

den ist, ist schon ein gewisser Zeitverlust mit eingerechnet. Die Hauptzeit für die eigentliche Bearbeitung beträgt 0,92 und  $0,36 = 1,28$  min und die Nebenzeit für das Einspannen des Werkstückes, das Schalten und das Anstellen der Werkzeuge 0,60 min, zusammen 1,88 min. Da auch hier mit einem Zeitverlust gerechnet werden muß, so können für das einzelne Stück 2,2 min als Arbeitszeit zugelassen werden.

Der Arbeiter kann nach den Vorschriften, zumal auch die Nummer der Maschine und die Arbeitsgeschwindigkeiten (Umdrehungszahlen) angegeben sind, die Arbeit ruhig und sicher durchführen und sich selbst ständig kontrollieren, ob er im richtigen Tempo arbeitet.

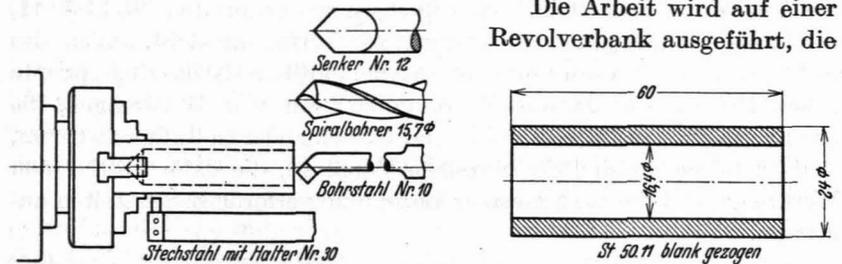


Abb. 146 und 147. Arbeitstück und Werkzeuge zur Arbeitszeit-Vorrechnung.

Die Arbeit wird auf einer Revolverbank ausgeführt, die

ein rasches Auswechseln der Werkzeuge gegeneinander erlaubt (vgl. S. 171). Die Zeit für das erstmalige Einstellen der Bank, die sogenannte Rüstzeit, ist mit 18 min verhältnismäßig hoch gegenüber der eigentlichen Arbeitszeit von 2,2 min für das Stück. Bei Herstellung nur weniger Stücke würde also durch das Herrichten der Revolverbank die Gesamtzeit übermäßig erhöht. Bei 50 Stück, wie hier vorgesehen, ist aber die eigentliche Arbeitszeit insgesamt  $50 \times 2,2 = 110$  min, so daß jetzt die Rüstzeit nicht mehr die maßgebende Rolle spielt.

Hand in Hand mit der Aufstellung genauer Arbeitsvorschriften geht eine Kontrolle darüber, ob sämtliche verfügbaren Maschinen mit Arbeit belegt sind. Auf diese Weise läßt sich erreichen, daß eine Maschine, wenn das Werk sich überhaupt genügend Beschäftigung verschaffen kann, niemals leer dasteht, und daß sie beständig bis zum Äußersten ihrer Leistungsfähigkeit ausgenutzt wird. Jedes Zurückbleiben hinter der erreichbaren Höchstleistung bedeutet einen Verlust, weil aus den für Maschine, Werkstattgebäude, Verwaltung, Arbeitslöhne usw. ausgegebenen Summen nicht der volle Nutzen gezogen wird.

## 7. Bearbeitung auf Werkzeugmaschinen.

Auch die konstruktive Entwicklung der Werkzeugmaschinen muß sich ganz und gar im Sinne der besten Zeitausnutzung vollziehen.

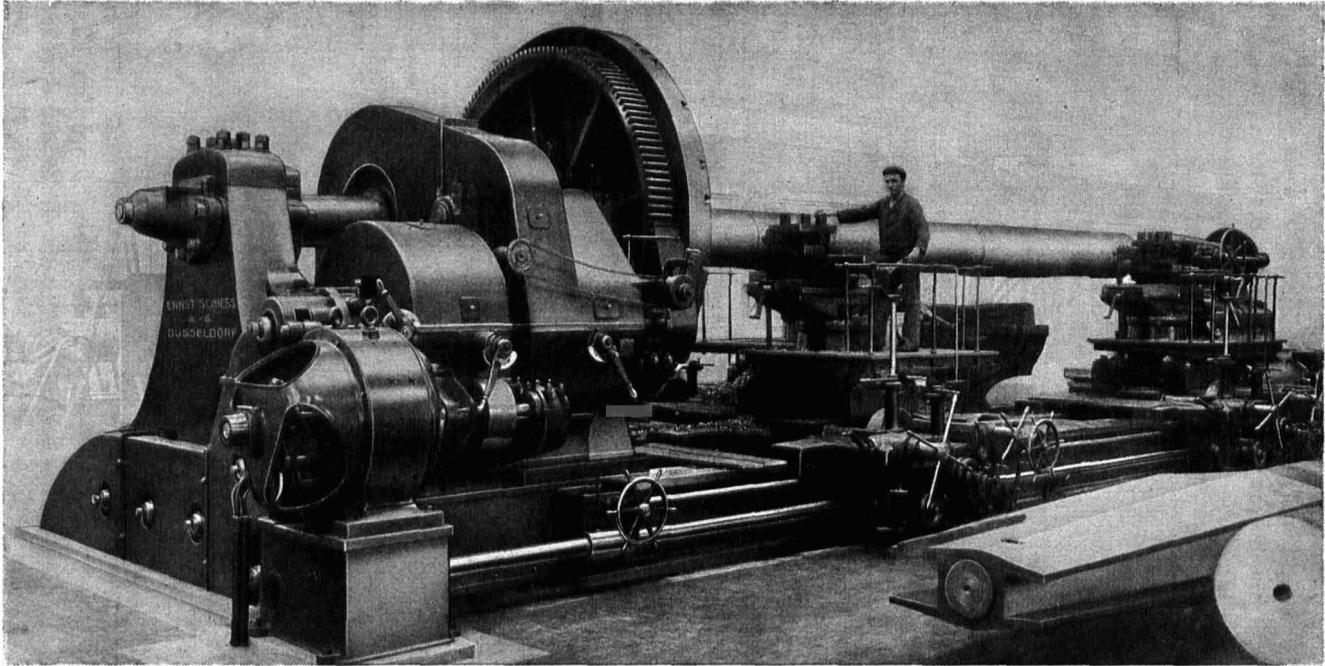


Abb. 148. Drehbank zur Bearbeitung von Geschützrohren (Ausführung der Firma Ernst Schieß A.-G., Düsseldorf).  
Das Bild zeigt eine ältere Ausführung, die absichtlich beibehalten ist, weil der Aufbau des Antriebes und die Wirkungsweise dabei besser zu erkennen sind als bei modernen, geschlossen gebauten Maschinen.

Wir hatten oben gesehen, daß man im Maschinenbau so viele Arbeiten wie irgend möglich der Drehbank zuweist, weil sie ein Werkstück am raschesten vollständig zu bearbeiten vermag. Das Streben der modernen Technik, allen Maschinenteilen nicht hin- und hergehende, sondern gleichmäßig drehende Bewegung zu geben, weil sie dabei rascher laufen und mehr Arbeit verrichten können, kommt diesem Grundsatz entgegen, weil die umlaufenden Teile naturgemäß meistens runde Formen erhalten und daher durch Abdrehen bearbeitet werden können.

Drehbänke für Fußbetrieb, wie sie jeder Schlosser in seiner Werkstatt hat, sind allgemein bekannt. Von hier ausgehend findet sich in den Fabriken eine unendliche Mannigfaltigkeit von Drehbänken verschiedenster Größen und Formen, zum rohen „Schruppen“ und für die feinsten Sonderarbeiten. Was für gewaltige Abmessungen die größten unter diesen Maschinen haben, läßt Abb. 148 erkennen. Auf der Bank ist ein schweres Kanonenrohr aufgespannt, das gleichzeitig mit zwei Werkzeugstählen bearbeitet wird. Zunächst wird ein grober Span heruntergeschruppt und nachher ein feiner Schlichtspan abgenommen, wodurch das Rohr glatte Oberfläche und genau das richtige Maß erhält. Wellen von 15 m Länge können auf dieser Drehbank bearbeitet werden. Während früher die Werkzeugmaschinen von einer Welle, die an der Decke des Maschinensaales gelagert war, durch Riemen angetrieben wurden, bekommen heute die meisten, auf jeden Fall aber diese großen Maschinen jede für sich einen Elektromotor, der oft 100 Pferdestärken und mehr leisten muß. In der Abbildung ist der Motor vorn links in der Ecke zu sehen. Die von ihm abgegebene Arbeit wird durch verschiedene Zahnradvorgelege auf das große Rad übertragen; mit diesem ist das Arbeitstück fest verbunden, das langsam und mit großer Kraft den Schneidstählen entgegen herumdreht wird.

Bei einem schweren Arbeitstück, wie wir es hier haben, ist es selbstverständlich, daß es, wenn irgend möglich, auf einer und derselben Maschine fertiggemacht und ein Umspannen von einer Maschine auf die andere vermieden wird. Aber auch für kleine Werkstücke und kleine Maschinen gilt dieser Grundsatz. Sind an einem Stück eine Reihe Arbeiten auszuführen, so ist es also vorteilhaft, eine Maschine zu benutzen, auf der sich die Werkzeuge sehr rasch auswechseln lassen. Dies ist aber nur möglich, wenn die einzelnen Werkzeuge vorher genau eingestellt sind und durch einen einfachen Handgriff in die richtige Lage gebracht werden können. Die Maschine muß deshalb besonders für diesen Zweck durchgebildet werden.

Abb. 149 zeigt eine solche „Revolver-Drehbank“. *a* ist das

fertige Arbeitstück, ein mit Gewinde versehener hohler Bolzen, und mit *b, c, d, e, f, g, h, i, k, l* sind die auf dem Bilde sichtbaren Werk-

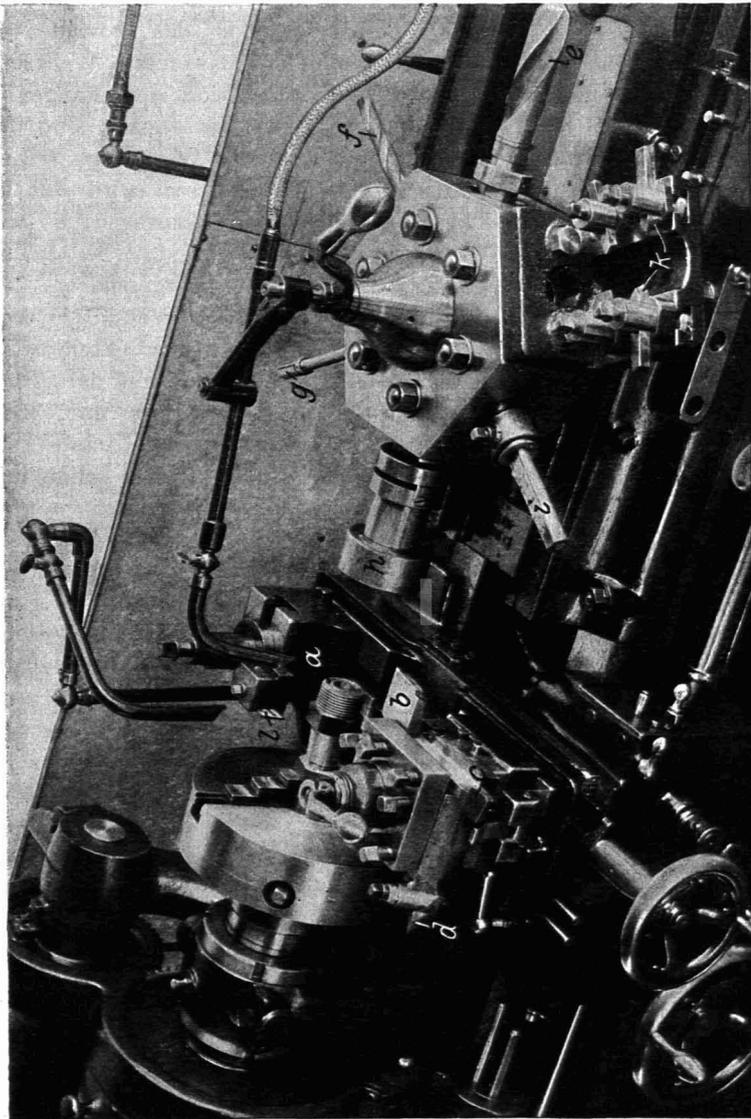


Abb. 149. Revolver-Drehbank (Ansführung der Firma Ludwig Loewe & Co., Berlin).

zeuge bezeichnet, die nacheinander mit dem Arbeitstück in Berührung gebracht worden sind. Das Rohmaterial, aus dem der Bolzen gearbeitet wird, ist eine sechskantige Stange, die durch die hohle

Antriebswelle der Werkzeugmaschine gesteckt und jedesmal, wenn ein Stück fertig ist, weiter vorgeschoben wird. Das erste Werkzeug dient dazu, um diesen Vorschub genau zu begrenzen, ein zweites Werkzeug dreht die Stirnfläche ab, ein drittes den Teil, auf den das Gewinde kommen soll, ein viertes schneidet das Gewinde, ein fünftes bohrt das Loch usw., bis schließlich das letzte Werkzeug, ein schmaler Stichel, das fertige Arbeitstück von der Stange absticht, worauf das Spiel von neuem beginnt. Im ganzen sind drei Stahlhalter vorhanden, von denen zwei mehrere Werkzeuge tragen. Wenn ein Werkzeug seine Arbeit vollendet hat, so wird der betreffende Stahlhalter mit allen Werkzeugen zurückgezogen, so weit gedreht, daß ein neues Werkzeug in die richtige Arbeitstellung kommt, und dann wieder gegen das Arbeitstück vorgeschoben.

Es gehört ziemlich viel Mühe dazu, um alle Werkzeuge einer solchen Revolverbank zunächst einmal in die richtige Stellung zu bringen und genau einzurichten, so daß der Dreher mit der Arbeit anfangen kann. Daher lohnt sich diese Arbeitsweise nur, wenn eine größere Anzahl gleicher Stücke herzustellen ist. Dann kann man aber auch sicher sein, daß alle diese Stücke genau und gleichmäßig ausfallen und beliebig miteinander vertauscht werden können. Müssen sehr viele gleichartige Teile hergestellt werden, so wird die Maschine so ausgebildet, daß sie, nachdem ein Werkzeug seine Arbeit getan hat, sich selbsttätig umschaltet und ein neues Werkzeug vorschiebt. Auch das Abstechen des fertigen Stückes und das Verschieben des Materials geschieht selbsttätig, so daß die Maschine ein Stück nach dem andern fertigstellt, ohne daß irgend ein Handgriff daran vorgenommen zu werden braucht. Ein Arbeiter kann bequem mehrere derartige selbsttätige Drehbänke gleichzeitig überwachen, so daß die Lohnkosten, die auf ein Stück entfallen, verschwindend gering werden.

Aber nicht nur die Herstellung der einzelnen Stücke für eine Maschine verbilligt sich bei diesem Arbeitsverfahren, sondern infolge der Genauigkeit, mit der gearbeitet werden kann, vermindern sich auch die Kosten für das Zusammensetzen der vollständigen Maschine außerordentlich. Während es bei der handwerkmäßigen Fertigung nötig war, die Teile beim Zusammenbauen nachzuarbeiten und sie zueinander passend zu machen, fällt diese Arbeit in einer nach neuzeitlichen Grundsätzen eingerichteten Werkstatt zum größten Teil fort. Die Stücke können ohne Schwierigkeit bis auf ein oder wenige Hundertstel Millimeter genau gearbeitet werden, soweit das erforderlich ist, und lassen sich daher meistens einfach ineinanderstecken. Für einzelne Teile, die äußerst genau aufeinander gleiten und sich an allen Stellen berühren müssen, genügt allerdings unter

Umständen auch eine solche Genauigkeit noch nicht; man bringt sie zum Passen, indem man die kleinen Unebenheiten mit der Hand fortschabt.

Die Stücke, die von dem Dreher fertiggestellt sind, werden gewöhnlich in ein Vorratslager eingeliefert und von hier entnommen, wenn sie zur Zusammenstellung einer oder mehrerer Maschinen nötig sind. Ehe sie aber auf Vorrat gelegt werden, werden sie sorgfältig durch einen Beamten geprüft, der alle einzelnen Teile nachmißt. Es mag zunächst recht schwierig erscheinen, auf  $\frac{1}{100}$  mm genau nachzumessen, indessen hat die Technik Mittel gefunden, mit denen diese Arbeit in einfachster und dabei unbedingt zuverlässiger Weise sehr schnell erledigt werden kann. Man benutzt dazu die sogenannten Grenzlehren. Dies sind Meßwerkzeuge mit zwei Klauen oder „Rachen“, die über das Werkstück weggeschoben werden können, Abb. 150. Nehmen wir einmal an, es handele sich um Zapfen von 40 mm Durchmesser, und es sei vorgeschrieben, daß die Abweichung von dem genauen Maß nach oben oder unten unter  $\frac{1}{100}$  mm bleiben muß. Dann wird der eine Rachen der Lehre um  $\frac{1}{100}$  mm größer als 40 mm, der andere um  $\frac{1}{100}$  kleiner gemacht. Wenn nun der Durchmesser sich innerhalb der richtigen Grenzen befindet, so wird der Zapfen durch den einen Rachen, der in der Skizze mit  $+0,01$  bezeichnet ist, glatt hindurchgehen, durch den anderen dagegen, der um 0,01 mm zu klein ist, nicht. Geht er durch beide Rachen hindurch oder durch keinen der beiden, so ist er zu klein oder zu groß und wird zurückgewiesen.

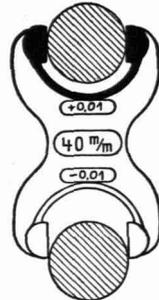


Abb. 150.  
Grenzlehre.

Was für Vorteile ein nach solchen Grundsätzen durchgeführtes Herstellungsverfahren mit sich bringt, wird erst recht klar, wenn man bedenkt, daß an allen Maschinen die arbeitenden Teile sich im Laufe der Zeit abnutzen und an ihrer Stelle Ersatzteile eingebaut werden müssen. Auch Brüche sind bei vielen Maschinen trotz sorgfältiger Arbeit und besten Werkstoffs nicht ganz zu vermeiden. Stellen wir uns vor, daß an einer landwirtschaftlichen Maschine mitten im vollen Betriebe, während der Ernte, ein wichtiges, schwer herzustellendes Stück bricht, und daß nun erst eine in der Nähe befindliche Maschinenfabrik mit der Anfertigung eines Ersatzteiles beauftragt werden muß! Darüber kann ein Tag oder vielleicht eine Reihe von Tagen vergehen, und der Eigentümer, dem jeder Tag kostbar ist, kommt mit seinen Arbeiten unwiederbringlich in Rückstand. Es gibt kaum einen Vorfall, der einen Betrieb mehr schädigen kann, als ein Maschinenstillstand, der sich nicht schnell beseitigen

läßt. Wenn es also möglich ist, sofort ein Ersatzstück zu bekommen, das ohne Nacharbeit eingesetzt werden kann, so ist das ein Vorteil, der dem Besitzer der Maschine viel Geld sparen kann. Man darf deshalb sagen, daß die Möglichkeit des raschen Nachbezuges von Ersatzteilen, die eine Folge moderner Herstellungsweise — moderner Massenfabrikation — ist, den Wert der Maschine unter Umständen wesentlich erhöht<sup>1)</sup>.

Wir finden hier einen Anklang an das, was in der Einleitung über die Bedeutung der wissenschaftlichen Grundlage der Technik gesagt war. Dort die Verallgemeinerung der Ergebnisse, durch welche die Technik grundlegend für eine volkswirtschaftliche Entwicklung im größten Stile werden kann, hier, bei der mit wissenschaftlicher Gründlichkeit ausgearbeiteten Herstellungsweise, die allgemeine Verwendbarkeit jedes einzelnen Stückes, durch welche die Maschine über den Rang eines Zufallserzeugnisses hinausgehoben und zu einem Hilfsmittel gemacht wird, mit dessen dauernder Zuverlässigkeit und Brauchbarkeit sicher gerechnet werden kann.

Welche Abweichungen zugelassen werden, ist in jedem einzelnen Falle zu entscheiden. Der Deutsche Normenausschuß (vgl. S. 213) hat die Entscheidung erleichtert, indem er für die gängigen Wellendurchmesser „Passungen“ mit bestimmten zulässigen Abweichungen festgelegt hat; und zwar sind eine ganze Reihe von Fällen vorgesehen, daß die Welle sich mit reichlichem oder wenig Spiel im Lager drehen kann (Laufsitz), daß sie sich eben in die Bohrung einschieben läßt oder daß sie nur mit Gewalt eingepreßt werden kann und fest darin haftet. Der Konstrukteur hat je nach den Umständen seine Wahl zu treffen und gibt der Werkstatt durch einfache symbolische Zeichen auf der Zeichnung an, für welchen Sitz er sich entschieden hat.

Doch kehren wir noch einmal zu den Arbeitsverfahren zurück. Beim Bohren von Löchern verläuft, ebenso wie beim Drehen, der Arbeitsvorgang stetig. Sollen aber ebene Flächen bearbeitet werden, so kommt zunächst die Hobelmaschine in Betracht, bei welcher der Stahl oder das Arbeitstück hin- und hergeht und nur bei der Bewegung in einer Richtung Arbeit leistet. Nicht nur der Rücklauf der Maschine, sondern sogar noch ein Stück des Arbeitsganges wird nicht ausgenutzt, weil der Stahl auf jeder Seite etwas über die Enden der Arbeitsfläche hinausgehen muß. Aus Abb. 151, der Wiedergabe einer großen Hobelmaschine, sieht man, daß nicht das Werkstück, sondern der schwere Tisch, auf dem das Stück festgemacht ist, hin- und herläuft, so daß ganz beträchtliche Gewichte vorhanden sind, denen jedesmal, wenn die Maschine ihre Bewegung umkehrt, eine

<sup>1)</sup> Vgl. die Ausführungen über „Normung“, S. 211 u. f.

gewisse Geschwindigkeit erteilt werden muß. Dazu gehört mechanische Arbeit, die in Bewegungsenergie verwandelt und beim Anhalten der Maschine wieder vernichtet wird.

Das Hobeln ist also ein Arbeitsverfahren, das, vom Standpunkt der Ausnutzung von Zeit und Arbeit aus gesehen, mit grundsätz-

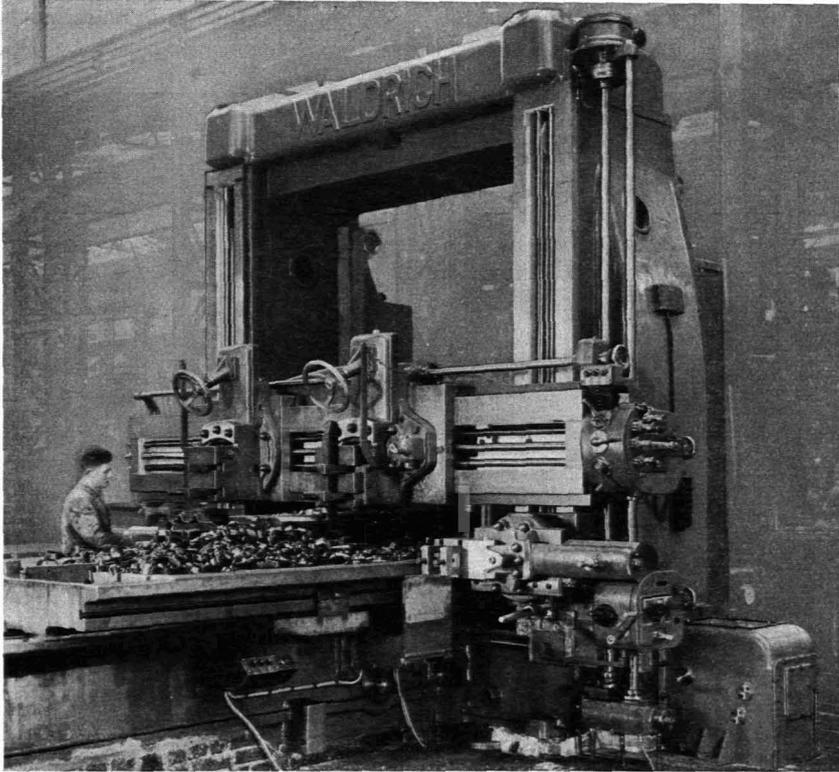


Abb. 151. Hobelmaschine hoher Leistung für Metallbearbeitung  
(Maschinenfabrik H. A. Waldrich, G. m. b. H., Siegen).

lichen Mängeln behaftet ist. Daher steht ein anderes Verfahren, das Fräsen, schon seit langer Zeit in erfolgreichem Wettbewerb mit dem Hobeln. Ein Fräser hat, wie aus Abb. 152 hervorgeht, eine ganze Anzahl von Schneidkanten, die, wenn der Fräser sich dreht, nacheinander zum Angriff kommen. Die Schneiden sind so breit, daß die Fläche vollständig bearbeitet wird, wenn das Stück einmal unter dem Werkzeuge hergeht. Abb. 152 gibt ein gutes Bild davon, was für eine bedeutende Arbeitsleistung ein Fräser zu vollbringen vermag. Dazu kommt noch, daß die Arbeit genauer wird, weil die zahlreichen

breiten Schneidkanten des Fräsers sich nicht so rasch abnutzen wie die eine schmale Schneide des Hobelstahles. Abb. 153 zeigt eine Langfräsmaschine mit zwei senkrechten und zwei waagerechten Spindeln (von den letzteren läßt sich die eine schrägstellen). Das Arbeitstück ist auf einem Tisch — wie bei der Hobelmaschine — aufgespannt, der langsam vorgeschoben wird, während die Fräser ihre Arbeit verrichten. An einem Werkstück, wie dem hier in Arbeit befindlichen Zylinderblock, können, wenn erforderlich, gleichzeitig vier Flächen bearbeitet werden.

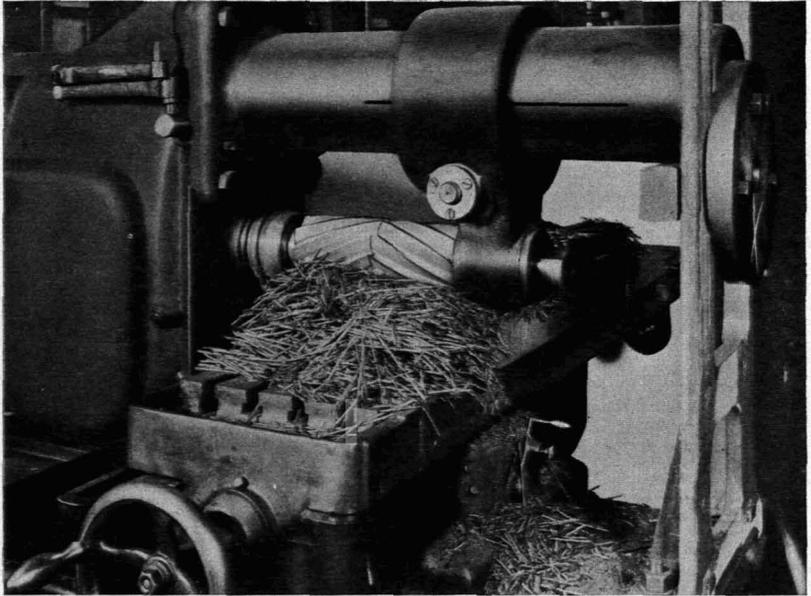


Abb. 152. Arbeitsvorgang beim Fräsen (Loewe, Berlin).

Allerdings sind die Werkzeuge für Fräsarbeit nicht in so einfacher Weise anzufertigen und herzurichten wie Hobelstähle. Es gehören wieder besondere, sehr genau arbeitende Maschinen dazu, um die Schneidkanten eines Fräsers richtig zu schleifen.

Die Fräsmaschine ist nicht in dem Sinne ein Universalapparat wie die Hobelmaschine, und kann diese nicht ersetzen. Aber wir haben ja auch schon gesehen, daß die Drehbank sich aus dem Universalwerkzeug, das die einfache Drehbank des Schlossers darstellt, zur verwickelten Sondermaschine entwickelt hat, die für ganz bestimmte, gleichbleibende Arbeiten eingestellt wird und diese nun möglichst lange Zeit hindurch ohne Änderung der Einstellung durchführt. Beim Schneiden und Gießen von Metall, ja auch bei der Holzbearbeitung, finden wir überall die gleiche Entwicklung. Diese

Sondermaschinen, die oft nur ganz wenige Arbeiten ausführen können, lassen sich aber natürlich nur ausnutzen, wenn die bestimmten Arbeiten immer wiederkehren, und es ist daher ausgeschlossen, daß in einer modernen Fabrik das Büro unabhängig von der Werkstatt konstruiert und es dem Werkstattleiter überläßt, herauszufinden, wie er die am Zeichentisch erdachten Teile mit seinen Maschinen am besten ausführt, sondern die Konstruktionen müssen den vorhandenen Maschinen sozusagen auf den Leib gearbeitet werden, wenn die volle Ausnutzung erreicht werden soll<sup>1)</sup>. Aber davon mehr im

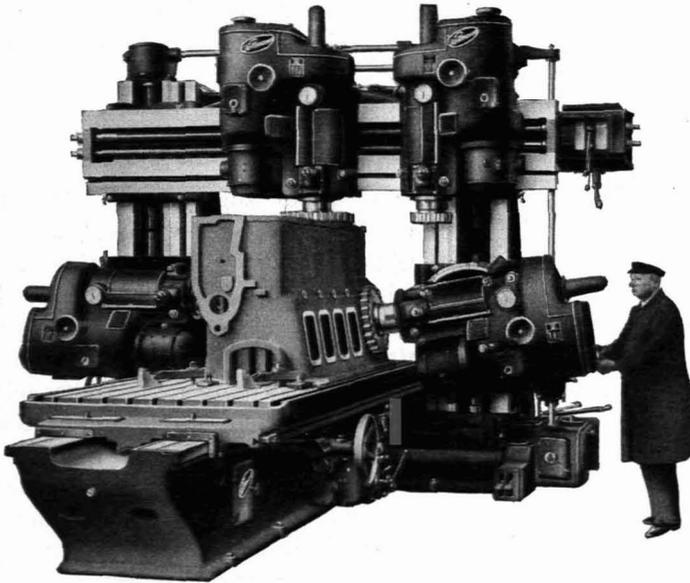


Abb. 153. Mehrspindel-Longfräsmaschine (Köllmann-Werke A.-G., Leipzig).

vierten Abschnitt. Eine seltsame Erscheinung, die als kennzeichnend für das Anpassungsvermögen der Technik und für das vorurteilsfreie Denken des Ingenieurs gelten kann, ist es, daß man eben durch die Vereinheitlichung der Fertigung wieder dahin kommt, nun für diese bestimmten, immer wiederkehrenden Arbeiten von der Verwendung der auf dem Markt befindlichen normalen Werkzeugmaschinen abzugehen und Sondermaschinen zu entwerfen, die vielleicht nur ein einziges Mal gebaut werden und sich daher mehrfach so teuer stellen wie eine normale Maschine, die aber die betreffende Arbeit so viel billiger ausführen, daß die Mehrkosten sich mit Sicherheit bezahlt machen.

<sup>1)</sup> Vgl. die von der Arbeitsgemeinschaft deutscher Betriebsingenieure und der Technisch-Wissenschaftlichen Lehrmittelzentrale bearbeitete Beispielsammlung: „Werkstattgerechtes Konstruieren“.

Sonderarbeitsverfahren kommen namentlich auch für die Feinstbearbeitung in Frage, durch die höchste Genauigkeit — auf tausendstel Millimeter — und Hochglanz erzielt wird. U. a. läßt sich durch Abdrehen mit Diamanten, die eine viel schärfere Schneide erhalten können als Drehstähle, eine sehr glatte Oberfläche erzeugen, ebenso durch verschiedene Polierverfahren, bei denen zum Teil auch noch unter hohem Druck die Oberfläche des Werkstückes verdichtet wird. Derartig sauber bearbeitete Flächen laufen besser aufeinander und nutzen sich weniger ab. Die Beseitigung der feinen Riefen, die beim Schleifen immer noch auftreten, hat auch größere Haltbarkeit gegenüber chemischen Einflüssen zur Folge. Hand in Hand mit der Verfeinerung der Arbeit geht die Ausbildung genauester Meßverfahren.

### 8. Fließarbeit.

Der Fließarbeit liegt der Gedanke zugrunde, daß das Arbeitsstück in ununterbrochenem Fluß von einer Hand zur anderen, von einer Maschine zur anderen geht, so daß sich eine Einzelarbeit an die andere fortlaufend anschließt, bis das Stück fertig ist.

Das Verfahren ist nicht neu und eigentlich selbstverständlich, sobald es sich um Massenfertigung handelt, die auf der Stufe der reinen Handarbeit steht. Man hat die Fließarbeit verlassen mit dem Eintreten der Maschine, weil es erforderlich erschien, jede Gattung von Maschinen — z. B. Schmiedemaschinen oder Drehbänke — in einer Werkstatt zu vereinigen. Dadurch wurde es notwendig, die Arbeitstücke von einer Werkstatt zur anderen zu schaffen und häufig auch zwischendurch zu lagern, bis in der nächsten Werkstatt eine geeignete Maschine frei war, um die begonnene Arbeit fortzusetzen.

Man hat zuerst in vielen amerikanischen Betrieben trotz der Schwierigkeiten, die sich aus der Verwendung von Maschinen ergaben, die Fließarbeit wieder eingeführt und in neuzeitlicher Weise durchgebildet. Das Vorbild hat auch auf Deutschland stark eingewirkt.

Es entspricht der Natur der Dinge, wenn man die Fließarbeit in erster Linie für Zusammensetzungsarbeiten (Montagearbeiten) und für die Verpackung von Waren anwendet, wo reine Handarbeit oder zu ihrer Unterstützung einfache mechanisch angetriebene Werkzeuge in Frage kommen. Ein kennzeichnendes Beispiel geben Abb. 154 und 155, wo die einzelnen Arbeitsvorgänge bei der Glühlampenfertigung schematisch dargestellt und bildlich erläutert sind.

Aber man bleibt dabei nicht stehen. Die Vorteile der Fließarbeit sind so groß, daß man der Maschine zumutet, ihren Platz zu verlassen, sich aus der Reihe ihrer gleichgearteten Schwestern herauszubewegen und sich mitten zwischen anderen Maschinen oder