11.3	12.2	14.2	16.4	18.2	20.1
4.5	5.5	6.4	7.3	8.4	9.4	10.3	11.3	13.2	15	16.5	18.5
4.4	5.2	5.5	7	8	8.5	9.4	10.4	12.1	13	15.4	17.2
4.1	5	5.4	6.3	7.2	8.2	9	9.5	11.3	13	14.3	16.1
3.5	4.4	5.3	6.1	7	7.4	8.3	9.1	10.3	12.1	14	15.1
3.1	3.5	4.3	5.1	5.5	6.2	7.1	7.4	9	10.1	11.3	12.4
3	3.3	4	4.3	5.2	5.5	6.2	7	7.5	9.1	10.3	11.3

beim Fräsen von Schneckenrädern nach Millimetern.

Steigung der Schneckengänge in Millimetern											
45	50	55	60	70	80	90	100	110	120	140	160
29.5	32.3	34.4	37.3	—	—	—	—	—	—	—	—
25.3	28	30.2	32.3	36.3	—	—	—	—	—	—	—
22.2	24.3	26.3	28.4	32.3	36	—	—	—	—	—	—
20	21.5	23.4	25.2	29	32.3	36	—	—	—	—	—
17.4	19.3	21.1	23	26.2	29.2	32.2	35.2	—	—	—	—
16	17.4	19.2	20.5	24	27	29.5	32.3	35	—	—	—
14.2	16	17.2	18.5	22	25	27	30	31.4	34.2	—	—
13.2	14.2	16.2	17.4	20.2	23	25.3	28	30.2	32.3	36.4	—
12.3	13.5	15.1	16.2	19	21.2	23.5	26.1	28.2	30.2	34.3	38.1
11.3	12.5	14.1	15.2	17.4	20	22.2	24.3	26.4	28.4	32.3	36
10.5	12	13	14.2	16.4	18.2	20.5	23	24.4	27	30.5	33.3
10.2	11.2	12.2	13.4	15.3	17.2	20	21.5	23.4	25.5	29.3	32
9.4	10.4	11.4	13	14.4	16.4	18.5	20.4	22.2	24.4	27.4	31
9	10	11	12	14	15.5	17.4	19.3	21.2	23	26.2	29.3
8.4	9.3	10.3	11.3	12.5	14.5	16.5	18.3	20.1	22	24.3	27.5
8.2	9	10	10.5	12	14.2	16	17.4	19.2	20.5	23.4	26.3
7.2	8.3	8.5	9.4	11.3	13.1	14.2	16.1	17.4	18.3	22	24.5
6.5	7.3	8.2	9	10	12	13.3	14.5	16.2	17.4	20.2	23
6.2	7	7.4	8.2	9.5	11.1	12.2	13.5	15.1	16.2	19	21.2
5.5	6.3	7.1	7.5	9	10.2	11.4	12.5	14	15.3	17.4	20
5.3	6	6.3	7.1	8.3	9.4	10.5	11.5	13	14.2	16.4	18.5
4.5	5	5.3	6	7	8	9.1	10	11	12	14	15.5
4	4.3	5	5.3	6.2	7.2	8.1	9	10	10.5	12.4	14.2

Gradtabelle für die Schrägstellung beim Fräsen

Schnecken- teilkreis- Durchmes- ser in mm	Steigung der Schneckengänge in Modul										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25	4.3	6.5	9.1	11.2	13.3	15.4	17.5	19.5	21.5	23.5	25.4
30	3.5	5.4	7.3	9.3	11.2	13.1	14.5	16.4	18.3	20.1	21.5
35	3.2	4.5	6.3	8	9.4	11.2	12.5	14.2	16	17.3	19
40	2.5	4.2	5.4	7.1	8.3	10.1	11.2	12.4	14	15.2	16.4
45	2.3	3.5	5.1	6.2	7.3	8.5	10.1	11.2	12.3	13.4	14.5
50	2.2	3.3	4.3	5.5	6.5	8	9.1	10.1	11.2	12.2	13.3
55	2	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.2	10.2	11.2	12.2
60	1.5	2.5	3.5	4.4	5.4	6.4	7.3	8.3	9.3	10.2	11.2
65	1.5	2.5	3.3	4.2	5.2	6.1	7	7.5	8.5	9.4	10.2
70	1.4	2.2	3.2	4	4.5	5.4	6.3	7.2	8	9	9.5
75	1.3	2.2	3	3.3	4.3	5.2	6.1	6.5	7.4	8.2	9.1
80	1.3	2.1	2.5	3.1	4.1	4.5	5.4	6.2	7.1	7.5	8.3
85	1.2	2	2.4	3	4	4.4	5.2	6	6.4	7.2	8
90	1.2	1.5	2.3	2.5	3.5	4.2	5	5.4	6.2	6.5	7.3
95	1.1	1.5	2.2	2.4	3.4	4.1	4.5	5.3	6.2	6.3	7.1
100	—	1.4	2.2	2.2	3.3	4	4.3	5.1	5.2	6.2	6.5
110	—	1.3	2.1	2.1	3.1	3.4	4.1	4.4	5.1	5.4	6.1
120	—	—	1.4	2.0	2.5	3.2	3.5	4.2	4.5	5.2	5.4
130	—	—	—	1.5	2.4	3.1	3.3	4	4.3	4.5	5.2
140	—	—	—	—	2.3	2.5	3.2	3.4	4.1	4.3	4.5
150	—	—	—	—	2.2	2.4	3	3.3	3.5	4.1	4.3
180	—	—	—	—	1.5	2.1	2.3	2.5	3.1	3.3	3.5
200	—	—	—	—	1.4	2	2.2	2.3	2.5	3.1	3.3

d. Das Schrägstellen der Supporte.

Zum freiläufigen Vorschneiden der Schneckenräder, zum Wälzen der Stirnräder und zum Einschneiden einfach schrägstehender Zähne mit Einzelfräser muß der Support dem Steigungswinkel der Schnecke entsprechend schräg gestellt werden (vgl. Das Fräsen von Schneckenrädern, S. 281). Schneiden sich die Achsen der Schnecke und des Rades im rechten Winkel, so ergibt der Steigungswinkel der Schnecke direkt die erforderliche Schrägstellung des Supports. Im anderen Falle ist der Support der Abweichung entsprechend mehr oder weniger schräg zu stellen.

Der Steigungswinkel der Schnecke wird ermittelt, indem man die Steigung durch den Teilkreisumfang dividiert. Man erhält dadurch Tangens des Winkels. Mit diesem Werte sucht man sich aus Tabelle S. 228 den Steigungswinkel. Unter c dieses Kapitels ist das Aufsuchen bereits eingehend erläutert worden. Der Seite a der Abb. 255 entspricht der Teilkreisumfang ($d \cdot \pi$) und der Seite b die Steigung (s).

der Schneckenräder nach Modulteilung.

Steigung der Schneckengänge in Modul										
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
27.3	29.2	31	32.4	34.1	36.1	—	—	—	—	—
23.3	25	26.3	28	29.3	31	32.2	33.4	35	36.1	—
20.2	21.5	23.1	24.3	25.5	26.4	28.3	29.3	31	32.1	33.1
18	19.2	20.3	21.4	23	24.2	25.2	26.3	27.4	28.5	29.4
16	17.2	18.3	19.4	20.4	21.5	23	24	25	26	27
14.3	15.4	16.4	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5	24.4
13.2	14.2	15.1	15.4	17.1	18	19	20	20.5	21.5	22.4
12.1	13.1	14	14.5	15.5	16.4	17.3	18.3	19.2	20.1	20.5
11.2	12.1	13	13.5	14.4	15.3	16.2	17	17.5	18.5	19.3
10.3	11.2	12	12.5	13.4	14.2	15.1	16	16.4	17.3	18.1
9.5	10.3	11.2	12	12.4	13.3	14.1	15	15.4	16.1	17
9.1	9.5	10.4	11.2	12	12.4	13.2	14	14.4	15.2	16
8.4	9.2	10	10.4	11.2	12	12.4	13.1	13.5	14.3	15.1
8.1	8.5	9.3	10.1	10.4	11.2	12	12.3	13.1	13.5	14.2
7.4	8.2	9	9.3	10.1	10.4	11.2	11.5	12.3	13	13.4
7.2	8	8.3	9.1	9.4	10.1	10.5	11.2	11.5	12.2	13
6.5	7.1	7.4	8.2	8.6	9.2	9.5	10.2	10.5	11.2	11.5
6.1	6.4	7.1	7.3	8	8.3	9	9.3	10	10.2	10.5
5.4	6.1	6.3	7	7.3	7.5	8.2	8.5	9.4	9.4	10.3
5.2	5.4	6.1	6.4	6.5	7.2	7.4	8	8.3	9	10
5	5.2	5.4	6	6.3	6.5	7.1	7.3	8	8.2	9.2
4.1	4.2	4.5	5.1	5.2	5.4	5.5	6.2	6.5	7	8.4
3.4	4	4.2	4.3	4.5	5.1	5.3	5.4	6	6.2	7.2

I. Beispiel:

Schnecke im Teilkreise $d = 48$ mm,Steigung $s = 20$ mm,so sind $\frac{s}{d \cdot \pi} = \frac{20}{48 \cdot 3,14} = 0,1326 = \text{Tangens des Steigungswinkels.}$ Wir finden diesen Wert in der Tabelle unter $7^\circ 30$ Minuten. Folglich sind $7^\circ 30$ Minuten der gesuchte Steigungswinkel.

II. Beispiel:

Bei einer Schnecke $d = 192$ mmund einer Steigung $s = 4''$ engl.ist Tangens des Steigungswinkels $\frac{4 \cdot 25,4}{192 \cdot 3,14} = 0,168.$ Wir finden unter $9^\circ 30$ Minuten $0,167$ als unserem Werte am nächsten liegend. Es sind also $9^\circ 30$ Minuten der gesuchte Steigungswinkel.

Zu beachten ist dabei, daß, wenn der Umfang in Millimetern ausgedrückt wird, auch die Steigung in Millimetern eingesetzt werden muß.

Entspricht die Schneckensteigung der Modulteilung, d. h. ist die Steigung ein Vielfaches von π , so vereinfacht sich die Rechnung. Man hat nur den Modul durch den Durchmesser zu dividieren.

III. Beispiel:

Schnecke im Teilkreise $d = 50$ mm,
Steigung $s = \text{Modul } 3 = 3\pi$.

Es ist dann $\frac{s}{d\pi} = \frac{3 \cdot \pi}{50\pi} = \frac{3}{50} = 0,06 = \text{Tangens des Steigungswinkels}$.

In der Tabelle finden wir dafür als nächstliegenden Wert 0,061, entsprechend einem Winkel von $3^\circ 30$ Minuten.

Bei mehrgängigen Schnecken ist der dementsprechende größere Modul einzusetzen. Für eine doppelgängige Schnecke wäre also im letzten Beispiel für die Steigung $2 \times 3 = 6$ einzusetzen.

In vorstehenden Tabellen sind zu den gebräuchlichsten Schneckensteigungen und Durchmessern die Steigungswinkel angegeben.

12. Das Kopieren und die dazu erforderlichen Kurvenfräsmaschinen und -vorrichtungen.

a. Die Kurvenarten.

Zum Bearbeiten von Werkstücken und Werkzeugen mit geschwungenen oder profilierten Partien — Fassonstücke, Fräser, Schnitte und Gesenke — und zur Herstellung der in neuerer Zeit häufiger Verwendung findenden Kurvenscheiben, -schieben und -trommeln gibt es bereits eine Reihe gut ausgebildeter Fräsmaschinen und -Vorrichtungen. Da diese Maschinen meist nur für den besonderen Zweck zu gebrauchen sind, so lohnt ihre Anschaffung erst dann, wenn für sie dauernd Arbeit vorhanden ist. Daß dies noch nicht oft der Fall ist, beweist die große Zahl der Kopier- und Kurvenfräsvorrichtungen, die für den Aufbau auf den gewöhnlichen Fräsmaschinen bestimmt sind.

Das Kopieren bezweckt, einem zu bearbeitenden Werkstück die Form einer vorhandenen Schablone — Leitschiene, Originalkurve — zu geben. Das Kopieren geschieht dadurch, daß an der Schablone, welche mit dem zu bearbeitenden Werkstück in Verbindung steht, eine Leitrolle, welche mit dem arbeitenden Fräser verbunden ist, entlang gleitet und somit den Fräser zwingt, alles ihm in den Weg kommende Material wegzunehmen.

Der Übergang von der Einzel- zur Reihenfertigung hat im Bearbeiten von kleineren Fassonstücken, die früher vom Schlosser oder nach dem Anreißen auf der Shaping-(Feil-)maschine bearbeitet wurden, einen großen Umschwung hervorgerufen, da sich nunmehr die Anfertigung einer kleinen Schablone lohnte, an der entlang in einer viel kürzeren Zeit das Werkstück fassoniert werden konnte. So wurden in ganz kurzer Zeit

Fräsmaschinen und -vorrichtungen Gemeingut, die früher nur in Betrieben mit ausgesprochener Massenfertigung verwendet wurden.

Bei diesem Bearbeiten der äußeren Flächen kommt es meist nur darauf an, eine dem Auge gefällige Form zu erzeugen; es müssen die Zugaben und Unebenheiten des Schmiedens und Gießens beseitigt werden. Die Arbeit geht am schnellsten vor sich, wenn der Arbeiter nach seinem Gefühl und Auge den Vorschub des Fräasers regelt, mit anderen Worten, wenn er mit der Hand den Vorschub und die Beistellung betätigt.

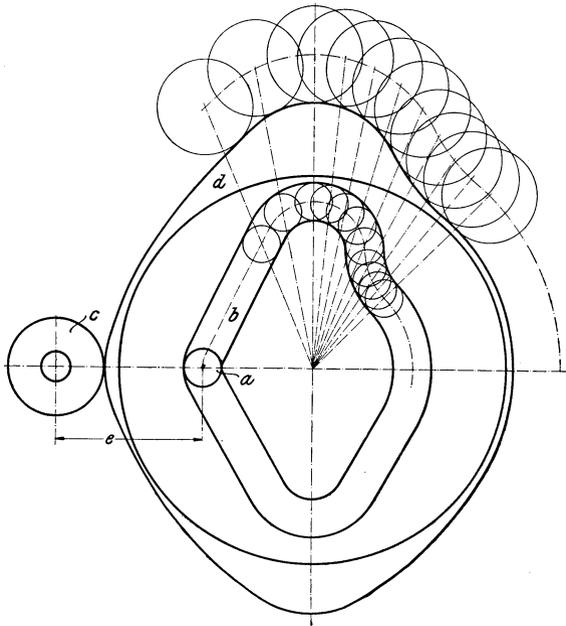


Abb. 256. Stirnkurve mit vergrößerter Schablone.

Die genaueste Übertragung der Kurven ergibt sich, wenn die Schablone erheblich größer im Durchmesser ist, wenn also ihre Übergänge sanfter als die der zu fräsenden Kurve sind (siehe die Abb. 256—258).

Es ist immer vorteilhaft, Schablonen zu verwenden, an denen das Profil in der Schaltrichtung des Fräasers vergrößert wiedergegeben ist. Stark gekrümmte Übergänge fallen an der vergrößerten Schablone weniger steil aus, weil die Vergrößerung nur in einer Verlängerung des Laufrollenweges, bei gleichbleibendem Hub besteht. Die Leitrolle kann der Bahn dann besser folgen, wodurch ein genaueres Kopieren gewährleistet wird. Die Abb. 256 und 257 stellen Kurven mit zweifach vergrößerten Schablonen dar. Wie ersichtlich, erhält eine solche vergrößerte Schablone ein wesentlich anderes Aussehen als die damit herzustellende Kurve. Das Aussehen verändert sich mit der Vergrößerung des Ver-

hältnisses derart, daß bei 5—8facher Vergrößerung die Rollenbahn b der Abb. 256 beinahe einem Kreise gleichen würde. Das Aufreißen einer solchen Schablone geschieht in der Weise, daß die Bahn der Rolle als Äquidistante (gleichen Abstand habende) der Fräserbahn aufgerissen wird. Man zeichnet zu diesem Zweck die Originalkurve auf und zieht, der Krümmung entsprechend, mehr oder weniger radiale Leitstrahlen,

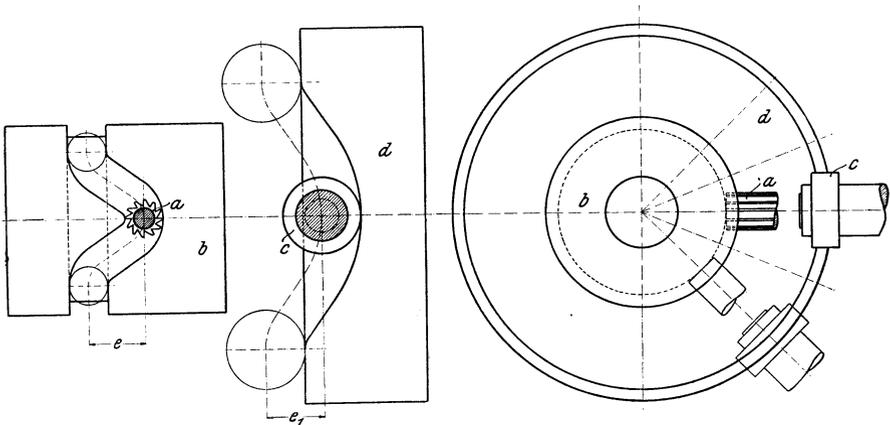


Abb. 257. Mantelkurve mit vergrößerter Schablone.

und trägt von der Mitte der Fräserbahn aus gleiche Teile e ab. Auf den so gefundenen Punkten werden dem Leitrollendurchmesser entsprechende Kreise geschlagen. Die Punkte ergeben den Leitrollenweg und die Kreise hüllen die Bahn der Schablone ein. Entsprechend der vergrößerten Schablone kann auch eine vergrößerte Leitrolle verwendet werden. In Abb. 256 sind die Leitstrahlen und der Leitrollenweg punktiert angegeben.

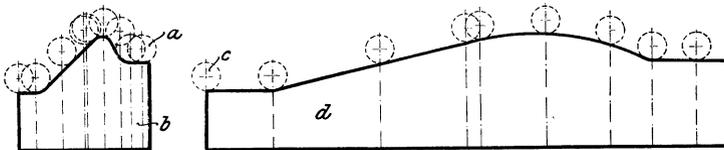


Abb. 258. Längskurve mit vergrößerter Schablone.

Das Aufreißen der vergrößerten Schablone für die in Abb. 257 dargestellten Mantelkurve geschieht in ähnlicher Weise. Die Kurven und die Rollenbahn müssen hier jedoch in der Abwicklung aufgetragen werden. Den Leitstrahlen entsprechend sind auf dem Mantel der Schablone parallel zur Achse laufende Risse zu ziehen, auf denen die Abweichungen aufzutragen sind.

In Abb. 258 ist der Weg des Fräasers a für eine Längskurve b mit den Leitrollenpunkten c einer verlängerten Schablone d dargestellt. Im

Verhältnis des Abstandes der Kreise a zu c muß dann der Vorschub von d größer wie der von b sein.

Die Herstellung der Schablone geschieht durch Aufreißen und Nacharbeiten von Hand oder durch Kopieren von einer bereits vorhandenen Kurve. Um das letztere zu ermöglichen, sind die meisten Maschinen und Vorrichtungen mit Zusatzvorrichtungen zum Drehen oder Fräsen ausgestattet.

Des einfachen Herstellens und des oft nötig werdenden Nacharbeitens halber werden alle Schablonen freiläufig ausgeführt.

Ein Nachteil aller bisher bekannten Fräsmaschinen und -vorrichtungen liegt in dem ungleichen Vorschub, der sich daraus ergibt, daß an steilen Kurvenpartien zu dem Hauptvorschub ein erheblicher seitlicher Zusatzvorschub einsetzt, infolgedessen sich der Vorschub in mäßigen Grenzen halten muß. Es wäre eine dankbare Aufgabe, die Frage eines Vorschubes der Abwicklung der Kurve entsprechend zu lösen. Beim Drehen der Radsätze für den Eisenbahnwagenbau sind darin bereits Ansätze gemacht worden, doch ist von deren Übertragung auf das Kurvenfräsen noch nichts bekannt geworden.

Den Anleitungen zum Kurvenfräsen seien zunächst einige kurze Beschreibungen der bekanntesten Sondermaschinen dieses Gebietes vorausgeschickt.

b. Die Kopier- und Kurvenfräsmaschinen.

Die Kopierfräsmaschine von Ludw. Löwe & Co. in Berlin.

In Abb. 259 ist eine sehr brauchbare Fräsmaschine zum Bearbeiten kleinerer Fassonteile nach dem Kopierverfahren veranschaulicht.

Auf dem reichlich breit gehaltenen Arbeitstisch wird neben dem zu fräsenden Werkstück eine genau die gleichen Abmessungen enthaltende Schablone befestigt, und zwar in einem Abstände, der dem entspricht, den der Kopierstift (Leitrolle) zum Fräser hat. Es ist ratsam, den Kopierstift etwas konisch zu machen, damit kleinere Maßdifferenzen, die sich beim Fräsen ergeben, durch Höher- und Tieferstellen des Kopierstiftes auszugleichen sind.

Die beiden Frässpindeln sind an einen gemeinsamen Schlitten angeordnet, der durch Zahnstange, Ritzel und Handräder verschiebbar ist. Jedoch hat jede Frässpindel ihre eigene Höhenverstellung, die durch den darüber befindlichen Handhebel betätigt werden kann. Da eine Feder beim Loslassen des Hebels die Frässpindel wieder nach oben zieht, ist die Einrichtung getroffen, durch eine seitlich angebrachte Feststellvorrichtung mit Einfallschieber die Frässpindeln in jeder gewünschten Höhenlage einzustellen.

Der Antrieb der Frässpindeln erfolgt durch Schraubenräder, die von einer gemeinsamen Welle mit Stufenscheibe ihre Umdrehungen erhalten.

Die links am Bett angeordnete Kurbel dient zur Vor- und Rückwärtsbewegung des Arbeitstisches, während die rechts sichtbare Kurbel die Querbewegung des Frässpindelschlittens bewirkt. Diese beiden sich kreuzenden Bewegungen ermöglichen es, jede nur denkbare Kurve zu verfolgen.

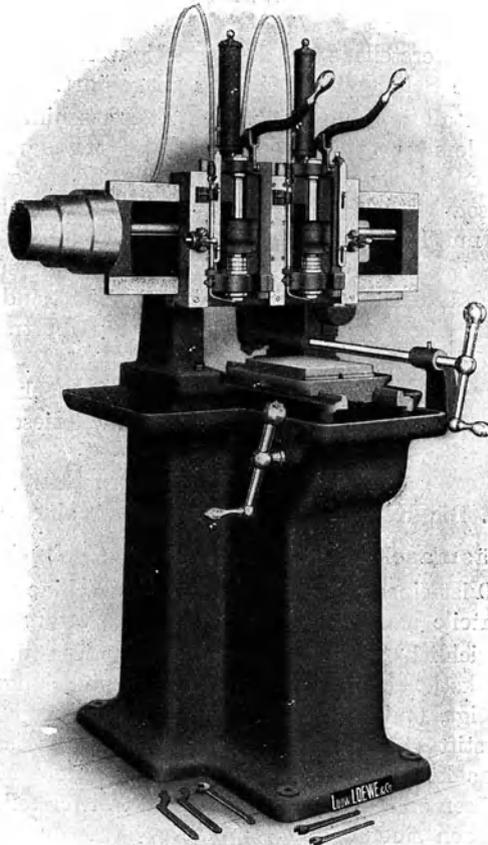


Abb. 259. Die Kopierfräsmaschine von Ludwig Löwe & Co.

Die zweite Frässpindel dient entweder zum Fertigfräsen oder zum Fräsen einer zweiten Fassung, z. B. wenn außer der seitlichen Fassung noch eine geschweifte Oberfläche zu bearbeiten wäre. Der zweite Fräser müßte dann abgerundete Stirnschneidzähne besitzen. Jedoch ist auch die Möglichkeit gegeben, mit einer Frässpindel mehrere seitliche Fassungen und eine obere Fassung zu fräsen. In diesem Falle werden die zusammenpassenden Fräser und Kopierstiftrollen übereinander auf Frässpindel bzw. Kopierstift gespannt. Die richtigen Stellungen werden durch Ein-

schnitte in der Feststelleinrichtung erreicht bzw. für das Fräsen der Oberfläche durch Freigeben der letzteren.

Die Bewegungen der Supporte werden beim Fräsen sämtlich von Hand ausgeführt, so daß über Stellen, an denen wenig Material wegzunehmen ist, schnell hinweggegangen werden kann.

• Neben dem Kopieren kann die Maschine natürlich auch zum Abplanen kleiner Werkstücke benutzt werden.

Die Fassonfräsmaschine zum Ausarbeiten der Schnitte und Gesenke von Curd Nube in Offenbach a. M.

Die in Abb. 260 wiedergegebene Maschine hat auf dem Gebiete der Schnitte- und Gesenkeherstellung große Vorteile gebracht, indem sie die zeitraubende Handarbeit erheblich verkürzte. Nahm man auch die hohen Herstellungskosten für Schnitte und Gesenke — weil man es

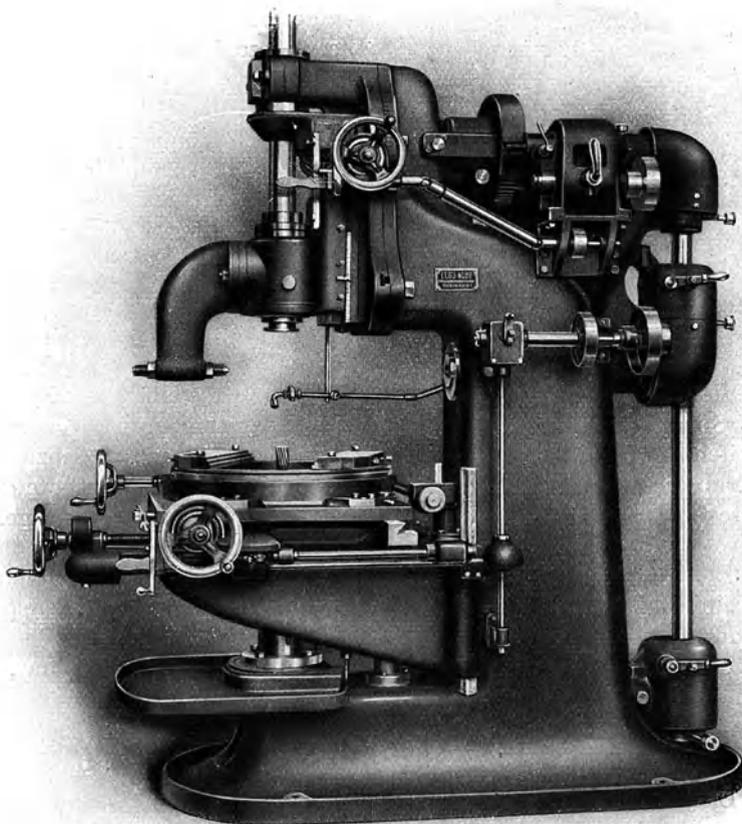


Abb. 260. Die Fassonfräsmaschine von Curd Nube.

nicht anders kannte — ruhig in den Kauf, so verursachte jedoch die lange Herstellungszeit in eiligen Fällen heillose Störungen. Die obige Maschine hat in eine sonst stiefmütterlich behandelte Ecke des Werkzeugbaues neuzeitliches Arbeitstempo gebracht.

Die Vorteile dieser Maschine liegen in der bequemen Anordnung der drei Frässpindeln, die das verschiedenartigste Bearbeiten der Werkstücke ermöglichen. Wie aus dem Bilde ersichtlich ist, besitzt die Maschine über dem Arbeitstisch eine wagerechte und eine senkrechte Frässpindel und durch den Arbeitstisch gehend eine weitere senkrechte Frässpindel.

Während die wagerechte Frässpindel gewöhnlichen Arbeiten dient, wird die obere senkrechte vorzugsweise zum Ausarbeiten der Gesenke benutzt; sie ist auch um 30° nach jeder Seite schwenkbar, um konkave und konvexe Kegelflächen mittelst gerader Fräser bearbeiten zu können. Die untere senkrechte Frässpindel dient ausschließlich für Durchbrechungen der Schnitte usw. Die Frässpindeln können sowohl gemeinsam als auch einzeln, jede für sich, arbeiten.

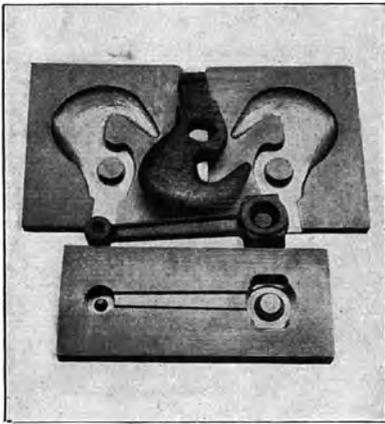


Abb. 261. Fräsarbeiten.

Die Abb. 261 zeigt an einigen Arbeitsbeispielen die Vielseitigkeit der Maschine.

Die Kurvenfräsmaschine von J. E. Reinecker in Chemnitz.

In Abb. 262 ist eine weitere Maschine zur Herstellung der Zylinder- oder Stirnkurven dargestellt, und zwar mit einem Apparat zum Bearbeiten der Stirnkurven. Die Schablone und mit ihr der ganze Tisch wird an dieser Maschine durch die deutlich sichtbaren Gewichte gegen die feststehende Leitrolle gedrückt und überträgt dadurch die genaue Kurve auf das eingespannte Werkstück.

Der Antrieb der Frässpindel geschieht durch eine Stufenscheibe. Von ihr wird auch durch Stufenscheiben und Zahnräder die Aufspannspindel für die Kurven angetrieben.

Zum Fräsen der Mantelkurven dient ein ähnlicher Apparat, der auch auf den Maschinentisch geschraubt wird.

Die Kurvenfräsmaschinen von Curd Nube, Offenbach a. M.

Eine gut durchgebildete Kurvenfräsmaschine für Stirn- und Mantelkurven zeigt die Abb. 263. Es ist hier zum Fräsen von Mantelkurven nur eine einfache Planschablone erforderlich, die eine wesentliche Ver-

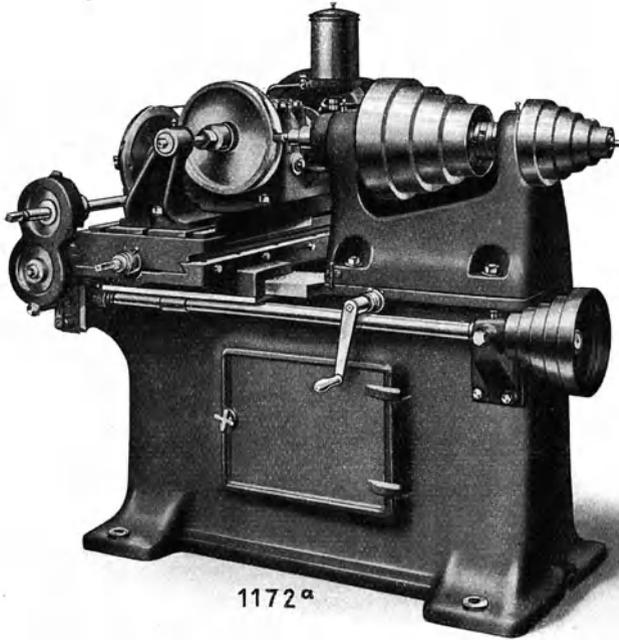


Abb. 262. Die Kurvenfräsmaschine von J. E. Reinecker.

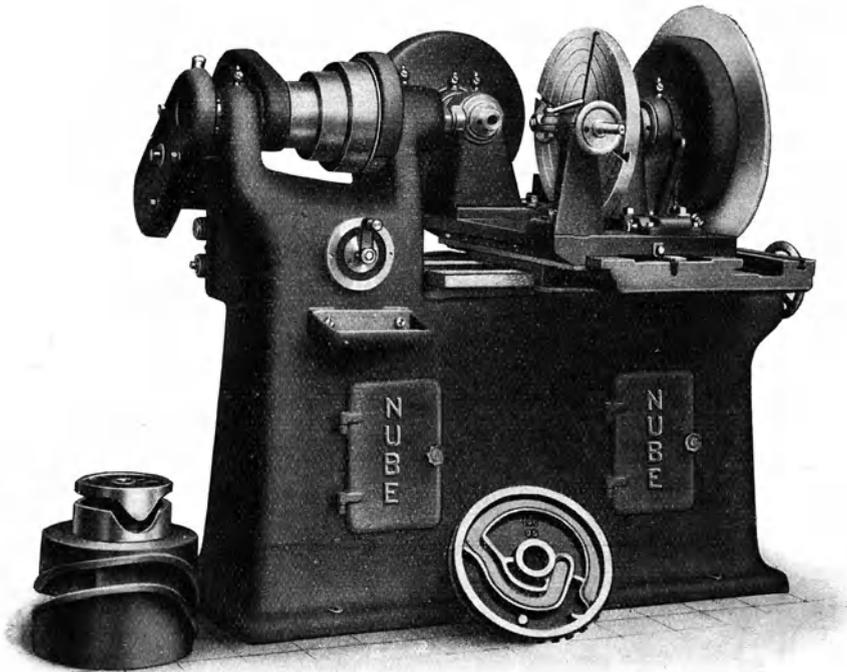


Abb. 263. Die Wagrecht-Kurvenfräsmaschine von Curd Nube.

größerung des Kurvenprofils ermöglicht. Beim Fräsen von Stirnkurven wird der mittlere Spindelstock und Reitstock abgenommen. Der Antrieb für den Aufspannspindelstock wird zwangsläufig durch Zahnräder von der Frässpindel abgeleitet. Der unter der Stufenscheibe sichtbare Hebel dient zur Geschwindigkeitsregulierung und ermöglicht bei steilen Übergängen ein rasches Umschalten auf langsameren Gang. Durch ihre kräftige Bauart läßt sich die Maschine bei festgestelltem Spindelstock zu allen Rundfräsarbeiten verwenden.

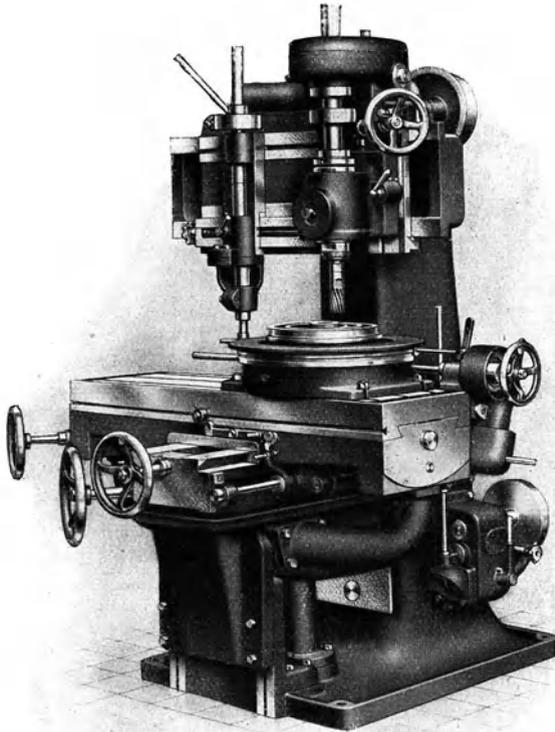


Abb. 264. Die Senkrecht-Kurvenfräsmaschine von Curd Nube.

Die Abb. 265 zeigt eine gute Lösung für das Kopieren steiler Mantelkurven. Die Kurve ist hierbei, wie bei der in Abb. 264 dargestellten Maschine, auf eine große Scheibe abgewickelt und wird von dieser auf das Werkstück, die zu fräsende Mantelkurve übertragen. Dies geschieht dadurch, daß die scheibenartige Schablone auf einen Rundsupport gespannt wird und durch die Kopierrolle dem Fräser die erforderliche Seitenbewegung zum Ausarbeiten der Kurvenbahn erteilt. Das Werkstück sitzt dagegen auf einem wagerechten Rundfräsapparat, der mit dem gleichen Übersetzungsverhältnis angetrieben wird.

Bei flacheren Mantelkurven wird dagegen auch die Schablone auf den wagerechten Rundfräsapparat — ähnlich der Abb. 274 — gespannt.

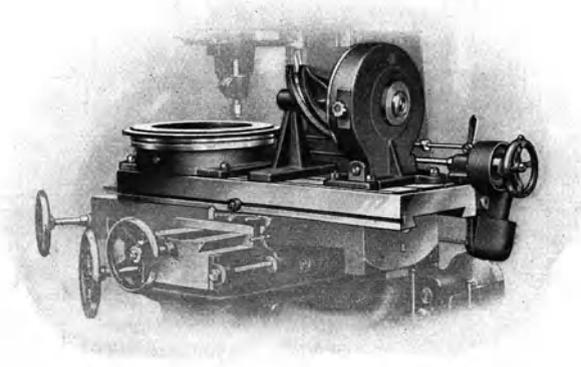


Abb. 265. Das Fräsen steiler Mantelkurven.

Sobald Schablone und Werkstück übereinander angeordnet werden, lassen sich diese Kurven auch auf gemeinsamen Rundtisch herstellen (siehe Abb. 264). Bei vergrößerten Schablonen bietet diese Anordnung große Bequemlichkeit und gewährleistet äußerst genaue Übertragung der Kurvenform.

c. Die Kurvenfräsvorrichtungen.

1. Die Längskurven.

Als Beispiel für diese Kurvenart sei angenommen, daß der bereits gedrehte Profilfräser *W* der Abb. 267 auf einer Universalfräsmaschine mit gerieften Schneidzähnen versehen werden soll. Da bei demselben alle gleichen Punkte der Zähne in irgend einem Querschnitte des Fräasers gleichweit vom Mittelpunkt liegen müssen, so muß außer der Schaltbewegung des Tisches noch eine — bei jedem Zahn gleichbleibende —, dem einschneidenden Fräser sich nähernde und entfernende Bewegung hinzutreten, die durch die Einrichtung einer Kopiervorrichtung ermöglicht wird. Eine solche Kopiervorrichtung stellen die Abb. 266 und 267, an einer Universalfräsmaschine angebracht, dar. Der sonst durch Spindel verstellbare Winkelsupport hängt, durch Gewichte ausbalanciert, frei an den Prismen *B* des Maschinengestells. An diesen hängt über dem Winkelsupport das Druckstück *D*, in dessen kurzer, ebenfalls senkrechter Prismaführung das Rollenstück *K* vermittelt der Spindel verstellbar werden kann. Das Rollenstück *K* trägt auf einen Bolzen die Leitrolle *J*, welche zwecks genauen Kopierens dem Durchmesser des arbeitenden Fräasers gleich sein muß. Auf dem Arbeitstische *A* wird nun in geeigneter Weise die Leitschiene oder Schablone *T* derart befestigt, daß sie unter der Rolle *J* zu liegen kommt. Die Leitschiene *T* (Abb. 267) ist eine Wieder-

gabe des Profiles des zu bearbeitenden Werkstückes, in diesem Falle des Fräfers *W*. Sie wird am zweckmäßigsten aus 5 mm starkem Stahlblech hergestellt.

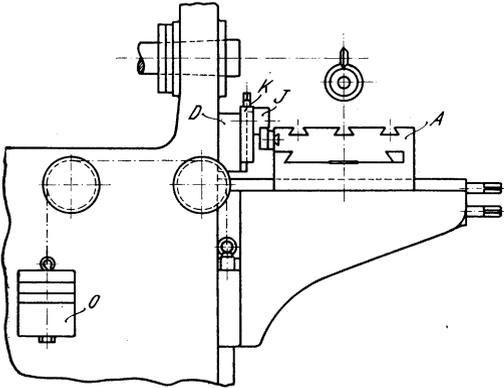


Abb. 266.

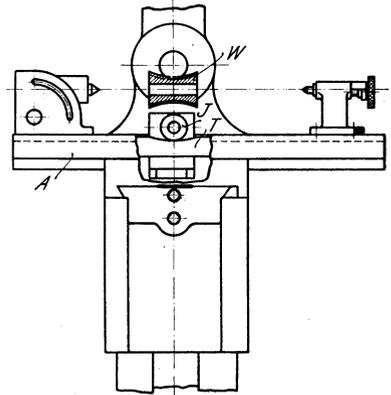


Abb. 267.

Die Fräsvorrichtung zum Kopieren eines geriffelten Profilfräasers.

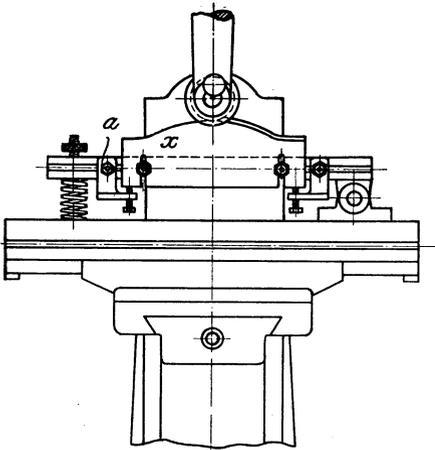


Abb. 268.

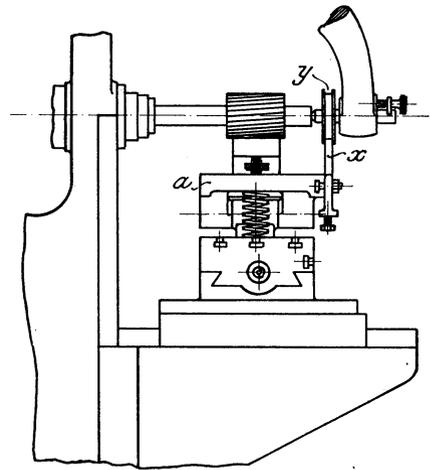


Abb. 269.

Die Kopiervorrichtung für Längskurven.

Mit dieser Kopiervorrichtung lassen sich viele, sonst nur auf Sondermaschinen herzustellende Fräsarbeiten ausführen, nur darf an ihnen keine Schweifung einen kleineren Radius haben als die Leitrolle *J* oder der arbeitende Fräser. Die eben beschriebene Anordnung kann natürlich auch dergestalt getroffen werden, daß die Leitschiene *T* an dem Druckstück *D*, durch Spindel verstellbar, befestigt und die Rolle *J* an dem Tisch *A* gelagert wird.

Werden bei der Bearbeitung eines solchen Fräasers Tischspindel und Teilapparat vermitteltst Wechselläder verbunden, so lassen sich auch spiralgewundene Schneidzähne herstellen.

Das dieser Einrichtung zugrunde liegende Prinzip finden wir auch an den Kopiervorrichtungen der Senkrechtfräsmaschinen.

Eine weitere einfache Kopiervorrichtung, die sich auf den meisten Fräsmaschinen anbringen läßt, zeigen die Abb. 268 und 269. Sie besteht aus einer Aufspannplatte *a*, die an einem Ende schwingend am Tisch befestigt und am anderen Ende durch Federn oder Gewichte nach oben gedrückt wird. Die Schablone *x* wird zweckmäßig seitlich gegen die Aufspannplatte geschraubt und so angeordnet, daß sie in senkrechter Richtung durch Stellschrauben verschoben werden kann. Die Leitrolle *y* wird auf den Gegenlagerhalter gesetzt.

2. Die Stirnkurven.

Wenn sich die Kurvenbahn an der Stirnseite, Peripherie oder im Innern der Scheibe befindet und ihr Anfangs- und Endpunkt zusammenlaufen, so ist zu ihrer Herstellung statt der Längsbewegung eine Rund-

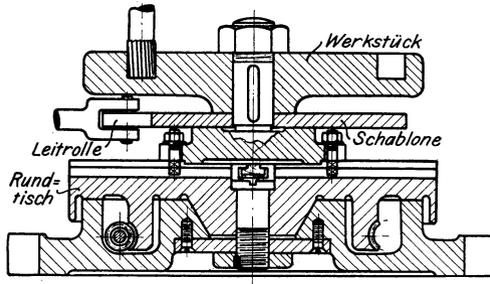


Abb. 270. Die Kopiervorrichtung für Senkrechtfräsmaschinen.

schaltung des Werkstückes oder des Fräasers erforderlich. Die Abweichung von der Kreisbahn wird auch hier durch eine gerade Verschiebung erreicht. Die Schablone ist in diesem Falle eine unrunde Scheibe.

Auf den mit Rundfräs- und Kopiervorrichtung ausgerüsteten Senkrechtfräsmaschinen lassen sich die Stirnkurven ohne weiteres herstellen. Die Schablone wird dabei entweder mittelst Dornes oder entsprechender Unterlagen zentrisch auf dem Rundtisch befestigt und das Werkstück darauf gespannt.

Die Abb. 270 zeigt eine derartige Anordnung. Der Rollenhalter muß gegen die Frässpindel verschiebbar sein, um den genauen Durchmesser der Kurve einzustellen. Bei freiläufigen Kurven geschieht auch das Anstellen zum Schnitt durch den Rollenhalter. Bei zwangsläufigen Kurven empfiehlt es sich, die Kurve mit einem kleineren Fräser vorzufräsen.

Einen recht handlichen Kurvenfräsapparat, der auf den meisten Fräsmaschinen Verwendung finden kann, baut J. E. Reinecker in Chemnitz. Er ist in Abb. 272 wiedergegeben. In den Prismaführungen des Unterteiles *a* wird durch Gewichtsdruck der Spindelstock *b* verschoben. Die Spindel *c* ist vorne zur Aufnahme der zu fräsenden Kurve und hinten zur Aufnahme der Schablone *d* eingerichtet. In einem geschlossenen Rahmen sitzt ferner auf *c* das Schneckenrad *f*, das seinen Antrieb von der langen Schnecke der Welle *g* erhält. Eingeleitet wird der Antrieb von der Welle *h*. Beim Arbeiten drücken die Gewichte den Schieber *b* und die Schablone *d* gegen die Leitrolle *e* und sichern dadurch die Kopie der Schablone an der aufgespannten Kurve.

3. Die Mantelkurven.

Wie schon der Name sagt, befinden sich die Formen dieser Kurven auf den Mänteln der Zylinder oder Trommeln, wie es die Abb. 273 zeigt.

Das Bearbeiten dieser Kurven kann mit geringen Abänderungen auf einer ähnlichen Vorrichtung geschehen. Der Teilapparat steht dabei in seiner normalen Stellung, senkrecht zur Frässpindel (Abb. 274). Die zu fräsende Kurve sitzt auf einem im Teilapparat und in der Gegenspitze befestigten Dorne, welcher auch die Schablone trägt. Die Rolle ist hierbei seitlich, meist auf der Außen-

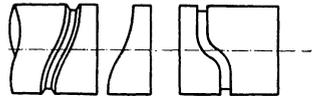


Abb. 273. Die Mantelkurven.

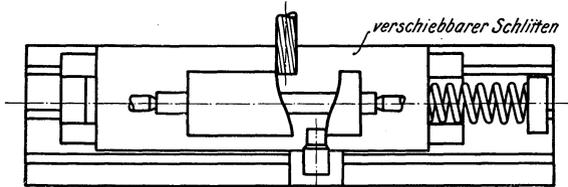


Abb. 274. Die Kopiervorrichtung für Mantelkurven.

seite, befestigt, wobei zu beachten ist, daß die Form der Kurve gegensätzlich um soviel verdreht ist, als die Entfernung von Rolle und Fräser beträgt, z. B. in Abb. 274 um 180° .

Bei der nun erfolgenden langsamen Schaltungsumdrehung muß sich der Tisch mit den Kurven genau um soviel seitlich verschieben, als durch die Form der Schablone bedingt wird. Die Rolle darf natürlich nicht am verschiebbaren Schlitten, sondern an dem feststehenden Support befestigt werden.

Es kann diese Kurvenart aber noch einfacher aufgespannt werden, und zwar auf der in Abb. 275 wiedergegebenen Vorrichtung, wobei der

zweite Support nicht nötig ist. Zwischen Teilapparat und Gegenspitze ist der zylindrische Dorn eingespannt, auf dessen Hülse die Originalkurve und das zu fräsende Werkstück sitzen. Eine Spiralfeder drückt nun die Originalkurve an die Leitrolle, die auf dem Arbeitstische befestigt ist.

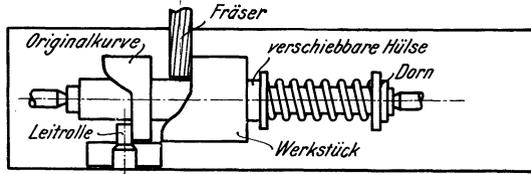


Abb. 275. Einfache Kopiervorrichtung für Mantelkurven.

Die Mantelkurven, ähnlich wie sie die Abb. 276 darstellt, fertigt man zweckmäßig auf folgende Weise an: Die glatte Trommel wird überdreht und auf den betreffenden Stellen mit den nötigen Kurvenstücken besetzt, welche durch Schrauben befestigt und dann fertig gefräst werden.

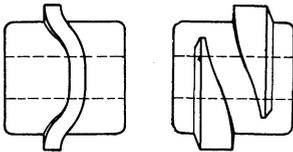


Abb. 276. Aufgesetzte Kurvenstücke.

Bei Kurven, wie Abb. 277 zeigt, wo von Kreisabweichungen nicht mehr die Rede sein kann, ist die schaltende Bewegung keine rotierende, sondern eine Längsbewegung des Tisches, und die Rolle *J* erteilt durch Laufen in der Schablone *T* der Kurve die gewünschte Abweichung von der geraden Linie. Die Abbildung zeigt diese Anordnung auf einem Dorne mit eingestellter Rolle *J*, Schablone *T*, zu fräsender

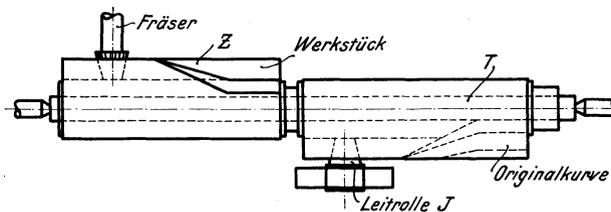


Abb. 277. Das Kopieren einer Steuermuschel.

Kurve *Z* und arbeitendem Fräser. Hierbei hat natürlich der Dorn mit den Kurven lose zwischen Spitzen zu hängen, und ist nur vor seitlicher Verschiebung zu sichern. Es ist demnach die Andrückung durch eine Feder nicht nötig, weil die in die Schablone *T* eingreifende Rolle *J* allein die Drehung und Führung der Kurve sichert.

Die Abbildung zeigt die Steuermuschel einer Hobelmaschine, die wohl meist, wie eben beschrieben, also nach Abb. 277, gefräst wird.

Außerdem kann dieselbe auf der Universalfräsmaschine in folgender Weise ausgearbeitet werden: Die spiralförmige Windung *b* (Abb. 278) wird, da sie ein Teil eines regelrechten Schraubenganges ist, mit dem Teilapparat hergestellt.

Nach den vorangegangenen Erläuterungen läßt sich die Spiralsteigung sehr leicht ermitteln. Soll z. B. auf 135 mm Länge $\frac{1}{8}$ Umdrehung stattfinden, so wird die Steigung der Spirale $135 \cdot 8 = 1080 \text{ mm} \sim 43''$ engl. sein, worauf die dafür nötigen Wechselräder angesteckt, jedoch noch nicht mit dem Teilapparate verbunden werden; man fräst vielmehr erst den geraden Teil *a* der Muschel und schaltet nach Fertigstellung desselben für die Herstellung des Teiles *b* die Wechselräder ein, und nach Durchlaufen desselben wieder aus, um nunmehr den geraden Teil fertig zu stellen. Auf diese Weise lassen sich bei einiger Aufmerksamkeit sehr schnell gute Ergebnisse erzielen und es erübrigt sich vor allem das zeitraubende Herstellen einer Schablone.

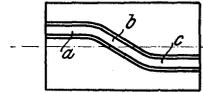


Abb. 278.
Teile der Kurvenbahn.

13. Das Fräsen von Schraubengewinden.

a. Allgemeines.

Die infolge des scharfen Wettbewerbes immer mehr um sich greifende Spezialisierung der Betriebe und die Herstellung großer Mengen austauschbarer Teile förderten die Einführung des GewindefräSENS in hohem Maße. In der Kraftwagen- und Fahrradindustrie schon vor langer Zeit allgemein angewendet, wurde es doch erst durch die während des Krieges auf alle Betriebe verteilte Waffen- und Geschößherstellung allgemein bekannt und gewürdigt. Der Herstellung der Gewinde mit Einzelstichel oder Strehler auf der Drehbank wird das Fräsen immer überlegen sein, ja selbst bei der Herstellung der Schrauben auf der Revolverbank oder dem Automaten kann das Fräsen der Gewinde auf besonderen Maschinen unter Umständen wirtschaftlicher sein als das direkte Schneiden vermittelt Schneideisens. Ganz besonders, wenn es sich um die Bearbeitung hochwertigen Materiales handelt, ist eine genaue Kalkulation erforderlich. Durch den Wegfall des langsameren Laufes beim Gewindefräsen, ferner der toten Zeit bei dem öfteren Auswechseln und Justieren der Schneideisen wird die Leistung des Automaten eine ganz bedeutend höhere sein. Außerdem fällt der viele Ausschuß infolge ausgerissener Gewinde weg und nicht zuletzt die Kosten für die Schneideisen selbst. Selbstverständlich kann für derartige Zwecke keine teure Universalgewindefräsmaschine in Frage kommen, sondern den Arbeitsstücken entsprechende einfache Maschinen, von denen ein Arbeiter zwei bis drei Stück bedienen kann (vgl. Abb. 287). Am verbreitetsten und wohl auch am wirtschaftlichsten ist das Fräsen von kurzen Spitzgewinden an Bolzen

und Muttern mit mehrreihigen Fräsern (Abb. 279 u. 280). Der Fräser muß dabei mindestens eine der Gewindelänge entsprechende Breite haben, so daß das ganze Gewinde bei einer vollen Umdrehung des Werkstückes fertig gefräst ist. Abb. 281 zeigt einen solchen Fräser für Spitzgewinde.

Das Fräsen von Innengewinden nach Abb. 280 setzt immer einen gewissen lichten Durchmesser des Arbeitsstückes voraus, da der Fräser

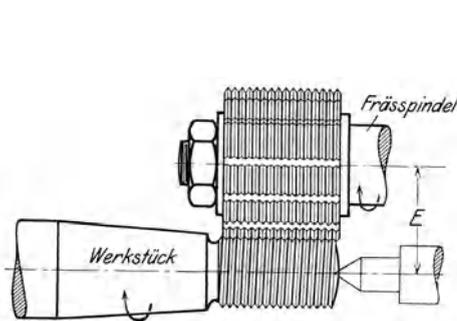


Abb. 279. Fräsen von Außen-Spitzgewinde.

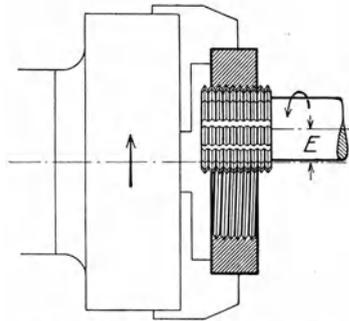


Abb. 280. Fräsen von Innen-Spitzgewinde.

höchstens den halben Durchmesser des zu fräsenden Innengewindes haben soll. Anderenfalls tritt durch die rechtwinklig zur Achse verlaufenden Zähne des Fräfers eine Verzerrung der in der Steigung schräg liegenden Gewindeflanken ein ¹⁾. Für kleinere Durchmesser macht man zu diesem Zweck die Fräser mit dem Schaft aus einem Stück, wie die

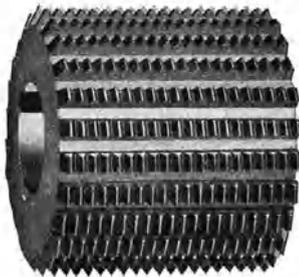


Abb. 281. Der Spitzgewindefräser.

Abb. 280 zeigt. Zur Erreichung austauschbarer Gewinde ist es erforderlich, die Einstellung der Frässpindel zur Werkstückachse stets in die gleiche Stellung zu bringen. Die Beistellspindeln an den Fräsmaschinen tragen zu diesem Zwecke große Teilscheiben, die das Ablesen von 0,01 mm gestatten. Bei einer größeren Anzahl gleicher Teile ist es zweckmäßig, einen festen Anschlag anzubringen, durch den das Einstellmaß E (Abb. 279 u. 280) festgelegt wird. Zu bemerken ist noch, daß beim Fräsen von Außengewinden Fräser und

Werkstück gleiche, und bei Innengewinden entgegengesetzte Drehrichtung haben müssen.

Rechtwinklige Flachgewinde lassen sich nicht korrekt fräsen. Wie Abb. 282 schematisch zeigt, beträgt bei geringem Bolzendurchmesser die durch den Winkel α begrenzte Bogenstrecke, die der Fräser im Ein-

¹⁾ Vgl. Löwe-Notizen, 1920, Heft 7 u. 9.

griff steht, beinahe ein Viertel des Bolzenumfanges. Der rechtwinklige Fräser muß dementsprechend bei seinem durch den Winkel α begrenzten Ein- und Austritt die in der Schraubenwindung liegenden rechtwinkligen Flankenprofile angreifen und so das ganze Gewindeprofil verzerren. Nur bei ganz großen Durchmessern und geringer Steigung wird sich mit kleinen Fräsern ein annehmbares Ergebnis erzielen lassen.

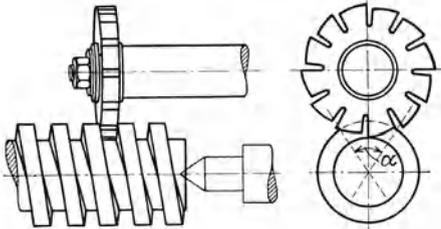


Abb. 282. Fräsen von Flachgewinde.

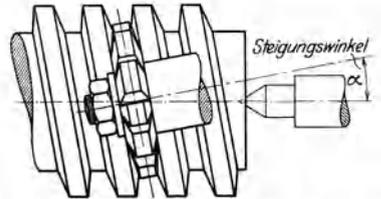


Abb. 283. Einstellung des Fräasers für Trapezgewinde.

In der Praxis wird aus den oben erwähnten Gründen für Transport- und Preßspindeln statt des Flachgewindes das sogenannte Trapezgewinde angewendet. Der Flankenwinkel soll dabei nicht unter 10° betragen. Am gebräuchlichsten, und wohl von dem Schnecken- und Zahnstangenfräser übernommen, sind $14\frac{1}{2}^\circ$ und 15° , so daß der beide Flanken einschließende Winkel 29° bzw. 30° beträgt, Abb. 284. Zweckmäßig wäre es, wenn auch hierüber eine Norm zustande käme¹⁾. Abb. 285 zeigt einen Fräser für Trapezgewinde. Durch die wechselweise versetzten Flankenzähne wird das Einhaken vermieden und ein sauberer Flankenschnitt erzielt.

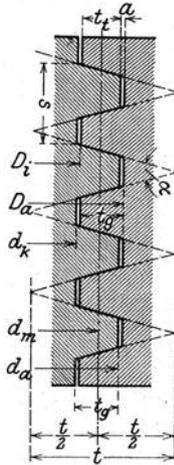


Abb. 284. Trapezgewinde.



Abb. 285. Fräser für Trapezgewinde.

Beim Fräsen von Flach-, Trapez- und Kordelgewinde muß der Fräser, um eine Verzerrung der Gewindeflanken zu vermeiden, sowohl genau im Steigungswinkel des Gewindes als auch genau auf Mitte Achse eingestellt werden.

Vergleiche Abb. 283. Zur Berechnung der Steigungswinkel darf in diesem Falle aber nicht der äußere, sondern der mittlere Ge-

¹⁾ Vom Normen-Ausschuß für die deutsche Industrie wurden inzwischen 30° als Norm vorgeschlagen.

windedurchmesser genommen werden. Da die Gangtiefe meist gleich der halben Steigung gemacht wird, ist also der mittlere Durchmesser $d_m = d_a - \frac{s}{2}$ (vgl. Abb. 284). Da das Gewinde nicht im Grund, sondern an den Flanken tragen soll, gibt man in der Mutter und im Kern etwas Spiel, vgl. a Abb. 284, so daß der Kerndurchmesser d_k um die Steigung $s + 2a$ kleiner als der Außendurchmesser d_a wird¹⁾.

Nachstehend sind die Verhältnisse der Abmessungen für Bolzen und Muttern zusammengestellt. (Vgl. Abb. 284.)

Außendurchmesser des Bolzens d_a wird, dem Verwendungszweck entsprechend bestimmt,

Steigung des Gewindes s ,

Tiefe des Gewindes $t_g = \frac{s}{2} + a$,

Kerndurchmesser des Gewindes $d_k = d_a - (s + 2a)$,

mittlerer Durchmesser $d_m = d_a - t_g$,

Tragtiefe des Gewindes $t_t = t_g - a$,

Außendurchmesser bzw. Gewindegrund der Mutter $D_a = d_a + 2a$,

innerer Durchmesser der Mutter $D_i = d_k + 2a$,

mittlerer Durchmesser der Mutter $D_m = d_m = t$.

b. Die Gewindefräsmaschinen.

Die hohen Anforderungen des Krieges haben eine große Anzahl Sondergewindefräsmaschinen und Apparate auf den Markt gebracht, von denen sich nur wenige für allgemeine Gewindefräsarbeiten eignen. Vereinzelt stellen sie recht unglückliche Konstruktionen dar, die außerdem noch durch mangelhafte Ausführung geeignet sind das Gewindefräsen in Mißkredit zu bringen. Erstes Erfordernis zur Erzielung eines richtigen sauberen Gewindes ist eine sichere solide Lagerung des Fräasers und der Aufspannschindel. Bei dem größten Teil dieser neu entstandenen Apparate und Maschinen wird der Vorschub für die Gewindesteigung durch eine mit der entsprechenden Steigung versehenen Leithülse bewirkt. Diese Leithülse sitzt auf der Aufspannschindel und es muß die Hauptschindel nach Fertigstellung eines Arbeitsstückes zurückgedreht werden. Das Auswechseln der Leithülse mit der zugehörigen Mutter ist meist recht umständlich, so daß derartige Maschinen nur für Sonderzwecke Verwendung finden können. Es soll daher hier nicht näher auf ihre Einzelheiten eingegangen werden. Nachstehend sind einige der bekanntesten Gewindefräsmaschinen näher beschrieben.

¹⁾ Vom N.-Ausschuß wurde vorgeschlagen für a durchweg für alle Durchmesser 0,25 mm anzunehmen, so daß der Kerndurchmesser d_k immer $s + 0,5$ mm kleiner als der Außendurchmesser d_a wird.

Die Universalgewindefräsmaschine der Wanderer-Werke A. G. in Chemnitz.

Die Konstruktion der in Abb. 286 dargestellten Maschine ist ihrem Zweck entsprechend bis ins kleinste durchdacht und die Ausführung eine äußerst vollkommene. Die Beistellungen der Supporte sind an bequem gelegenen Teilscheiben bis auf 0,01 mm genau ablesbar. Die selbsttätige Auslösung des Vorschubes arbeitet ebenfalls auf kleine Bruchteile eines Millimeters genau. Zum Fräsen mehrfacher Gewinde ist die Mitnehmerscheibe bzw. Futterscheibe mit einer Teilvorrichtung ausgerüstet. Die Frässpindel ist in jedem Winkel einstellbar, so daß außer dem Innen- und Außenspitzgewinde alle Trapez-

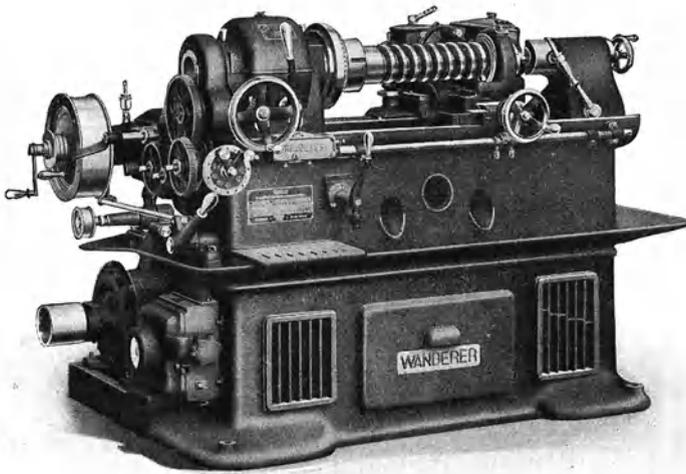


Abb. 286. Die Universalgewindefräsmaschine von Wanderer.

gewinde, Schraubenräder und steilgängige Schnecken gefräst werden können. Die Einstellung für verschiedene Steigungen erfolgt durch Wechselräder. Die Maschine wird für Einscheibenantrieb gebaut. Geschwindigkeitsregelung für Fräser und Vorschub erfolgt durch Satzräderkasten, deren Gänge durch Stellkurbeln und Ziehkeile verschoben werden. Die Umdrehungszahlen sind an den Stellscheiben ablesbar. Durch Umschalten des vornliegenden Handhebels kann der schnelle Rücklauf ohne Auslösung des Gewindes bewirkt werden. Infolge ihrer äußerst stabilen Bauart und der soliden Lagerung der Hauptspindeln ist die Maschine sehr leistungsfähig und auch besonders zur Herstellung langer schwerer Gewindespindeln geeignet. Sie wird dem Verwendungszweck entsprechend in verschiedenen Längen gebaut.

Die Gewindefräsmaschinen von Schilling und Krämer
in Suhl in Th.

In der Abb. 287 ist eine einfache Gewindefräsmaschine für Schraubenspindeln dargestellt. In der Hauptsache zum Fräsen von Gewinden an Schraubenspindeln, Achsen, Bolzen und Wellen bis 1000 mm Länge

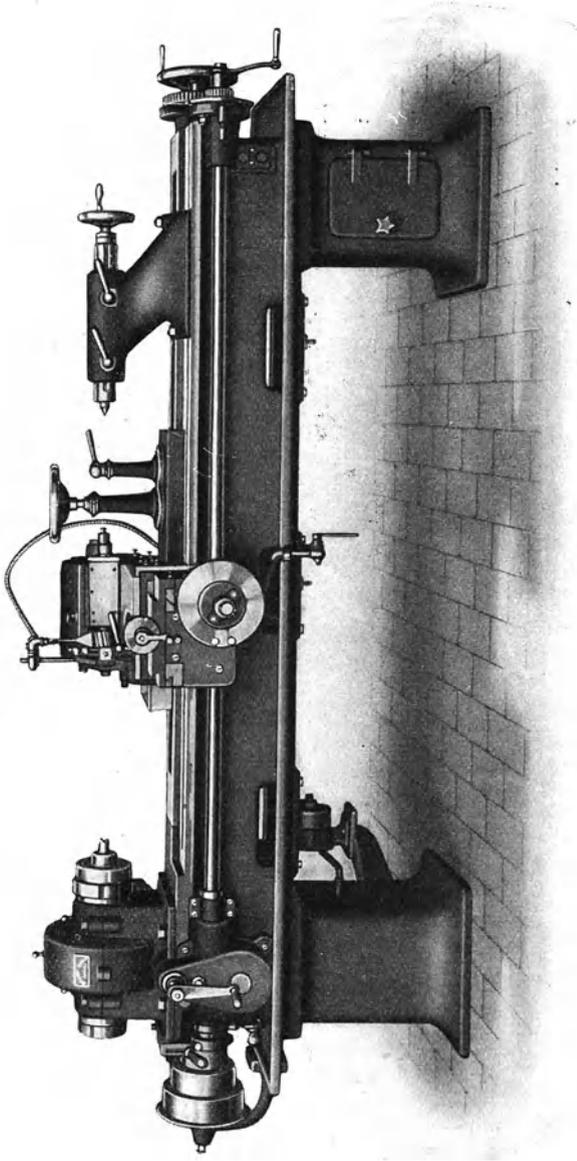


Abb. 287. Die Gewindefräsmaschine von Schilling und Krämer.

bestimmt, kann sie, da die Frässpindel in jedem Winkel einstellbar ist, auch zum Fräsen von Schraubenrädern und Schnecken bis zu 100 mm Durchmesser Verwendung finden. Die Maschine ist mit Einscheiben-Antrieb ausgestattet. Die Einstellungen für verschiedene Steigungen

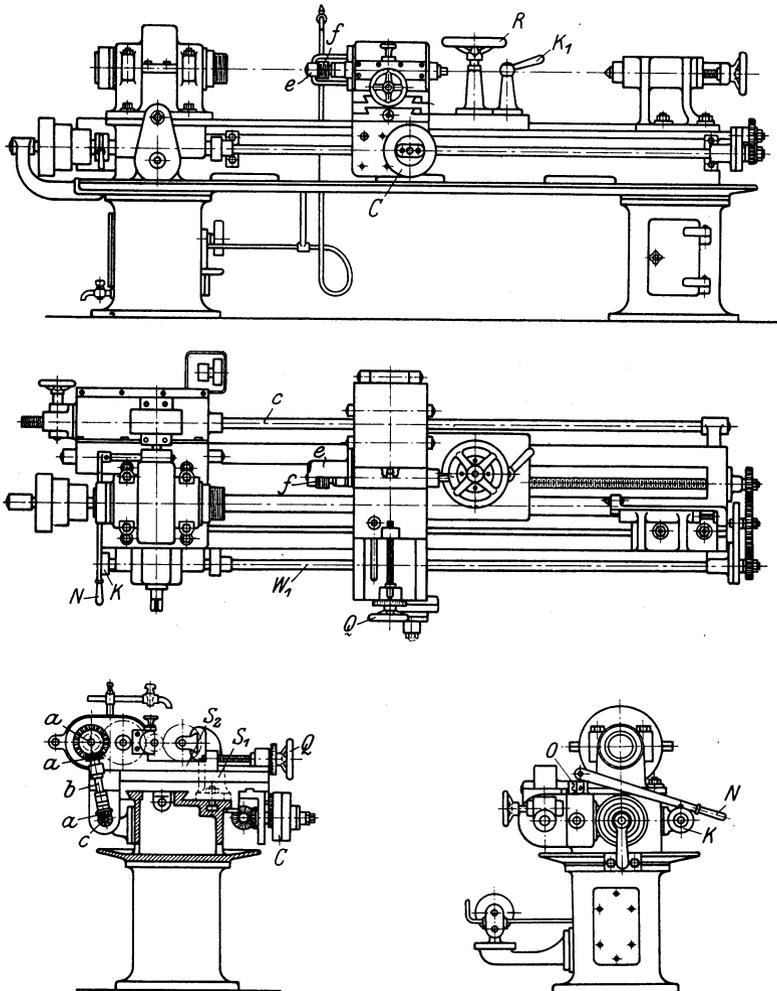


Abb. 288. Die Gewindefräsmaschine von Schilling und Krämer.

erfolgt durch Wechselräder zwischen Haupt- und Leitspindel. Die Maschine hat für bestimmte Fräslängen einstellbare selbsttätige Auslösung. Die Umschaltung für schnellen Rücklauf erfolgt von Hand. Der Spindelstock kann für mehrfaches Gewinde mit einer Teilvorrichtung und für Innengewinde mit einem Aufspannfutter ausgerüstet werden.

Eine weitere gut durchgebildete Gewindefräsmaschine der gleichen Firma ist in den Abb. 288—290 wiedergegeben. Sie zeigt im allgemeinen eine etwas schwerere Ausführung. Der Fräser f wird mittelst Kegelräder $a a$ und Pendelwelle b von der Schaftwelle c aus angetrieben, so daß das Trommelvorlege wegfällt. Die Frässpindel ist feststehend, zum Fräsen von Spitzgewinde mit mehrreihigem Fräser. Zum Fräsen von

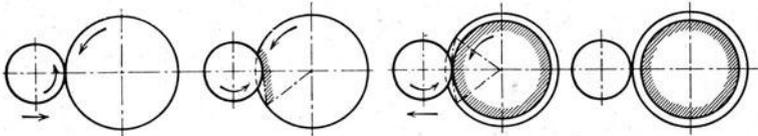


Abb. 289. Schema des Arbeitsvorganges.

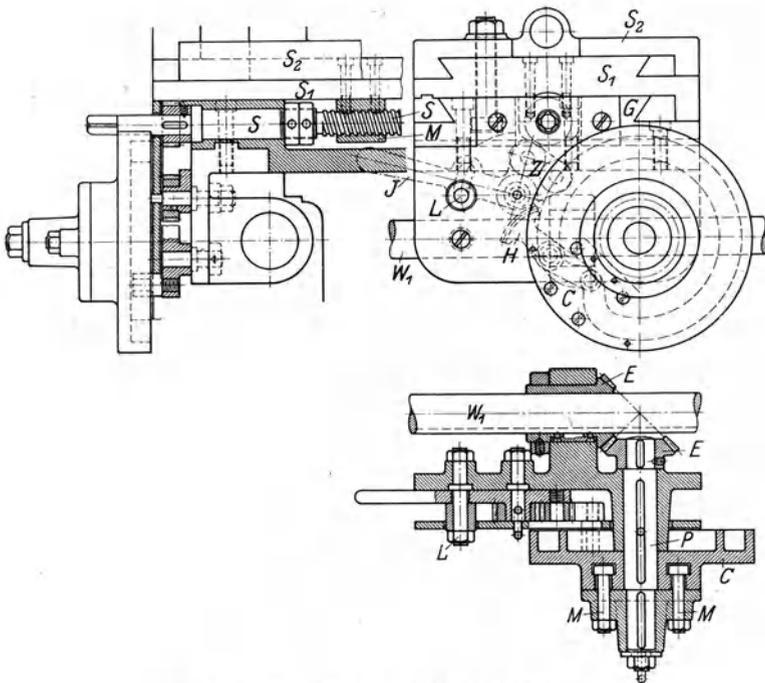


Abb. 290. Fräseranstellvorrichtung.

Innengewinden wird das Gegenlager e abgenommen, so daß der Fräsdorn freiliegt. Sie ist besonders zur Massenfertigung gleicher Teile geeignet und mit einer Einrichtung versehen, die den Fräser nach einer einmaligen richtigen Einstellung bei jedesmaligem Beginn des Fräsen auf die richtige Gewindetiefe schaltet und nach Fertigstellung des Gewindes wieder zurückführt. Bedingung ist dabei, daß die Fräserbreite der Gewindelänge entspricht, so daß das Gewinde bei einer einmaligen

Umdrehung des Werkstückes fertig gefräst ist. In der Abb. 289 ist der Arbeitsvorgang schematisch dargestellt. Zur vollständigen Fertigstellung eines Gewindes sind $1\frac{2}{10}$ Umdrehungen des Arbeitsstückes erforderlich. In der Abb. 290 sind die Einzelheiten der sinnreichen und doch äußerst einfachen Einrichtung wiedergegeben. Die vorn am Maschinenbett liegende Schaftwelle W_1 wird vom Hauptspindelstock derart angetrieben, daß sie bei $1\frac{2}{10}$ Umdrehungen der Hauptwelle genau eine Umdrehung macht. W_1 treibt vermittelt der Kegelräder EE die Kurvenscheibe C . Kurvenscheibe C betätigt den Doppelhebel H der mit seinem außenliegenden Zahnsegment in das Wendegetriebe Z eingreift. Die Kurvenbahn der Scheibe C liegt zu $\frac{8}{10}$ ihrer Gesamtlänge zentrisch zur Drehachse und zeigt für die restlichen $\frac{2}{10}$ Länge eine gleichmäßig nach innen und wieder nach außen gehende Abweichung. Der Hebel H wird also während 0,1 Drehung der Kurvenscheibe nach außen schwingen, während 0,8 Drehung still stehen und zum Schluß bei der weiteren restlichen 0,1 Drehung wieder nach innen gehen. Dementsprechend werden auch die Zahnräder Z , Spindel S , und vermittelt der Mutter M der Supportschieber S_1 bewegt. Das Wendegetriebe ist erforderlich, um die bei Innengewinde notwendige, entgegengesetzte Schaltung zu ermöglichen. Die Umschaltung für Innen- und Außengewinde erfolgt durch den Handhebel J der in den jeweiligen Endlagen durch die Schraube L festgezogen wird. Zur Einstellung des Fräasers dient der obere Supportschieber S_2 mit angegossenem Frässpindelstock. Er wird durch das Handrad Q betätigt. Die auf dem Handrad sitzende große Teilscheibe gestattet bequemes Ablesen der Beistellung bis zu 0,01 mm. Die Schaftwelle W_1 trägt am rechten Ende noch eine Knaggen-scheibe K , die vermittelt des Hebels N die Kupplung O auslöst und die Hauptspindel stillsetzt. Hebel N kann außerdem auch von Hand betätigt werden. Bei Beginn des Fräsens muß die Leitrolle des Hebels H auf dem niedrigsten Punkt der Kurvenbahn stehen. Zur leichten Einstellung der Kurvenscheibe ist dieselbe mit einer Schraubennute versehen und lose auf der Welle P drehbar. Vermittelt der Schrauben MM kann sie in jeder Stellung festgezogen werden. Nach Lösung des Knebels K_1 kann der Frässupport durch Handrad R auf der Wange von Hand verschoben und eingestellt werden. Durch die Einrichtung der selbsttätigen Einstellung und Auslösung kann ein Arbeiter bequem 3—4 solcher Maschinen bedienen.

14. Das Fräsen von Zahngetrieben.

a. Die Erzeugung richtiger Zahnformen.

Das Einarbeiten der Zähne in den vollen Zahnkranz, welches hauptsächlich durch das Fräsen geschieht, ist nach und nach im großen Umfange eingeführt worden, so daß heute nur noch Zahnräder für ganz untergeordnete Zwecke mit gegossenen Zähnen verwendet werden.

Die Zahnformen werden entweder mit Einzelprofilfräsern geschnitten oder an den Flanken von Fräsern durch Wälzbewegungen mechanisch entwickelt. Das letztere Verfahren wird allgemein als Wälzverfahren bezeichnet.

Wir unterscheiden ferner: gerade Zähne an Stirn- und Kegelrädern, schräge Zähne an Schneckenrädern mit geringer Zahnanlage und an Kegeln, spiralgewundene Zähne an Spiralzahn-, Schrauben- und Pfeilzahnradern, bogenförmige Zähne an Stirn- und Kegeln und geschweifte Zähne an Schneckenrädern.

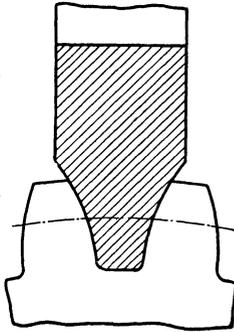


Abb. 291. Zahnrad-Scheibenfräser.

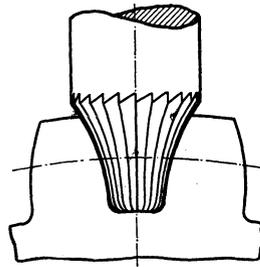


Abb. 292. Zahnrad-Fingerfräser.

Trotz der vielen Fortschritte im Erzeugen der Zahnformen wird in manchen Betrieben noch mit veralteten Verfahren gearbeitet, da einer genauen Verzahnung nicht die ihr zukommende Bedeutung beigemessen wird. Nachstehend soll nun ein kurzer Überblick über die Fortschritte und Verbesserungen im Fräsen der Zahnformen gegeben werden.

Von den Anfängen des Zähnefräsens sind uns zwei Arten bekannt, von denen das eine, die Herstellung der Zahnücke durch einen profilierten Scheibenfräser (siehe Abb. 291), noch heute allgemein angewendet wird, während das andere (siehe Abb. 292) nur noch zur Herstellung von Winkelzähnen oder nicht durchgehenden Zahnücken an Pfeilrädern, Kammwalzen und Antriebsritzeln dient. Gleichbleibende Zahnformen mit dem gleichen Fräser erzielte man beim ersten Verfahren auch erst nach Einführung des hinterdrehten Fräses, weil dadurch das Schärfen wesentlich vereinfacht wurde und das bei der Erzeugung des Fräses festgelegte Profil nicht verschliffen (verändert) werden konnte.

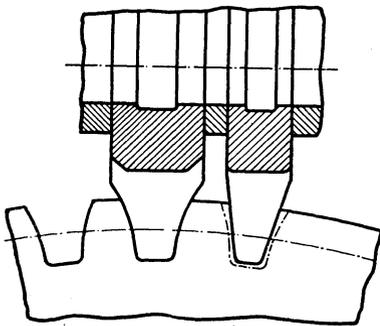


Abb. 293. Zahnradfräser mit Vorfräser.

Durch einen nach Abb. 293 mit dem Profilfräser zusammen arbeitenden Vorschneider läßt sich die Leistungsfähigkeit der Maschine, vorausgesetzt, daß sie stark genug ist, wesentlich erhöhen. Der Vorschub kann dabei nahezu verdoppelt werden. Außerdem wird dadurch die Lebensdauer des Profilfräasers wesentlich erhöht, denn er wird sich, da er nur die Hälfte des auszuarbeitenden Materials wegzunehmen hat, weniger erwärmen und wird länger scharf bleiben. Größere Teilungen, zu deren Ausarbeiten sonst mehrere Schnitte nötig sind, können bequem mit einem Durchgang fertiggestellt werden. Als Vorschneider läßt sich auch jeder schmale Fräser verwenden, sofern er die Flanken des Zahnes nicht angreift.

Die immer größer werdenden Aufgaben, die dem Maschinenbau nach und nach gestellt wurden, namentlich die weite Anwendung der Elektrizität als Betriebskraft und in letzter Zeit ganz besonders der Automobil- und Flugmotorenbau, bedingten gar bald eine wesentlich größere Genauigkeit der Räderverzahnung. Während man früher Zahnräder nur für niedrige Umdrehungszahlen in Anwendung brachte und Umfangsgeschwindigkeiten von 10 m in der Sekunde schon als Grenzwerte galten, findet man heute, namentlich im Automobilbau, Umfangsgeschwindigkeiten von 25 m in der Sekunde noch zugänglich. Beim Übergang zu den höheren Geschwindigkeiten stellten sich jedoch verschiedene Mängel heraus, und zwar das übermäßige laute Geräusch während des Laufens, die große Leerlaufarbeit und der rasche Verschleiß der Zähne.

Von verschiedenen Seiten wurden im großen Maßstabe Versuche angestellt, in welcher Weise man diesen Mängeln begegnen könnte. So wurden vor allem bestimmte Grundsätze für die Verzahnungsart der Zahnräder festgelegt, denen zufolge für besondere Beanspruchung die Zykloidenverzahnung und für gewöhnliche Beanspruchung die Evolventenverzahnung zur Anwendung kommen sollte.

Als Hauptursache der angeführten Mängel wurde jedoch sehr bald die ungenaue Ausführung der Flankenkurven an den zum Einschneiden der Zähne gebräuchlichen Fräsern gefunden. Man fand ferner, daß die korrekt ausgeführte Evolventenverzahnung den gestellten Anforderungen fast immer genügte. Es mußte also die Herstellung der Fräser in einer, eine wesentlich höhere Genauigkeit verbürgenden Weise erfolgen. Das bisherige Verfahren, nach einer in natürlicher Größe aufgerissenen Zahnform eine Blechlehre herzustellen und nach dieser wieder einen Profilstahl auszuarbeiten, der zur Herstellung des die Zahnform erzeugenden Fräasers dienen sollte, mußte zu Ungenauigkeiten führen.

Um die Profilstähle in genauester Weise anfertigen zu können, wendete Oberingenieur Lasche¹⁾ folgendes Verfahren an. Die Zahnform wurde in einer so vielfachen Vergrößerung aufgerissen, daß eine Ungenauigkeit in der Zeichnung ausgeschlossen war. Um das Zahnprofil wurde entsprechend seinem Vergrößerungsmaßstabe ein Kreis ge-

¹⁾ Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure Jahrg. 1899, S. 422.

zogen, der bei dem nun erfolgenden Photographieren zur Verkleinerung des Zahnprofils auf das natürliche Maß als Anhaltspunkt diene. Dieses Zahnprofil wurde nun auch photographisch auf den bereits vorgearbeiteten Profilstahl übertragen, worauf der Werkzeugschlosser das Fehlende nacharbeitete.

Das Wälzverfahren hat in der Erzeugung der Zahnformen unstreitig die besten Erfolge aufzuweisen. Wird ein Zahnrad von einem anderen angetrieben, so wälzen sich die im Eingriff stehenden Zähne an seinen Flanken ab. Dasselbe geschieht, wenn an Stelle des einen Zahnrades ein schneidendes Werkzeug z. B. ein Fräser gesetzt wird, auch er wird durch Wälzbewegungen die richtige Zahnform umhüllen. Ist sein Gegenrad noch nicht verzahnt, so arbeitet er infolge der Wälzbewegungen mechanisch die richtige Zahnform aus.

Das diesem Verfahren zugrunde liegende Prinzip besteht darin, daß zwei im Eingriff stehende Zahnräder sich abwickeln, wobei das eine als schneidendes Werkzeug ausgebildet wird, infolgedessen es an dem anderen eine genaue, ichtige Zahnform erzeugt.

Um die Art und Wirkungsweise der mechanischen Herstellung der Zahnflanken zu erklären, sei folgendes vorausgeschickt. Bekanntlich müssen ineinandergreifende Zahnräder mit gleichem Rollkreise (Zykloidenverzahnung) oder mit gleichem Eingriffswinkel (Evolventenverzahnung) konstruiert werden. Ebenso wird eine in gleicher Weise konstruierte Zahnstange in jedes Rad von beliebiger Zähnezahl eingreifen können. Wären nun die Zähne einer Zahnstange als Werkzeuge ausgebildet, beispielsweise mit Feilhieben versehen, und sollte in sie ein Zahnrad zum Eingriff gebracht werden, dessen Zahnflanken noch nicht

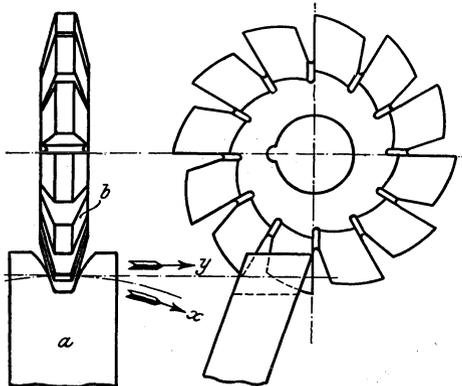


Abb. 294. Das mechanische Entwickeln der Zahnform.

ganz fertig ausgebildet wären, so würde die Zahnstange das eingreifende Rad mit theoretisch genauen Zahnflanken versehen, sofern man der Zahnstange und dem Rad in der Teillinie und in dem Teilkreise genau die gleichen Geschwindigkeiten erteilen würde. Es wickelten sich dann, wie bereits erwähnt, die Zähne genau so ab, wie es in Wirklichkeit bei der Arbeit der Fall ist. Auch jedes weitere Rad von beliebiger Zähnezahl würde ebenfalls mit einer richtigen Zahnform

versehen werden, die natürlich bei jeder Zähnezahl eine andere wäre. Ganz das gleiche Ergebnis wird erreicht, wenn an Stelle der Zahn-

stange ein Zahnrad verwendet wird. Da jedoch die Evolvente für die Zahnstange, als Zahnrad von unendlichem Durchmesser, eine gerade Linie ergibt, setzen sich die Zahnflanken der Zahnstange aus geraden Linien zusammen. Ein Werkzeug in dieser Form läßt sich daher leichter und genauer herstellen, als in der Form eines Rades.

Denken wir uns, es soll der Profilstahl a (Abb. 294) auf diese Weise ausgearbeitet werden. An Stelle der feilenartigen Zahnstange tritt ein einzelner Zahnstangenfräser b , der natürlich auf das Genaueste hergestellt sein muß, was ja, da seine Flanken bei Evolventenverzahnung nur von Geraden begrenzt werden, nicht schwierig ist.

In der Abbildung zeigt ferner x den Teilkreis des Zahnes a , und y die Teillinie des Zahnstangenzahnes b . Der Mittelpunkt von x muß nun

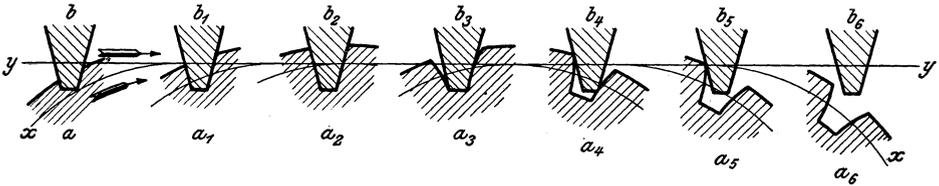


Abb. 295. Mechanisches Entwickeln einer Zahnflanke.

zu der Teillinie y in einen Abstand gebracht werden, der gleich dem Radius von x ist; es muß sich also x und y berühren. Nachdem der Fräser b seine Arbeitsbewegung erhalten hat, muß sich a und b in der angegebenen Pfeilrichtung mit einer Geschwindigkeit bewegen, die auf den Linien x und y genau gleich ist. Der Profilstahl a erhält dann mechanisch seine theoretisch richtige Zahnform. Aus der Abb. 295 ist dies ohne weiteres ersichtlich. Auf diese Weise lassen sich die Flanken für alle Zähnezahlen gleicher Teilung bilden, sofern der Abstand des Mittelpunktes von x derart festgelegt wird, daß x auf y sich abwälzt.

Dieses Verfahren lag auch der Satzräderfräsmaschine von Swasey (Cleveland, Ohio¹⁾ zugrunde, an der mit mehreren nebeneinander gespannten Zahnstangenfräsern die Verzahnungen in die Räder eingeschnitten wurden. Um dazu die gerade Bewegung der Zahnstangen zu erhalten, teilte er die Fräser (siehe Abb. 296) und befestigte jede der Hälften an ein Stangenpaar, zu welchem Zwecke die 4 Löcher bestimmt sind. Die ganze Anordnung drehte sich um eine gemeinschaftliche Achse. Die im Eingriff stehende Fräserhälfte erhielt durch Kammscheiben eine Bewegung in ihrer Achsen-

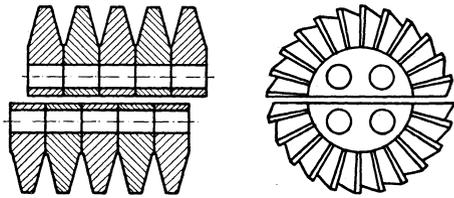


Abb. 296. Der Swasey-Stirnradfräser.

¹⁾ Pregél: Fräse- und Schleifmaschinen, Stuttgart 1893, S. 139.

richtung, die genau gleich der langsamen Rundbewegung des zu fräsenden Rades war, während die außer Eingriff stehende Fräserhälfte schnell in ihre Anfangsstellung gezogen wurde.

Eine ausführliche Beschreibung dieser sinnreichen, aber komplizierten Maschine befindet sich in dem oben angezogenen Werke, dem auch die Abbildung entnommen ist.

Nach Ritterhaus wurde ein ähnliches Verfahren bereits im Jahre 1856 von Schiele angewendet, der mit einem schraubengangartigen Fräser die Zähne der Stirnräder einschnitt. Allerdings ohne daß die Umdrehungen des Werkrades und des Fräasers zwangsläufig verbundene waren, infolgedessen derartig verzahnte Räder wahrscheinlich keine genaue Teilung besaßen.

Die Umdrehungen von Werkrad und Fräser bzw. Werkzeug voneinander abhängig, d. h. zwangsläufig verbunden zu haben, ist ein Verdienst des Prof. Hermann in Aachen. Nach einem ähnlichen Prinzip, aber mit hin und her gehender, tangierender Schneide arbeitende Maschinen baute Bilgram und Hoppe.

Durch die Anwendung des schraubengangartigen Fräasers und des zwangsläufigen Antriebes von Fräser und Werkstück wurden die Maschinen wesentlich vereinfacht. An Stelle des komplizierten Fräasers (Abb. 296) verwendet man einen schneckenartigen Fräser (Abb. 297), der um den Betrag seines Steigungswinkels schräg gestellt wird, wodurch man im

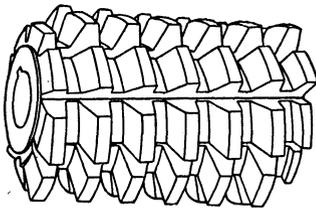


Abb. 297. Der Wälzfräser.

Werkrade gerade Zähne erhält. Entsprechend der Zähnezahl des zu fräsenden Zahnrades müssen die Umdrehungen des Fräasers genau festgelegt werden. Die Umdrehungen des letzteren und die des Werkrades verhalten sich entgegengesetzt wie ihre Zähnezahlen, d. h. es muß der Fräser während einer Umdrehung des Werkrades soviel Umdrehungen machen, als das letztere Zähne hat. Man bezeichnet dieses Verfahren

heute allgemein als Wälzverfahren und nennt die dazu verwendeten schneckenartigen Fräser kurz Wälzfräser. Sie müssen eine der Zahnteilung entsprechende Steigung erhalten.

Die durch Wälzen hergestellten Zahnräder erhalten theoretisch richtige Zahnformen, wobei für alle Zähnezahlen einer Teilung immer nur ein Fräser erforderlich ist. Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens gegenüber des Fräsens mit Einzelfräser ist die wesentlich höhere Leistung der Maschinen.

Obwohl die selbsttätigen, mit Einzelfräser arbeitenden Räderfräsmaschinen einen hohen Grad der Vollkommenheit erreicht haben, hat sich das Wälzverfahren doch immer mehr und mehr eingebürgert. Daß in einzelnen Betrieben die Wälzmaschine nur zum Vorfräsen benutzt wird, weil dabei besonders leistungsfähig, während das Fertig-

Man muß also zur Herstellung eines genauen Wälzfräasers für eine bestimmte Teilung zunächst die Steigung, nach der er geschnitten werden muß, bestimmen. Es muß zu diesem Zweck der Steigungswinkel gesucht werden, unter der Voraussetzung, daß der Fräser an seinem Umfang eine bestimmte Anzahl Schneidzähne erhalten soll. Für einen bestimmten Teilkreisdurchmesser des Fräasers berechnet sich der Steigungswinkel wie folgt:

$$\sin \alpha = \frac{\text{Teilung}}{\text{Teilkreisdurchmesser} \cdot \pi},$$

oder, wenn die Teilung nach Modul bestimmt ist:

$$\sin \alpha = \frac{\text{Modul}}{\text{Teilkreisdurchmesser}}.$$

Man schlägt nun in den trigonometrischen Tabellen den Winkel auf und ermittelt, wie schon oben gesagt, mit dem Kosinus des Steigungswinkels die Steigung:

$$\text{Steigung} = \frac{\text{Teilung}}{\cos \cdot \alpha}.$$

Hat man zu einer gegebenen Steigung die sich daraus zu ergebende Teilung zu bestimmen, so berechnet man den Steigungswinkel wie bei der Schnecke:

$$\text{tg } \alpha = \frac{\text{Steigung}}{\text{Teilkreisdurchmesser} \cdot \pi}.$$

Die Teilung ergibt sich dann wie nachstehend:

$$\text{Teilung} = \text{Steigung} \cdot \cos \alpha.$$

Da bei kleinem Steigungswinkel der Wert $\cos \alpha$ nicht viel von 1 abweicht ($\cos 3^\circ = 0,999$, $\cos 5^\circ = 0,996$), macht man bei kleinen Zahnteilungen, bei denen der Winkel $\alpha 3^\circ$ nicht überschreitet, die Teilung gleich der Steigung. Zum Beispiel beim Wälzfräser Modul 3 von 60 mm Teilkreisdurchmesser ergibt sich ein Steigungswinkel:

$$\sin \alpha = \frac{3}{60} = 0,05;$$

dies entspricht einem Winkel von $2^\circ 50'$. Daraus ergibt sich die Steigung:

$$\text{Steigung} = \frac{3 \cdot \pi}{\cos 2^\circ 50'} = \frac{9,424}{0,999} = 9,433 \text{ mm.}$$

Die Differenz beträgt also hier nur 0,009 mm und ist daher praktisch ohne Bedeutung.

Das Wälzverfahren wird überall dort mit Vorteil angewendet, wo es sich um die Herstellung großer Mengen gußeiserner Räder mit normalen Zahnformen handelt (besonders auch zur Herstellung von Schraubenträgern, Schalt- und Kettenrädern sowie zum Einschneiden von Kältsägezähnen). Die Mehrleistung gegenüber der Arbeit des Einzelfräasers wird bei gleicher Sauberkeit der Zahnflanken durchschnittlich 30 % betragen.

Überall dort jedoch, wo es sich um korrigierte Zahnformen oder besonders harte und zähe Materialien handelt (Chromnickelstahl, Stahlguß usw.), wird der Einzelfräser erfolgreich das Feld behaupten.

Die vielfach hervorgehobene Billigkeit des Wälzfräasers gegenüber dem vollständigen (fünfzehnteiligen) Satz Einzelfräser beruht auf falschen Voraussetzungen. Der Wälzfräser wird immer schneller verbraucht sein, als 15 Einzelfräser, und zwar um so schneller, je weniger verschieden die zu fräsenden Zähnezahlen sind. Beim Fräsen von kleineren Zähnezahlen ist darauf zu achten, daß die Mitte des Zahnrades mehr unter die seitlichen Partien des Wälzfräasers zu stehen kommt, damit die mittleren Partien geschont werden, bzw. eine gleichmäßigere Abnutzung aller Schneidzähne angestrebt wird. Es ist ferner noch zu berücksichtigen, daß sich die Preise der Einzelfräser zu denen der Wälzfräser nur wie 1: 5 verhalten, also nur der Preis von 5 Einzelfräsern dem des Wälzfräasers gegenüber gestellt werden darf.

Durch die zwangsläufige Verbindung der Frässpindel mit dem Teilkopftrieb lassen sich auch auf der Universalfräsmaschine Räder nach dem Wälzverfahren herstellen. Eine derartige Zusatzvorrichtung ist in der „Werkstattstechnik“, Jahrg. 1909, S. 457 dargestellt und beschrieben.

Ähnlich dem Wälzverfahren mit schneckenförmigem Fräser ist dasjenige, das Fellow¹⁾ und Röber für ihre Stirnräderhobelmaschinen anwenden. Hier ist das erzeugende Werkzeug in Form eines Gegenzahnrades ausgebildet, das sich auf dem zu verzahnenden Werkkrade abwälzt.

Die spiralgewundenen Zähne lassen sich am vorteilhaftesten nach dem Wälzverfahren mit schneckenartigen Fräsern herstellen (vgl. Abb. 312), da sich hierbei ohne weiteres die für die Steigung erforderliche richtige Zahnform ergibt, während beim Fräsen mit Einzelprofilfräser jede Steigung einen anderen Fräser beansprucht. Die genaue Berechnung dafür ist im Anhang unter Spiralzahn- und Schraubenträder zu ersehen, vgl. Abb. 336.

Man hat mehrfach versucht, dieses Wälzverfahren mit schneckenförmigem Fräser auch auf die Verzahnung der Kegelräder anzuwenden, jedoch sind die Versuche bisher anscheinend an der schwierigen Herstellung der dazu erforderlichen Sonderfräser gescheitert. Vgl. Traitteur (D. R. P. Nr. 137170) und Boisard (D. R. P. Nr. 165840).

Zum Vorfräsen der Kegelräder hat jedoch Chambon ein gutes Verfahren angegeben und ist eine danach gebaute Maschine weiter unten, Seite 302, dargestellt und beschrieben.

Die Zahnformen der Kegelräder können eigentlich nur auf besonders dafür gebaute Kegelräder-Hobel- oder Fräsmaschinen erzeugt werden. Die Theorie über die Flankenangriffe zweier Kegelräder

¹⁾ Zeitschrift für Werkzeugmaschinen und Werkzeuge, Jahrg. IV, S. 328.

bestimmt, daß sie sich in allen Punkten einer geraden Linie berühren und daß diese Linien alle durch den gemeinschaftlichen Kegelschnittpunkt gehen müssen. In diesem Falle berühren sich die Zahnflanken gleichmäßig auf der ganzen Fläche vom Kopfe bis zum Fuße. Die Abb. 299 stellt einen diesen Bedingungen gerecht werdenden Kegelradzahn dar.

Die ersten Kegelrad-Hobelmaschinen arbeiteten die Zahnform nach Schablonen mit Einzelstichel aus, wobei sich Fehler der Schablonen oder Einstellungsfehler des Stichelns zum Schablonenstift auf die Zahnform übertrugen.

Das Wälzverfahren wurde sehr bald auch auf die Maschinen zum Verzahnen der Kegelräder angewendet. Nur daß hier an Stelle

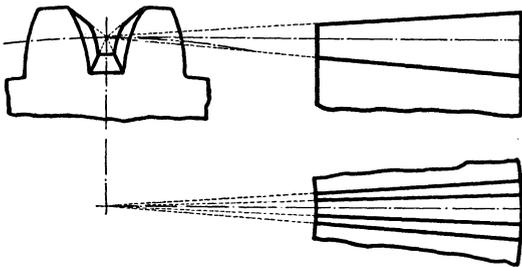


Abb. 299. Kegelradzahn.

des schneckenförmigen Fräasers ein einzelner Zahnstangenzahn verwendet wurde.

Am bekanntesten dürfte die Kegelradhobelmaschine von Bilgram sein, die in Deutschland von Reinecker gebaut wird. Hierbei wird als erzeugendes Werkzeug ein

hin- und hergehender Hobelstahl in Form eines Zahnes eines unendlich großen Kegelrades (also ein Zahnstangenzahn) verwendet. Das zu bearbeitende Kegelrad wälzt sich an den Flanken des Hobelstahles ab; es führt nicht nur die Drehbewegung um die eigene Achse aus, sondern auch die Rollbewegung um

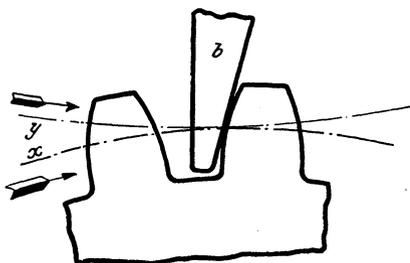


Abb. 300. Kegelradzahn und Hobelstahl.

den Kegelschnittpunkt, so daß die Flanken des Hobelstahles *b*, siehe Abb. 300, die zu bearbeitenden Flanken des Kegelradzahnes umhüllen. Außer diesen beiden zum Wälzen erforderlichen Bewegungen wird auch die Weiterleitung von Zahn zu Zahn am Kegelrad vorgenommen. Die Bilgram-Maschinen werden auch als Stirnräderhobelmaschinen gebaut.

Nach dem gleichen Verfahren arbeitet die Kegelräder-Fräsmaschine von Warren, wobei zwei scheibenförmige Zahnstangenfräser die beiden Flanken eines Zahnes gleichzeitig bearbeiten. Hierbei wird die eine Bewegung vom Werkzeug und die andere vom Werkrad ausgeführt. Die der Zahnbreite entsprechende Schaltbewegung wird vom Werkzeug, die Teilbewegung vom Werkrad betätigt.

Bei der Kegelräder-Fräsmaschine von Beale arbeiten nach demselben Verfahren zwei große Messerköpfe, an denen sich das Werkrad abwälzt, die Zahnformen aus. An dieser Maschine ist keine Vorschubbewegung in der Zahnbreite vorgesehen, der Zahngrund wird deshalb dem Radius der Messerköpfe entsprechend hohl ¹⁾).

Die Kegelräder können nun auch wie Stirnräder zum Zwecke einer Verlängerung des Eingriffes und damit verbundener Erhöhung der Geräuschlosigkeit und Bruchsicherheit mit schrägliegenden Zähnen ausgeführt werden. Hierbei sind drei Ausführungsformen zu unterscheiden:

1. Schrägliegende Zähne.
2. Spiralgewundene Zähne.
3. Bogenförmige Zähne.

Die letzteren unterscheiden sich noch darin, daß sie entweder möglichste Annäherung an spiralgewundene Zähne suchen (Gleason-Verzahnung siehe Abb. 306) oder von innen nach außen abnehmende oder zunehmende Zahnschräglage anstreben. (Böttcher-Verzahnung Abb. 301.)

Die schrägliegenden Zähne können auf allen Kegelräder-Hobelmaschinen hergestellt werden, sofern der Kegelmantel, auf dem die Zahnform eingehobelt werden soll, in einen bestimmten Winkel zu dem erzeugenden Hobelstahl gelegt wird. Bekannt sind die von Reinecker zu diesem Zwecke eingerichteten Kegelrad-Hobelmaschinen. Derartige schrägen Zähne besitzen eine, mit der Entfernung von der Kegelachse, abnehmende Schräglage. Ihre Verlängerungen schneiden sich nicht in der Kegelspitze, sondern tangieren die Oberfläche einer Kugel; ihre Schräglage ist im inneren schwachen Zahnprofil am größten und nimmt nach außen allmählich ab.

Über spiralgewundene Zähne, bei denen die Schräglage auf der ganzen Zahnlänge die gleiche ist, da die Zahnform eine Spirallinie in konstanter Steigung folgt, ist noch wenig bekannt geworden. Ihre Herstellung würde sich dadurch ermöglichen lassen, daß man ähnlich, wie bei den spiralgewundenen Zähnen an Stirnrädern dem Werkrad, in diesem Falle dem Kegelrad, während des Hobelns eine langsame Drehung erteilt. Als spiralgewundene Zähne werden die der Gleason-Verzahnung angesprochen; sie erzeugt aber in Wirklichkeit die bogenförmigen Zähne und sucht nur möglichst Annäherung an die spiralgewundene Zahnform.

Die bogenförmigen Zähne werden ebenfalls nach dem Wälzverfahren mit Einzel-Zahnstangen Zahn geschnitten; nur daß dieser Zahn in einem Messerkopf, vergleiche die Abb. 305, eingespannt ist, und in konzentrischen Kreisen seine Arbeit verrichtet.

Die bogenförmigen Zähne sind erst in den letzten Jahren bekannt geworden. Nach Angabe der Maschinenbau-Anstalt Böttcher & Gessner, Altona, wurden von ihr 1909 die ersten Patente darauf genommen und

¹⁾ Vgl. Barth, Die Grundlagen der Zahnradbearbeitung. Berlin 1911.

bereits 1910 Kegelräder mit bogenförmig geschnittenen Zähnen nach dem Wälzverfahren hergestellt. Erst 1912 seien in Amerika von der Parkart Car Comp. und später von der Gleason Comp. auf ähnliche Maschinen Patente angemeldet worden. Die Urheberschaft der bogenförmigen Zahnformen fällt daher der deutschen Firma zu.

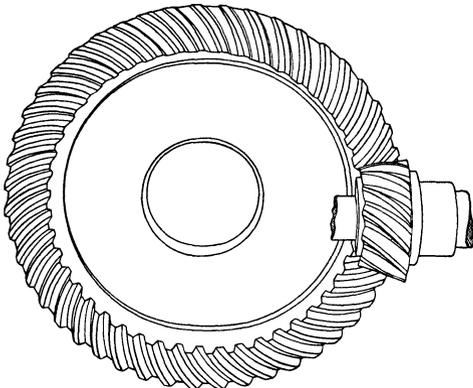


Abb. 301. Kegelgetriebe.

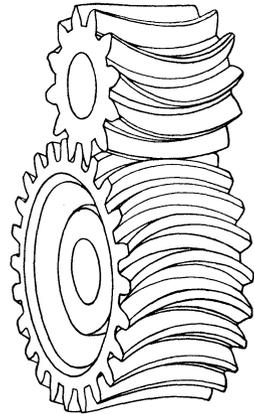


Abb. 302. Stirngetriebe.

Von der erstgenannten Firma ist nun die sogenannte Böttcher-Verzahnung (vgl. Abb. 301–304) weiter entwickelt worden und sie nimmt gegenüber anderen bogenförmigen Verzahnungen folgende Vorteile für sich in Anspruch.

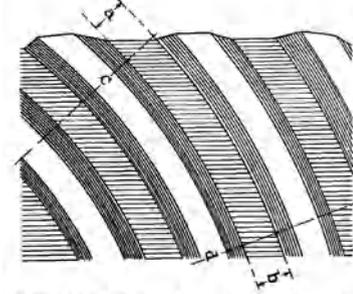


Abb. 303. Böttcher-Verzahnung.

1. Der Zahn ist in seiner ganzen Länge gleich stark, ermöglicht also überall eine gleichmäßige Kraftübertragung.

2. Das Wälzen erfolgt im Teilkreisegel und nicht im Fußkreisegel, so daß nur bei ihr wirklich theoretisch richtige Zahnformen erzeugt werden.

3. Die Herstellung der Verzahnung ist die wirtschaftlichst günstigste, da beide Zahnflanken in einem Zuge geschnitten werden.

Diese Vorteile sind dadurch möglich, daß Böttcher das Werkrad (Kegelrad) in eine solche Stellung zum erzeugenden Werkzeug (Messerkopf) bringt, die gestattet, die Schräglage der Zähne von innen nach außen anwachsen zu lassen, und zwar in demselben Verhältnis als erforderlich ist, die gleiche Normalteilung auf der ganzen Zahnlänge aufrecht zu erhalten. Dadurch ergibt sich aber auch ohne weiteres, daß Böttcher beide Zahnflanken zugleich ausarbeiten kann, ein Vorteil, der für die Herstellung der Zahnräder von allergrößtem Wert ist. Der

vergrößerte Zahn, Abb. 303, zeigt den Vorteil dieser Anordnung Böttcher erreicht durch die Anwendung eines derartigen Wälzverfahrens aber auch, daß der Zahn in seiner ganzen Länge gleich stark ist und somit gleich kräftig für die Kraftübertragung wirkt, während alle anderen schrägen oder bogenförmigen Verzahnungen den inneren

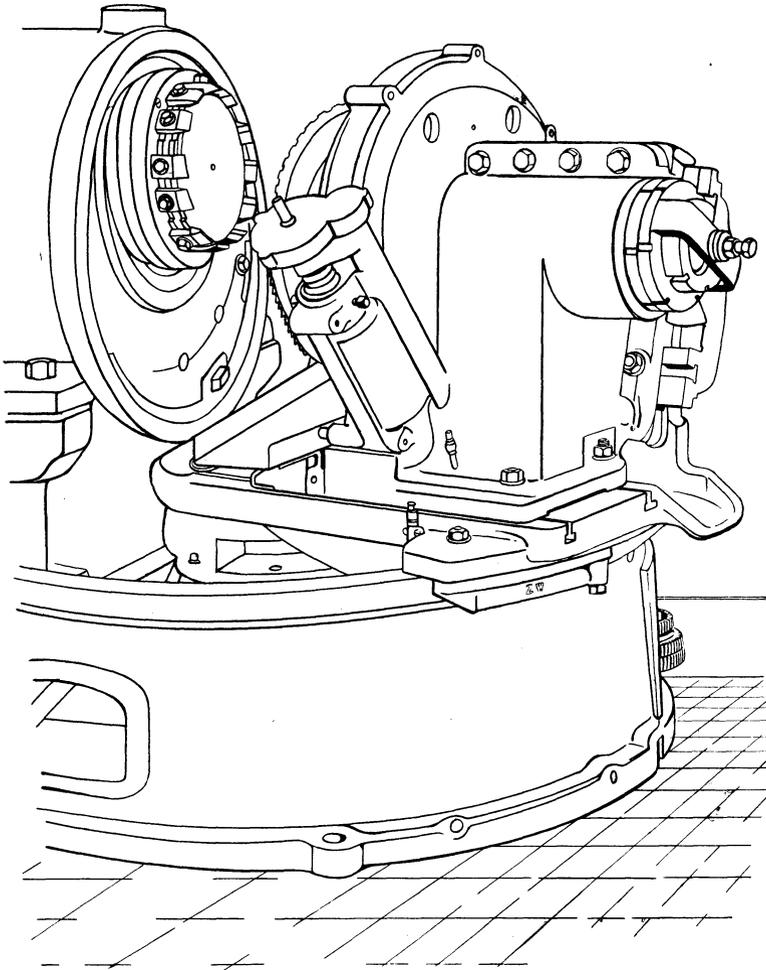


Abb. 304. Böttcher-Bogenzahn-Kegelradfräsmaschine.

Zahn stark schwächen. Sodann ergeben sich dadurch für die Bemessung der Zahnhöhe günstige Verhältnisse, da sie infolge der überall gleichen Normalteilung in der ganzen Zahnbreite gleich ist. Wie aus der Abbildung ersichtlich ist, hat der Zahn in seiner ganzen Länge genau gleiches Zahnprofil, vergleiche *a* und *b*, Abb. 303.

Für das Ineinanderarbeiten zweier nach der Böttcher-Verzahnung geschnittenen Kegelräder ergeben sich die günstigsten Verhältnisse, weil beide Flanken einer Zahnücke mit demjenigen Werkzeug nach konzentrischen Kreisen bearbeitet sind, mit dem auch das Gegenrad beide Flanken nach den gleichen konzentrischen Kreisbögen bearbeitet erhält. Da ferner die Abwälzung auf dem Teilkreiskegel erfolgt, so wird die Zahnanlage auf der ganzen Zahnlänge eine vollkommene.

In der Abbildung 304 ist die Kegelräder-Fräsmaschine von Böttcher und Gessner in Altona in ihren hauptsächlichsten Teilen dargestellt. Die Maschine arbeitet vollständig selbsttätig nach dem Teilverfahren. Nach fertig gefrästem Zahn wird das Werkzeug zurückgezogen, zum Rücklauf der Wälzbewegung umgesteuert, auf den nächsten Zahn

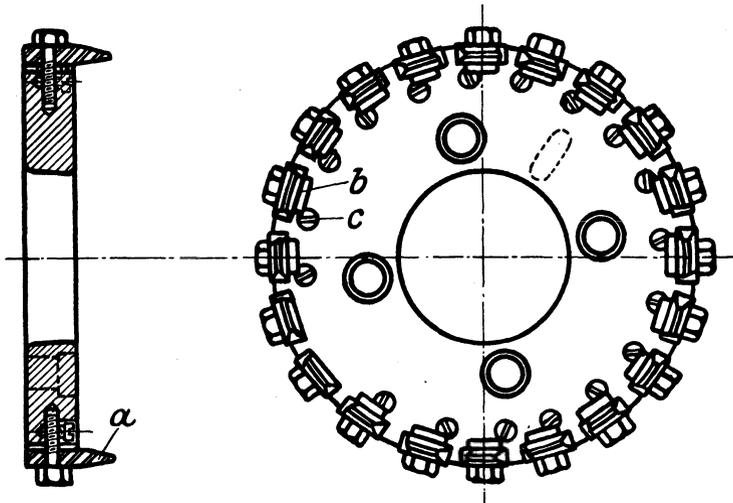


Abb. 305. Messerkopf der Gleason-Kegelradfräsmaschine.

geteilt, das Werkzeug wieder vorgeschoben und zum Arbeitslauf der Wälzbewegung umgeschaltet.

Die Wälzbewegung zwischen dem imaginären Plan-Kegelrad und dem zu verzahnenden Kegelrad, wird durch ein patentiertes Zahnradgetriebe bewirkt, welches aus der Kombination eines Stufenrädernetriebes mit mehreren hintereinander geschalteten Differentialgetrieben besteht. Es gestattet entsprechend den einzelnen Stellen und Ziffern des Dezimalsystems 9 999 gleichmäßig abgestufte Geschwindigkeiten von 0—0,9999 und demnach das theoretisch erforderliche Übersetzungsverhältnis, gleich dem Sinus des halben Kegelwinkels, mit einer größten Toleranz von nur einen halben 10 000tel, ohne jede besondere Tabelle einzustellen.

Die Gleason-Kegelrad-Fräsmaschine erzeugt durch ein ähn-

liches Wälzverfahren bogenförmige Zahnformen, bei möglicher Annäherung an die Spiralform. Wie aus Abb. 305 hervorgeht, sind die erzeugenden Messer an einen 300 mm großen Messerkopf angeordnet. Er trägt 20 Messer *a*, von denen wechselweise 10 Stück außen und 10 Stück innen auf Schnitt gearbeitet sind. Je ein rechts- und ein linksschneidendes Messer sitzt als Einstellmesser auf fester Unterlage, während alle anderen durch Keil *b* und Schraube *c* justierbar sind. Je nachdem ein rechts- oder ein linksschneidender Messerkopf verwendet wird, werden rechts- oder linksgängige Spiralzähne am Trieb erzeugt. Ein rechtsgängiger Trieb bedingt ein linksgängiges Rad und umgekehrt. Zur Herstellung eines zusammenarbeitenden Räderpaares wird ein und derselbe Messerkopf verwendet. Er wird beim Fräsen des Triebes, dem Winkel entsprechend, über die Mitte und beim Fräsen des Rades um

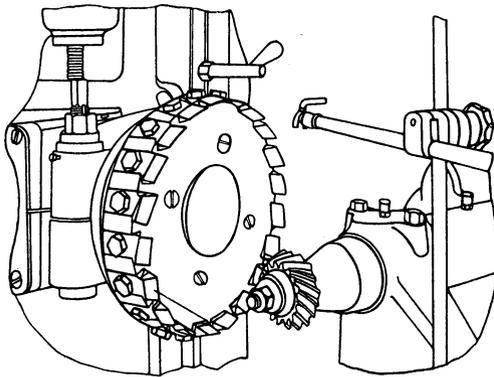


Abb. 306. Gleason-Spiralzahnkegelradfräsmaschine.

den gleichen Betrag unter die Mitte der Radachse gestellt. Abb. 306 zeigt den Fräskopf eingestellt zum Fräsen eines rechtsgängigen Triebes. Beim Fertigfräsen einer Zahnflanke wird der ganze Frässpindelstock derart geschwenkt, daß die schneidende Messerkante an der Zahnflanke abgewälzt wird. Es wird an jedem Rad erst die eine Flanke sämtlicher Zähne fertiggestellt. Nach einer Umdrehung des Rades wird die Stellung des Messerkopfes zum Rad gewechselt, um die zweite Flanke fertigzustellen. Das Ein- und Ausschwenken und Weiterteilen nach jedem Zahn erfolgt selbsttätig. Zum Vorfräsen der Zahnücke ist ein besonderer Messerkopf erforderlich, es kann auf einer einfachen Maschine ohne Wälzbewegung vorgenommen werden.

b. Das Fräsen der Zahnräder auf der Universalfräsmaschine.

Im folgenden sollen nochmals die verschiedenen Einstellungen zum Fräsen der Zahnräder angeführt werden, wobei auch auf öfter vorkommende Bedienungsfehler hingewiesen wird.

Sehr wichtig ist vor allem, die Zahnräder sicher und rundlaufend einzuspannen. Das oft so beliebte Auftreiben auf die in den Werkstätten reichlich vorhandenen Drehdorne ist ganz zu verwerfen. Nicht nur die Bohrung des aufgetriebenen Zahnrades wird verdorben und zumeist konisch aufgeweitet, sondern es kommt noch der Mißstand des Lockerwerdens dazu, wodurch in sehr vielen Fällen ungleich starke Zähne entstehen. Die Zahnräder sollten stets mit ihrer Nabe gegen einen Bund anliegen, an den sie durch Anziehen einer Mutter gepreßt werden. Hat das so aufgespannte Zahnrad noch seitlichen Druck — z. B. beim Fräsen spiralgewundener Zähne — auszuhalten, so muß es auch noch durch einen Keil gegen Verdrehung geschützt sein.

Gleich wichtig ist die Befestigung des Räderdornes selbst. Am festesten sitzt er in der langen konischen Bohrung des Teilapparates, wenn er mit einer Schraube oder Überwurfmutter hineingezogen wird. Das vielfach angewendete Einspannen in das Zentrier- oder Dreibackenfutter ist nicht zu empfehlen, da die Futter selten so genau zentrisch spannen, wie es für ein gut laufendes Zahnrad notwendig ist.

Wo immer zugänglich, sollte darauf gehalten werden, mehrere Zahnräder gleichzeitig aufzuspannen. Der Fräsweg ist bekanntlich nicht nur die Zahnradbreite, sondern $+ \frac{1}{3}$ Fräserdurchmesser beim geraden Zahn und $+ \frac{1}{2} - \frac{1}{1}$ Fräserdurchmesser beim spiralgewundenen. Das heißt mit anderen Worten: beim geraden Zahn dauert das Fräsen von zwei Zahnrädern einzeln aufgespannt genau solange, als das von drei gemeinsam aufgespannten Zahnrädern und beim spiralgewundenen Zahn dauert das Fräsen von zwei einzeln aufgespannten Zahnrädern solange, wie das von vier gemeinsam aufgespannten. Dieser große wirtschaftliche Vorteil erfordert allerdings eine sorgfältige Dreharbeit der Zahnräder, namentlich an den gegeneinander gespannten Nabenflächen. Schlagen diese, so wird auch der stärkste Dorn krumm gezogen. Längere Dorne werden durch Setzstöcke — ähnlich den Drehbankklünetten — gegen Durchfedern gesichert.

Eine weitere Einstellung ist die des Fräasers auf Körnerspitzenmitte, um gleichmäßige Flanken am Zahn zu erhalten. Dafür sind in den letzten Jahren eine Anzahl guter Lehren auf den Markt gebracht worden. Auch fügen die Firmen ihren Räderfräsmaschinen solche Kontrolllehren bei.

Für besonders genaue und ruhig laufende Räder genügen aber auch die besten dieser Lehren nicht. Das sicherste Verfahren, gleiche Zahnflanken zu erhalten, dürfte das folgende sein. Der mit einer Lehre auf Mitte eingestellte Fräser durchfräst eine dem Zahnrad ähnliche billige Gußscheibe. Nach fertiggestellter Zahnücke wird die Gußscheibe vom Dorn genommen, mit einer sofort Oxyd bildenden Säure bestrichen und verkehrt wieder aufgesteckt. Beim nochmaligen Durchfräsen der Zahnücke zeigt es sich nun, ob der Fräser genau in der Mitte steht, in welchem Falle er nirgends den Rost angreifen wird. Durch seitliches Verrücken

des Fräasers läßt sich im anderen Falle die richtige Stellung ausprobieren. Dieses Verfahren dient gleichzeitig zur Kontrolle des Fräasers in bezug auf gleichmäßige Ausführung seiner Zahnflanken.

Sodann ist noch die Einstellung des Teilapparates für die Zähnezahzahl vorzunehmen, die, je nach Art des Apparates, Teilscheiben oder Wechselräder erfordert. Beides ist im Kapitel: Teilen, S. 198, ausführlich dargelegt worden.

Die spiralgewundenen Zähne erfordern noch zwei weitere Einstellungen, nämlich das Anstecken der Wechselräder für die Spiralbewegung und das Schrägstellen des Arbeitstisches im Drehteil. Vereinzelt wird das letztere durch das Schrägstellen des angeschraubten Frässpindelkopfes ersetzt, wie es z. B. Reinecker vorsieht.

Die Wahl der Wechselräder erfolgt entsprechend der verlangten Spiralsteigung. Beim Anstecken muß darauf geachtet werden, daß durch Einschalten eines oder zweier Zwischenräder auch die richtige Spiralrichtung — rechte oder linke Spirale — erreicht wird.

Hinzugefügt sei, daß spiralgewundene Räder, deren Achsen sich im rechten Winkel schneiden — Schraubenräder — gleiche Spiralrichtung erhalten, während Räder mit parallelen Achsen — spiralgewundene Stirnräder — ungleiche (eine rechte und eine linke) Spiralrichtung bekommen.

Für das Schrägstellen des Tisches ist die Größe des Achsen- bzw. Zahnwinkels maßgebend. Je nach der Spiralrichtung muß der Tisch nach der einen oder anderen Seite auf die erforderlichen Grade herumgedreht werden. Beide Einstellungen sind ebenfalls im letztgenannten Kapitel ausführlich behandelt worden.

Das Fräsen von Schneckenrädern soll tunlichst auf Sondermaschinen stattfinden, da nur auf solchen das zwangsläufige Einschneiden der Zähne aus dem vollen Material möglich ist.

Auf der Universalfräsmaschine können nur Schneckenräder für geringere Beanspruchung verzahnt werden¹⁾, einmal durch freiläufiges Einschneiden der Zähne und zum anderen durch Einfräsen schräger Zähne. Das letztere wird mit einem gewöhnlichen Einzelfräser ausgeführt. Der Teilkopf muß dabei um den Steigungswinkel schräg zur Tischführung gesetzt werden. Wegen den am Teilkopf und Spitzenböckchen angebrachten Führungsleisten ist dies jedoch immer umständlich. Einfacher ist es und die gleiche Zahnanlage für die Schnecke ergibt sich, wenn der Radkörper mit spiralgewundenen Zähnen gleicher Winkelstellung ausgestattet wird. In beiden Fällen kommt nur eine ganz schmale Fläche als Zahnanlage in Frage.

Beim freiläufigen Einschneiden müssen die Zähne vorher mit Einzelfräser von oben vorgefräst werden. Dieses vorgeschrittene Rad

¹⁾ Eine Ausnahme bilden die wenigen Teilapparate, deren Teilspindel mit der Frässpindel zwangsläufig verbunden ist. Mit solchen, für das Wälzverfahren bestimmten Fräsapparaten können die Schneckenräder zwangsläufig geschnitten werden.

wird dann, auf einem Dorn befindlich, zwischen den Spitzen freilaufend eingespannt. Ein Fräser (Abb. 53), der im Durchmesser und in der Steigung der Schnecke gleich sein muß, wird über die Mitte des Rades gebracht. Der Support hat dabei so zu stehen, daß sich die Achsen von Schneckenrad und Fräser in dem Winkel schneiden, unter welchem Schneckenrad und Schnecke miteinander arbeiten sollen; wenn also letztere unter 90° arbeiten, so muß der Support genau gerade stehen, und wenn sie unter 80° arbeiten, so muß der Support um 10° verstellt werden. Der laufende Fräser treibt sodann gleichsam als Schnecke das schon vorgefräste Rad an und arbeitet dabei mit seinen Schneidzähnen die kreisförmigen Schweifungen aus. Der Höhensupport wird nach und nach beigestellt, bis das Rad seine richtige Tiefe bekommen hat.

Zum Verzahnen der Kegelräder eignet sich die Universalfräsmaschine nicht, da auf ihr keine theoretisch genauen Kegelrädierzähne erzeugt werden können.

Um auf einer gewöhnlichen Universalfräsmaschine ein annähernd brauchbares Kegelrad fräsen zu können, sind in der Praxis verschiedene Verfahren verbreitet, von denen einige hier erklärt seien.

1. Das zu fräsende Kegelrad wird entweder mit der Nabe direkt oder auf einem fliegenden Dorne sitzend in dem Teilapparate festgespannt. Das Innengehäuse (*J*, Abb. 244) des Teilapparates wird nun um so viel Grade verstellt, daß der innere und äußere Fußkreis (s. Zahnkonstruktionen, S. 304) in wagerechter Linie liegen. Alsdann wird das Rad mit einem Fräser vorgefräst, der dem Profile der inneren kleineren Zahnform entspricht. Nachdem das Kegelrad auf diese Weise mit der inneren Zahnform versehen ist, wird ein Fräser mit genauem Profile des äußeren Zahnes angesteckt und nun mit diesem das Rad von der Außenseite Zahn für Zahn eben nur so weit angefräst, daß gerade das volle Profil am Zahnanfang vorhanden ist, damit der Schlosser, der das Rad fertig zu machen hat, einen Anhaltspunkt vorfindet. Es muß also mit der Feile soviel nachgearbeitet werden als zur gleichmäßigen Verbindung beider Zahnprofile nötig ist.

2. Nachdem das Kegelrad, wie unter 1 beschrieben, mit dem Fräser des inneren Zahnprofiles durchfräst ist, wird mit einem Fräser, dessen Seitenflanken den Rundungen der äußeren Zahnform entsprechen, der jedoch in der Breite die innere Zahnform nicht übersteigt, jede Seite des Zahnes nachgefräst. Der Fräser muß also in Zahnhöhe und Rundungen der äußeren Zahnform und in der Breite der inneren gleichen, um beim Nachfräsen nicht die innere Zahnform zu verletzen. Im weiteren wird festgestellt, wieviel die äußere Zahnform breiter als die innere werden muß, um deren Unterschied gleichmäßig auf beide Seiten verteilen zu können. Nehmen wir z. B. an, die innere Zahnform wäre 3 mm schmaler, was man durch Nachfräsen an der äußeren Zahnform entfernen müßte, so entfielen auf jede Seite 1,5 mm. Der Teilapparat, dessen Achse sonst parallel mit dem Supporttische läuft, wird zu diesem Zwecke etwas

schräg gestellt, und zwar um soviel, als der Fräser braucht, um außen die 1,5 mm wegzunehmen und um durch die innere Zahnücke zu gehen, ohne diese zu vergrößern. Nachdem alle Zähne an der Flanke fertiggestellt sind, wird der Teilapparat zur Fertigstellung der anderen Flanke gegensätzlich verstellt.

3. Das Kegelrad wird wie bei 1 und 2 vorgefräst und mit einem Fräser, wie unter 2 beschrieben, auf folgende Weise nachgefräst. Man stellt an der Teilscheibe den Indexstift je nach der Teilung ein bis vier Löcher zurück, wodurch der Zahn etwas aus der Mitte gerückt wird, infolgedessen die Flanken des Zahnes nicht mehr mit dem Tische parallel, sondern zu letzterem in einem kleinen Winkel stehen. Da nun der Fräser immer in paralleler Richtung des Tisches durchgeht, so wird der Fräser bei richtiger Anstellung die eine Flanke des Zahnrades außen angreifen und an der inneren Seite an der inneren Zahnform ohne zu greifen auslaufen. Es muß jedoch darauf acht gegeben werden, daß der Fräser immer an derjenigen Flanke des Zahnes ansetzt, welche der eigentlichen Mitte des Rades senkrecht über der Körnerlinie zunächst liegt. Nachdem auf diese Weise die eine Seite der Zähne gefräst ist, wird der Indexstift nicht nur in seine richtige Anfangsstellung zurückgebracht, sondern jetzt gegensätzlich um die entsprechende Anzahl vorgestellt, der Fräser, wieder von neuem eingestellt und so die andere Seite der Zähne fertiggestellt.

Bei allen drei Verfahren kann der Fall eintreten, daß beim Fräsen mit einem, dem inneren Zahnprofile entsprechenden Fräser der äußere Zahnkopf zuviel angegriffen würde. Zur Vermeidung dieses Fehlers stellt man das Innengehäuse des Teilkopfes um soviel Grade weniger ein, als zur Schonung der äußeren Zahnform nötig ist, und stellt erst beim Nachfräsen den Teilkopf in diejenige Gradstellung, welche die beiden Fußkreise bedingen.

Auf diese Weise hergestellte Kegelräder bedürfen nur wenig Nachhilfe seitens des Schlossers, nur erfordert es seitens des Fräsarbeiters einige Sicherheit und Erfahrung, um ohne längeres Probieren die richtige Stellung der Zähne sowie das Anstellen des Fräsers zu treffen.

Eine vollkommen korrekte Zahnform ist damit nicht zu erreichen. Alle diese Verfahren können nur als Notbehelf dienen. Überall dort, wo der geringe Bedarf an Kegelrädern die Anschaffung einer Sondermaschine nicht rechtfertigt, wird es immer zweckmäßig sein, die Radkörper einer Zahnradfabrik zum Verzahnen einzusenden.

c. Die Zahnradfräsmaschinen.

Die selbsttätige Stirnräderfräsmaschine
von J. E. Reinecker in Chemnitz.

In Abb. 307 u. 308 ist eine selbsttätige Räderfräsmaschine dargestellt. Auf dem kastenförmigen Maschinengestell verschiebt sich in senkrechten Führungen der Werkradspindelstock, dessen durchbohrte

Spindel hinten das überaus reichlich bemessene Teilrad trägt. Auf den wagerechten Führungen des Maschinengestells gleitet der Frässpindel-schlitten, der von der im Bilde nicht ersichtlichen Seite seinen

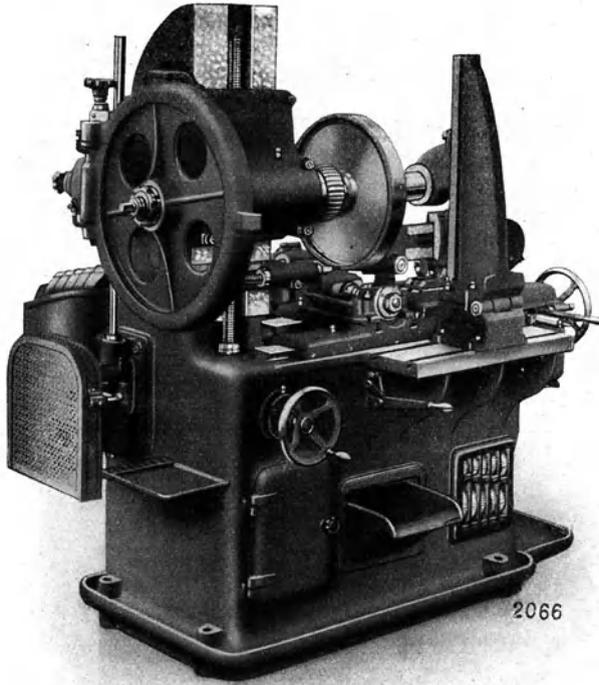


Abb. 307. Die selbsttätige Stirnräderfräsmaschine von J. E. Reinecker.

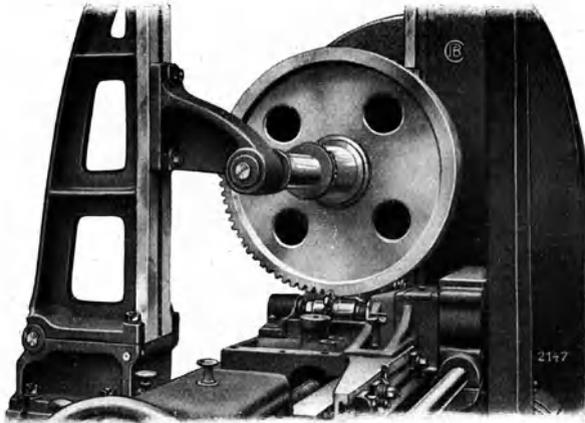


Abb. 308. Rückenansicht der Maschine.

Antrieb erhält. Der Frässpindelschlitten kann mit verschiedenen großen Vorschüben arbeiten und wird nach jedem durchfrästen Zahn mit vielfacher Beschleunigung zurückgezogen. Um nicht beim Versagen des Teilens das Werkrad zu verderben, wird der Vorschubmechanismus so lange gesperrt, bis eine Falle nach erfolgtem vollständigen Teilens die Sperre aufhebt. Diese Einrichtungen in Verbindung mit dem großen Teilrad lassen erkennen, daß bei der Konstruktion auf die Herstellung genauester Verzahnung der größte Wert gelegt wurde.

Um bei Zahnradern mit sehr genauer Teilung die störende Wirkung der Erwärmung des Werkrades herabzumindern ist die Einrichtung vorgesehen, daß die Maschine nicht Zahn für Zahn weiterteilt, sondern um 3, 4 oder 5 Zähne. Dadurch wird die Wärme auf den ganzen Umfang des Werkrades verteilt, das statt in einer Umdrehung in 3, 4 oder 5 Umdrehungen fertig gefräst wird.

Die Maschine kann zum Schneiden von Innenverzahnungen durch Aufsetzen eines anderen Frässpindelstockes eingerichtet werden.

Die selbsttätige Räderfräsmaschine von Biernatzki & Co. in Chemnitz.

Eine Maschine zum Verzahnen der Stirn-, Schnecken- und Schraubenträder nach dem Wälzverfahren stellen die Abb. 309 u. 310 dar.

Das in winkliger Form gehaltene Maschinengestell trägt in seiner senkrechten Führung den Werkradspindelschlitten und in seiner waagrechten den mit einem Drehteil versehenen Frässpindelschlitten. Zur Unterstützung des Aufspanndornes ist rechts am Maschinengestell ein kräftiger Bock mit dem Gegenlager angeordnet.

Die Antriebe der Maschine sind besonders kräftig gehalten, namentlich die des Teilrades, das beim Wälzverfahren bekanntlich in steter Bewegung bleibt. Da sich je nach der Zähnezahl das Verhältnis zwischen Fräser- und Werkradumdrehungen ändert, so ist zwischen ihnen eine Wechselraderanordnung eingeschaltet. Der Antrieb für die Frässpindel muß durch ein Drehteil geleitet werden, da der Wälzfräser mit seinen Zähnen in eine mit den einzufräsenden Zähnen gleiche Richtung einzustellen sein muß.

In der Abb. 311 ist der Vorgang des Wälzens bei den Stirnrädern erläuternd wiedergegeben. Ihnen dürfte nichts hinzuzufügen sein.

Tritt nun im Übersetzungsverhältnis des Werkrades und des Fräasers während des Weiterschaltens des letzteren eine Veränderung ein, so entsteht ein spiralgewundener Zahn, dessen Steigung links oder rechts sein wird, je nachdem die Veränderung eine Beschleunigung oder eine Verzögerung verursachte (siehe Abb. 312).

Hervorgerufen wird diese Beschleunigung oder Verzögerung durch ein Differentialgetriebe, das zwischen den Antrieben des Fräasers und der Werkradspindel eingeschaltet ist und vom Schaltwege des

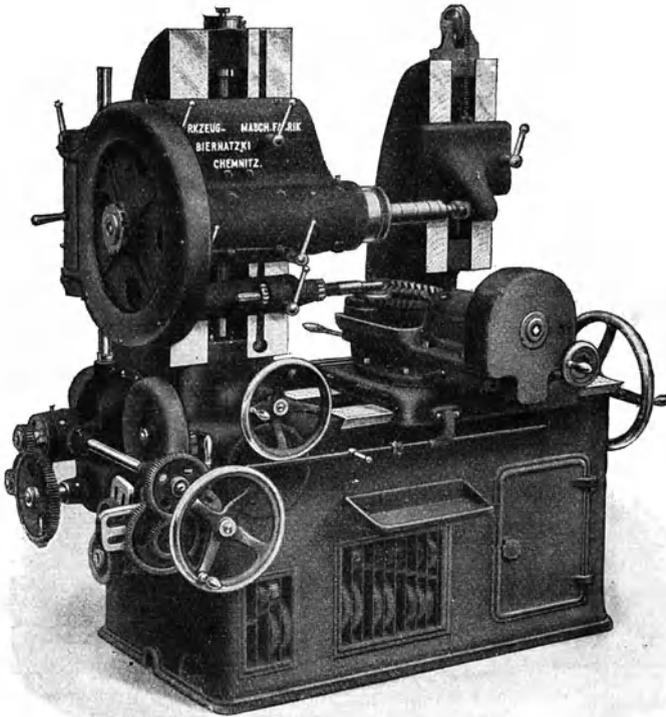


Abb. 309. Die Räderfräsmaschine nach dem Wälzverfahren von Biernatzki & Co.

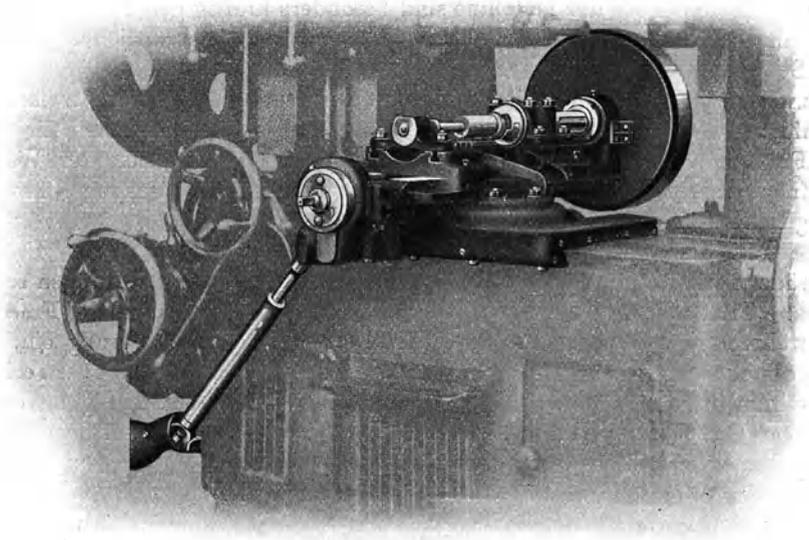


Abb. 310. Der Antrieb für den Vorschub des Fräderschlittens.

Fräasers betätigt wird. Hierbei ist notwendig, den Fräser in einen Winkel zu stellen, der sich aus dem Steigungswinkel des Fräfers und dem des zu fräsierenden Spiralzahnrades zusammensetzt. Erhält das

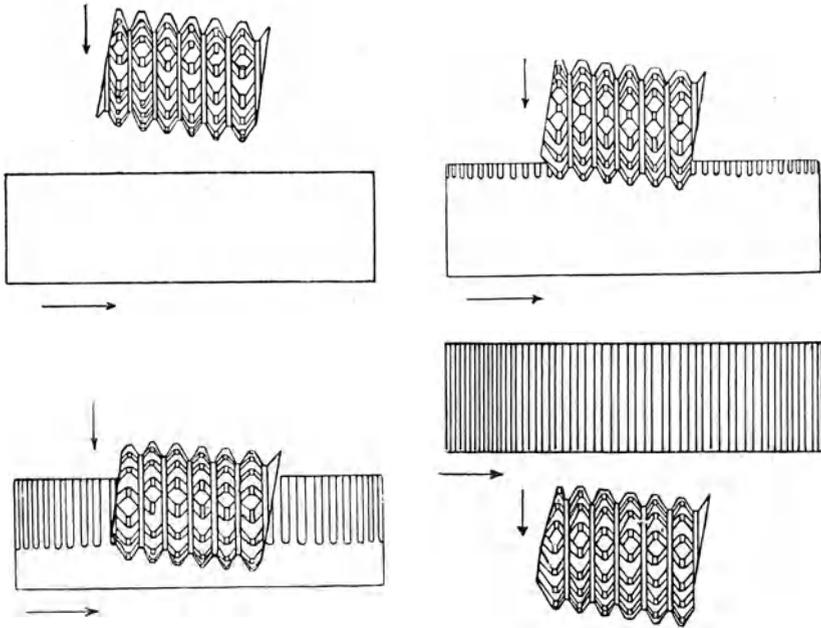


Abb. 311. Die Arbeitsvorgänge beim Wälzen eines Stirnrades.

Werkrad dieselbe Steigungsrichtung wie die Fräserzähne, so besteht der Winkel aus Steigungswinkel des Werkrades minus Steigungswinkel des Fräfers; im anderen Falle aus Steigungswinkel des Werkrades plus Steigungswinkel des Fräfers. Aus der Abb. 312 ist der Arbeitsgang leicht zu ersehen.

Die Abb. 310 läßt noch einen Antrieb für den tangentialen Vorschub des Fräser-

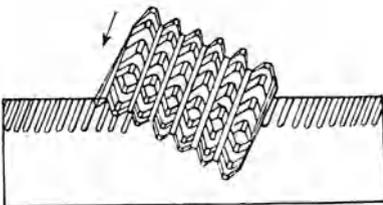


Abb. 312. Die Arbeitsvorgänge beim Wälzen eines Spiralzahnrades.

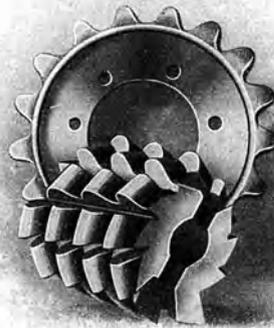


Abb. 313. Kettenzahnrad mit dem dazugehörigen Wälzfräser.

schlittens erkennen, mit dessen Hilfe die Herstellung von Schneckenrädern mittelst gewindebohrerähnlichem Fräser ermöglicht wird.

Die Abb. 313 zeigt ein durch das Wälzverfahren hergestelltes Kettenrad nebst Wälzfräser.

Die Stirnräderfräsmaschine nach dem Wälzverfahren von
J. E. Reinecker in Chemnitz.

Eine weitere Maschine zum Verzahnen von Stirnrädern nach dem Wälzverfahren zeigt die Abb. 314. Die Arbeitsweise der Maschine ist ganz selbsttätig. Selbsttätige Auslösung ist vorgesehen. Die Maschine

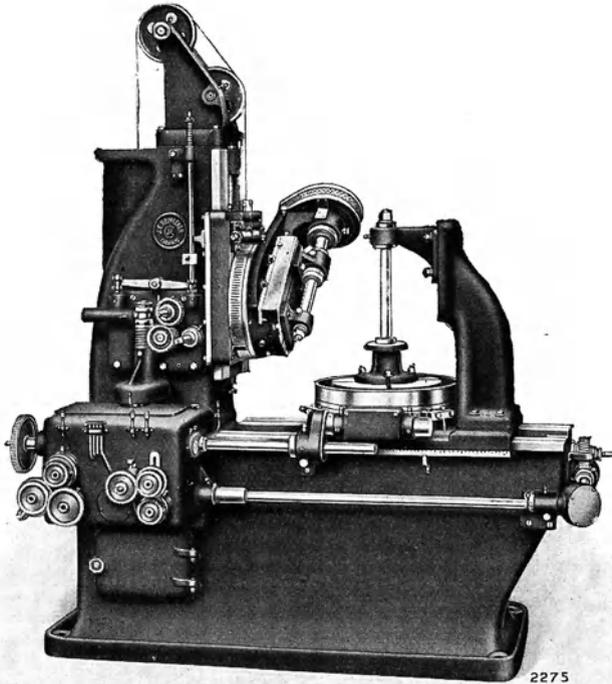


Abb. 314. Stirnräderfräsmaschine nach dem Wälzverfahren von J. E. Reinecker.

kann auch mit einer Vorrichtung zum Fräsen mit Einzelfräser ausgerüstet werden. Das Weiterteilen muß dabei jedoch von Hand erfolgen. Diese Einrichtung bietet den großen Vorteil, daß für selten vorkommende Teilungen kein teurerer Wälzfräser, sondern nur der entsprechende Einzelfräser beschafft werden braucht. Die Maschine eignet sich auch zum Verzahnen von Schneckenrädern.

Die Schneckenräderfräsmaschine von J. E. Reinecker
in Chemnitz.

In den Abb. 315—319 ist eine Sondermaschine zum Verzahnen der Schneckenräder dargestellt. Auch diese Maschine arbeitet nach dem Wälzverfahren.

Das zwangsläufige Schneiden der Schneckenräder nach dem Verfahren von Reinecker vollzieht sich in ganz anderer Weise als das sonst übliche, bei dem durch allmähliches Nähern von Fräser und Schnecken-

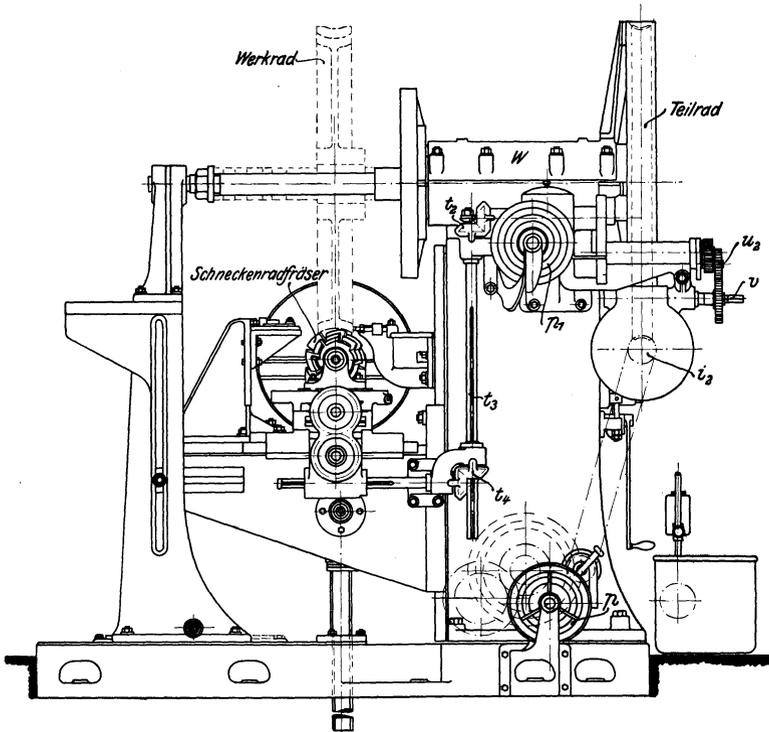


Abb. 315. Die Schneckenräderfräsmaschine von J. E. Reinecker.

rad die Berührung der Teillinie der Schnecke bzw. des Fräasers und des Teilkreises des zu fräsenden Schneckenrades (Werkrades) erst im letzten Augenblick stattfinden kann.

Reinecker läßt die Teillinie und den Teilkreis von Anfang an zusammentreffen und vermeidet somit den bekannten Fehler des alten Verfahrens, daß für die Zahnanlage wertvolle Partien unnütz weggeschnitten werden, was namentlich beim Schneiden von Schneckenrädern für steilgängige Schnecken verstümmelte Zahnlücken ergab.

Die Möglichkeit, Teillinie und Teilkreis vom Anfang an zu vereinigen, hat J. E. Reinecker durch die Form seines eigenartigen Schnecken-

radfräasers (siehe Abb. 54 und 55) in Verbindung mit der Vorschubart erreicht. Der Fräser ist konisch, seine Zähne sind wie die eines Gewindebohrers angeordnet, sie haben wohl auf dem Grunde die richtige Tiefe, aber die oberen Partien fehlen am Anfang fast ganz und nehmen erst nach und nach zu, so daß erst am Ende der Fräser die vollen Zähne aufweist. Der Vorschub des Fräasers erfolgt wie das Hineinschneiden eines Gewindebohrers. Er dringt von vorn mit axialem Vorschub in das Werkrad hinein, bei richtigem Mittenabstand zwischen Fräser und Werkrad.

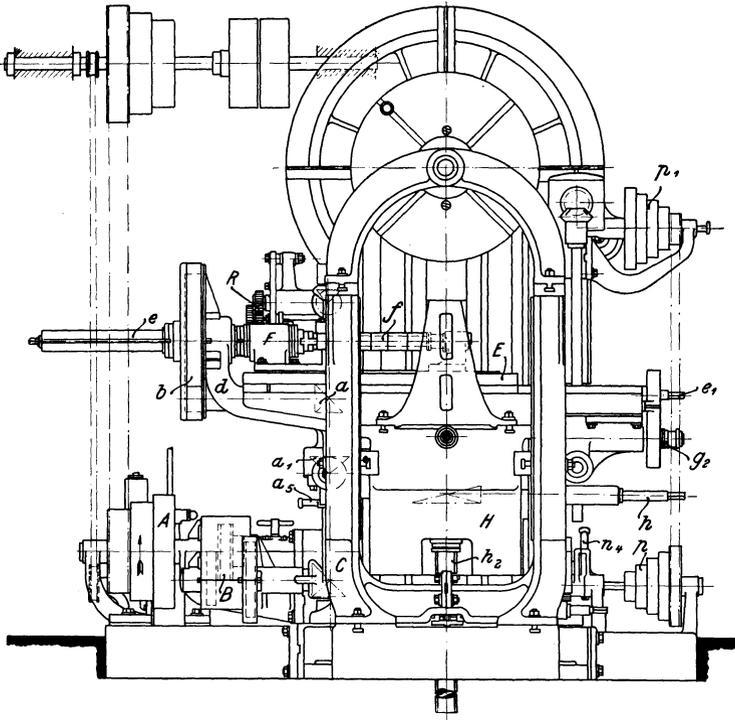


Abb. 316. Die Schneckenräderfräsmaschine von J. E. Reinecker.

Der Antrieb der Maschine erfolgt von der Stufenscheibe *A* und wird durch Wellen und Kegelräderpaare einmal nach dem Frässpindelstock *F* und zum anderen nach dem Werkradspindelstock *W* geleitet. Die Wechselräderanordnung *R* dient zur Bestimmung der Zähnezahls des zu fräsierenden Werkrades *S*, um das erforderliche Verhältnis zwischen Fräser- und Werkradumdrehungen zu erhalten. Vom Kettenrade *i*₂ wird durch später näher angeführte Organe der Vorschubbewegungsantrieb auf die Stufenscheiben *p* und *p*₁ übertragen. Da beim bloßen Verschieben des Frässlittens *E* die Zähne vom Fräser weggeschnitten würden, so muß der Vorschubgröße entsprechend, dem Teilrade und somit dem Werkrad

eine Beschleunigung erteilt werden. Zu diesem Zwecke geht von p_1 (Abb. 315) eine Bewegung über u_2, v zu einem Differentialgetriebe, um dem Teilrade die erforderliche Beschleunigung als Ausgleich für den Fräservorschub zuzusetzen.

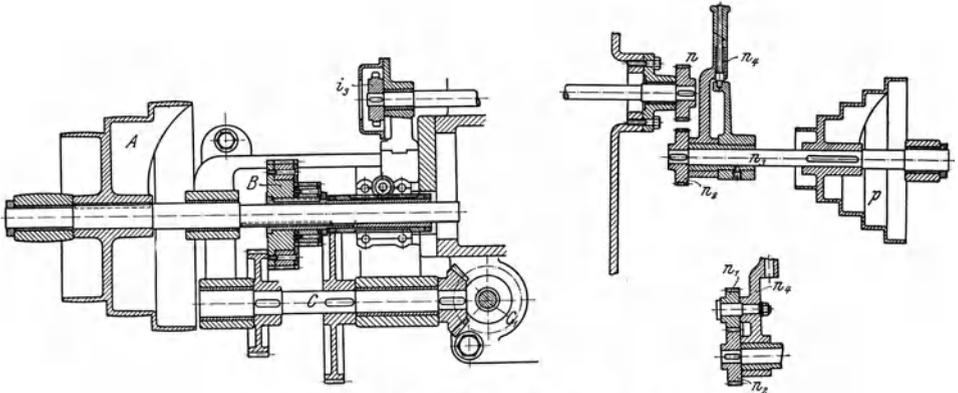


Abb. 317. Die Antriebsorgane der Maschine.

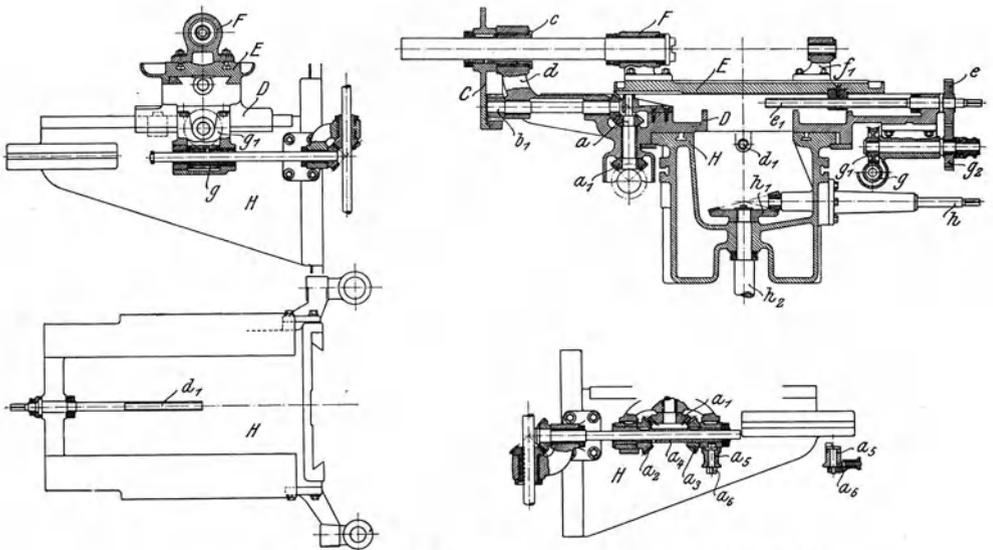


Abb. 318. Schnitt durch die Supporte und den Fräserantrieb.

Die Einzelheiten der Antriebe stellen die nachstehenden Abbildungen dar. Wie aus Abb. 317 ersichtlich, kann der Antrieb mit zwei Geschwindigkeiten über das verschiebbare Doppelrad B auf die Welle C übertragen werden, der durch das Kegelräderpaar C_1 weitergeleitet wird. In der Nähe befindet sich auch das Gegenkettenrad i_3 , dessen Welle

am anderen Ende das Zahnrad n trägt. Über das Zwischenrad n_1 wird das Rad n_2 angetrieben, auf dessen Welle n_3 die Stufenscheibe p sitzt. Dieser Vorschubantrieb läßt sich durch Ausrücken des Zwischenrades n_1 , das sich am Hebel n_4 befindet, jederzeit ausrücken bzw. unterbrechen.

Den Antrieb des Fräasers läßt die Abb. 318 erkennen. Durch die Wellen von C_1 erhält das Kegelräderpaar a seine Bewegung, nachdem es vorher im Wendegetriebe durch die Kegelräder $a_1 a_2 a_3$ die erforderliche Umdrehungsrichtung erhalten hat. Die verschiebbare Büchse a_4 , auf der a_2 und a_3 festgekeilt ist, kann durch den im Böckchen a_5 befindlichen Hebel a_6 verschoben werden und bringt a_1 entweder mit a_2 oder a_3 in Eingriff. Das Innenzahnrad b (Abb. 315), das durch Ritzel b_1 angetrieben wird, ist auf der Büchse c unverschiebbar im Bock d des Quersupportes D gehalten. Die in c verschiebbare Frässpindel hat ihr Hauptlager auf dem Längstisch E . Für den Fräsdorn f ist das Gegenlager f_1 vorgesehen.

Die Vorschubbewegung überträgt die Schnecke g (Abb. 318) auf das Schneckenrad g_1 , auf deren Welle das Zahnrad g_2 sitzt, das in das Zahnrad e greift und somit die Supportspindel e_1 den Tisch E mit Fräser langsam vorschiebt. Nach erfolgtem Ausrücken von g_2 ist durch Spindel e_1 und eine Kurbel der Tisch E von Hand verstellbar.

Zur Höheneinstellung des gesamten Supportes dient die Spindel h , Räderpaar h_1 und Gewindespindel h_2 des Konsol-supportes H (Abb. 318). Der letztere gleitet in senkrechten Führungen des Maschinengestelles und ist zwecks Versteifung durch Träger mit dem letzteren zu verschrauben.

Den Antrieb des Teilrades gibt die Abb. 319 wieder. Er wird vom Wechselrad r_1 auf die Spindel i geleitet, an deren anderem Ende sich das Kegelrad e_1 des Differentialgetriebes k befindet. Dadurch, daß sich die kleinen Rädchen k_1 und k_2 auch noch um ihre eigene Achse drehen müssen, wird auf das Kegelrad i_2 nur die halbe Umdrehungsgeschwindigkeit von e_1 übertragen. Die lange Büchse l überträgt die von i_2 empfangene Drehung nunmehr durch die Schnecke m auf das Teilrad.

Auf der Welle i befindet sich noch das Kettenrad i_2 , von dem der Antrieb für den Vorschub abgeleitet wird. Von Stufenscheibe p_1 kann die Bewegung schnell oder durch das in ihr eingebaute Vorgelege verlangsamt auf die Welle p_2 , Schnecke p_3 bzw. Schneckenrad o übertragen werden. Das letztere sitzt lose auf der Welle t , die erst nach Einschalten der Klauenkupplung t_1 mitgenommen wird. Durch die Kegelräder und Wellen t_2 , t_3 und t_4 (Abb. 319) wird sodann der Schnecke g (Abb. 318), wie schon beschrieben, die Bewegung zum Vorschub des Tisches E erteilt.

Am anderen Ende der Welle t sitzt noch das Zahnrad u , das durch Zahnrad u_1 , Welle u_2 und Zahnräder u_3 , u_4 , u_5 , u_6 , u_7 die Welle v antreibt. Auf dieser sitzt die Schnecke v_1 , die in das auf Welle k_3 sitzende Schneckenrad k_4 greift und somit dem Differentialkopf k eine ganz

langsame Bewegung erteilt. Sobald sich nun k mit den Rädchen k_1 k_2 dreht, so wird um die Größe dieser Bewegung das Kegelrad i_2 schneller

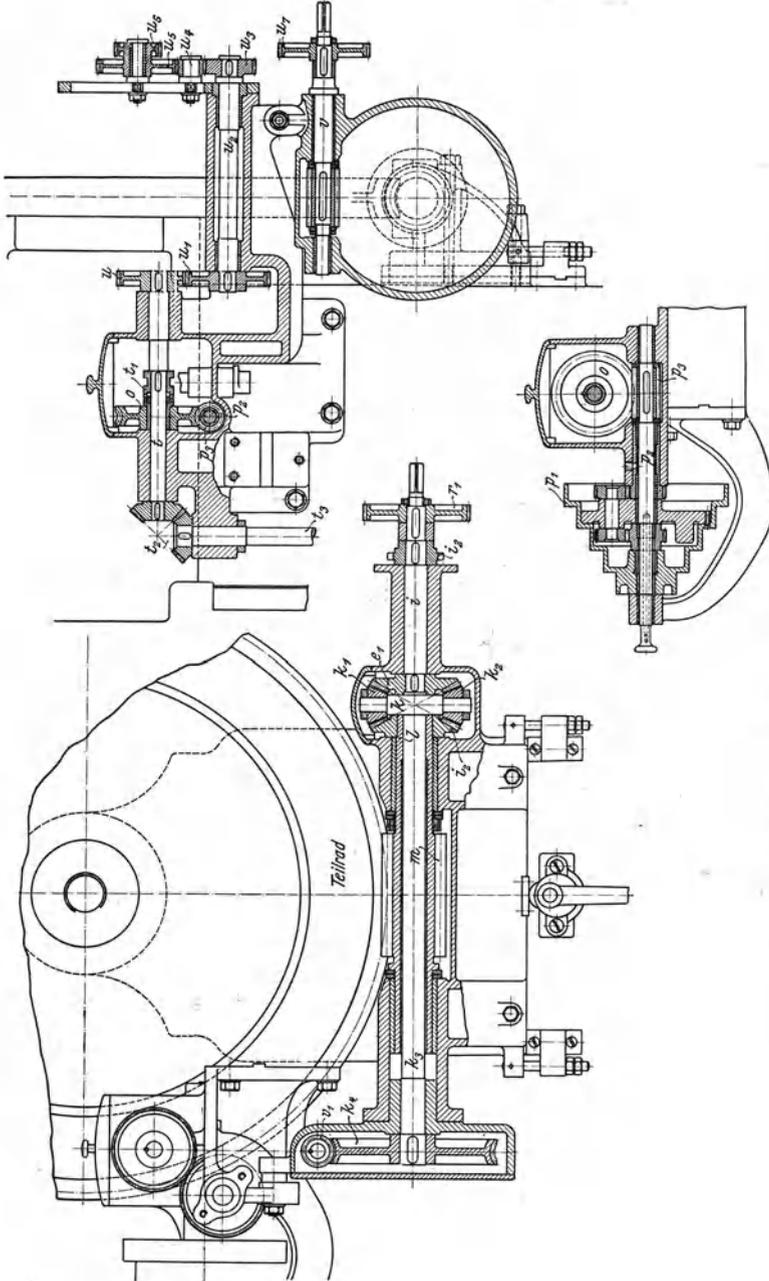


Abb. 319. Schnitte durch die Antriebsorgane des Teilrades.

gedreht und hiermit ist dann die erforderliche Beschleunigung für den Antrieb des Teilrades hinzugesetzt.

Da diese Sondermaschine nur in großen Werkstätten voll auszunutzen ist, wird sie mit einigen Abänderungen auch zum Fräsen von Stirnrädern eingerichtet, gebaut.

Selbsttätige Räderfräsmaschine von H. Pfauter in Chemnitz.

Eine gut durchgebildete, nach dem Wälzverfahren arbeitende Maschine zum Verzahnen von Stirn-Spiralzahn-Schrauben- und Schneckenrädern ist in der Abb. 320 dargestellt. Die Konstruktion der Maschine

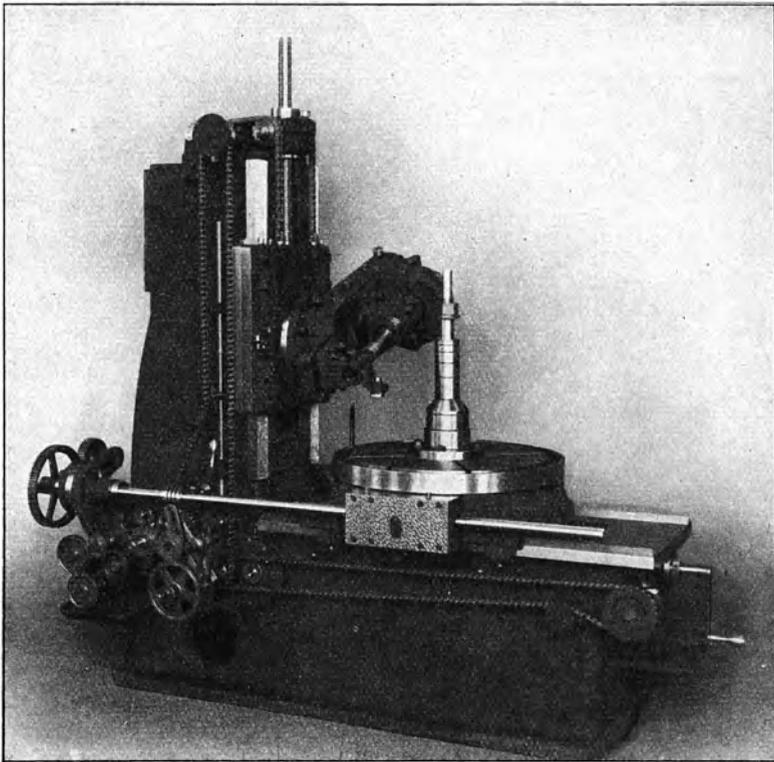


Abb. 320. Die Räderfräsmaschine von H. Pfauter.

zeichnet sich besonders durch äußerst einfache Bedienung und leichte Beobachtung des Arbeitsvorganges aus.

Der zu fräsende Radkörper wird auf dem durch Schneckengetriebe bewegten Rundtisch, der auf einem wagerecht verschiebbaren Schlitten ruht, aufgespannt. Die Frässpindel ist in einem zweiten, am Ständer in senkrechter Richtung verschiebbaren Schlitten gelagert. Die Lager

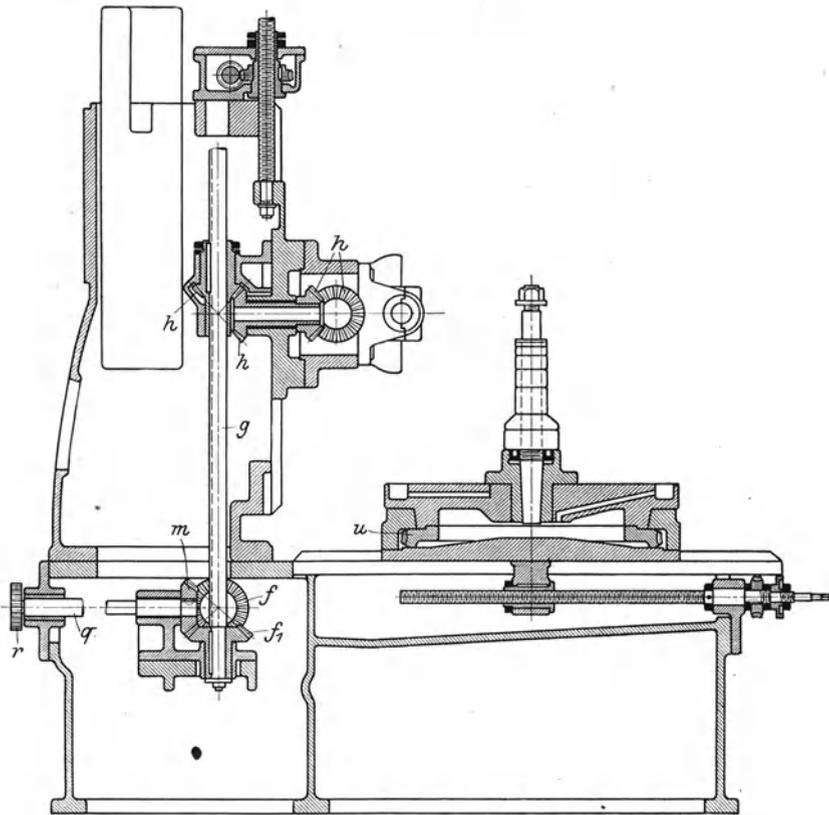


Abb. 321. Senkrechtschnitt durch die Maschine.

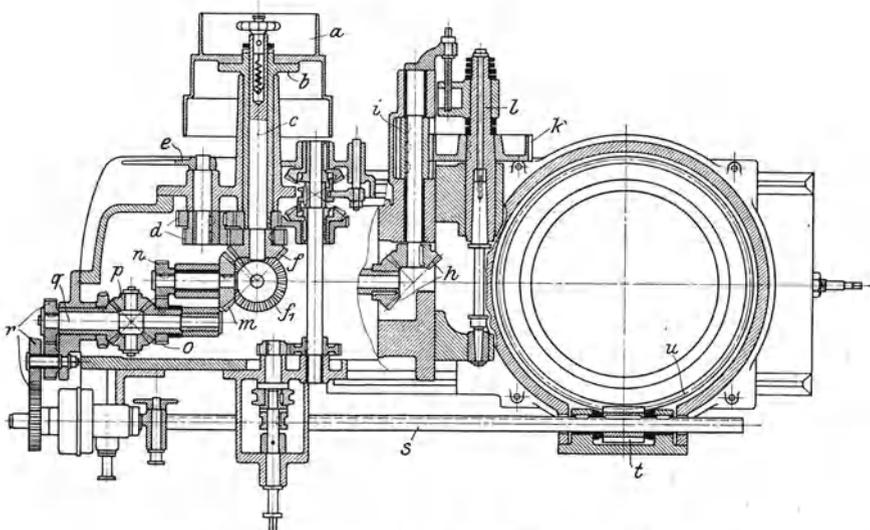


Abb. 322. Wagerechtschnitt durch die Bewegungsmechanismen.

sitzen auf einem Drehteil und der Antrieb ist derartig angeordnet, daß die Spindel von der wagerechten bis in die senkrechte Lage in jedem Winkel einstellbar ist.

Die den Fräser tragende Arbeitsspindel und der Aufspanntisch sind durch Wechselräder verbunden.

Beim Fräsen von Stirn- und Schraubenrädern können mehrere Radkörper übereinander aufgespannt werden. Der durch Gewichte aus-

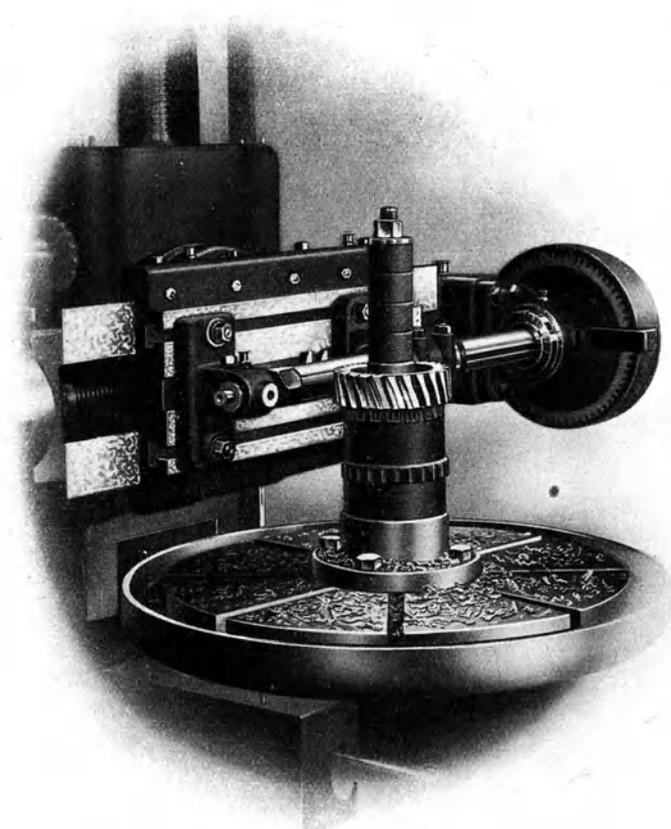


Abb. 323. Der Schneckenfräsapparat.

balancierte Spindelschlitten wird gleichmäßig von oben nach unten vorgeschoben, während der Tischschlitten in Ruhe bleibt. Beim Fräsen von Schneckenrädern bleibt der Spindelschlitten in Ruhe, der Arbeitsvorschub geschieht hier mittelst des Tischschlittens gegen den Fräser. In allen Fällen ist nach Fertigstellung der Verzahnung selbsttätige Auslösung des Vorschubes vorgesehen.

Die Einrichtung zum Spiralzahn- und Schraubenradfräsen besteht

aus einem sinnreich konstruierten, auf der Antriebswelle der Teilwechselräder angeordneten Differentialgetriebe. Wird die Maschine nur zum Fräsen von Stirnrädern und einfachen Schneckenrädern gebraucht, so erübrigt sich das Differentialgetriebe. Die Konstruktion ist derart, daß es jederzeit nachträglich angebracht werden kann.

Bei Rädern mit seltener vorkommenden Teilungen, die die Anschaffung eines Wälzfräasers nicht lohnen, kann auch mit Einzelfräser gearbeitet werden. Die Maschine arbeitet dann nur halbautomatisch. Das Weiterteilen nach Fertigstellung einer Zahnücke muß dabei von Hand erfolgen. Bei senkrecht eingestellter Frässpindel kann die Maschine auch als Rundfräsmaschine verwendet werden.

Abb. 321 zeigt einen Senkrechtschnitt und Abb. 322 einen Wagerechtschnitt durch die Bewegungsmechanismen.

Der Gesamtantrieb der Maschine erfolgt durch die dreifache Stufenscheibe *a*. Die Stufenscheibe sitzt auf der Laufhülse *b* und wird entweder mit Welle *c* gekuppelt oder der Antrieb wird über das Rädervorgelege *d d*, welches durch Exzenterbolzen und Hebel *e* ein- und ausgelöst werden kann, vermittelt der Kegelräder *f f₁* auf die senkrechte Welle *g* übertragen. Welle *g* treibt durch die Winkeltriebe *h h* und die Stirnräder *i* und *k* die Frässpindel *l* an. Es lassen sich durch diese Anordnung sechs verschiedene, gleichmäßig abgestufte Umdrehungszahlen für die Frässpindel erreichen. Stirnrad *i* hat eine mehrfache Zahnbreite von Rad *k* und gestattet dadurch in einfachster Weise die axiale Verschiebung der Frässpindel. Der Antrieb für den Rundtisch ist durch das in Kegelrad *f₁* eingreifende Rad *m*, Stirnräderpaar *n o*, Differentialgetriebe *p*, Welle *q*, Teilwechselräder *r r*, Schaftwelle *s*, Schnecke *t* und Schneckenrad *u* zwangsläufig mit dem Fräserantrieb verbunden.

Die im Schaubild Abb. 320 ersichtlichen beiden Wechselrädernsysteme werden von der Welle *s* vermittelt Schnecke und Schneckenrad angetrieben und dient das vordere zur Regelung der verschiedenen Vorschübe. (Bei Stirn-, Spiralzahn- und Schraubenrädern senkrechter Vorschub des Fräseschlittens, bei Schneckenrädern wagerechter Vorschub des Aufspanntisches gegen den Fräser.) Die Übertragung geschieht durch die im Bild deutlich sichtbaren Rollenketten.

Die zweite Wechselrädernanordnung dient dazu, beim Fräsen von Spiralzahn- und Schraubenrädern den Teil- und Vorschubbewegungen vermittelt des Differentialgetriebes die der Zahnschräge entsprechende beschleunigte oder verzögerte Bewegung zu erteilen.

Eine wesentliche Vervollkommnung zum Fräsen von Schneckenrädern erhält die Maschine durch die Ausrüstung mit einem Schneckenradfräsapparat, wie Abb. 323 zeigt. Der Apparat gestattet der Frässpindel während des Arbeitens eine axiale Verschiebung zu erteilen. Die Maschine muß hierbei auch mit dem vorher genannten Differentialgetriebe ausgerüstet sein. Um bei Schneckenrädern mit einem größeren

Steigungswinkel der Schnecke als 12° eine korrekte Zahnanlage zu erreichen, ist es erforderlich, den Fräser mit dem Rad auf die richtige Mittenentfernung einzustellen und axial durchzuschalten. Durch die Möglichkeit, die Frässpindel axial zu verschieben, lassen sich auch Schneckenräder mittelst des sogenannten Schlagzahnes, wie Abb. 323 und 325 zeigen, herstellen.

Als vorteilhaftestes Werkzeug zum Schneiden von Schneckenrädern dient der zylindrische Schneckenradfräser. Für hochsteigende Schnecken-

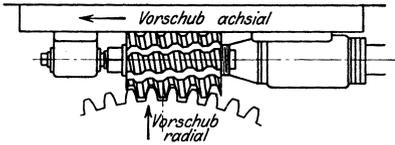


Abb. 324. Fräsen eines Schneckenrades mit normalem Schneckenfräser.

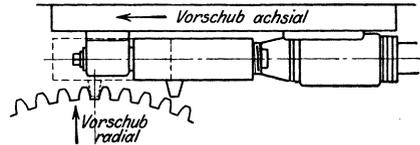


Abb. 325. Fräsen eines Schneckenrades mit Schlagzahn.

gänge ist jedoch der konische Schneckenradfräser erforderlich. In Einzelfällen, wo sich die Anschaffung eines Schneckenradfräses nicht lohnt, ist der einfache Schlagzahn zu empfehlen.

Es ist vorteilhaft, den Fräser so einzustellen, daß die Zähne der ersten beiden Gewindesteigungen über die Radmitte stehen. Man fräst dann mit radialem Vorschub, Abb. 324, bis auf die richtige Tiefe vor und schlichtet mit axialem Vorschub fertig.

Beim Fräsen mit Schlagzahn schrotet man ebenfalls zweckmäßig vor, indem man den Schlagzahn auf die Radmitte (Abb. 325 punktiert) einstellt und mit radialem Vorschub die Zahnluken auf richtige Tiefe vorfräst. Dann muß der Frässlitten so weit zurückgebracht werden, daß der Fräszahn die vorgeschroteten Radzähne nur an den äußersten Enden der Flanken tangiert (Abb. 325). Hierauf werden die Zähne vermittelt axialem Vorschub geschlichtet und die richtige Zahnflanke fertiggestellt. Es ist auch

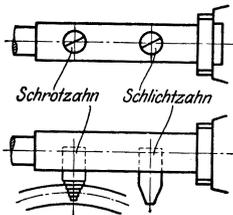


Abb. 326. Schlagzahn-
dorn mit Schrot- und
Schlichtzahn.

angängig, beim Fräsen mit Schlagzahn mit zwei Zähnen zu arbeiten (Abb. 326), indem der erste Zahn die Zahnluke vorschrotet und der zweite mit axialem Vorschub schlichtet. Der Schrotzahn erhält dabei zweckmäßig eine etwas geringere Breite als der Schlichtzahn. Der axiale Vorschubweg muß zur völligen Ausbildung der Zahnflanke beim Fräsen mit Schlagzahn so groß sein, daß der Schlichtzahn auf der dem Anschnitt gegenüberliegenden Seite wieder vollständig aus der Zahnluke heraustritt.

Beim Fräsen mit konischem Fräser (Abb. 327) wird Fräser und Rad auf richtige Mittenentfernung derart eingestellt, daß der konische

Teil des Fräasers das Rad anschneidet. Es wird hierbei nur mit axialem Vorschub gearbeitet. Die völlige Ausbildung der Zahnflanke wird

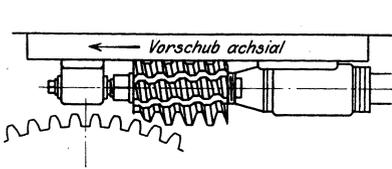


Abb. 327.

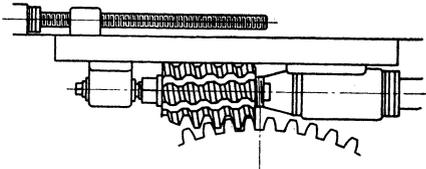


Abb. 328.

Fräsen eines Schneckenrades mit konischem Fräser.

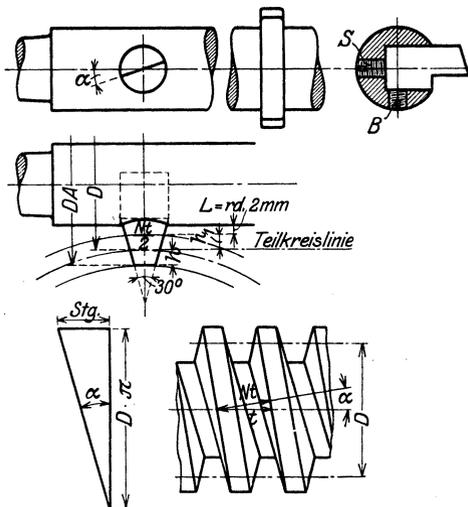


Abb. 329. Die Abmessungen des Schlagzahnes.

hierbei dann erreicht, wenn der erste volle Fräszahn so weit über die Radmitte vorgeschoben ist, daß derselbe mit den Zahnflanken des Rades außer Eingriff steht (Abb. 328).

Nachstehend sind die zur Herstellung eines Schlagzahndornes erforderlichen Abmessungen zusammengestellt und an einem Beispiel erläutert. Vergleiche hierzu die Abb. 329.

Es bezeichnet

Stg = Steigung der Schnecke,

a = Steigungswinkel der Schnecke,

Nt = Normalteilung der Schnecke,

$\frac{Nt}{2}$ = Zahnstärke im Teilkreis,

NM = Normal-Modul der Schnecke,

G = Gangzahl der Schnecke,

D = Teilkreisdurchmesser der Schnecke,

- t = Stirnteilung des Schneckenrades,
 DA = Außendurchmesser des Schlagzahnes,
 h = Kopfhöhe des Schlagzahnes,
 h^1 = Fußhöhe des Schlagzahnes.

Bei eingängigen Schnecken ist die Steigung gleich der Teilung: $Stg = t$. Bei mehrgängigen Schnecken ist die Steigung das mehrfache der Teilung: $Stg = G \cdot t$.

Beispiel: Schneckenrad 30 Zähne, Teilung $t = 16,18 \pi = 50,805$ mm.
Teilkreis $D = 485,4$

Schnecke 2gängig links, Teilkreisdurchmesser $D = 115$ mm

Dann wird:

1. $Stg = t \cdot G = 50,805 \cdot 2 = 101,61$,
2. $tga = \frac{Stg}{D \cdot \pi} = \frac{101,61}{361,284} = 0,28931$, $a = 15^\circ 45'$,
3. $Nt = t \cdot \cos a = 50,805 \cdot 0,9624 = 48,894$ mm
4. $\frac{Nt}{2} = \frac{48,894}{2} = 24,447$ mm,
5. $NM = \frac{Nt}{\pi} = \frac{48,894}{3,1416} = 15,57$,
6. $h^1 = NM = 15,57$ mm,
7. $h = \frac{7}{6} NM = \frac{7}{6} \cdot 15,57 = 18,16$,
8. $DA = D + 2h = 115 + 2 \cdot 18,16 = 151,32$.

Bei eingängigen Schnecken ist $h^1 = \frac{t}{\pi}$ und $h = \frac{h^1 \cdot 7}{6}$.

Die Zahnstangenfräsmaschine von J. E. Reinecker in Chemnitz

Abb. 330 zeigt eine Sondermaschine zum Fräsen von Zahnstangen. Die Maschine arbeitet ganz selbsttätig. Nach Vollendung eines Schnittes, der von oben nach unten erfolgt, läuft der Frässchlitten beschleunigt zurück, worauf das Weiterteilen selbsttätig erfolgt. Die Frässpindel liegt nicht parallel zu der zu fräsenden Zahnstange, sondern in einem Winkel von 10° . Um diesen Winkel auszugleichen, werden die Fräserflanken um den gleichen Betrag zur Achse geneigt ausgeführt. Diese Anordnung ermöglicht es, ein Antriebsrad auf der Frässpindel von der doppelten Größe des Fräasers anzuwenden. Die Leistungsfähigkeit der Maschine wird dadurch bedeutend erhöht. Allerdings lassen sich hiermit nur Evolventenzähne herstellen. Für geschweifte Zahnformen wird die Maschine mit besonderen Fräsansätzen oder direkt mit parallel gelagerter Spindel ausgeführt. Der Durchmesser des Antriebsrades kann dann nur dreiviertel des Fräserdurchmessers betragen. Dementsprechend ist auch die Leistungsfähigkeit der Maschine geringer.

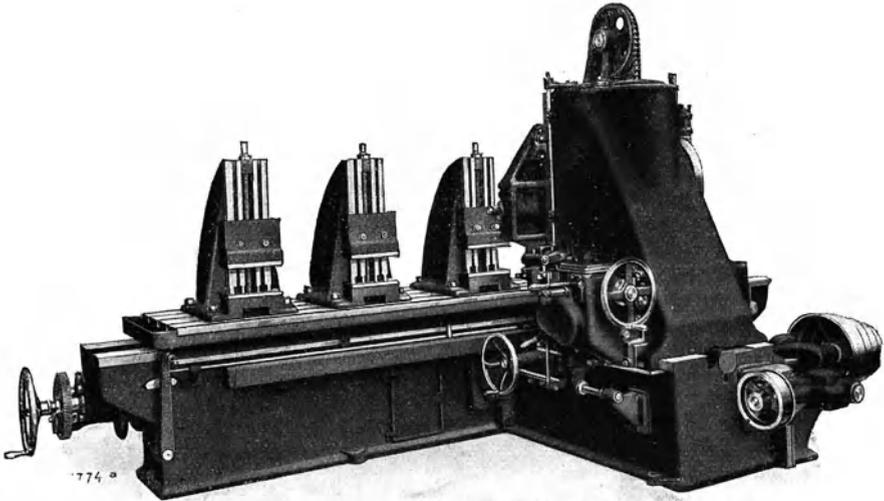


Abb. 330. Die Zahnstangenfräsmaschine von J. E. Reinecker.

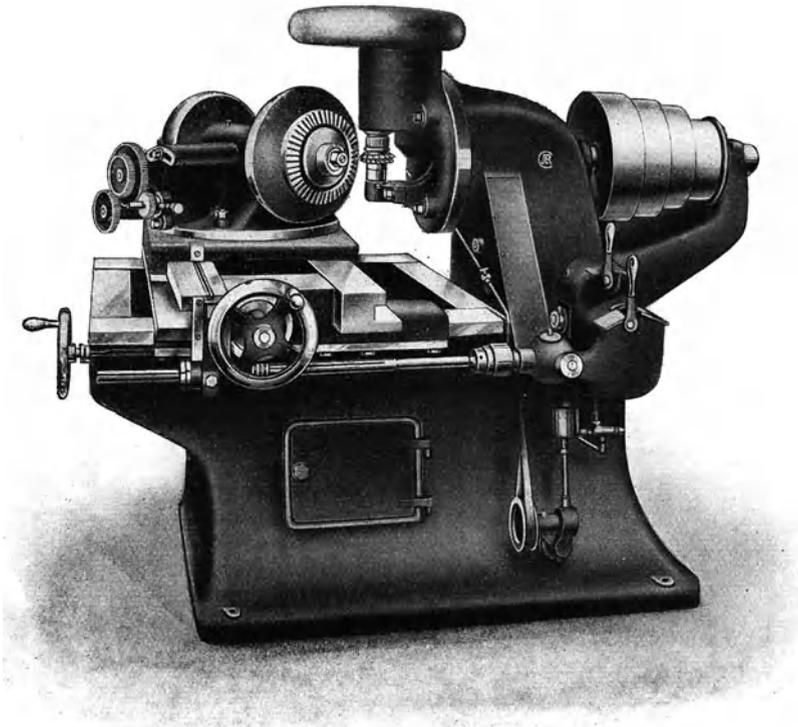


Abb. 331. Die Kegelrädervorfräsmaschine von J. E. Reinecker.

Die Kegelrädervorfräsmaschine nach dem Wälzverfahren von J. E. Reinecker in Chemnitz.

Die in Abb. 331 dargestellte, nach dem System Chambon D. R. P. Nr. 165 840 und 188 677 arbeitende, äußerst kräftig gebaute Maschine dient zum selbsttätigen Vorfräsen von Kegelrädern nach dem Wälzverfahren. Der dazu erforderliche Fräser entsteht durch Überschnneiden mit einer zweiten Steigung bzw. Teilung. Dadurch bleiben allerdings nur einzelne Partien der Fräserzähne stehen, jedoch genügen sie, um recht ansehnliche Leistungen hervorzubringen. Da der Fräser durch das Überschnneiden nur sehr kurz ausfallen kann, so kann sich natürlich eine der Zähnezahl entsprechende Zahnform nicht bilden und muß daher bedauerlicherweise dieses Verfahren nur auf das Vorfräsen beschränkt bleiben. Immerhin hat das Verfahren gegenüber dem Fräsen mit Scheibenfräser neben bedeutend größerer Leistungsfähigkeit noch den wesentlichen Vorteil, daß sich die Zahnstärken nach der Kegelspitze zu annähernd theoretisch richtig verjüngen, so daß für das Fertighobeln der Zahnflanken ein durchaus gleichmäßig starker Schnitt stehen bleibt. Die Anzahl der erforderlichen Fräser ist verhältnismäßig gering, da sie von der Zähnezahl des Rades unabhängig sind, und da beispielsweise ein Fräser, welcher die Bezeichnung: „Großer Modul 6, Kleiner Modul 4“ trägt, sämtliche Räder fräsen kann, deren Außen- und Innenteilung innerhalb von Modul 6 und Modul 4 liegt. Die Zahnlänge kann dabei bis zu $\frac{1}{3}$ der Kegellänge betragen. Für größere Zahnlängen ist das Verfahren nicht geeignet.

III. Anhang.

15. Die Zahnräder.

Die Vervollkommnung der Zahnräder bezüglich der Herstellung korrekter Zahnformen steht mit der Entwicklung der Fräserei im engen Zusammenhang. Es erscheint angebracht, etwas näher auf die einzelnen Arten, ihre Verwendung und die für die Bestimmung der Abmessung üblichen Normen einzugehen.

a. Allgemeines.

In der Hauptsache unterscheidet man vier Zahnräderarten:

1. Stirnräder,
2. Spiralzahn- und Schraubenräder,
3. Schneckenräder,
4. Kegelräder.

Die Stirnräder können nur zur Übertragung von Bewegungen auf parallel zueinander liegenden Achsen verwendet werden, während die Kegel-, Schnecken- und Schraubenräder die Übertragung unter beliebigen Winkel ermöglichen. Bei den Stirn- und Kegelrädern rollen oder wälzen sich die Zähne bei der Übertragung der Bewegungen aufeinander ab, während sie bei den Schnecken- und Schraubenrädern aneinander gleiten. Zur Übertragung von größeren Kräften werden daher vorzugsweise nur Stirn- und Kegelräder verwendet, da sie bei korrekter Verzahnung beinahe reibungsfrei arbeiten. Nur dort, wo das Übersetzungsverhältnis zu groß ist, werden Schneckenräder zur Übertragung größerer Kräfte angewendet. Die Schraubenräder können ihrer geringen Zahnanlage wegen nur zur Übertragung von geringen Kräften gebraucht werden. Sie sind nur dort am Platze, wo es sich darum handelt, zwischen zwei sich unter einem beliebigen Winkel kreuzenden Achsen einen möglichst geräuschlosen, gleichmäßigen Gang zu erzielen und können dort, wenn sie im Ölbad laufen, ziemlich hohe Umdrehungszahlen vertragen. Ebenso muß die Schnecke beim Schneckengetriebe dauernd im Ölbad laufen, um einen guten Wirkungsgrad zu erzielen.

Vor einigen Jahren sah man an Werkzeugmaschinen häufig Stirnräder mit zur Achse schräg liegenden, spiralgewundenen Zähnen. Es sollte damit bei hohen Umdrehungszahlen ein ruhigerer Gang erreicht werden. Da der ruhige Gang jedoch in erster Linie von der korrekten Zahnform abhängig ist und eine solche bei geraden Zähnen viel eher erreicht werden kann, ist man von der Anwendung der Spiralzahnräder fast gänzlich wieder abgekommen.

Eine Fortsetzung der Schneckengetriebe über die für diese bis dahin allgemein angenommene Grenze, bilden die in Abb. 332 dargestellten, von der Zahnradfabrik Fr. Stolzenberg & Co. gefertigten Helikoidengetriebe; das sind Schraubenräder mit konkav geschnittenen Zähnen. Es sind eigentlich weder Schnecken- noch Schraubenräder. Alle guten und eigentümlichen Eigenschaften der Schraubenräder besitzend, jedoch ohne deren Mängel, sind Helikoidengetriebe infolge der vollkommenen Zahnanlage zu Kraftübertragungen in weiterem Maße als Schraubenräder zu verwenden. Die Abnutzung ist geringer, der Nutzeffekt infolge der hohen Gangsteigung besonders günstig. Bremsversuche haben einen Nutzeffekt von 86% ergeben.

Sind große Kräfte bei verhältnismäßig hoher Umdrehungszahl zu übertragen, so werden mit Vorteil die Stirnräder mit Winkel- oder Pfeilzähnen verwendet. Wegen ihrer widerstandsfähigen Zahnform werden



Abb. 332. Helikoidengetriebe von Stolzenberg & Co.

sie fast durchgängig zum Antrieb von Walzwerken benutzt. Die Zähne werden dabei mit Fingerfräsern auf Sondermaschinen mit selbsttätiger Umkehr des Spiralantriebes eingeschnitten. Eine gut durchgebildete Sonderfräsmaschine zur Herstellung dieser Pfeilräder bis zu den größten Abmessungen wird von der Werkzeugmaschinenfabrik Lorenz in

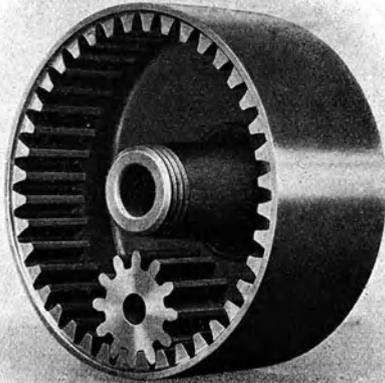


Abb. 333. Stirnradgetriebe mit Innenverzahnung von Stolzenberg & Co.

Ettlingen gebaut. Die Bestimmung der Abmessungen der Räder ist genau wie bei Schraubenrädern. Für solche Zwecke sei auch auf die bogenförmigen Verzahnungen (Böttcher) hingewiesen, Abb. 302.

Besonders ruhig laufen infolge größeren Zahneingriffes Stirnräder mit Innenverzahnung. Abb. 333 stellt ein solches Getriebe der bekannten Zahnradfabrik Fr. Stolzenberg & Co., Berlin-Reinickendorf, dar.

b. Die Bestimmung der Abmessungen.

1. Die Stirnräder.

Hat man Zahnräder zu bestimmen, so wird wohl meistens ein bestimmtes Übersetzungsverhältnis oder wohl auch noch der Mittenabstand der beiden in Bewegung zu setzenden Wellen gegeben sein. Im letzteren Falle ist man dann an bestimmte Durchmesser der Räder gebunden. (Die Berechnung der Zahnstärke nach dem Zahndruck oder den zu übertragenden Pferdestärken anzuführen, würde den diesem Buche gesteckten Rahmen überschreiten und sei hier übergangen.)

Bei Berechnung der Zahnräder ist nicht der äußere Durchmesser, sondern der des Teilkreises maßgebend. Es ist dies der Kreis, auf welchem

die Zahnteilung aufgetragen wird. Unter Zahnteilung hat man nun wieder den Mittenabstand von zwei nebeneinander liegenden Zähnen zu verstehen, nicht etwa nur die Zahnücke. Vom Teilkreis ausgehend, unterscheidet man noch Zahnkopf und Zahnfuß, es ist, wie schon die Namen sagen, der erstere das über dem Teilkreis und der letztere das unter dem Teilkreis liegende Stück des Zahnes. Diese Abmessungen macht man im allgemeinen von der Teilung abhängig, und zwar nimmt man die Höhe des ganzen Zahnes 0,7 mal Teilung, wovon 0,3 t auf den Zahnkopf und 0,4 t auf den Zahnfuß entfallen.

Wir wollen nun ein Getriebe bestimmen, dessen Räder 20 und 40 Zähne erhalten sollen. Die Teilung sei 22 mm. Der Einfachheit halber wollen wir folgende Bezeichnungen einführen:

	kleines Rad	großes Rad
Teilung	$= t$	t
Zähnezahl	$= z$	Z
Teilkreisdurchmesser	$= d$	D
Äußerer Durchmesser	$= d_1$	D_1

Es ist nun für das große Rad

$$D = \frac{Z \cdot t}{\pi} = \frac{40 \cdot 22}{3,14} = 280,25 \text{ mm,}$$

für das kleine Rad

$$d = \frac{20 \cdot 22}{3,14} = 140,12.$$

Der Mittenabstand (m) beider Räder ist gleich der Summe der beiden Teilkreisdurchmesser geteilt durch 2, also:

$$m = \frac{280,25 + 140,12}{2} = 220,18 \text{ mm.}$$

Der Zahnkopf wird

$$0,3 t = 0,3 \cdot 22 = 6,6 \text{ mm,}$$

der Zahnfuß

$$0,4 t = 0,4 \cdot 22 = 8,8 \text{ mm,}$$

die Höhe des ganzen Zahnes also

$$6,6 + 8,8 = 15,4 \text{ mm.}$$

Der Außendurchmesser des großen Rades wird also sein:

$$D_1 = D + 2 \cdot \text{Zahnkopf} = 280,25 + 2 \cdot 6,6 = 293,45 \text{ mm,}$$

der des kleinen:

$$d_1 = 140,12 + 2 \cdot 6,6 = 153,32 \text{ mm.}$$

Wie man sieht, ergeben sich für die Durchmesser recht unbequeme Maße, welche dem Dreher bei der Ausführung viele Schwierigkeiten bereiten würden, überhaupt ist die ganze Rechnung sehr unbequem. Man kann sie wesentlich einfacher gestalten, wenn man die Teilung als Vielfaches der Zahl $\pi = 3,14$ nimmt. Man nennt dies die Modulteilung oder das Modulsystem, weil man alle Abmessungen auf ein be-

stimmtes Einheitsmaß, auf 3,14, bezieht und nennt die Zahl, welche angibt, wie oft $\pi = 3,14$ in der Teilung enthalten ist, den Modul des Rades. Da man den Modul meist in ganzen Zahlen, höchstens in Halben oder Vierteln nimmt, wird die Rechnung so einfach, daß sie wohl jeder einigermaßen intelligente Arbeiter sofort begreift und leicht im Kopf behalten kann. Nachstehend soll dieselbe noch eingehend erläutert werden.

Am leichtesten verständlich wird es sein, wenn wir auf unser vorhergehendes Beispiel zurückgreifen.

Würden wir also statt 22 mm Teilung, $7 \cdot \pi = 21,99$ mm nehmen, so würden sich die Durchmesser wie folgt ergeben:

großes Rad

$$D = \frac{40 \cdot 7 \cdot \pi}{\pi} = 40 \cdot 7 = 280 \text{ mm,}$$

kleines Rad

$$d = \frac{20 \cdot 7 \cdot \pi}{\pi} = 20 \cdot 7 = 140 \text{ mm,}$$

woraus man sieht, daß sich eine Rechnung mit π ganz überflüssig macht, da es sich gegenseitig aufhebt. Es ist nur die Zähnezahl mit dem Modul zu multiplizieren. Um nun auch bequeme Außendurchmesser zu erhalten,

macht man den Zahnkopf nicht $0,3 t$, sondern $0,3183 t$, dies ist gleich $\frac{t}{\pi}$

gleich dem Modul, hier also 7 mm. Da der Außendurchmesser 2 mal um den Zahnkopf größer ist als der Teilkreisdurchmesser, so hat man, um den Außendurchmesser zu erhalten, nur nötig, 2 zur Zähnezahl zu addieren und mit dem Modul zu multiplizieren. Danach ergeben die Außendurchmesser unserer beiden Räder:

großes Rad

$$D_1 = (40 + 2) \cdot 7 = 294 \text{ mm,}$$

kleines Rad

$$d_1 = (20 + 2) \cdot 7 = 154 \text{ mm.}$$

Der Zahnfuß ist $1\frac{1}{6}$ mal Modul, folglich die ganze Frästiefe $2\frac{1}{6}$ Modul. Der Fußkreis wird also $2\frac{2}{6} = 2\frac{1}{3}$ Modul kleiner als der Teilkreis. Für unser Beispiel ergeben also die Fußkreisdurchmesser d_2 , D_2 :

großes Rad

$$D_2 = 280 - (2\frac{1}{3} \cdot 7) = 263,77,$$

kleines Rad

$$d_2 = 140 - (2\frac{1}{3} \cdot 7) = 123,77.$$

Da ferner der Mittenabstand m zweier Räder z , Z gleich der Summe der beiden halben Teilkreisdurchmesser ist, so hat man zu seiner Bestimmung nur nötig, die Zähnezahlen der beiden Räder zu addieren, mit dem Modul zu multiplizieren und durch 2 zu teilen. Für unseren Fall also

$$m = \frac{(40 + 20) \cdot 7}{2} = 210 \text{ mm.}$$

Für Räder, welche sehr genau arbeiten müssen und theoretisch richtig geschritten bzw. gefräst werden, soll Zahn­lücke gleich Zahn­stärke sein. Bei gewöhnlichen Zahnradübersetzungen gibt man jedoch einen geringen Spielraum, und zwar wird meistens $\frac{1}{40}$ der Teilung angegeben, so daß die Zahnstärke $\frac{39}{80} t$ und die Zahn­lücke $\frac{41}{80} t$ wird.

Es seien noch alle Hauptpunkte wiederholt und zusammengestellt.

$$\text{Teilung } t = \pi \cdot \text{Modul.}$$

$$\text{Teilkreisdurchmesser } d \text{ oder } D = z \cdot \frac{t}{\pi} = \text{Zähnezahl} \times \text{Modul.}$$

$$\text{Außendurchmesser } d_1 \text{ oder } D_1 = (z + 2) \cdot \frac{t}{\pi} = (\text{Zähnezahl} + 2) \cdot \text{Modul.}$$

$$\text{Zahnkopf} = \text{Modul.}$$

$$\text{Zahnfuß} = 1\frac{1}{8} \cdot \text{Modul.}$$

$$\text{Ganze Frästiefe} = 2\frac{1}{8} \cdot \text{Modul.}$$

Die Mittenentfernung m zweier ineinander greifender Stirnräder ist:

$$m = \frac{(z + Z) \cdot \text{Modul}}{2} = \frac{\text{Summe der Zähnezahlen beider Räder} \times \text{Modul}}{2}.$$

2. Die Spiralzahn- und Schraubenräder.

Nicht so einfach ist die Bestimmung der Spiralzahn- und Schrauben­räder (Abb. 334 und 335). Bei dieser Verzahnungsart sind zwei Teilungen, und zwar die Normalteilung und die Stirnteilung auseinander zu halten. Bei der Bestimmung der Abmessungen geht man von der Normalteilung aus und berechnet mit Hilfe des Zahnwinkels¹⁾ die zur Bestimmung des Teilkreisdurchmessers erforderliche Stirnteilung. Wie aus Abb. 335 ersichtlich ist, bildet die Normalteilung ($Nt.$) mit der Stirnteilung ($St.$) und der Zahnschräge ein rechtwinkliges Dreieck; und zwar stellt die Stirnteilung die Hypotenuse dar, während die Normalteilung und die Zahnschräge die beiden Katheten ergeben. Es bildet nun die Normalteilung mit der Stirnteilung genau denselben Winkel, wie die Radachse mit der Zahnschräge. Man nennt diesen Winkel den Zahnwinkel und ist derselbe in unserer Abbildung mit α bezeichnet. Wie wir früher bei den Berechnungen beim Fräsen spiralgewundener Nuten usw. sahen, ist im rechtwinkligen Dreieck die einem spitzen Winkel anliegende Kathete, geteilt durch die Hypotenuse, gleich dem Kosinus dieses Winkels,

¹⁾ Dieser Winkel wird bei Schraubenrädern fast immer als Steigungswinkel bezeichnet. Da man aber das Schraubenrad sowohl bezüglich seiner Herstellung als auch seiner Wirkungsweise als eine vielgängige Schnecke betrachten muß, so sind die einzelnen Zähne als Teile eines Gewinde- bzw. Schneckenganges anzusehen und als Steigungswinkel ist demnach der Winkel, den die Zähne mit der Stirnseite des Rades bilden, zu bezeichnen. (Vgl. Abb. 253 und Fußnote S. 233.) Der Winkel der Zähne mit der Achse ist daher auch hier immer als Zahnwinkel genannt. Die Zahnwinkel zweier ineinander greifender Schraubenräder müssen zusammen den Winkel ergeben, unter den sich die beiden Achsen schneiden.

$$\text{also ist } \frac{\text{Normalteilung}}{\text{Stirnteilung}} = \text{Kosinus } \alpha.$$

$$\text{Daraus ergibt sich: Stirnteilung} = \frac{\text{Normalteilung}}{\text{Kosinus } \alpha}.$$

Hier muß man allerdings auf die Vorteile, welche die Modulteilung bei Stirnrädern bietet — runde Masse für die Durchmesser zu erhalten — verzichten. Würde z. B. die Stirnteilung nach dem Modul angenommen,

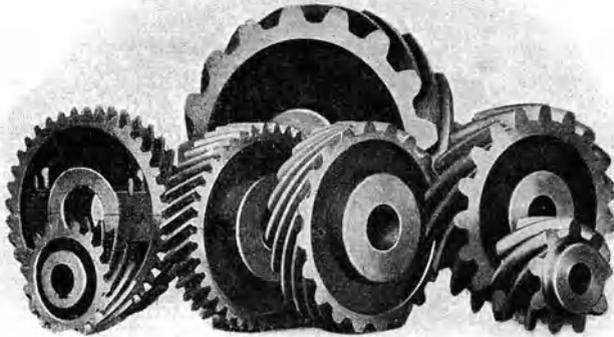


Abb. 334. Spiralzahnäder mit verschiedenen Zahnwinkeln.

so müßte für jeden anderen Zahnwinkel ein besonderer Fräser vorhanden sein, während sonst normale Fräser benutzt werden können. Für zwei ineinander greifende Räder mit ungleichen Zahnwinkeln würde es überhaupt unmöglich sein, eine korrekte Verzahnung zu erhalten. Die Normalteilungen zweier ineinander greifender Räder müssen stets gleich sein, während die Stirnteilungen, wenn nicht für beide Räder gleiche Zahnwinkel angenommen werden, ganz verschieden sein können. Daraus ergibt sich, daß zwei ineinander greifende Räder von gleicher Zähnezah verschiedene Teilkreisdurchmesser haben können und sie verhalten sich bei rechtwinklig kreuzenden Achsen, wenn die beiden Winkel zu

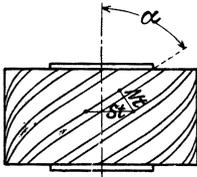


Abb. 335.
Die Normal- und Stirnteilung der Spiralzahnäder.

$26^{\circ} 35$ Minuten und $63^{\circ} 25$ Minuten genommen werden, wie 1 : 2. Diese Unabhängigkeit der Durchmesser von der Zähnezah läßt sich für manche Zwecke vorteilhaft verwenden, nur muß dabei das Rad mit dem größeren Zahnwinkel immer als treibendes Rad benutzt werden.

Der Zahnkopf und Zahnfuß werden nach der Normalteilung, wie bei geraden Zähnen bestimmt. An einem Beispiel sei das bisher Gesagte nochmals erläutert.

Es sei ein Schraubenräderpaar zu bestimmen, dessen Achsen sich rechtwinklig schneiden. Die Übersetzung sei 1 : 2, die Zähnezah 30 und 60. Die Normalteilung sei Modul $6 = 6 \cdot \pi$. Nehmen wir den Zahnwinkel α für beide Räder gleich, so beträgt derselbe, da sich die Achsen rechtwinklig, also unter 90° , schneiden, 45° . Die Stirnteilung ist dann

$$St = \frac{\text{Normalteilung}}{\text{Kosinus } \alpha} = \frac{6}{\text{Kosinus } 45^\circ},$$

für Kosinus 45° finden wir in unserer Tabelle den Wert 0,707, dies ergibt:

$$St = \frac{6}{0,707} = 8,486 \text{ Modul.}$$

Der Teilkreisdurchmesser des kleinen Rades ist also:

$$d = z \cdot St = 30 \cdot 8,486 = 254,6 \text{ mm,}$$

der Teilkreisdurchmesser des großen Rades

$$D = 60 \cdot 8,486 = 509,2 \text{ mm.}$$

(Die Teilung könnte man auch in Millimetern ausdrücken, doch wird die Rechnung dabei nur unbequem. Wir hätten dann in unserem Beispiel

als Stirnteilung $\frac{18,86}{0,707} = 26,676$. Die Teilkreisdurchmesser würden sich

dann berechnen aus $d = \frac{z \cdot t}{\pi}$, also der des kleinen Rades zu $\frac{30 \cdot 26,676}{\pi} = 254,6 \text{ mm.}$)

Der Zahnkopf wird nach der Normalteilung gleich dem Modul, also 6 mm, folglich ist der Außendurchmesser des kleinen Rades

$$d_1 = 254,6 + 2 \cdot 6 = 266,6 \text{ mm,}$$

der Außendurchmesser des großen Rades

$$D_1 = 509,2 + 2 \cdot 6 = 521,2 \text{ mm.}$$

Da sich die Zahnabmessungen nur nach der Normalteilung richten und für die sonstigen Abmessungen des Rades außer der Normalteilung nur der Teilkreisdurchmesser erforderlich ist, kann von der Berechnung der Stirnteilung Abstand genommen werden, weil aus der Normalteilung und dem Zahnwinkel der Teilkreisdurchmesser bestimmt werden kann. Man multipliziert wie bei Stirnrädern den Modul der Normalteilung mit der Zähnezah und dividiert den erhaltenen Wert durch den Kosinus des Zahnwinkels. Mit bezug auf obiges Beispiel berechnen sich die Teilkreisdurchmesser der beiden Räder wie folgt:

kleines Rad

$$d = \frac{30 \cdot 6}{0,707} = \frac{180}{0,707} = 254,6,$$

großes Rad

$$D = \frac{60 \cdot 6}{0,707} = \frac{360}{0,707} = 509,2.$$

Zusammengefaßt, ergibt:

Normalteilung $Nt = \pi \cdot \text{Modul}$,

$$\text{Stirnteilung } St = \frac{Nt}{\text{Kosinus } \alpha}$$

und infolgedessen auch, wenn die Stirnteilung bekannt ist:

$$\text{Normalteilung } Nt = St \cdot \text{Kosinus } \alpha,$$

worin für α der Zahnwinkel einzusetzen ist, das ist, wie schon früher gesagt wurde, der Winkel, den die Spirale oder Zahnschräge mit der Achse bildet (siehe Abb. 335).

Teilkreisdurchmesser

$$d = \frac{\text{Modul der Normalteilung} \times \text{Zähnezahl}}{\text{Kosinus } \alpha}$$

oder $d = \text{Modul der Stirnteilung} \times \text{Zähnezahl}$.

Ist die Stirnteilung in Millimetern ausgerechnet, dann ist

$$d = \frac{z \cdot St}{\pi}.$$

Außendurchmesser $d_1 = d + 2 \cdot \text{Modul der Normalteilung}$.

Ganze Frästiefe = $2\frac{1}{6}$ Modul der Normalteilung.

Obwohl zum Fräsen von Schrauben- und Spiralzahnradern normale Stirnradfräser verwendet werden, so darf doch nicht ohne weiteres der

Fräser verwendet werden, dessen aufgeschlagene Zähnezahl der Zähnezahl des Schraubenrades entspricht, denn die aufgeschlagene Zahl gilt nur für Stirnräder, bei welchen die Zähnezahl proportional dem Durchmesser ist. Bei den Schraubenrädern verhält sich dies anders, denn erstens ist der Durchmesser abhängig vom Zahnwinkel und immer größer als der eines die gleiche Anzahl Zähne habenden Stirnrades. Schon dieses würde bei Abwicklung der Evolvente eine wesentlich andere Zahnform ergeben. Zweitens nähern sich die Zähne bei größer werdenden Zahnwinkeln immer mehr den Schnecken-

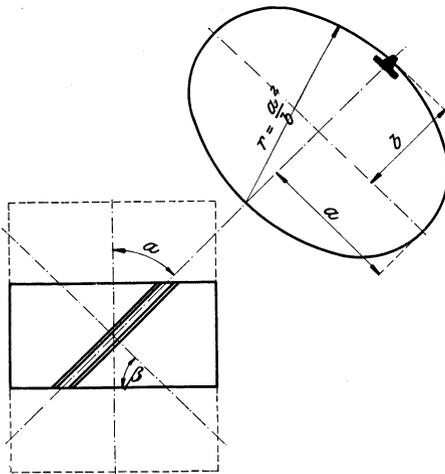


Abb. 336. Die Bestimmung der richtigen Zahnform an Spiralzahnradern.

kengängen; ihre Zahnform muß sich folglich mehr der einer Schnecke nähern.

Denkt man sich ein Schraubenrad (Abb. 336) rechtwinklig zu einem

oben liegenden Zahn geschnitten, so ergibt dieser Schnitt, wenn das Rad die nötige Dicke hat, eine Ellipse, und dieser Zahn liegt dann genau auf dem flachen Scheitel dieser Ellipse. Der Krümmungsradius für diesen Scheitel ergibt den Halbmesser des Kreises für die Verzeichnung der Verzahnung. Dieser Krümmungsradius berechnet sich aus $\frac{a^2}{b}$, worin a die halbe große und b die halbe kleine Achse der Ellipse bedeutet. Der Durchmesser des Kreises, auf welchem die Verzahnung zu erfolgen hat und nach welchem auch der Fräser zu wählen ist, ist also $2 \cdot \frac{a^2}{b}$.

Die kleine Achse der Ellipse ist uns als Teilkreisdurchmesser des Schraubenrades gegeben, es ist also

$$2 b = D,$$

folglich

$$b = \frac{D}{2}.$$

Die große Achse ergibt sich aus dem Teilkreisdurchmesser D und dem Zahnwinkel α , und zwar ist, da $\beta = \alpha$, wie aus Abb. 336 leicht ersichtlich:

$$2 a = \frac{\cos \alpha}{D},$$

folglich

$$a = \frac{D}{2 \cdot \cos \alpha}.$$

Es ist also der für den Fräser maßgebende Teilkreisdurchmesser, welchen wir mit Df bezeichnen wollen:

$$Df = 2 \frac{a^2}{b} = 2 \cdot \frac{\left(\frac{D}{2 \cdot \cos \alpha}\right)^2}{\left(\frac{D}{2}\right)} = 2 \frac{D^2 \cdot 2}{4 \cdot \cos^2 \alpha D} = \frac{D}{\cos^2 \alpha}.$$

Nun ist aber auf den gebräuchlichen Zahnradfräsern nicht der Durchmesser, sondern die Zähnezah für das diesem Durchmesser entsprechende Stirnrad aufgeschlagen, und man muß, um diese Zähnezah zu erhalten, den ausgerechneten Durchmesser noch durch den Modul der Normalteilung dividieren, oder, wie es nachstehend geschehen soll, die ganze Rechnung auf die Zähnezah des Schraubenrades und die Normalteilung beziehen.

Bezeichnen wir mit

Nt = die Normalteilung (in Modul),

α = den Zahnwinkel bezogen auf die Achse,

Zs = die Zähnezah des Schraubenrades,

D = den Teilkreisdurchmesser des Schraubenrades,

Df = den für den Fräser maßgebenden Teilkreisdurchmesser,
 Zf = die für den Fräser maßgebende Stirnräderzähnezahl — aufgeschlagene Zähnezahl —, so ist

$$Df = \frac{D}{\cos^2 \alpha};$$

ferner fanden wir vorher (S. 309 und 310)

$$D = \frac{Nt \cdot Zs}{\cos \alpha};$$

dies oben eingesetzt ergibt

$$Df = \frac{Nt \cdot Zs}{\cos^2 \alpha \cdot \cos \alpha} = \frac{Nt \cdot Zs}{\cos^3 \alpha};$$

nun ist weiter

$$Zf = \frac{Df}{Nt};$$

für Df obigen Wert eingesetzt, ergibt

$$Zf = \frac{Nt \cdot Zs}{\cos^3 \alpha \cdot Nt} = \frac{Zs}{\cos^3 \alpha}.$$

Es heißt dies in Worten: Zur Herstellung richtiger Schraubenradzähne vermittelt Stirnradfräser ist ein Fräser erforderlich, dessen aufgeschlagene Zähnezahl sich ergibt, indem man den Kosinus des Zahnwinkels dreimal mit sich selbst multipliziert und mit diesem erhaltenen Wert in die Zähnezahl des zu fräsierenden Schraubenrades dividiert.

Beispiel: Welcher Fräser ist für ein Schraubenrad von 20 Zähnen und 45° Zahnwinkel anzuwenden?

Für $\cos 45^\circ$ finden wir in unserer Tabelle den Wert 0,707, also ist $\cos^3 45^\circ = 0,707 \cdot 0,707 \cdot 0,707 = 0,353\ 393 \sim 0,35$.

Nach unserem Beispiel $Zs = 20$ ist

$$Zf = \frac{Zs}{\cos^3 \alpha} = \frac{20}{0,35} = 57;$$

es ist also ein Stirnradfräser für 57 Zähne zu verwenden.

Werden Schraubenräder auf der Wälzfräsmaschine hergestellt, so entwickelt sich die dem Zahnwinkel entsprechende Zahnform selbsttätig, genau wie bei Stirnrädern. Sind größere Mengen von Schraubenrädern herzustellen, so ist dazu immer die Wälzmaschine zu empfehlen.

3. Die Schneckengetriebe.

Die Schneckenräder mit geraden, im Steigungswinkel der Schnecke schrägstehenden Zähnen (Abb. 337) berechnet man im allgemeinen wie Stirnräder, indem man die Stirnteilung = Normalteilung nimmt. Solange der Steigungswinkel nicht zu groß wird, ist auch die Differenz zwischen Normalteilung und Stirnteilung gering. Bei 15° Steigungswinkel beträgt die Normalteilung $1 \cdot \cos 15^\circ = 0,966$ der Stirnteilung,

die Differenz ist also bis dahin noch nicht von großer Bedeutung. Bei größeren Steigungswinkeln fräst man die Zähne spiral und berechnet sie wie bei den Schraubenrädern.

Da man auf einer gewöhnlichen Drehbank ohne besondere Wechselräder nicht gut eine Schnecke genau der Modulteilung entsprechend herstellen kann und andererseits nicht immer die den Gewindesteigungen entsprechenden Fräser hat, hilft man sich, um eine Übereinstimmung herbeizuführen, dadurch, daß der Schneckenraddurchmesser nach der Gewindesteigung bestimmt, also die Teilung gleich der Steigung gemacht wird, und die Zähne mit dem dieser Teilung am nächsten liegenden Modulfräser eingefräst werden.

Um auf einer Drehbank, deren Leitspindel Zollsteigung hat, der Modulteilung entsprechende Schnecken herzustellen, ist ein Wechselrad von 97 Zähnen nötig. Die damit geschnittenen Schnecken erhalten, wie aus folgendem ersichtlich ist, nur eine ganz geringe Abweichung in der Teilung und sind für alle praktischen Zwecke anstandslos verwendbar.

Zum Beispiel: Es soll eine Schnecke Modul 1 geschnitten werden. Die Steigung der Leitspindel sei 2 Gang auf 1 Zoll.

Modul 1 entspricht nun einer Gangzahl
 $\frac{25,4}{3,1416} = 8,085$ Gang auf einen Zoll.

Das Verhältnis der Wechselräder muß also 2 : 8,085 sein. Erweitert man dasselbe mit 12, so erhält man $2 \cdot 12 = 24$ und $8,085 \cdot 12 = 97,02$. Die Differenz der letzten Zahl mit 97 macht also nur $\frac{1}{50}$ eines Zahnes aus.

Da bei einer Umdrehung der Leitspindel nach unserem Beispiel bei $\frac{1}{2}$ Zoll Steigung der Support 12,7 mm vorgeschoben wird, so wird also die Differenz in der Steigung $\frac{1}{50} \cdot \frac{1}{97} \cdot 12,7$

$= \frac{12,7}{4850} = 0,00262$ mm betragen. Demnach ist der Unterschied gegen

die genaue Modulsteigung auf 1 m Länge kaum $\frac{2}{10}$ eines Millimeters.

Nachstehend ist zum besseren Verständnis noch eine Wechselradertabelle für die gebräuchlichsten Modulsteigungen aufgeführt, und zwar für eine Drehbank, deren Leitspindel $\frac{1}{2}$ Zoll Steigung hat.

Bei anderen Spindelsteigungen ändert sich das Verhältnis der Gangzahl entsprechend; so wird bei einer Spindel mit $\frac{1}{3}$ Zoll Steigung das Verhältnis 3 : 8,085 sein, man muß nur immer, um auf 97 zu kommen, mit 12 erweitern. Für größere Teilungen würde jedoch das Rad am Spindel-



Abb 337. Schneckenrad mit geraden, schrägliegenden Zähnen.

stock zu groß, man nimmt dann ein kleineres und steckt, um die richtige Übersetzung zu erhalten, entsprechende Zwischenräder an.

Wechselräder-Tabelle für Modulsteigung bei $\frac{1}{2}$ " engl. Leitspindelsteigung.

Modul	Rad am Spindelstock	Zwischenräder	Rad an der Leitspindel
1	24	—	97
1,5	36	—	97
2	48	—	97
2,5	60	—	97
3	60	75 90	97
3,5	60	50 70	97
4	60	50 80	97
4,5	60	50 90	97
5	60	50 100	97
5,5	60	50 110	97
6	60	50 120	97
6,5	60	50 130	97
7	60	50 140	97
8	72	45 120	97

Zu bemerken ist hier noch, daß man für doppelgängige Schnecken natürlich auch doppelte Steigung anzustecken hat; also für eine doppelgängige Schnecke Modul 3 hat man die Wechselräder, welche in obiger

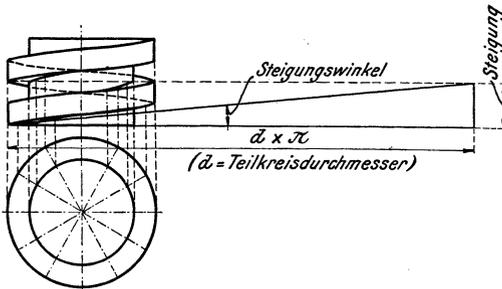


Abb. 338. Die Bestimmung des Steigungswinkels einer Schnecke.

Tabelle für Modul 6 angegeben sind, anzustecken. Es läßt sich dies leicht durch die Zwischenräder ermöglichen.

Die Ermittlung des Steigungswinkels bzw. der Zahnschräge ist auf S. 240 eingehend erläutert. Es sei hier nur noch bemerkt, daß die Teilung des Schnecken-

rades nur bei einer Schnecke mit einfachem Gewinde gleich der Steigung ist. Bei einer Schnecke mit mehrfachem Gewinde beträgt die Teilung des Schneckenrades nur den sovielten Teil der Steigung, als das Gewinde der Schnecke gängig ist. Zum Beispiel bei einer Schnecke mit sechsfachem Gewinde wird die Teilung des Schnecken-

rades nur $\frac{1}{6}$ der Gewindesteigung betragen. Die Größe des Steigungswinkels ist jedoch unabhängig von der Gängigkeit der Schnecke. Derselbe berechnet sich nur aus der Steigung (Abb. 338 und 339). Die Mittenentfernung von Schnecke und Schneckenrad wird wie bei den Stirnrädern bestimmt, ist also gleich der halben Summe der beiden Teilkreise.

Die Schneckenräder, welche mit einem Schneckenradfräser freiläufig nachgeschnitten oder zwangsläufig aus dem Vollen gefräst werden,

dreht man der besseren Zahnanlage und des besseren Aussehens wegen dem Radius der zugehörigen Schnecke bzw. des Fräasers entsprechend konkav aus. Teilkreis und Durchmesser werden dabei in der Mitte des Rades gemessen (vgl. Abb. 339). Zum genauen Vorarbeiten auf der Drehbank muß hierzu eine Schablone angefertigt

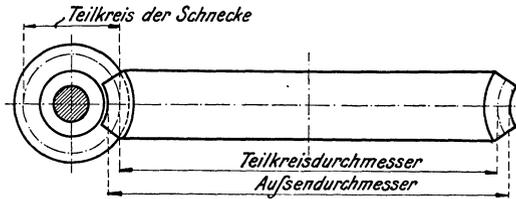


Abb. 339. Die Schneckenradabmessungen.

Unterschnitten.

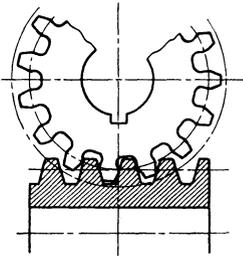


Abb. 340. Schneckenrad mit normaler Zahnform.

Nicht unterschnitten.

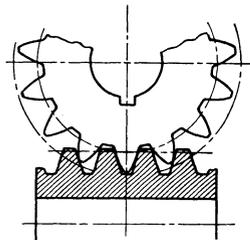


Abb. 341. Schneckenrad mit korrigierter Zahnform.

werden. Die Stirnflächen der Zähne läßt man vom Zahngrund aus nach dem Mittelpunkt der Schnecke zu verlaufen. Die Teilung der Schnecke (bei mehrgängigen Schnecken: Steigung dividiert durch Gängigkeit) ist immer als Zahnteilung zu betrachten und erfolgt mit dieser Teilung die Bestimmung der Schneckenräder mit konkaven Zähnen genau wie bei Stirnrädern.

Schnecken- und Helikoidenräder mit weniger als 30 Zähnen erhalten bei der normalen Abmessung stark unterschnittene Zähne. Abb. 340 zeigt ein solches Schneckenrad mit 15 Zähnen. Um diesen Übelstand zu vermeiden, empfiehlt Stolzenberg für Schneckenräder unter 30 Zähnen den Teilkreisdurchmesser zu vergrößern und stellt nachstehende beiden Formeln, die sich in der Praxis gut bewährt haben, auf.

1. Für Schneckenräder mit 30 und mehr Zähnen:

$$\text{Teilkreisdurchmesser } D = \frac{z t}{\pi},$$

$$\text{Außendurchmesser } D_1 = D + 2 \frac{t}{\pi}.$$

oder, wenn die Schnecke nach der Modulsteigung geschnitten ist:

$$D = z \cdot M \text{ und}$$

$$D_1 = (z + 2) \cdot M.$$

2. Für Schneckenräder mit weniger als 30 Zähnen:

$$D = \frac{z t}{\pi} \cdot 0,937 + 2 \frac{t}{\pi},$$

$$D_1 = D + 2 \frac{t}{\pi} \text{ bzw.}$$

$$D = z \cdot M \cdot 0,937 + 2 \cdot M \text{ und}$$

$$D_1 = D + 2 \cdot M.$$

Abb. 341 zeigt ein Schneckenrad mit 15 Zähnen, dessen Durchmesser nach Formel 2 bestimmt wurde. Wie ersichtlich, ist der Zahnfuß nicht unterschritten. Die Abwälzung ist vollkommen korrekt. Profil und Durchmesser der Schnecke sind normal. Der Vergrößerung des Rad-durchmessers entsprechend vergrößert sich die Mittenentfernung von Schnecke und Rad.

4. Die Kegelräder.

Man hat sich zwei zusammenarbeitende Kegelräder als zwei aufeinander abrollende Kegel zu denken, deren Spitzen in einem Punkt zusammenfallen (Abb. 342—344). In diesem Punkt müssen demnach alle die Zahnflanken begrenzenden Linien auslaufen.

Am sichersten bestimmt man die Abmessungen der Kegelräder, wenn man dieselben in natürlicher Größe aufreißt.

Zum Zweck des Aufreißens bestimmt man wie bei Stirnrädern die äußeren Teilkreisdurchmesser und trägt dieselben unter dem der Wellen-

lage entsprechenden Winkel aneinander an, halbiert dieselben und zieht durch die beiden Teilpunkte je eine Senkrechte. Diese den Achsenmitten entsprechenden Linien schneiden sich in dem Punkt O (Abb. 342), in welchem die obengenannten Kegelspitzen zusammenfallen. Jetzt zieht man von den Endpunkten der Teilkreisdurchmesser Gerade nach diesem Schnittpunkt und erhält so die Umrisse der beiden Kegel. Auf diesen Geraden trägt man sich nun weiter vom äußeren Teilkreis nach der Spitze zu

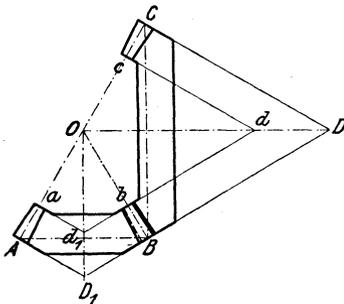


Abb. 342. Das Aufreißen der Kegelräder.

die Zahnbreite ab und erhält, wenn man diese Punkte verbindet, die beiden inneren Teilkreisdurchmesser. Man kann aber, da die Zähne schräg zur Wellenachse liegen, Zahnfuß und Zahnkopf nicht auf den Teilkreisen auftragen, sondern im rechten Winkel zu den die Kegel einschließenden Geraden.

Zieht man also in A (Abb. 342) senkrecht zu AO , in B senkrecht zu BO und in C senkrecht zu CO abermals Gerade, so schneiden sich dieselben in den Punkten D und D_1 . Ebenso verfährt man in den Punkten a , b und c und erhält so die Punkte d und d_1 .

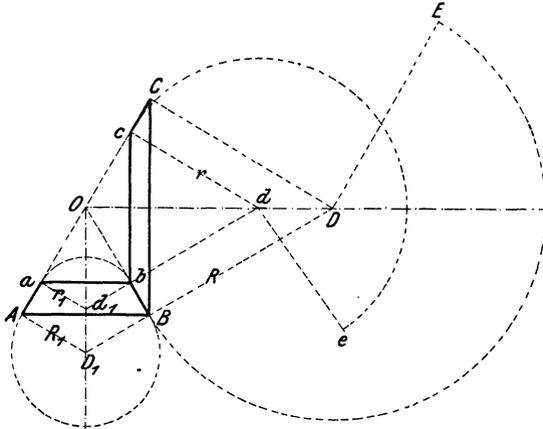


Abb. 343. Die Abwicklung der Kegel.

Von A , B und C trägt man sich auf diesen Geraden nach der angenommenen Normalteilung Zahnkopf und Zahnfuß ab und zieht von diesen erhaltenen Punkten in der Richtung nach O hin bis a , b und c die Zahnober- und -Unterkante und erhält so die Zahnurrisse.

Die äußere Verzahnung muß auf der Abwicklung des Kegels DBC bzw. D_1BA verzeichnet werden und ist also dafür die Strecke DB bzw. D_1B als Teilkreisradius maßgebend (vgl. Abb. 343). Im übrigen wird die Zahnform wie bei Stirnrädern aufgetragen.

Um die innere Zahnform, für welche die Strecke db bzw. d_1b als Teilkreisradius anzunehmen ist, aufzureißen, muß man erst die innere Teilung bestimmen. Dieselbe verhält sich zur äußeren wie die Strecke bO zur Strecke BO ; es ist also, wenn wir die äußere Teilung mit T und die innere mit t bezeichnen:

$$t = \frac{T \cdot (bO)}{(BO)}.$$

Nehmen wir also für unsere Abbildung eine Teilung von Modul 7 an, ferner für die Strecke BO 120 mm und für die Zahnbreite 40 mm, so daß die Strecke bO 80 mm wird, so erhalten wir die innere Teilung

$$t = \frac{7 \cdot 80}{120} = 4,66 \text{ Modul.}$$

Danach berechnet man dann Zahnkopf und Zahnfuß und trägt auf dem Teilkreis mit dem Radius db bzw. d_1b die inneren Verzahnungen auf.

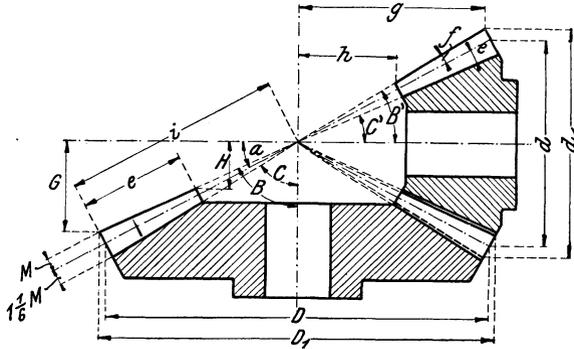


Abb. 344. Die Abmessungen der Kegelräder.

Um eine korrekte Verzahnung der Kegelräder zu erreichen, ist es unbedingt erforderlich, die Räder genau vorzuarbeiten, vor allen Dingen das Kranzprofil in den richtigen Winkeln zu drehen. Da ein Übertragen der Winkel von der Zeichnung vermittelt eines Transporteurs immer Ungenauigkeiten in sich birgt, ist es erforderlich, die Kegelwinkel, wonach das Supportdrehteil, das an jeder besseren Drehbank genaue Gradeinteilung trägt, eingestellt werden kann, trigonometrisch zu bestimmen. Auch die anderen Hauptabmessungen lassen sich trigonometrisch festlegen und soll dies nachstehend kurz erläutert werden.

Wir nehmen Bezug auf die Abb. 344 und bezeichnen mit:

- Z = die Zähnezahzahl des großen Rades,
 - M = den Modul der Teilung (außen gemessen),
 - D = den Teilkreisdurchmesser des großen Rades,
 - D_1 = den Außendurchmesser „ „ „
 - A = den Teilkreisegelwinkel des großen Rades ($90^\circ - \alpha$)
 - B = den Kopfkreisegelwinkel „ „ „
 - C = den Fußkreisegelwinkel „ „ „
 - f = den Zahnkopfwinkel
 - e = den Zahnfußwinkel
 - l = die Zahnlänge
- } bei beiden Rädern gleich,
- z = die Zähnezahzahl des kleinen Rades,
 - d = den Teilkreisdurchmesser des kleinen Rades,
 - d_1 = den Außendurchmesser „ „ „
 - a = den Teilkreisegelwinkel „ „ „
 - b = den Kopfkreisegelwinkel „ „ „
 - c = den Fußkreisegelwinkel „ „ „

und ferner G, H, g, h und i die auf der Zeichnung Abb. 344 ersichtlichen Abmessungen, so ist

$$\begin{aligned}
 D &= Z \cdot M, \\
 \text{ferner} \quad \operatorname{tg} A &= \frac{Z}{z} = \frac{D}{d}, \\
 D_1 &= D + 2 M \cdot \cos A, \\
 i &= \frac{D}{2 \cdot \sin A}, \\
 \operatorname{tg} f &= \frac{M}{i}, \\
 B &= A + f, \\
 \operatorname{tg} e &= \frac{1^{1/6} M}{i} = \frac{1,166 \cdot M}{i}, \\
 C &= A - e, \\
 d &= z \cdot M, \\
 \text{ferner} \quad \operatorname{tg} a &= \frac{z}{Z} = \frac{d}{D}, \\
 d_1 &= d + 2 M \cdot \cos a, \\
 b &= a + f, \\
 c &= a - e, \\
 G &= \frac{d}{2} - M \cdot \sin A, \\
 H &= G - l \cdot \cos B, \\
 g &= \frac{D}{2} - M \cdot \sin a, \\
 h &= g - l \cdot \cos b.
 \end{aligned}$$

Ist von einem Rad nur der Außendurchmesser und der Teilkreis-
kegelwinkel bekannt, so findet sich der Modul

$$M = \frac{D_1}{Z + 2 \cdot \cos A}.$$

Beispiel: Es sei ein Räderpaar zu bestimmen mit einem Über-
setzungsverhältnis 1 : 2. Die Teilung sei Modul 10, die Zahnbreite 80 mm,
und die Zähnezahlen 15 und 30. Es ist dann

$$\begin{aligned}
 D &= 30 \cdot 10 = 300, \\
 d &= 15 \cdot 10 = 150, \\
 \operatorname{tg} A &= \frac{30}{15} = 2;
 \end{aligned}$$

wir finden mit diesem Wert in der Tabelle

$$\begin{aligned}
 A &= 63^\circ 30', \\
 D_1 &= 300 + 2 \cdot 10 \cdot \cos 63^\circ 30' = 300 + 20 \cdot 0,446 = 308,9,
 \end{aligned}$$

$$i = \frac{300}{2 \cdot \sin 63^\circ 30'} = \frac{300}{2 \cdot 0,895} = 168,$$

$$\operatorname{tg} f = \frac{10}{168} = 0,0595.$$

Damit finden wir für

$$\begin{aligned} f &= 3^\circ 25', \\ B &= 63^\circ 30' + 3^\circ 25' = 66^\circ 55', \\ \operatorname{tg} e &= \frac{1\frac{1}{6} \cdot 10}{168} = \frac{1,166 \cdot 10}{168} = 0,069; \end{aligned}$$

dies gibt für

$$\begin{aligned} e &= 4^\circ, \\ C &= 63^\circ 30' - 4^\circ = 59^\circ 30', \end{aligned}$$

$$\operatorname{tg} a = \frac{z}{Z} = \frac{15}{30} = 0,5,$$

$$\begin{aligned} a &= 26^\circ 30', \\ d_1 &= 150 + 2m \cdot \cos 26^\circ 30' = 150 + 2 \cdot 10 \cdot 0,895 = 167,9, \\ b &= 26^\circ 30' + 3^\circ 25' = 29^\circ 55', \\ c &= 26^\circ 30' - 4^\circ = 22^\circ 30', \end{aligned}$$

$$G = \frac{150}{2} - 10 \cdot \sin 63^\circ 30' = 75 - 8,95 = 66,05,$$

$$H = 66,05 - 89 \cdot \cos 66^\circ 55' = 66,05 - 31,30 = 34,75,$$

$$g = \frac{300}{2} - 10 \cdot \sin 26^\circ 30' = 150 - 4,46 = 145,54,$$

$$h = 145,54 - 80 \cdot \cos \cdot 29^\circ 55' = 145,54 - 69,30 = 76,24.$$

Diese Berechnung gilt aber nur für rechtwinklig zueinander arbeitende Räder, andernfalls ist jedes Rad besonders zu bestimmen. Da sich (bei rechtwinkligen Rädern) die Winkel A und a zu einem rechten Winkel ergänzen, ist es nur nötig, einen davon trigonometrisch zu bestimmen; der andere läßt sich dann leicht durch Subtraktion von 90° finden. Die Winkel e und f sind für zwei ineinandergreifende Räder gleich. Bei Rädern mit einfacher Übersetzung (1 : 1) beträgt der Teilkegelwinkel 45° ; Tangens A bzw. a ist dann gleich 1.

c. Die Vor- und Nachteile der gebräuchlichen Verzahnungsarten.

Von den bekannten Verzahnungsarten kommen für die Praxis im Maschinenbau nur zwei in Betracht, die Zykloiden- und die Evolventenverzahnung. Jede derselben hat ihre Vor- und Nachteile, die jedoch nicht immer richtig beurteilt werden.

Wenngleich die Zykloide, theoretisch betrachtet, zweifellos die richtigere Form ist, weil die Zahnflanken, die danach bestimmt sind, beim Betriebe eine Formveränderung nur in geringem Maße erleiden und der Reibungsverlust verhältnismäßig klein ist, so liegt doch in dem Um-

stande, daß dieser Vorteil nur zu erreichen ist, wenn Ausführung der Räder und Justierung der Mittenentfernung derselben vollkommen korrekt sind, ein Nachteil, der, mit den Mängeln der Evolventenverzahnung verglichen, entschieden schwerwiegender ist als diese. Die Zykloidenverzahnung ist daher nur in besonderen Fällen für einzelne bestimmte Zwecke vorzugsweise zu benutzen.

Die Evolventenverzahnung bedarf keiner so peinlich genauen Einstellung der Achsenmitten, die Räder können auseinandergerückt werden, ohne daß der Zahneingriff an Richtigkeit einbüßt.

Wird die Evolvente, wie allgemein üblich, mit 15° Eingriffswinkel konstruiert, dann erhalten die Räder mit weniger als 31 Zähnen den Zahnfuß unterschritten, und zwar um so mehr, je kleiner die Zähnezahzahl; bis zu 12 Zähnen herunter sind so konstruierte Verzahnungen noch, abgesehen von besonderen Fällen, anstandslos verwendbar. Bei Trieben

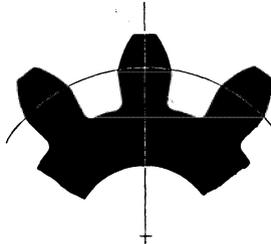


Abb. 345. Evolventenverzahnung mit 15° Eingriffswinkel.

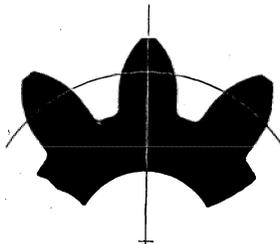


Abb. 346. Evolventenverzahnung mit $22^\circ 30'$ Eingriffswinkel.

mit weniger als 12 Zähnen verursacht das Unterschneiden jedoch eine beträchtliche Schwächung des Zahnfußes, die wirksame Fläche der Zahnflanken wird verkürzt und der Zahneingriff infolgedessen ungünstig; zur Übertragung von Kräften sind solche Räder nicht mehr verwendbar.

Diese Nachteile zu vermeiden, gibt es zwei Verfahren¹⁾. Nach der einen mache man den Zahnkopf des Triebes höher als normal, den Zahnfuß entsprechend niedriger, so daß bei einem von der normalen Ausführung abweichend größeren Außendurchmesser die ganze Zahnhöhe normal bleibt; beim eingreifenden Rade verfähre man entgegengesetzt.

Nach der anderen Methode bleiben die Durchmesser normal. Man konstruiere die Evolvente mit einem größeren Eingriffswinkel als 15° und erreicht dadurch, daß, wenn dieser 20° der sechszehnzählige, wenn $22^\circ 30'$, der zehnzählige Trieb frei vom Unterschneiden wird.

Das Vorhergesagte zu veranschaulichen, sollen die Abb. 345—348 dienen. Sie zeigen je ein Trieb mit 10 Zähnen in Evolventenverzahnung.

¹⁾ Vergleiche die von der Zahnräderfabrik Fr. Stolzenberg & Co. herausgegebenen Druckschriften, denen nachstehendes zum Teil entnommen ist.

Abb. 345 mit 15° Eingriffswinkel konstruiert, läßt die angeführten Mängel deutlich erkennen; der Zahnfuß ist stark unterschritten. Abb. 346 ist mit $22^\circ 30'$ entwickelt; der Zahn ist ersichtlich kräftiger und nicht unterschritten.

Abb. 347 und 348 zeigen zwei ineinandergreifende zehnzählige Triebe mit Evolventenverzahnung. Sie wurden beide mit einem für 15° Eingriffswinkel konstruierten Werkzeug nach dem Wälzverfahren geschnitten. Das Rad Abb. 347 hat normalen Außendurchmesser. Der

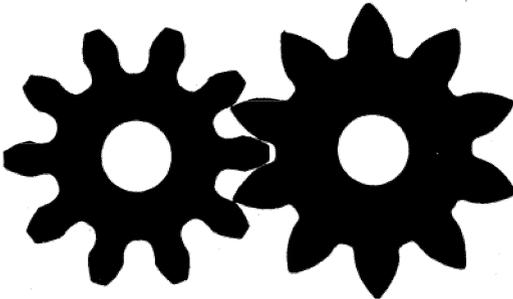


Abb. 347.

Abb. 348.

Abb. 347. Stirnrad mit normalem Durchmesser.

Abb. 348. Stirnrad im Außendurchmesser vergrößert.

Zahnfuß ist stark unterschritten. Das Rad Abb. 348 ist im Durchmesser um 1 Modul vergrößert. Es ist frei von Unterschneiden und im Zahnfuß ersichtlich kräftiger. Trotz der augenscheinlichen Verschiedenheit der Zahnprofile arbeiten derartige Triebe korrekt und spielfrei zusammen. Es bietet sich also hierdurch die Möglichkeit, Räder von geringer Zähnezah mit normalen Werkzeugen herzu-

stellen, die frei von Unterschritt sind, und die mit normalen Satzrädern zusammenarbeiten können. Bemerkt sei dazu jedoch, daß eine derartige Höhenkorrektur der Zähne ohne Sonderwerkzeuge nur mit nach dem Wälzverfahren arbeitenden Werkzeugen und Maschinen möglich ist¹⁾.

Bei der allgemein gebräuchlichen Evolventen-Verzahnung²⁾, die mit einem Eingriffswinkel von 15° hergestellt ist (Abb. 349), werden, wenn die Zähnezah kleiner als 30, die Zähne unterschritten, d. h., der Zahnfuß wird schwächer als die halbe Teilung. Dieser Übelstand läßt sich durch Anwendung eines größeren Eingriffswinkels vermeiden.

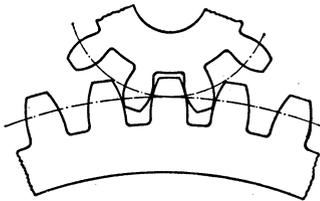
Beim Fräsen nach dem Abwälzverfahren läßt sich das Unterschneiden durch Vergrößerung des Außendurchmessers umgehen, indem man den Grenzwert der Vergrößerung für die Zähnezah bestimmt. Bei den Zähnezahlen unter 20 kann ohne Nachteil für den Außendurchmesser der der nächsthöheren Zähnezah entsprechende angenommen werden, wodurch die Vergrößerung $= \frac{t}{\pi}$ wird. Für die entstehende

Verzahnung ergeben sich die gleichen Vorteile, wie sie Lasche in der

¹⁾ Vorschläge und theoretische Grundlagen zu einem erweiterten Evolventen-Modulsystem finden sich im „Betrieb“ Jahrgang 1, Heft 5, Seite 107.

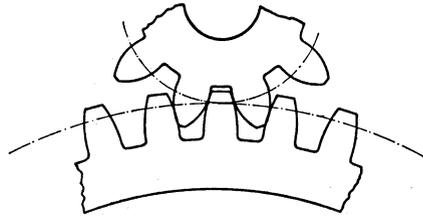
²⁾ Aus Alfred H. Schütte: Blätter für den Betrieb. Jahrg. 4, Nr. 1 entnommen.

Zeitschr. d. Ver. dtch. Ing., Jahrg. 1899, angibt. Die normale Mittenentfernung wird trotz der Vergrößerung des Durchmessers des kleinen Rades dadurch eingehalten, daß für das große Rad der Außendurchmesser für die nächstniedrigere Zähnezahl genommen wird; vgl. Abb. 350.



910

Abb. 349. Normale Verzahnung, Zähne des kleinen Rades unter-schnitten.



911

Abb. 350. Durchmesser des kleinen Rades vergrößert, Durchmesser des großen Rades verkleinert, Mittenentfernung unverändert.

Diese Verkleinerung des Raddurchmessers ist aber nur zu empfehlen, wenn die Zähnezahl des Rades gleich oder größer als 40 ist, weil sich bei kleinerer Zähnezahl eine um $\frac{t}{2\pi}$ größere als normale Mittenentfernung ergeben würde.

Der Betrag, um den der Außendurchmesser des kleinen Rades vergrößert und des großen Rades verkleinert werden muß, um die verbesserte Zahnform zu erhalten, ist in Horbers Handbuch für Modul 1 wie folgt angegeben:

Zähne-zahl des kleinen Rades	± Än-derung der Dur.-h.m. mm	Mindest-Zähne-zahl des großen Rades	Zähne-zahl des kleinen Rades	± Än-derung der Durchm. mm	Mindest-Zähne-zahl des großen Rades	Zähne-zahl des kleinen Rades	± Än-derung der Durchm. mm	Mindest-Zähne-zahl des großen Rades
12	1,2	48	18	0,79	42	24	0,39	36
13	1,13	47	19	0,73	41	25	0,32	35
14	1,06	46	20	0,66	40	26	0,26	34
15	1	45	21	0,59	39	27	0,19	33
16	0,93	44	22	0,53	38	28	0,12	32
17	0,86	43	23	0,46	37	29	0,06	31

Bei anderer Modulteilung sind die angegebenen Werte mit dem Modul zu multiplizieren.

Beispiel: $Z = 60, z = 15, M = 5$

verbessertes $d_1 = (15 + 2) \times 5 + (1 \times 5) = 90$ mm;

„ $D_1 = (60 + 2) \times 5 - (1 \times 5) = 305$ „

Mittenabstand = 395 mm

normaler $d_1 = (15 + 2) \times 5 = 85$ mm

„ $D_1 = (60 + 2) \times 5 = 310$ „

Mittenabstand = 395 mm

Die Summe von 395 mm muß mit derjenigen der normalen Durchmesser übereinstimmen.

Gegen die Evolventenverzahnung wird weiter als Nachteil geltend gemacht, daß die Form der Zähne ein Auseinandertreiben der Räder verursacht, also dadurch ein Druck auf die Lager ausgeübt wird, der mit dem Eingriffswinkel größer bzw. kleiner wird.

Der Druck auf die Lager ist am geringsten, wenn die Kraft senkrecht auf die den Mittelpunkt beider Räder verbindenden Geraden wirkt, ein Verhältnis, das bei der Zykloidenverzahnung nur eintritt, solange der Angriffspunkt in den Teilpunkt fällt; in jeder anderen Stellung ist auch bei dieser Verzahnung der Kräfteangriff geneigt gerichtet.

Für die Praxis ist der Evolventenverzahnung entschieden der Vorzug zu geben, und zwar wird dieselbe, mit 15° Eingriffswinkel konstruiert, als normale Verzahnung von den maßgebendsten Fabriken ausschließlich benutzt.

Um die Mängel der seitherigen normalen Verzahnungsmethoden zu beheben und besonders die der Evolventenverzahnung bei hoher Beanspruchung, niederer Zähnezahl und großem Übersetzungsverhältnis anhaftende starke Abnützung auf ein Mindestmaß zu bringen, sind schon verschiedene Vorschläge anderer Zahnformen gemacht worden, die jedoch meistens nur für Sonderzwecke verwendbar waren, da sie nicht als Satzräder laufen konnten, oder man bei der Entwicklung der Zahnform am Arbeitsstück auf Schwierigkeiten stieß.

Von dem Ingenieur B. Franz der Firma Stolzenberg & Co. wird eine neue Verzahnung angegeben, die die Vorzüge der Zykloiden- und Evolventenverzahnung in sich vereinigt, ohne deren Mängel aufzuweisen.

Die Vorzüge dieser, zum Patent angemeldeten, vom Erfinder als Ozoidenverzahnung bezeichneten Verzahnung sind kurz folgende:

Die Zähne, auch in den niedrigen Zähnezahlen, sind frei von Unterschnitt ohne daß die Räder die Satzradeigenschaft verlieren.

Die Zähne sind von geringerer Höhe und am Zahnfuß wesentlich kräftiger, sie können daher höher beansprucht bzw. kleiner bemessen werden. Die Abnützung im Laufe des Betriebes ist wesentlich geringer, daher längere Lebensdauer.

Die Herstellung der Zahnform geschieht mit einem eigenartigen, schmalen, scheibenförmigen Werkzeug, und zwar wird die Zahnform kontinuierlich entwickelt¹⁾.

In einer von der Firma herausgegebenen Druckschrift sind die Eingriffsverhältnisse an Hand von Zeichnungen genau erläutert.

Die Abmessungen der Räder im Teilkreis und dementsprechend auch die Mittenentfernungen sind dieselben wie bei der normalen Evolventenverzahnung. Nur der Zahnkopf zeigt andere Abmessungen, er ist niedriger und von der Zähnezahl des Rades abhängig. Dementsprechend sind auch die Außendurchmesser der Räder kleiner als bei normaler Verzahnung.

¹⁾ Vgl. Die Werkzeugmaschine, Jahrgang 18, Seite 4.

Die neue Verzahnung empfiehlt sich überall dort, wo Räder mit großem Übersetzungsverhältnis bei schwerer Beanspruchung oder großer Geschwindigkeit im Dauerbetrieb arbeiten sollen.

d. Die Aufzeichnung der normalen Evolventenverzahnung.

Die Konstruktion der Evolventenverzahnung ist in den technischen Lehrbüchern ausführlich behandelt. Die daselbst erläuterten Verzahnungsmethoden sind jedoch für die Zwecke der Praxis nicht immer anwendbar. Einmal bietet die Entwicklung der Evolvente an sich Schwierigkeiten, deren Aufzeichnung ist umständlich und nicht jedem geläufig, wird überdies zur Unmöglichkeit, wenn es sich um Verzahnungen in kleineren Teilungen handelt.

Um die Aufzeichnungen zu vereinfachen, dienen die bekannten Kreisbogenverzahnungsmethoden. Es werden danach die Mittelpunkte und Radien eines bzw. zweier Kreisbogen bestimmt, die eine Form ergeben, welche sich dem Evolventenbogen, den sie ersetzen soll, annähert. Für alle Verhältnisse gleichmäßig richtige Zahnflanken lassen sich jedoch mit diesen Methoden nicht erreichen; je weniger Zähne das zu verzahnende Rad hat, um so größer ist der Fehler. Räder niedriger Zähnezahlen, danach bestimmt, erhalten den Zahnkopf zu kurz gerundet.

In nachstehendem folgt eine Beschreibung von Grants Odontograph, einer Verzahnungsmethode, mit deren Benutzung sich für alle Zähnezahlen von 10 aufwärts bis zur Zahnstange die Zahnform mit für praktische Zwecke genügender Genauigkeit bequem und korrekter als nach den erwähnten Kreisbogenmethoden aufzeichnen läßt.

Für die zeichnerische Darstellung von Verzahnungen, sowie zur Anfertigung von Werkzeugen und Lehren für Formmodellräder, Formstücken für Räderformmaschinen kann diese Methode als die bestgeeignetste empfohlen werden.

Für die Herstellung der Schnittprofile von Zahnradfräsern können alle vorgenannten, wie überhaupt jede auf graphischer Darstellung beruhende Methode nicht in Anwendung kommen, wenn eine besondere Präzision verlangt wird. Ist die Aufzeichnung auch korrekt, was bei kleinen Teilungen nur vermittelt photographischer Reduktion nach vergrößerten Originalformen möglich ist, dann stellen sich durch die weiter danach zu fertigenden Lehren, Gegenlehren und Fassonstähle Ungenauigkeiten ein.

Um solche Fräser in der größtmöglichen Vollkommenheit zu erhalten, müssen die Zahnformen an dafür geeigneten Sondermaschinen mechanisch entwickelt werden.

Es sind nach Tabelle S. 327 und Abb. 351 die Zahnformen für ein Trieb von 12 Zähnen und Zahnstange, in Teilung Modul 10 aufzuzeichnen.

Das Trieb: Zeichne Teilkreis, Kopf- und Fußkreis und innerhalb des Teilkreises im Abstände

Grants Tabelle für normale Evolventenverzahnung.

Eingriffswinkel 15°.

$$\text{Modul} = \frac{\text{Teilung.}}{\pi}$$

Teilkreisdurchmesser = Zähnezahl \times Modul; Kopfkreisdurchmesser = (Zähnezahl + 2) \cdot Modul.
 Zahnfuß = Modul. Zahnfuß = 1,166 \cdot Modul. Zahnhöhe = 2,166 Modul.

Zähnezahl	b Kopfbogen- Radius mit dem Modul zu multiplizieren		c Fußbogen- Radius mit dem Modul zu multiplizieren	
	1	2	1	2
10	2,28		0,69	
11	2,40		0,83	
12	2,51		0,96	
13	2,62		1,09	
14	2,72		1,22	
15	2,82		1,34	
16	2,92		1,46	
17	3,02		1,58	
18	3,12		1,69	
19	3,22		1,79	
20	3,32		1,89	
21	3,41		1,98	
22	3,49		2,06	
23	3,57		2,15	
24	3,64		2,24	
25	3,71		2,33	
26	3,78		2,42	
27	3,85		2,50	
28	3,92		2,59	
29	3,99		2,67	
30	4,06		2,76	
31	4,13		2,85	
32	4,20		2,93	
33	4,27		3,01	
34	4,33		3,09	
35	4,39		3,16	
36	4,45		3,23	
37 — 40		4,20		
41 — 45		4,63		
46 — 51		5,06		
52 — 60		5,74		
61 — 70		6,52		
71 — 90		7,52		
91 — 120		9,78		
121 — 180		13,38		
181 — 360		21,62		

Die Mittelpunkte der Kopf- und Fußbogenradien liegen auf dem Konstruktionskreis.

a = Abstand des Konstruktionskreises innerhalb des Teilkreises = $\frac{1}{60}$ Teilkreisdurchmesser.

Fußrundung = 0,166 \cdot Modul.

Der Kopf des Zahnes der Zahnstange ist mit einem Radius 2,1 \cdot Modul, Mittelpunkt der Teilinie, zu runden.

Hierzu siehe Abb. 351.

Um theoretisch genaue Evolventenbögen für die Zahnflanken zu erhalten, müßte man zur Herstellung korrekter Zahnücken vermittelt Einzelfräser für jede Zähnezahl einen besonderen Fräser haben. Da dies einen sehr großen Fräsersatz erfordern würde und die Abweichungen zwischen zwei oder mehreren aufeinanderfolgenden Zähnezahlen namentlich bei größerem Durchmesser sehr gering sind, faßt man zwei oder mehrere zusammen und fertigt hierfür immer nur einen Fräser an.

In der Praxis haben sich nun für Teilungen bis Modul 10 der achteilige und für größere Teilungen der fünfzehnteilige Satz eingeführt und werden von den maßgebenden Firmen, wie folgt, auf Lager gehalten.

Achteiliger Satz.

Fräser-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
für Zähnezahlen	12—13	14—16	17—20	21—25	26—34	35—54	55—134	135—∞

Fünfzehnteiliger Satz.

Fräser-Nr.	1	1½	2	2½	3	3½	4
für Zähnezahlen	12	13	14	15—16	17—18	19—20	21—22

Fräser-Nr.	4½	5	5½	6	6½	7	7½	8
für Zähnezahlen	23—25	26—29	30—34	35—41	42—54	55—80	81—134	135—∞

e. Die diametral pitch-Teilung.

Da man vielfach Werkzeugmaschinen englischen oder amerikanischen Ursprunges antrifft, so sei zum Schluß noch kurz die Berechnung der Zahnräder, wie sie dort üblich ist, besprochen.

Wie bekannt, wird in England und Nordamerika noch nach Zoll gemessen und es läuft auch diese Rechnung darauf hinaus; alle Abmessungen sind also in englischen Zollen, und zwar wird durch „diametral pitch“ angegeben, wieviel Zähne auf einen Zoll des Teilkreisdurchmessers entfallen. Zum Beispiel ein Rad von 3 Zoll Durchmesser und 30 Zähnen wird $\frac{30}{3} = 10$ pitch haben, ein Rad von gleichem Durchmesser mit 36 Zähnen $\frac{36}{3} = 12$ pitch. In dem Rad von 10 pitch entfallen also 10 Zähne auf 1 Zoll des Teilkreisdurchmessers und in dem Rad 12 pitch 12 Zähne auf 1 Zoll des Teilkreisdurchmessers usw.

Unter „circular pitch“ hat man die Teilung zu verstehen, also ein Rad, bei welchem die Teilung 1 Zoll beträgt, hat 1 Zoll circular pitch und 3,14 diametral pitch.

Der Teilkreisdurchmesser ergibt sich, indem man die Zähnezah durch diametral pitch dividiert; zur Bestimmung des Außendurchmessers nimmt man Zähnezah + 2 und dividiert durch diametral pitch, z. B. ein Rad von 30 Zähnen und 10 pitch hat $\frac{30}{10} = 3$ Zoll Teilkreis-

durchmesser und $\frac{30 + 2}{10} = \frac{32}{10} = 3,2$ Zoll Außendurchmesser.

Diese Methode vereinfacht, ebenso wie bei uns die Modulteilung, ganz wesentlich die Rechnung.

Nachstehend sei noch alles zusammengestellt und an einem Beispiel erläutert. Es seien folgende Bezeichnungen eingeführt:

P = diametral pitch = Zähnezah auf 1 Zoll Teilkreisdurchmesser,

D = Teilkreisdurchmesser,

D_1 = Außendurchmesser,

Z = Zähnezah,

p = circular pitch = Teilung,

t = Zahnstärke oder Fräserstärke im Teilkreis,

o = Arbeitstiefe des Zahnes,

f = Übrige Zahntiefe zum Ausrunden der Ecken (Spiel zwischen Zahnoberkante und Grund),

$o + f$ = Ganze Zahntiefe.

Es ist dann

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{Z + 2}{D_1} \text{ oder } \frac{Z}{D}, \\
 D &= \frac{D_1 \cdot Z}{Z + 2} \text{ oder } \frac{Z}{P}, \\
 Z &= P \cdot D \text{ oder } P \cdot D_1 - 2, \\
 D_1 &= \frac{Z + 2}{P} \text{ oder } D + \frac{2}{P}, \\
 t &= \frac{1,57}{P}, \\
 o &= \frac{2}{P}, & f &= \frac{t}{10}, \\
 p &= \frac{\pi}{P}, & P &= \frac{\pi}{p}.
 \end{aligned}$$

Der Zahnkopf wird

$$\frac{1}{P} = \frac{o}{2},$$

der Zahnfuß

$$\frac{1}{P} + f.$$

Die Mittenentfernung m zweier ineinander greifender Räder wird:

$$m = \frac{\text{Summe der Zähnezahlen beider Räder}}{2 P}$$

Beispiel: Es sei ein Rad von 72 Zähnen und 12 diametral pitch zu bestimmen.

Der Teilkreisdurchmesser ist:

$$D = \frac{Z}{P} = \frac{72}{12} = 6 \text{ Zoll.}$$

Der Außendurchmesser:

$$D_1 = \frac{Z + 2}{P} = \frac{72 + 2}{12} = 6,166 = 6\frac{2}{12} \text{ Zoll}$$

oder auch:

$$D_1 = D + \frac{2}{P} = 6 + \frac{2}{12} = 6\frac{2}{12} \text{ Zoll.}$$

Circular pitch oder Teilung:

$$p = \frac{\pi}{P} = \frac{3,1416}{12} = 0,262 \text{ Zoll.}$$

Die Zahnstärke

$$t = \frac{1,57}{P} = \frac{1,57}{12} = 0,131 \text{ Zoll.}$$

Die Arbeitstiefe

$$o = \frac{2}{P} = \frac{2}{12} = 1,66 \text{ Zoll.}$$

Die übrige Zahntiefe (Spiel zwischen Zahnoberkante und Grund)

$$f = \frac{t}{10} = \frac{0,131}{10} = 0,013 \text{ Zoll.}$$

Die ganze Zahntiefe

$$o + f = 1,66 + 0,013 = 1,679 \text{ Zoll.}$$

Der Zahnkopf

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{12} = 0,83 \text{ Zoll.}$$

$$\text{Der Zahnfuß} = \frac{1}{P} + f = 0,83 + 0,013 = 0,843 \text{ Zoll.}$$

Alles andere läßt sich leicht mit Hilfe der vorhergehenden Formelsammlung bestimmen.

In nachstehenden Vergleichstabellen gibt die erste den zu einem bestimmten diametral pitch gehörigen circular pitch, und die zweite umgekehrt den zum angenommenen circular pitch gehörigen diametral pitch an. Die dritte Tabelle soll zum Vergleich mit unserer Modulteilung dienen.

Tabelle.

Diametral pitch = Zähnezahl auf 1 Zoll Durchmesser	Circular pitch = Teilung in engl. Zoll
1	3,14
2	1,57
2 ¹ / ₄	1,39
2 ¹ / ₂	1,25
2 ³ / ₄	1,14
3	1,05
3 ¹ / ₂	0,898
4	1,785
5	0,628
6	0,524
7	0,448
8	0,392
9	0,350
10	0,314
11	0,280
12	0,262
14	0,224
16	0,196
18	0,174
20	0,157
22	0,143
24	0,130
26	0,120
28	0,112
30	0,104
32	0,098

Tabelle.

Circular pitch = Teilung in engl. Zoll	Diametral pitch = Zähnezahl auf 1 Zoll Durchmesser
2	1,57
1 ³ / ₄	1,79
1 ¹ / ₂	2,09
1 ⁷ / ₁₆	2,18
1 ³ / ₈	2,28
1 ⁵ / ₁₆	2,39
1 ¹ / ₄	2,51
1 ³ / ₁₆	2,65
1 ¹ / ₈	2,79
1 ¹ / ₁₆	2,96
1	3,14
1 ⁵ / ₁₆	3,25
7/8	3,59
1 ³ / ₁₆	3,86
3/4	4,19
1 ¹¹ / ₁₆	4,57
5/8	5,03
9/16	5,58
1/2	6,28
7/16	7,18
3/8	8,38
5/16	10,06
1/4	12,56
3/16	16,75
1/8	25,12
1/16	50,24

Tabelle.

Modul = Teilg. in mm π	Diametral pitch = Zähnezahl auf 1 Zoll Durchmesser
1	25,4
1,25	20,32
1,5	16,93
1,75	14,51
2	12,7
2,25	11,29
2,5	10,16
2,75	9,23
3	8,46
3,5	7,26
4	6,35
4,5	5,64
5	5,08
5,5	4,62
6	4,23
7	3,63
8	3,17
9	2,82
10	2,54
11	2,31
12	2,12
14	1,81
16	1,59

Sachregister.

- Abheben der Späne 2.
Abkühlen der Fräser 87.
Abkühlungsflüssigkeit 87.
Abwälzfräser s. Wälzfräser.
Abwälzfräsmaschine s. Wälzfräsmaschine.
Analyse der Schnellstähle 10.
Anlassen der Fräser 87.
Anlaßbäder 88.
Anlaßfarben 88.
Anwendungsarten der Fräser 3.
Aufspannvorrichtungen 151.
Ausglühen der Fräser 70.
Ausnützung, volle der Fräsmaschinen 127.
- Bedienung mehrerer Maschinen 127.
Befestigungsarten der Fräser 26.
Befestigungskegel 29.
Beilegeringe 26.
Bleibäder 83.
Böttcher-Verzahnung 275.
- Cosinus s. unter K.
Cosinustabelle s. unter K.
Cotangens s. unter K.
Cotangententabelle s. unter K.
Cykloidenverzahnung s. unter Z.
- Diametral-pitch-Teilung 328.
D. J.-Normen 30.
Differentialteilen 211.
Doppelfräsmaschine 183.
Doppelspiralfräser 17.
Drehen der Fräser 54.
- Eingriffswinkel 325.
Einsatzhärten (Einsetzen) 81.
Einsatzmittel 82.
Einsatzöfen 78.
Einsatztiefe 82.
Einscheibenantrieb 146.
Einteilung der Fräsmaschinen 159.
Einspannarten der Fräser 26.
Elektrischer Härteofen 84.
- Entwicklung der Fräser 11.
— der Frästechnik 123.
Erwärmen der Fräser 70, 75.
Evolventenverzahnung 320.
- Fassonfräsmaschine 247.
Fingerfräser 18.
Fräsen der Fräserschneidzähne 56.
— der Gewinde 257.
— einer Kurbel 6.
— einer Platte 2, 5.
— einer Schwalbung 5.
— eines Handrades 6.
— eines Kegelrades 6.
— eines Lagerdeckels 127.
— eines Tisches 3.
— der Bügeleisen 132.
— der Kegelräder auf Universalfräsmaschinen 282.
— der Lokomotivrahmen 7.
— der Nähmaschinenplatten 133.
— der Schraubengewinde 257.
— der Schwungradrillen 7.
— der Zahngetriebe 265.
- Fräseranschnitt 10.
Fräser aus kohlenstoffarmen Stahl 81.
Fräserhinterdrehen 58.
Fräserleistungen 4, 8, 47, 52.
Fräser, geriefte 11.
— hinterdreher 11, 13.
— schräghinterdreher 13.
— spiralgewundene 14, 39.
Fräserschärfmaschinen 109.
Fräserringe 26.
Fräsköpfe 21.
Fräsvorrichtungen 151.
Frässpindellagerung 145.
Freiläufiges Einschneiden der Schneckenräderzähne 281.
- Gasmuffelöfen 76, 80.
Generatorbetrieb 78.
Gesenkfräsmaschine 247.
Gewindefräsen 257.

- Gewindefräsmaschinen 260.
 Gleason-Kegelraderfräsmaschine 278.
 Glockenfräser 20.
 Glühen der Fräser 70.
 Glühfarben 74.
- Halbgasfeuerung** 79, 84.
Härten der Fräser 72.
 — im Salzbad 83.
Härteöfen 75, 84.
Härterisse, Entstehen der 70.
Härtetemperatur, richtige 71, 83.
Helikoidengetriebe 303.
Hinterdrehbank 60, 68.
Hinterdrehen der Fräser 58.
Hinterfräsen der Fräser 58.
Hinterschleifen 68.
Hobeln einer Platte 2, 4.
Hochleistungsfräser 15.
 — Patent Koch 15.
 — — Krupp 15.
 — — Saacke 17.
 — — Stock (Tenax) 17.
 — — Pfeilzahn 16.
- Innenhinterdrehen** 67.
Innenschleifapparat 103.
Innenschleifen 96.
- Kaltsägen, Schnitt- und Schaltgeschwindigkeit der** 47.
Kaltsägeschärfmaschine 121.
Keillochfräsmaschine 194.
Kegelräder, Bestimmung der Abmessungen 316.
 — Fräsen der 275, 282.
Kegelraderfräsmaschinen 275.
Kegelrädervorfräsmaschinen 301.
Kegeltabellen, Morse- und metrische 31.
Klemmfutter für Fingerfräser 27.
Klemmhülse zum Fräserschleifen 96.
Konstruktionsteile der Fräsmaschinen 145.
Kopffräser 20.
Kopier- und Kurvenfräsmaschinen 245.
 — u. Kurvenfräsvorrichtungen 251.
Korrigierte Zahnformen 322.
Kosinustabelle 225.
Kotangententabelle 228.
Kraftverbrauch der Fräser 7.
Kriegserfahrungen, Einfluß der 142.
Kurvenarten 242.
- Langfräsmaschine** 180.
Langlochfräser 18.
Längskurven 251.
- Lebensdauer der Fräser** 8.
Lochkreise der Teilscheiben 208.
- Mantelkurven** 255.
Maschinenschraubstöcke 148.
Maschinenschraubstock, revolverartiger 150.
Materialbeschaffenheit der Fräser 53.
Messerköpfe s. Fräsköpfe.
Metallbäder zum Härten 83.
 — zum Anlassen 88.
Metrischer Kegel 29, 32.
Mitnehmer 33, 192.
Mitnehmerringe s. Fräser 29.
Modulsteigung der Schnecke 240, 314.
Modulteilung der Zahnräder 305.
Morsekegel 29.
Muffelöfen 76, 80.
- Nachstellbare Nutenfräser** 19.
Normalteilung (Spiralzahnräder) 234, 307.
Normen-Ausschuß der deutschen Industrie 30, 142.
Nortonschleifräder 90.
Nutenfräser 18, 19, 22.
 — schräggeteilter 23.
- Ozoidenverzahnung** 324.
- Parallelfräsmaschine** 194.
Pfeilzahnfräser 16.
Planfräsmaschine s. Wagrechtfräsmaschinen.
Plankurven s. Stirnkurven.
Profilfräser 23.
Profilstähle für Zahnformfräser 267.
Pyrometer 73, 85.
- Räderfräsmaschinen** 283.
Räumarbeiten 139.
Räumnadel 140.
Räumnadelziehmaschine 139.
Regenerieren des Stahles 71.
Revolverfräsmaschine 137.
Ringfräser 20.
Rundfräsen 6.
Rundfräsmaschine 135.
Rundschleifen der Fräser 94.
Rundschleifmaschine 97.
- Salzbad zum Härten** 83.
 — zum Anlassen 88.
Salzbadofen 84.
Satzfräser 3, 5, 127, 131.

- Schaltgeschwindigkeiten 43, 47.
 Schaftfräser 20.
 Schärfen der Fräser 103.
 — der Kaltsäge 121.
 Scheibenfräser 22.
 Schlagzahn 298.
 Schleifarbeit, Wirkungsweise der 88.
 Schleiflehren 107.
 Schleifmaterialien, künstliche 89.
 Schleifsteine, natürliche 89.
 Schleifsteine (Schmirgelräder), künstliche 89.
 Schlitzfräser 18.
 Schneckengetriebe 312.
 Schneckenradfräser 24.
 Schneckenradfräsmaschinen 288.
 Schneidwinkel 35.
 Schneidzähne, Form und Teilung der 33.
 — spiralgewundene 39.
 Schnellstahlfräser 9.
 Schnittgeschwindigkeiten der Fräser 43, 44, 47.
 — Tabelle der 47.
 Schmelzpunkt der Salze 84.
 Schräggeteilte Fräser 25.
 Schräghinterdrehte Fräser 13.
 Schrägstellen der Supporte 235.
 Schraubenträger (Spiralzahlräder) 314.
 Seegerkegel 86.
 Senkrechtfräsmaschinen 183.
 Sinustabelle 225.
 Sonderfräsmaschinen 194.
 Spanabhebung 1.
 Späne, kommaartige 2.
 Spiralbohrerfräser 23, 24.
 Spiralbohrerfräsmaschine 197.
 Spiralgewundene Nuten, Herstellung der 218.
 Spiralsteigung, Berechnung der 218.
 Steigungswinkel 40.
 Stirnfräser 20.
 Stirnkurven 253.
 Stirnräderteilapparat 204.
 Stirnteilung 234, 307.

 Tangenstabelle 228.
 Teilapparate, einfache 198.
 — dreifache 204,
 — selbsttätige 163.
 — universale 200, 213.
 Teilen, Differential- 204.
 — direktes und indirektes 204, 211.

 Teiltabellen 209.
 Teilung der Schneidzähne 33.
 — der Wälzfräser 277.
 — der Zahnradfräser 311.
 Topfschale (Schleifen) 105.
 Trigonometrische Funktionen 222.
 Trommelkurven s. Mantelkurven.

 Umdrehungs-(Umlaufs-)Zahlen der Fräser 43, 48, 50.
 — der Schleifscheiben 93, 95.
 Universalfräsmaschinen 161.
 Universalteilapparate 200.
 Ununterbrochenes Fräsen 132, 137.
 Urfräser 11.

 Vertikalfräsmaschinen, s. Senkrechtfräsmaschinen.
 Versuche, vergleichende 7, 48, 52.
 Vorfräser 266.

 Wagerechtfräsmaschinen 161.
 Walzenfräser 22.
 Wälzfräser 25, 276, 277.
 Wälzfräsmaschine 285, 288, 297.
 Wälzverfahren 268.
 Wechsleräderberechnung 320.
 Weiterentwicklung der Werkzeugmaschinen 142.
 Werkzeugmaschinen, einfache und vollkommene 143.
 Winkel der Schneidzähne 35.
 Winkelfräser 56.
 Winkelfunktionen 222.
 Wirtschaftlichkeit der Fräsvorrichtungen 154.
 — der Schnellstahlfräser 9.

 Zähnezahlen der Fräser 36.
 Zahnform der Kegelfräser 273.
 — bogenförmige 275.
 — der Spiralzahlräder, Bestimmen der 307.
 — mechanische Entwicklung der 268.
 Zahnformen der Fräser 33.
 — korrigierte 322, 328.
 Zahnradfräser 23, 272.
 Zahnradfräsersätze 328.
 Zahnstangenfräsmaschine 300.
 Zahnteilungen der Fräser 33.
 Zangenfutter 28.
 Zykloidenverzahnung 303.

Der Fräser als Rechner. Berechnungen an den Universal-Fräsmaschinen und -Teilköpfen in einfachster und anschaulichster Darstellung, darum zum Selbstunterricht wirklich geeignet. Von **E. Busch**. Mit 69 Textabbildungen und 14 Tabellen. 1922. GZ. 3,6; gebunden GZ. 6.

Der Dreher als Rechner. Wechselräder-, Touren-, Zeit- und Konusberechnung in einfachster und anschaulichster Darstellung; darum zum Selbstunterricht wirklich geeignet. Von **E. Busch**. Mit 28 Textfiguren. 1919. Gebunden GZ. 5.

Die Dreherei und ihre Werkzeuge. Handbuch für Werkstatt, Büro und Schule. Von Betriebsdirektor **Willy Hippler**. Erster Teil: Wirtschaftliche Ausnutzung der Drehbank. Dritte Auflage. Erscheint im Frühjahr 1923.

Über Dreharbeit und Werkzeugstähle. Autorisierte deutsche Ausgabe der Schrift: „On the art of cutting metals“ von **Fred. W. Taylor**, von Prof. **A. Wallichs** zu Aachen. Vierter unveränderter Abdruck. 5. und 6. Tausend. Mit 119 Figuren und Tabellen. 1920. Gebunden GZ. 8,3.

Lehrgang der Härtetechnik. Von Studienrat Dipl.-Ing. **Joh. Schiefer** und Fachlehrer **E. Grün**. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 192 Textfiguren. 1921. GZ. 4,8; gebunden GZ. 6,5.

Härte-Praxis. Von **Carl Scholz**. 1920. GZ. 1.

Die Werkzeugstähle und ihre Wärmebehandlung. Berechtigte deutsche Bearbeitung der Schrift: „The heat treatment of tool steel“ von **Harry Brearley**, Sheffield. Von Dr.-Ing. **Rudolf Schäfer**, Berlin. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 226 Textabbildungen. 1922. Gebunden GZ. 10.

Die Blechabwicklungen. Eine Sammlung praktischer Verfahren. Zusammengestellt von Ing. **Johann Jaschke**, Graz. Fünfte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 295 Textabbildungen. 1922. GZ. 2,5.

Automaten. Die konstruktive Durchbildung, die Werkzeuge, die Arbeitsweise und der Betrieb der selbsttätigen Drehbänke. Ein Lehr- und Nachschlagebuch von **Ph. Kelle**, Oberingenieur in Berlin. Mit 767 Figuren im Text und auf Tafeln sowie 34 Arbeitsplänen. 1921. Gebunden GZ. 16,5.

Die Grundzahlen (GZ.) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.

Die Grundzüge der Werkzeugmaschinen und der Metallbearbeitung. Von Professor F. W. Hülle in Dortmund. In zwei Bänden. Erster Band: **Der Bau der Werkzeugmaschinen.** Vierte, vermehrte Auflage. Mit 360 Textabbildungen. Erscheint Anfang 1923. Zweiter Band: **Die wirtschaftliche Ausnutzung der Werkzeugmaschinen.** Dritte, vermehrte Auflage. Mit 395 Textabbildungen. 1922. GZ. 3,6.

Die Werkzeugmaschinen, ihre neuzeitliche Durchbildung für wirtschaftliche Metallbearbeitung. Ein Lehrbuch. Von Professor F. W. Hülle, Dortmund. Vierte, verbesserte Auflage. Mit 1020 Abbildungen im Text und auf Textblättern, sowie 15 Tafeln. Unveränderter Neudruck. 1922. Gebunden GZ. 20.

Werkstattstechnik. Zeitschrift für Fabrikbetrieb und Herstellungsverfahren. Herausgegeben von Professor Dr.-Ing. Georg Schlesinger, Charlottenburg. Jährlich 24 Hefte. Preis für Januar M. 300.—

Werkstattbücher. Für Betriebsbeamte, Vor- und Facharbeiter. Herausgegeben von Eugen Simon, Berlin.

- Heft 1. Gewindeschneiden. Von Oberingenieur Otto Müller. Mit 151 Textfiguren. 7.—12. Tausend. 1922.
- Heft 2. Meßtechnik. Von Betriebsingenieur Privatdozent Dr. Max Kurrein, Berlin. Zweite, verbesserte Auflage. Mit etwa 150 Textfiguren. In Vorbereitung.
- Heft 3. Das Anreißen in Maschinenbauwerkstätten. Von Ingenieur Hans Frangenheim. Mit 105 Textfiguren. 7.—12. Tausend. 1922.
- Heft 4. Wechselräderberechnung für Drehbänke unter Berücksichtigung der schwierigen Steigungen. Von Betriebsdirektor Georg Knappe. Mit 13 Textfiguren und 6 Zahlentafeln. 1921.
- Heft 5. Das Schleifen der Metalle. Von Dr.-Ing. Bertold Buxbaum. Mit 71 Textfiguren. 1921.
- Heft 6. Teilkopfarbeiten. Von Dr.-Ing. W. Pockrandt. Mit 23 Textfiguren. 1921.
- Heft 7. Härten und Vergüten. Teil I: Stahl und sein Verhalten. Von Dipl.-Ing. Eugen Simon. Zweite Auflage. Mit 60 Figuren im Text. Erscheint Anfang 1923.
- Heft 8. Härten und Vergüten. Teil II: Die Praxis der Warmbehandlung. Von Dipl.-Ing. Eugen Simon. Zweite Auflage. Mit etwa 91 Figuren und 10 Zahlentafeln im Text. Erscheint im Frühjahr 1923.
- Heft 9. Rezepte für die Werkstatt. Von Ingenieur-Chemiker Hugo Krause. 1922.
- Heft 10. Kupolofenbetrieb. Von Carl Irresberger. Mit 63 Figuren und 5 Zahlentafeln im Text. 1922.
- Heft 11. Freiformschmiede. Von P. H. Schweißguth. Erster Teil: Technologie des Schmiedens. — Rohstoff der Schmiede. Mit 225 Textfiguren. 1922.
- Heft 12. Freiformschmiede. Von P. H. Schweißguth. Zweiter Teil: Einrichtungen und Werkzeuge der Schmiede. Mit 128 Textfiguren. 1922.
- Heft 13. Die neueren Schweißverfahren. Von Dr.-Ing. Paul Schimpke, Professor an der Staatlichen Gewerbeakademie, Chemnitz. Mit 60 Figuren und 2 Zahlentafeln im Text. 1922.

Die Grundzahl jedes Heftes beträgt 1.

Die Grundzahlen (GZ.) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.