

Arbeitsaufwand bei der einen und bei der anderen Herstellungsweise entstehen. Allerdings gehört dazu eine umfangreiche Kleinarbeit, denn es genügt nicht, für ein anderes, bereits fertiges Arbeitstück, das vielleicht ähnliche Form aufweist, die entstandenen Kosten aufzuschreiben und danach die voraussichtlich entstehenden Kosten des neuen Stückes abzuschätzen. Das ist handwerksmäßiges Vorgehen und steht auf einer Stufe mit der Art und Weise, wie man früher, ehe die Berechnungsverfahren der Festigkeitslehre allgemeiner bekannt geworden waren und sich das Zutrauen der Konstrukteure erworben hatten, die Abmessungen von Maschinenteilen zu bestimmen pflegte, indem nämlich auf Grund der Erfahrungen, die an ähnlichen Maschinen gemacht waren, die Abmessungen für die neue Maschine entsprechend stärker oder schwächer gewählt wurden. Gewiß ist es auch auf diese Weise möglich, Maschinen zu bauen. Aber um zur äußersten Ausnutzung des Werkstoffs zu gelangen und das Erzeugnis auf den denkbar billigsten Preis herunter zu bringen, sind andere, genauere Verfahren notwendig.

6. Grundlagen moderner Herstellungsmethodik in der mechanischen Industrie.

Für die Herstellungsverfahren bedeutet dies eine sorgfältige Einzelprüfung aller Umstände, die auf den Preis des Erzeugnisses Einfluß haben. Der Ingenieur, der diese Einflüsse nicht jeden für sich allein zu beurteilen vermag, steht vor jeder anderen Aufgabe von neuem ziemlich hilflos da und ist auf sein Gefühl angewiesen. Vor allem wird kein Ingenieur es wagen können, wenn ihm sichere rechnungsmäßige Unterlagen fehlen, grundlegende und weittragende Neuerungen einzuführen, weil er sich selbst und anderen nicht beweisen kann, daß damit wirkliche Vorteile zu erreichen sind.

Um ein bestimmtes Arbeitstück herzustellen, lassen sich oft sehr verschiedenartige Wege beschreiten. Vor allem kann die „spanlose Formung“ durch Gießen, Schmieden, Pressen, Ziehen usw. mit der „spanabhebenden Formung“ durch Drehen, Bohren, Fräsen, Schleifen u. a. m. in Wettbewerb stehen. Gußteile ersetzt man neuerdings häufig durch geschweißte Teile, nachdem die elektrische und die Gas-schmelzschweißung zu so hoher Vollkommenheit entwickelt sind. Wenn es möglich ist, wird man ein Arbeitsverfahren wählen, bei dem das Werkstück in einem einzigen Arbeitsgang fertiggestellt wird. Bei Massenerstellung stehen deshalb die spanlosen Verfahren an erster Stelle. Erwähnt sei als Beispiel der „Spritzguß“, bei dem ein leichtflüssiges Metall wie Aluminium durch Preßluft in eine sauber ausgearbeitete Stahlform hineingedrückt wird und diese genau und vollständig ausfüllt. An einem solchen Stück ist dann nur noch geringe Nacharbeit vorzu-

nehmen. Die Form ist aber so teuer, daß das Verfahren nur bei hohen Stückzahlen lohnend ist. Dies gilt auch für Gesenke bei Gesenkschmiedearbeiten, für Präge- und Preßstempel usw. Bei kleinen Stückzahlen kommt man deshalb meist nicht ohne spanabhebende Bearbeitung aus, die im folgenden näher besprochen werden soll.

Zur wissenschaftlichen Untersuchung der Herstellungsverfahren dieser Gattung gehört zunächst die Untersuchung der Werkzeuge und ihrer Wirkungsweise.

Ein Werkzeugstahl arbeitet z. B. beim Abdrehen einer Stahlwelle in der Weise, wie in Abb. 145 in größerem Maßstabe dargestellt. Man darf sich im allgemeinen nicht vorstellen, daß ein einfaches glattes Abschneiden der obersten Schicht des Materials stattfände. Das wäre

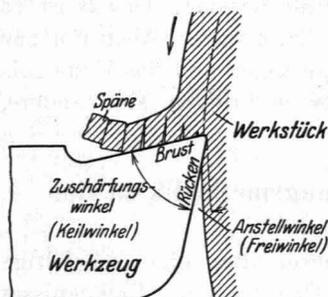


Abb. 145. Abheben der Späne durch den Werkzeugstahl bei geringer Schnittgeschwindigkeit.

nur denkbar mit einem ganz spitz zugeschärften Werkzeug, das dem harten Stoff des Werkstückes gegenüber aber gar keine Widerstandsfähigkeit besäße. Praktisch muß die Schneide einen großen Keilwinkel haben, und sie kann auch nicht mathematisch scharf sein, sondern wird an der Spitze immer eine kleine Rundung besitzen, wie in Abb. 145 übertrieben dargestellt. Der Stahl muß sich also in den Werkstoff hineinpressen; er pflügt sozusagen durch den Werkstoff hindurch und reißt mit seiner Brust die

Späne ab, die schuppenartig lose aneinander hängen bleiben, während der Rücken vorn, unmittelbar hinter der Schneidkante, die Oberfläche des stehen gebliebenen Werkstoffes noch etwas zusammendrückt, die nach dem Vorbeigang des Stahles zurückfedert. Außer der Kraft in der Schneidrichtung muß also auch ein Druck ausgeübt werden, der den Stahl gegen das Werkstück preßt, und schließlich kommt dazu eine Kraft, die den Stahl am Arbeitstück entlang verschiebt. Die Vorgänge sind also nicht ganz einfacher Natur. Bei den Untersuchungen kommt es nun darauf an, die günstigsten Stahlformen zu ermitteln, so daß einerseits eine möglichst große Arbeitsgeschwindigkeit und hohe Leistung des Werkzeuges erreicht wird, andererseits aber das Werkzeug möglichst lange scharf bleibt, denn das Herausnehmen und Neuschleifen hat einen beträchtlichen Zeit- und damit Geldverlust zur Folge. Da auch noch die Zusammensetzung und Behandlung des Stahles, aus dem das Werkzeug hergestellt ist, und die Art des Werkstoffes, der bearbeitet werden soll, eine Rolle spielen, so kann man sich denken, daß hier ein gewaltiges Feld für wissenschaftliche Untersuchungen vorliegt, und daß es sich als ungeheuer schwer er-

weist, allgemein gültige, wissenschaftlich begründete Gesetze aufzustellen¹⁾).

Die Folge ist, daß die bedeutendsten wissenschaftlichen Leistungen auf diesem Gebiete von Praktikern ausgegangen sind, die für ihre besonderen, bestimmt umschriebenen Aufgaben die besten Lösungen suchten und dabei zum Teil unerwartete Ergebnisse von allgemeiner Bedeutung fanden. Diese Praktiker waren bemüht, ihre Arbeitsverfahren in der Weise zu verbessern, daß sie, wie oben schon angedeutet, sich von allen aus dem Handwerk übernommenen Vorurteilen loslösten und jedes einzelne Arbeitselement bis auf den letzten Handgriff des Arbeiters herab zum Gegenstand ihrer Untersuchungen machten, in der Absicht, mit gegebenen Mitteln die höchsten Leistungen zu erzielen.

Die planmäßigen Untersuchungen darüber, wie der Stahl zu behandeln wäre, um möglichst hohe Schnittgeschwindigkeiten zu erlauben, führten zur Erfindung des Schnellarbeitstahles. Bekanntlich wird jeder gewöhnliche Schneidstahl, auch jedes einfache Messer, „gehärtet“, d. h. auf Rotglut erhitzt und dann in Wasser oder Öl getaucht, so daß er sich rasch abkühlt. Nur ein so behandelter Stahl bleibt längere Zeit scharf. Man kann ihm aber seine Härte jederzeit wieder entziehen, indem man ihn von neuem erwärmt und langsam abkühlen läßt. Bei den gewöhnlichen Werkzeugstählen tritt nun dieses Weichwerden schon bei 150 bis 300° ein, und diese Temperatur wird beim Werkzeugstahl sehr leicht erreicht, weil die mechanische Arbeit, die zum Lostrennen der Späne aufgewandt werden muß, sich in Wärme umsetzt. Die Erhitzung ist um so größer, je schneller der Stahl arbeitet, und die Folge war, daß man mit den älteren Werkzeugen bei Bearbeitung von gewöhnlichem Stahl (Schmiedeeisen) nicht über etwa 0,2 m Schnittgeschwindigkeit in der Sekunde hinausgehen konnte, d. h. man durfte in der Sekunde höchstens einen 20 cm langen Span abheben, ohne daß der Stahl weich wurde und sich abstumpfte. Taylor fand nun, daß, wenn dem Stahl die Stoffe Chrom und Wolfram in genügender Menge zugesetzt wurden, das Werkzeug nach einer Erhitzung auf 900° auch beim Abkühlen an der Luft die nötige Härte erhielt und sie nicht wieder verlor, auch wenn die Erwärmung beim Schneiden sich auf 600 bis 700° steigerte, eine Temperatur, bei der der Stahl bereits rotglühend ist. Man darf deshalb mit diesen Schnellstählen bei Bearbeitung von weichem Stahl bis auf 0,5 m Schnittgeschwindigkeit in der Sekunde gehen, das ist das 2½fache der früheren Arbeitsgeschwindigkeit, und außerdem noch die Spanstärke auf ein Mehrfaches erhöhen. In neuerer Zeit ist es durch

¹⁾ Hierfür werden in der Tat erst jetzt in mühsamer Arbeit die Unterlagen geschaffen, u. a. durch die sehr aufschlußreichen Untersuchungen von Prof. Schwerd, Hannover.

die Einführung von Hartmetallen — am bekanntesten ist das Kruppsche „Widia“ — gelungen, die zulässigen Arbeitsgeschwindigkeiten wiederum auf ein Vielfaches zu steigern. Für das Schruppen von weichem Stahl sind Schnittgeschwindigkeiten von 2 bis 5 m/s zulässig.

Wer von diesen Erfolgen hört, ist sehr leicht geneigt, sie in ihrer Bedeutung zu überschätzen. Zunächst haben wir hier nur wissenschaftliche Entdeckungen vor uns, und ehe wir ihre praktische Bedeutung, d. h. ihren Einfluß auf die Verbilligung der Erzeugnisse bestimmen können, sind noch verschiedene Umstände zu berücksichtigen. Vor allen Dingen treten bei den großen Schnittgeschwindigkeiten und beim Abheben starker Späne größere Kräfte auf als bei der alten Arbeitsweise, und die Folge ist, daß auch stärkere und teurere Werkzeugmaschinen nötig sind, damit die Teile, die das Werkzeug und das Werkstück halten, sich nicht verbiegen und die Arbeit ungenau wird. Sodann macht es dem Arbeiter große Schwierigkeiten, sich an eine Arbeitsweise zu gewöhnen, die er bisher nicht gekannt hat, und auch bei diesen größeren Geschwindigkeiten dem Gefühl nach das Richtige zu treffen. Und endlich ist zu bedenken, daß, sofern es sich nicht um große Arbeitstücke handelt, die wirkliche Bearbeitung, d. h. die Arbeitszeit des Werkzeugs, oft nur einen geringen Teil der gesamten Arbeitszeit ausmacht, die auf ein Stück zu verwenden ist, während der Hauptteil der Zeit durch das Einrichten der Maschine für die neue Arbeit und das Aufspannen des Arbeitstückes verzehrt wird.

Die Einführung der Werkzeuge aus Schnellstahl und Hartmetall gewinnt daher ihre volle Bedeutung erst als Glied einer Kette von Maßnahmen, die mit wissenschaftlich-planmäßiger Methodik darauf ausgehen, das Erzeugnis zu verbilligen. Ihr nächstes Ziel muß sein, den Arbeiter genau zu unterrichten, welche Arbeitsgeschwindigkeiten er anzuwenden hat, und die Zeit für die Nebenarbeiten soweit als möglich herunterzudrücken.

Eine so weit getriebene Methodik verursacht allerdings vorerst einen erheblichen Zeitaufwand zur Ermittlung der richtigen Arbeitsgrundlagen für jedes neue Stück. Die Kosten hierfür gehen von der Ersparnis an der Zeit des Arbeiters wieder ab. Es ist also klar, daß diese Arbeitsweise sich nur dann lohnen kann, wenn eine größere Anzahl gleichartiger Stücke angefertigt wird. Um die Verhältnisse anschaulich zu machen, wollen wir einmal annehmen, daß zur Ausarbeitung einer vorteilhafteren Form für ein Maschinenteil und zur Aufstellung eines genauen Arbeitsplanes von einem mittleren Beamten 5 Tage zu je 10 Mark Gehalt, zusammen also 50 Mark aufzuwenden wären, und daß der Preis des einzelnen Stückes infolge von Ersparnis an Maschinenarbeitszeit und Lohn für den Arbeiter um 0,40 Mark ermäßigt werden kann. Dann würde die Büroarbeit sich lohnen, wenn

$\frac{50}{0,40} = 125$ Stück derselben Art hergestellt werden, und bei 1000 Stück ergäbe sich ein Gewinn von $1000 \times 0,40 - 50 = 350$ Mark.

Können diese 1000 Stück hintereinander angefertigt werden, so ist der Gewinn verhältnismäßig noch größer, weil in Wirklichkeit nicht mit einer festen, gleichbleibenden Ersparnis für ein Stück gerechnet werden kann, sondern je größer die Zahl, um so geringer die Werkstattarbeit ist. Dies geht in recht einleuchtender Weise aus dem nachfolgenden Beispiel einer Arbeitszeit-Vorrechnung¹⁾ hervor, die für das in Abb. 147 (rechts) dargestellte Werkstück gilt. Eshandelt sich um die Anfertigung von 50 einfachen Buchsen aus genormtem Stahl 50.11, der in Form blank gezogener Stangen zur Verfügung steht, außen also nicht zu bearbeitet werden braucht. In Abb. 146 (links) ist das eingespannte Stück Rohmaterial dargestellt, zusammen mit vier Werkzeugen, die zur Bearbeitung erforderlich sind und nacheinander in Tätigkeit treten.

Im folgenden sind die einzelnen Vorgänge, die dafür bestimmten Werkzeuge und die nach genauer Berechnung erforderlichen Zeiten angeführt.

Lfd. Nr.	Arbeitunterteilung	Werkzeug	Rüstzeit min	Hauptzeit		Nebenzeit Handz. min
				Masch. min	Handz. min	
1	Maschine auf- und abrüsten	Bohrstahl Nr. 10	18,0			0,02
2	Stange einspannen u. planen					
3	Futter lösen, Stange vorschieben					
4	Festspannen	Senker Nr. 12			0,09	0,07
5	Schalten, anbohren					
6	Schalten, Bohrer anstellen					
7	Bohren					
8	Werkzeugträger zurückschalten, Stahl anstellen	Spiralbohrer 15,7 Φ				0,08
9	Bohrung ausdrehen					
10	Werkzeugträger zurückschalten, Stahl anstellen	Bohrstahl Nr. 10				0,08
11	Buchse abstechen					
12	Buchse ablegen	Stechstahl Nr. 30				0,27
			18,0	0,92	0,36	0,60

Bei der Rüstzeit, d. h. der Zeit für das Einrichten der Maschine (Einstellen der Werkzeuge), die für alle 50 Stück nur einmal aufzuwen-

¹⁾ Zur Verfügung gestellt vom Reichsausschuß für Arbeitzeitermittlung (Refa).

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.

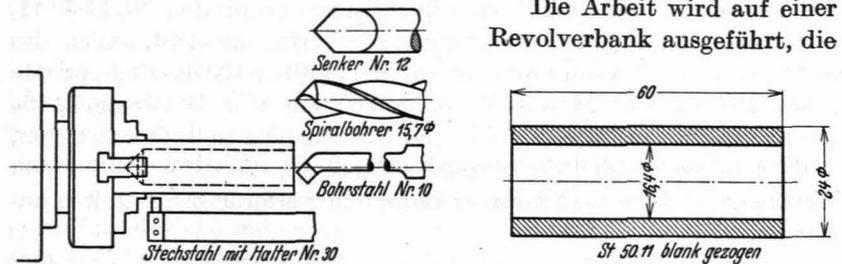


Abb. 146 und 147. Arbeitstück und Werkzeuge zur Arbeitszeit-Vorrechnung.

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.