

SCHRIFTEN DER RHEINISCH-WESTFÄLISCHEN
TECHNISCHEN HOCHSCHULE
AACHEN

3

Die Fertigungstechnik als Wirtschaftsfaktor

Rektoratsrede, gehalten an der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
am 11. November 1958

von

PROFESSOR DR.-ING. HERWART OPITZ

G I R A R D E T

59 T 254



Buchnummer 00019

Alle Rechte vorbehalten, auch die des Nachdrucks von Auszügen, der fotomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung

Druck: Verlag W. Girardet, Essen · Printed in Germany · 1958

Wenn auch die Entwicklung der Wirtschaft in unserem Jahrhundert durch viele Umstände beeinflusst worden ist, von der schöpferischen Erfindung und der Konstruktion bis zur wirtschafts- und marktpolitischen Einordnung der neuen Produkte, so fällt doch der Fertigungstechnik im Hinblick auf die Nutzbarmachung aller Möglichkeiten für den Markt und damit für den Lebensstandard des einzelnen eine Schlüsselstellung zu.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß es vielfach in erster Linie eine Frage der Fertigungstechnik ist, ob eine neue Erfindung nutzbar gemacht und praktisch verwendet werden kann, d. h. ob es möglich ist, ein neues Erzeugnis zu Bedingungen herzustellen, die es einer breiten Käuferschicht zugänglich machen. Ein Beispiel soll diesen Weg von der schöpferischen Idee bis zur Marktreife aufzeigen.

Bereits vor der Jahrhundertwende hatten Daimler und Benz die grundlegende Lösung für die Konstruktion eines mechanisch angetriebenen Kraftwagens entwickelt, es fanden sich hierfür jedoch wegen des hohen Preises nicht in nennenswertem Umfang Käufer. Erst Henry Ford erkannte, daß dieser Erfindung nur bei geringem Stückpreis ein Erfolg auf dem Markt beschieden sein würde. Während das Ford-Modell T im Jahre 1909 mit 950 \$ nur für Wohlhabende erschwinglich war, konnte Ford allein durch Verbesserung seiner Fertigungsmethoden bis zum Jahre 1924 10 Millionen Kraftwagen bauen und den Preis auf 295 \$ senken, ohne an der Konstruktion wesentliche Veränderungen oder Weiterentwicklungen vorzunehmen. Bessere fertigungstechnische Verfahren und organisatorische Maßnahmen ermöglichten die niedrigen Kosten, die großen Stückzahlen und damit den vollen Absatz auf dem Markt.

Im folgenden möchte ich zuerst auf die Entwicklung der Fertigungstechnik eingehen, dann darlegen, welche Bedeutung die Verfahren zur industriellen Herstellung von Erzeugnissen im Rahmen des wirtschaftlichen Geschehens haben, und schließlich zeigen, welche Folgerungen, Aussichten und Gefahren sich aus der Entwicklung in den letzten 50 Jahren ergeben.

Zweckmäßiger Ausgangspunkt einer solchen Betrachtung sind die Arbeiten von Frederic Winslow Taylor, der vor fast 100 Jahren in den Vereinigten Staaten von Amerika geboren wurde. Die von ihm entwickelten analytischen Methoden der Betriebsbeobachtung haben dazu geführt, daß er heute der „Vater der wissenschaftlichen Betriebsführung“ genannt wird. Insbesondere möchte ich ihn als einen Vorkämpfer für die Rationalisierung der technisch-organisatorischen Seite der Produktion bezeichnen. Sein Streben, den für eine bestimmte Ausbringung erforderlichen Aufwand zu vermindern, führte ihn zu seinen ersten Arbeitsstudien, zu methodischen Untersuchungen über den jeweils notwendigen Aufwand an Arbeitszeit, zur Anwendung neuer Lohnsysteme und betrieblicher Organisationsprinzipien sowie zur Untersuchung technischer Bearbeitungsvorgänge.

Die seinerzeit von Taylor entwickelten Gedankengänge und Methoden waren in Europa bis dahin noch weitgehend unbekannt. Geheimrat Professor Wallich's gebührt das Verdienst, während seiner Tätigkeit als Leiter des Aachener Werkzeugmaschinen-Laboratoriums als erster die Schriften Taylors in ihrer Bedeutung erkannt und durch Übersetzungen zugänglich gemacht zu haben. Nicht zuletzt ist es seiner persönlichen Initiative zu verdanken, daß diese neuen Methoden in der deutschen Industrie eingeführt wurden.

Für den Bereich der mechanischen Bearbeitungstechnik zeichnen sich drei Entwicklungssäulen ab, in die sich die vielen Einzel-faktoren einordnen lassen, die in letzter Konsequenz zur Vollautomatisierung bei der Herstellung von Massengütern führten.

Es sind dies erstens

die technologischen Verfahren und die dafür erforderlichen Werkzeuge, zweitens

die Maschinen zur Führung von Werkstück und Werkzeug, und drittens

die organisatorischen Maßnahmen, die den Einsatz der ersten beiden Faktoren bestimmen.

Auf Grund der Untersuchungen technischer Bearbeitungsvorgänge gelang Taylor die Entwicklung des Schnellarbeitsstahles, eines neuen Werkzeugbaustoffes, der um die Jahrhundertwende eine technische „Revolution“ einleitete, wenn man die Terminologie unserer Tage verwenden will. Als leitender Ingenieur der mechanischen Bearbeitungswerkstätten der Bethlehem-Steel-Corporation untersuchte Taylor als erster, welchen Beanspruchungen ein Zerspanungswerkzeug, z. B. ein Drehmeißel, ausgesetzt ist, wenn es zur Bearbeitung eines bestimmten Materials unter bestimmten Bedingungen eingesetzt wird.

Die für die Untersuchungen zur Verfügung stehenden Meßmethoden waren natürlich noch recht primitiv, und es gelang beispielsweise nur unvollkommen, die am Werkzeug auftretenden und für seine Schneidfähigkeit äußerst wichtigen Schneidentemperaturen zu bestimmen. Schon eine ungefähre Bestimmung der an der Werkzeugschneide herrschenden Temperaturen jedoch führte Taylor zu der Erkenntnis, daß die Wärmebeständigkeit des Werkzeugmaterials für die anwendbare Arbeitgeschwindigkeit ausschlaggebend ist. Die damaligen Stähle, meist niedrig legierte Kohlenstoffstähle, hatten nur eine geringe Warmhärte; sie erweichten bereits bei Temperaturen von maximal 300° C und verloren dabei die Fähigkeit, als Schneidkeil in einen anderen Werkstoff einzudringen.

Taylor stellte daher seinen Metallurgen die Aufgabe, durch Zulegieren von Wolfram, Chrom, Vanadium und anderen Elementen temperaturbeständige Schneidstähle zu entwickeln. Im

Gegensatz zu allen bis dahin bekannten Erfahrungen der Härtereitechnik wendete Taylor Härtetemperaturen an, die dicht unterhalb des Schmelzpunktes lagen, und erreichte so einen Schnelldrehstahl, der bis zu Arbeitstemperaturen von 600°C , also noch in rotwarmem Zustand, einsatzfähig blieb. Mit dem Schnellstahl gelang es, die Arbeitsgeschwindigkeit bei der spanenden Bearbeitung von 6 auf 30 m/min, also um das 5fache, zu steigern.

Es waren dann mehr als 25 Jahre Entwicklungsarbeit erforderlich, um mit Hilfe der Sintertechnik aus Wolframkarbiden und einem Bindemetall, meistens Kobalt, einen noch härteren und dabei hinreichend zähen Schneidstoff zu schaffen, der unter dem Namen Hartmetall bekannt wurde. Dieser Schneidstoff behält bis zu Temperaturen von etwa $800 \dots 1000^{\circ}\text{C}$ seine Festigkeit und ließ damit eine weitere Steigerung der anwendbaren Arbeitsgeschwindigkeiten auf das 3- bis 4fache gegenüber Schnellarbeitsstahl zu.

Erst in der allerjüngsten Zeit ist mit der Entwicklung der oxydkeramischen Schneidstoffe ein weiterer Fortschritt gelungen, der zu Schneidwerkzeugen auf der Basis des Aluminiumoxyds geführt hat. Sie zeichnen sich durch eine noch höhere Warmfestigkeit und größere chemische Beständigkeit aus und ermöglichten damit abermals einen sprunghaften Anstieg der zulässigen Arbeitsgeschwindigkeiten. Wenn diese Schneidstoffe wegen ihrer Sprödigkeit auch heute in die Produktion noch nicht allgemein Eingang gefunden haben, ist es doch nur eine Frage der Zeit, bis sich ihre gegenüber dem Hartmetall 2- bis 3mal höheren Schnittgeschwindigkeiten betriebssicher ausnutzen lassen.

Diese Entwicklung der Schneidstoffe bis zum heutigen Stande wäre ohne eine systematische Forschung kaum möglich gewesen. Die Versuchsmethodik mußte dabei im Laufe der Zeit ständig verfeinert werden. Während Taylor dafür nur wenige Hilfsmittel zur Verfügung standen, benutzt man heute modernste Einrichtungen, um die Vorgänge bei der Zerspannung zu klären.

Zwecks Erforschung der Zerspanvorgänge ging man zunächst rein empirisch vor, d. h. man bearbeitete die Werkstoffe unter den verschiedensten Schnittbedingungen und bestimmte die Standzeiten der Werkzeuge durch die Messung des Werkzeugverschleißes. Diese Untersuchungen haben zwar Kenntnisse über die auftretenden Verschleißerscheinungen an den spanenden Werkzeugen und über die Änderung des Verschleißes mit den Arbeitsbedingungen gebracht, sie erlaubten jedoch keinerlei Aussagen über seine Ursachen, und es fehlte somit die Möglichkeit, den Verschleiß durch die Kenntnis dieser elementaren Vorgänge günstig zu beeinflussen.

Die Bestimmung der Temperaturverteilung im Werkzeug bedeutete deshalb einen weiteren Schritt, den Vorgängen an der Werkzeugschneide selbst näher zu kommen. Mit Hilfe von Mikrothermoelementen, die bis dicht an die Schneide in das Werkzeug eingebaut wurden, gelang es, die Temperaturen in unmittelbarer Schneidennähe zu bestimmen. Es zeigte sich dabei, daß an der Spanfläche Temperaturen von $1200 \dots 1300^{\circ} \text{C}$ auftreten. Durch spannungsoptische Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, daß die Zone der höchsten Temperaturbelastungen des Werkzeuges gleichzeitig auch die höchsten mechanischen Spannungen aufweist.

Unter dem Einfluß dieser Druck- und Temperaturverhältnisse in den Berührungszonen zwischen Werkzeug, Span und Werkstück ergibt sich eine Vielzahl von Verschleißursachen, die je nach Schnittbedingungen, Verschleißzustand und der Paarung von Werkzeugbaustoff und Material des Werkstückes mehr oder weniger stark in Erscheinung treten. Letztlich spielen sich diese Verschleißvorgänge im Mikrobereich ab, der in der Größenordnung der Korngröße liegt, so daß das Auflösungsvermögen eines Lichtmikroskopes nicht mehr ausreicht, um die eintretenden Veränderungen zu untersuchen. Erst der Einsatz des Elektronenmikroskopes ermöglichte es, derartige submikroskopische Gefügeveränderungen sowohl im Werkstoff als auch im Schneidstoff sichtbar zu machen.

Aus diesen mikroskopischen Untersuchungen ergeben sich wertvolle Hinweise für eine zur Werkstückbearbeitung zweck-

mäßige Wärmebehandlung. Darüber hinaus erklären sie die in der Praxis häufig gemachte Beobachtung der stark unterschiedlichen Bearbeitbarkeit von Stählen gleicher Normbezeichnung, jedoch aus verschiedenen Chargen.

Andere Untersuchungen beschäftigen sich mit dem Einfluß der Thermostrome auf den Verschleiß hartmetall-bestückter Drehwerkzeuge. Es konnte nachgewiesen werden, daß durch die hohen Temperaturen in der Kontaktzone zwischen dem Werkzeug einerseits und dem Werkstück bzw. Span andererseits Thermospannungen entstehen, die wegen des geringen Widerstandes in dem von der Maschine gebildeten Stromkreis beachtliche Ströme fließen lassen. Der durch diese Ströme verursachte elektrochemische Verschleiß kann durch deren Kompensation bzw. Überkompensation vermindert werden.

Derartige Erkenntnisse trugen mit dazu bei, daß man sich auf der Suche nach verschleißfesteren Schneidstoffen stärker als bisher keramischen Werkstoffen zuwandte und in den heute erhältlichen oxydkeramischen Schneidstoffen einen Werkzeugbaustoff entwickelte, der gegenüber chemischen und elektrochemischen Verschleißangriffen um ein Vielfaches widerstandsfähiger ist als die Hartmetalle.

Neben den spanenden Verfahren sind auch die Verfahren der spanlosen Umformung ständig weiterentwickelt worden. Sie eignen sich besonders für die Fertigung in großen Stückzahlen, da sie weniger Werkstoff benötigen und bei hohem Werkzeugaufwand geringe Stückzeiten ermöglichen. Vor allem die Verfahren der Kaltverformung und die Metallsintertechnik haben in letzter Zeit Verbreitung gefunden.

Als völlig neues Bearbeitungsverfahren wurde in der letzten Zeit die Funkenerosion entwickelt. Hierbei wird die elektrische Energie ohne mechanisch wirkende Werkzeuge in Form von Funkenüberschlägen zur Materialabtragung verwendet. Die Funkenerosion ist daher nur zur Bearbeitung elektrisch leitender Werkstoffe geeignet. Sie ermöglichte es erstmalig, komplizierte Raumformen in sehr harte Werkstoffe, z. B. Hart-

metall, einzubringen. Für leitende und nichtleitende Werkstoffe ist dasselbe mit dem ebenfalls erst seit einigen Jahren bekannten Ultraschallverfahren möglich.

Das neuartigste Bearbeitungsverfahren arbeitet mit Elektronenstrahlen. Es gestattet, feinste Bohrungen und Formen mit Abmessungen bis zu wenigen tausendstel Millimetern in beliebige Werkstoffe einzuarbeiten. Dies muß allerdings unter Hochvakuum geschehen. Daraus ergeben sich daher bezüglich der Größe der Werkstücke Einschränkungen. Es würde jedoch zu weit führen, hier auf Einzelheiten einzugehen.

Diese außerordentlich erfolgreiche Weiterentwicklung der Werkzeugbaustoffe beeinflusste zusammen mit den Auswirkungen des Prinzips der Arbeitsteilung, auf das ich anschließend eingehen werde, und mit den ständig steigenden Anforderungen an die Qualität der Erzeugnisse ganz entscheidend auch die Entwicklung der Werkzeugmaschinen.

Die höheren Schnittgeschwindigkeiten der Werkzeuge bedingten eine ständige Erhöhung der Drehzahlen und damit der Antriebsleistung. Während noch um die Jahrhundertwende die höchste Drehzahl einer Drehbank bei 300 U/min lag, mußte die Geschwindigkeit beim Drehen mit Hartmetall auf 2000 U/min gesteigert werden; heute haben Drehbänke zum Arbeiten mit keramischen Werkzeugen Spitzendrehzahlen von 6000 . . . 8000 U/min. Entsprechend wuchsen die Leistungen von etwa 3 auf 15 und 40 kW an.

Mit einer derartigen Steigerung der Antriebsleistung war zwangsläufig eine entsprechende Umgestaltung aller Bauelemente der Werkzeugmaschinen verbunden. Die Gestelle mußten steifer, die Führungen, Arbeitsspindeln und Getriebe kräftiger werden, wobei besonders das Schwingungsverhalten zu berücksichtigen war. Es hatte sich nämlich gezeigt, daß Schwingungen der Maschine sowohl die Genauigkeit der auf ihr gefertigten Werkstücke als auch die Standzeit der Werkzeuge beeinträchtigen.

Die Untersuchungen der statischen und dynamischen Verformungen von Werkzeugmaschinen haben sich aus diesem Grunde zu einem ausgedehnten Forschungsgebiete entwickelt, das wegen der Kleinheit der zu messenden Größen aufwendige elektronische Meßmittel erfordert.

Den höheren Genauigkeitsansprüchen an die Werkzeugmaschinen konnte nicht nur durch eine entsprechend gesteigerte Eigengenauigkeit der Maschine entsprochen werden. Man bediente sich deshalb bereits frühzeitig optischer und neuerdings auch elektrischer Meßmittel, die heute direkt zur automatischen Steuerung der Maschinen herangezogen werden. Erst die Einführung dieser sogenannten Meßautomatik gestattete es, auch in großen Stückzahlen mit angelernten Arbeitern die heute notwendigen höchsten Genauigkeiten zu erreichen. Als Anhaltswert sei nur darauf hingewiesen, daß die durch die Anforderungen des Austauschbaues bedingten Genauigkeiten in den letzten 50 Jahren um zwei Zehnerpotenzen erhöht werden mußten.

Die stärkste Wandlung hat die Werkzeugmaschine in ihrer konstruktiven Gestaltung durch die Einführung der Arbeitsteilung erfahren, die man als Grundvoraussetzung der Automatisierung ansehen kann. Aus den wenigen Maschinenarten, die zur Fertigung in den nach handwerklichen Methoden arbeitenden Betrieben standen, entwickelte sich eine fast unübersehbare Vielfalt von Werkzeugmaschinen für alle möglichen Verwendungszwecke, von der Universalmaschine bis zum Einzweckautomaten und zur Transferstraße. Diese Differenzierung der Werkzeugmaschinen ermöglichte die Lösung eines weiteren Problems.

Die Steigerung der Schnittgeschwindigkeiten führte nämlich dazu, daß die Hauptzeiten bei der Bearbeitung, d. h. die Zeiten, während deren das Werkzeug arbeitet, immer kürzer wurden im Verhältnis zu den Nebenzeiten, die zum Einstellen und Bedienen der Maschine notwendig sind. Die Spezialisierung der Werkzeugmaschinen gestattete zur Senkung dieser Nebenzeiten

Maßnahmen, die in letzter Konsequenz zur automatischen Werkzeugmaschine führten, an der keine Bedienungsfunktionen mehr notwendig sind, sondern nur noch der Arbeitsablauf überwacht und die Qualität der Werkstücke kontrolliert werden müssen. Ein Aneinanderreihen derartiger vollautomatischer Maschinen durch automatisierte Transport- und Ladeeinrichtungen in Verbindung mit der bereits erwähnten Meßautomatik ermöglicht es bereits heute, vollautomatische Fabriken zu bauen, in denen Menschen nur noch zur Überwachung notwendig sind. Eine solche Fabrik wurde zum Beispiel in Moskau für die Herstellung von Kugellagern errichtet. Vom Schmiederohling bis zum fertig ausgemessenen und verpackten Kugellager wird dort keine Menschenhand im Produktionsablauf benötigt.

Bei Anlagen dieser Art werden heute natürlich weitgehend die Mittel der modernen Steuer- und Regeltechnik herangezogen. Die hydraulischen, pneumatischen und elektrischen Einrichtungen sind für die einwandfreie Funktion der Maschinen ausschlaggebend und machen wertmäßig oft einen erheblichen Anteil der gesamten Maschinenanlage aus.

Die jüngste Entwicklung geht dahin, diese Einrichtungen, die vorwiegend in der Fertigung mit großen Stückzahlen Anwendung finden, für die Einzelfertigung zu übernehmen. Um die hier erforderliche leichte Umstellbarkeit zu ermöglichen, müssen die Arbeitsprogramme in leicht auswechselbaren Speichern aufgenommen werden. Dies führte zur Konstruktion von Steuer- und Regeleinrichtungen, die auf Lochkarten, Lochstreifen oder Magnetbändern gespeicherte Sollwerte in Funktionsbefehle für die Maschine umwandeln und die Ausführung dieser Befehle selbsttätig überwachen. Maschinen mit derartigen Steuereinrichtungen, sogar ganze Maschinenstraßen, werden heute bereits eingesetzt und haben sich als zuverlässig sowie wirtschaftlich erwiesen.

Um nun die dritte der vorerwähnten Entwicklungssäulen, die organisatorischen Maßnahmen innerhalb der Produktion, näher zu beleuchten, möchte ich von dem Gedanken ausgehen,

der die Entwicklung der Produktionstechnik bis zur Massenfertigung durchzieht und darüber hinaus den Begriff der Rationalisierung geprägt hat: Es ist dies der Gedanke der Arbeitsteilung.

Jedes Organisieren besteht im wesentlichen in der Aufgliederung einer Gesamtaufgabe in Einzelfunktionen und anschließendem Zusammenführen der Einzelresultate zu einem Gesamtergebnis, in unserem Fall in der Arbeitsteilung und Differenzierung eines Arbeitsprozesses sowie einer nachfolgenden Zusammenführung und Vereinigung der Einzelleistungen.

Bereits Taylor war zu der Überzeugung gekommen, daß es jeweils nur einen optimalen Weg für die Lösung einer Bearbeitungsaufgabe und die Herstellung eines bestimmten Gegenstandes geben kann; demgegenüber stellte er jedoch fest, daß in der Praxis eine große Anzahl von Variationen bei der Durchführung einer solchen Aufgabe üblich war, die der individuellen Arbeitsweise der beteiligten Personen entsprachen und sich in ihrer wirtschaftlichen Auswirkung außerordentlich unterschieden. Taylor bezeichnete es als die wichtigste Aufgabe des Vorgesetzten im Betrieb, zu wissen, was man die Beschäftigten tun lassen soll, und sie anzuleiten, es in der besten Weise zu verrichten. Die heute als selbstverständlich erscheinende Feststellung, daß zur Schaffung eines technischen Gegenstandes nicht nur die konstruktive Gestaltung und die Wahl des richtigen Werkstoffes gehören, sondern daß auch die Herstellungsmethode sorgfältig überlegt und der Fertigung in allen Einzelheiten vorgeschrieben werden solle, war damals ein Novum. Die große Schwierigkeit, die sich einem solchen Vorhaben, die Werkstattarbeiten vorzubereiten und zu planen, entgegenstellte, war das Fehlen jeglicher Kennwerte, z. B. über Arbeitsgeschwindigkeiten und Leistungsvermögen. Solange sich dies in Betrieben abspielte, in denen erfahrene Handwerker die Aufsicht über die Fertigung jedes einzelnen Teiles übernehmen konnten und handwerklich geschulte Fachkräfte die Arbeit ausführten, war eine detaillierte Arbeitsvorbereitung nicht unbedingt erforderlich. Im Zuge der Vergrößerung der Betriebe wurde es jedoch unumgänglich, diese Unterlagen zu schaffen, um auch unge-

lernte Arbeitskräfte mit Erfolg einsetzen zu können. Hier beginnt der Trend zur Spezialisierung aus der Notwendigkeit heraus, ein Bestverfahren für die Erfüllung der Einzelfunktion zu entwickeln.

Es erscheint uns heute als selbstverständlich, daß Kraftfahrzeuge, Radiogeräte, Kühlschränke oder Schuhe in einem funktional gegliederten Prozeß hergestellt werden. Für jede der Teilfunktionen werden hierbei Spezialwerkzeuge und -maschinen sowie Materialien und Einrichtungen eingesetzt, die ganz auf den jeweiligen Prozeß abgestimmt sind.

Überträgt man diese Gedanken von der Fertigung auf den Bereich der betrieblichen Organisation, wie dies beispielsweise im Taylorschen Funktionalprinzip versucht wurde, so ergibt sich daraus die Notwendigkeit, einen Stab von Spezialisten heranzubilden, die — allerdings unter Beschränkung auf bestimmte Aufgaben — hoher Leistungen fähig werden.

Das Arbeitsteilungsprinzip wirkte sich jedoch nicht nur auf den Einsatz der Arbeitskräfte aus, sondern es fand seinen Niederschlag auch in Spezialmaschinen, Fertigungsanlagen und Spezialfabriken, denen, wie noch gezeigt wird, als Zulieferbetriebe eine steigende Bedeutung zukommt. Die Entwicklung zum komplexen Großbetrieb, dem die Übersichtlichkeit des Kleinbetriebes fehlt, erforderte neue organisatorische Mittel, um Informationen, Befehle und Kontrollmeldungen der einzelnen Betriebsstellen schnell erfassen und planvoll verarbeiten zu können. Umdruckverfahren, Lochkarten, Fernschreiber, Rohrpost, elektrische Signaleinrichtungen usw. wurden in Dienst gestellt, um einen sinnvollen Einsatz aller betrieblichen Faktoren zu erreichen.

Wie hat sich nun diese Entwicklung der Werkzeuge, Maschinen und Organisationsformen innerhalb der Fertigungsverfahren und -methoden auf die Gesamtwirtschaft ausgewirkt?

Die großen Stückzahlen, die eine Voraussetzung für niedrige Stückpreise sind, erfordern einen Markt, der diese Mengen

aufnehmen kann. Henry Ford formulierte dies folgendermaßen: „Bei kräftig überhöhten Löhnen große Stückzahlen zu geringen Kosten produzieren!“ Hier entstand der Grundgedanke der Rationalisierung, nämlich das Verhältnis von Ausbringung zu Einsatz möglichst günstig zu gestalten, d. h. eine möglichst große Produktivität zu erreichen. Es gilt dabei, die Kosten für eine bestehende Produktion zu senken oder bei gleichen Kosten die Ausbringung zu steigern. Einige Zahlen aus einer deutschen Motorenfabrik sollen diese Entwicklung kennzeichnen:

Während von 1900 bis 1955 die Anzahl der Beschäftigten in diesem Werk um mehr als das Dreifache zunahm, stieg auf Grund der verkürzten Arbeitszeit die Anzahl der geleisteten Stunden nur um das 2 $\frac{1}{2}$ fache. Die Gesamtarbeitszeit je Woche fiel von über 60 auf 45 Stunden.

Im gleichen Zeitraum erhöhte sich jedoch, und zwar auf Grund der zuvor beschriebenen Entwicklung, die gefertigte Stückzahl um das 30fache und die mit diesen Motoren auf den Markt gebrachte Nutzleistung um mehr als das 60fache.

Anders ausgedrückt heißt dies, daß im Jahre 1900 für die Erzeugung einer Leistungskapazität von 1 PS rund 22 Arbeitsstunden und rund 85 Maschinenstunden aufgewandt wurden, während heute die gleiche Leistung mit 8,7 Arbeitsstunden und rund 2,8 Maschinenstunden erstellt wird. Der Gesamtaufwand beträgt im Schnitt also nur noch $\frac{1}{25}$ des Aufwandes vor 50 Jahren. Nicht berücksichtigt ist dabei, daß der Stundenlohn im gleichen Zeitraum auf das 6fache anstieg. Zudem wurden die Motoren wesentlich komplizierter, genauer und wirtschaftlicher — Einflußfaktoren, die sich quantitativ in einfacher Form nicht erfassen lassen.

Betrachtet man die Kostenseite der Fertigung in den 30er Jahren für ein bestimmtes Erzeugnis dieses Werkes in einem Zeitraum von 7 Jahren, so wird die Entwicklung durch die folgenden Kennzahlen charakterisiert: Der Umsatz je Arbeiter und Monat stieg um 64%, der Stundenverdienst um 24%, während der Preis je PS auf ungefähr 59% gesenkt werden

konnte. Dabei verringerte sich der Lohnanteil auf 46% des ursprünglichen Betrages.

Ein Beispiel für den gezielten Einsatz technischer und organisatorischer Mittel für die Rationalisierung seiner Traktorenfertigung gab dasselbe Werk vor zwei Jahren, indem in Zusammenarbeit aller zuständigen Stellen — der Arbeitsvorbereitung, der Konstruktion, der Planung und der Betriebsleitung — jedes Einzelteil auf seine Zweckmäßigkeit, seine Kosten, sein Material sowie auf Normung und Austauschbarkeit hin untersucht und durchgeformt bzw. geändert wurde. Die Herstellungskosten der einzelnen Werkstücke konnten hierdurch teilweise bis zu 50% gesenkt werden. Derartige Rationalisierungsmaßnahmen bieten eine Möglichkeit, Kostensteigerungen auf anderen Gebieten aufzufangen.

So sind z. B. die Löhne, die Kosten für die Grundstoffe, für Stahl und Kohle, einschließlich der Transportkosten hierfür bisher dauernd angestiegen. Es gibt nur zwei Möglichkeiten, um diese Kostensteigerung zu kompensieren: eine grundsätzliche konstruktive Änderung eines Produktes oder eine Verbesserung und Rationalisierung des betreffenden Fertigungsverfahrens. Die Vereinfachung des Produktes durch grundsätzliche Umkonstruktion — um andere oder weniger Materialien einsetzen und einen Teil der Bearbeitungskosten einsparen zu können — ist durch die Anforderungen an seine Funktionstüchtigkeit, Qualität und Verkaufschancen begrenzt. Ist diese Grenze erreicht, läßt sich das Problem der Kompensation der höheren Material- und Lohnkosten (bei Gesamtstückkosten, die eine Mengenfertigung zulassen) nur lösen über verbesserte Fertigungsverfahren, hohe Arbeitsgeschwindigkeiten und Maschinen oder Anlagen mit einem so großen Ausstoß, daß der hohe Stundenlohn für den Arbeiter auf eine große Stückzahl verteilt werden kann und die Stückkosten in wirtschaftlich vertretbaren Grenzen bleiben.

Beispielsweise wurde vor 40 Jahren die Bearbeitung von Zylinderköpfen bei Ford auf einer Maschinenstraße durchgeführt, die aus 162 Einzelmaschinen bestand. 1946 wurde die

gleiche Produktion mit 6 Spezialmaschinen und verbesserten Werkzeugen gefertigt. Heute ist für diese Bearbeitung eine Transferstraße eingesetzt, deren Investitionskosten gegenüber den beiden ersten Anlagen sogar noch geringer waren. Die Bearbeitungskosten sanken in diesem Zeitraum von 40 auf 20 Cent und schließlich mit Einsatz der Transferstraße auf weniger als 4 Cent. Durch den Übergang vom Fräs- zum Räumverfahren, also eine rein fertigungstechnische Maßnahme, konnte dieser Erfolg erzielt werden.

Diese Entwicklung erstreckte sich über einen Zeitraum von 40 Jahren. Während sich die Einführung mechanischer Fertigungsanlagen und Methoden für Massenprodukte bis in die 30er Jahre nur langsam vollzog, werden diese Möglichkeiten zur Herstellung neuer Produkte heute sofort angewandt.

Darüber hinaus ist aber durch die Fortschritte der Fertigungsverfahren die Herstellung vieler Erzeugnisse überhaupt erst möglich geworden. Obschon James Watt das Problem der Dampfmaschine grundsätzlich gelöst hatte, war er erst in der Lage, ein arbeitsfähiges Modell zu bauen, nachdem George Wilkinson eine Bohrmaschine entwickelt hatte, die den Wattschen Zylinder so genau bohren konnte, daß zwischen Kolben und Zylinder „nirgendwo ein Shillingstück zwischenzustecken war“, wie es in einem zeitgenössischen Bericht heißt.

Unzählige Einzelmaßnahmen in der gesamten Wirtschaft haben so die Entwicklung eingeleitet, die für unser Jahrhundert bestimmend geworden ist:

Während die Bevölkerungszahl um rund 85% stieg, wuchs die Rohstoffherzeugung in Deutschland um 260%. Die Gesamtproduktion der Volkswirtschaft in den ersten 50 Jahren erhöhte sich um 285%, die Produktion in der Metall verarbeitenden Industrie sogar um das 10fache. An dieser Entwicklung, die nur von der Energieerzeugung annähernd erreicht wird, hat die Werkzeugmaschine entscheidenden Anteil. Die bereits dargestellte Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeiten, der Genauigkeiten und der Stabilität der Maschinen, die Erweiterung

der maschinell durchführbaren Funktionen und ihre Spezialisierung und Automatisierung bestimmen als Investitionsgüter dynamischer Funktion das Wachstum der Produktivität unserer Wirtschaft.

Hand in Hand damit geht eine Entwicklung, die für die Volkswirtschaften der Industrieländer charakteristisch ist. In den USA war im vergangenen Jahre erstmalig die Anzahl der in der Gütererzeugung Beschäftigten geringer als die der in den übrigen Wirtschaftszweigen, wie Handel, Verkehr, Verwaltung, Regierung, Erziehung und anderen Dienstleistungsbereichen, Tätigen. Auf Grund verbesserter Methoden, Anlagen und Maschinen stieg die Gesamtproduktion von 1947 bis 1957 um 45%. In der gleichen Zeit wuchs die Gesamtzahl der in der Produktion Beschäftigten jedoch nur um etwa 3%.

Die hier angedeutete technische Vervollkommnung der Werkzeuge und Werkzeugmaschinen, der Einsatz rationeller Fertigungsprinzipien und neuer Organisationssysteme haben die Fertigungstechnik zum Bindeglied zwischen der schöpferisch gestalteten Funktion der Konstruktion und Entwicklung sowie der Nutzbarmachung aller technischen Neuerungen für den einzelnen werden lassen.

Die oben genannten Zahlen machten deutlich, welche ungeheure Verschiebung von einer vorwiegend manuellen Tätigkeit zu einer planenden und überwachenden oder steuernden Funktion des Menschen im Produktionsprozeß sich angebahnt hat. Während im handwerklichen Produktionsbetrieb oder auch in den Anfängen der Industrialisierung die körperliche Arbeit und die manuelle Tätigkeit weitaus im Vordergrund standen, werden nunmehr immer mehr Arbeitskräfte in der Arbeitsvorbereitung, in der Überwachung, Kontrolle und Verwaltung der industriellen Produktion benötigt. In einem Industriebetrieb in Deutschland sind heute durchschnittlich 3 bis 5% aller Beschäftigten in der Arbeitsvorbereitung, d. h. in Funktionen tätig, in denen die Arbeit vorgedacht und vorgeplant wird; in den USA liegt der durchschnittliche Prozentsatz bei etwa 10–12.

In vielen Fällen haben sich die andersartigen Tätigkeiten, die die Menschen auf Grund der konsequent durchgeführten Arbeitsteilung in den Betrieben übernehmen mußten, vorteilhaft ausgewirkt.

Für einen großen Bereich der menschlichen Arbeit wurde erst durch die Spezialisierung die Möglichkeit geschaffen, hohe Dauerleistungen und damit einen beträchtlichen Produktivitätsstand zu erreichen. In der Entwicklung zum Spezialbetrieb hin kennzeichnet sich das gleiche Prinzip.

Während Henry Ford noch glaubte, mit einer zentral aufgebauten Fertigungsanlage, z. B. seiner River Rouge Plant in Detroit, ein Optimum an Leistung erzielen zu können, hat sich in den letzten Jahren ein immer stärkerer Zug zur Dezentralisierung und zum Zulieferungsbetrieb ergeben. Da dieser für viele Großbetriebe das gleiche Produkt herstellt, sind hier Stückzahlen möglich, die weit über denen liegen, die der Großbetrieb auf den betreffenden Spezialgebieten jemals erreichen könnte. Es ergibt sich daraus auch die Möglichkeit einer rationellen Fertigung beim Zulieferungsbetrieb.

Felgen, Bremstrommeln, Lenkgestänge oder auch Schmiedeteile, Sicherheitsglas und Zubehörteile werden beispielsweise heute nur noch selten von den Automobilwerken selbst hergestellt, sondern von Zulieferern bezogen, die in langfristigen Verträgen die Fertigung vieler Einzelteile übernehmen und dadurch in der Lage sind, rationelle Sondereinrichtungen wirtschaftlich auszulasten. Das VW-Werk hat aus diesen und ähnlichen Gründen auf die Einrichtung einer eigenen Gesekschmiede verzichtet und alle Schmiedearbeiten an die Gesekschmiedeindustrie vergeben. Dies bedeutet für den Enderzeuger nicht nur eine wesentliche Vereinfachung der Planung und Fertigung, sondern auch eine nicht unerhebliche Risikoverminderung.

Ein deutlicher Nachteil und ein Problem ist allerdings der mit der Entwicklung zur mechanisierten und automatisierten Fertigung verbundene Übergang von der lohnintensiven zur

kapitalintensiven Produktion. Eine Anlage dieser Art ist nur bei hoher Beschäftigung zu rechtfertigen. Das erfordert wiederum eine Vereinheitlichung, eine Normung oder Typisierung der Produkte, um die notwendigen hohen Stückzahlen zu erreichen und die kapitalintensiven Anlagen auszulasten.

Die notwendigerweise bisher mit den typischen Methoden der Massenfertigung verbundene Vereinheitlichung und Uniformierung ist bekanntlich nicht auf allen Gebieten des menschlichen Lebens erstrebenswert. Im Bereich der industriellen Produktion oder der Konsumgüterindustrie bildet sie jedoch die unbedingte Voraussetzung für eine Verbilligung; denn nur auf Grund eines großen Angebotes zu geringem Preis kann jeder in den Genuß der hier in Betracht kommenden Erzeugnisse gelangen.

Die Entwicklung zum kapitalintensiven Betrieb, zu hochmechanisierten oder automatischen Anlagen war zwangsläufig mit einer gewissen Erstarrung der Produktionsmöglichkeiten verbunden. Hochmechanisierte Anlagen sind weniger elastisch bezüglich der Höhe der Produktion, also des Ausstoßes und der Beschäftigung, sowie im Hinblick auf die Zusammensetzung des Programmes als weniger mechanisierte, und zwar in erster Linie wegen der Höhe der fixen Kosten. Um aber bei Beschäftigungsschwankungen wirtschaftlich arbeiten zu können, ist ein Kostenaufbau wünschenswert, bei dem ein möglichst großer Teil der Kosten sich proportional mit der Beschäftigung ändert. Bei einer hochmechanisierten Anlage ist dies umgekehrt. Die Fixkosten sind hoch und steigen, auf das Stück bezogen, mit fallender Auslastung der Anlagen; d. h. bei einer Einzweckanlage ergibt sich eine fest definierte Grenzstückzahl, die auf dem Markt abgesetzt werden muß, um die Betriebskosten der Anlage zu decken. Jede Anlage dieser Art ist also im Hinblick auf die Beschäftigung und die Auslastung sehr unelastisch.

Will man bei einem hohen Automatisierungsgrad eine gewisse Elastizität hinsichtlich der Zusammensetzung der Programme erreichen, so wird die zu investierende Summe noch größer, da zur Erhaltung der erforderlichen Flexibilität zusätzliche Vorrichtungen und Zusatzeinrichtungen notwendig sind.

Demgegenüber verfügt ein universell ausgerichteter Maschinenpark, bei dem alle Funktionsmöglichkeiten gegeben sind, im Vergleich zu der eben erwähnten Anlagenart nur über ein kleineres Produktionsvolumen.

Die Bemühungen gehen heute dahin, die Vorteile der Massenfertigung mit einer größeren Elastizität zu verbinden. Magnetbandgesteuerte Anlagen, die einen vollautomatischen Arbeitsprozeß auch in der Einzelfertigung ermöglichen, sind in letzter Zeit in den USA geschaffen worden und eröffnen in dieser Richtung ganz neue Perspektiven.

Abschließend sollen noch zwei Fragen gestreift werden, die sich aus der geschilderten Entwicklung nicht nur der Fertigungstechnik, sondern auch der Industrie ganz allgemein ergeben: die Frage nach den finanziellen Mitteln, die in immer stärkerem Maße für weitere Fortschritte auf den vorgenannten Gebieten aufgewandt werden müssen, und die Frage nach den Menschen, die dieser Entwicklung ständig neue Impulse zu geben vermögen.

Im Laufe der Jahrzehnte sind die Wege, die zum Erfolg eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens führen, schwieriger geworden. Der Aufwand für jede weitere Verbesserung steigt analog dem volkswirtschaftlichen Begriff des Grenznutzens immer mehr, so daß selbst ein nur kleiner Schritt vorwärts im Gegensatz zu früher heute nur bei einem sehr hohen finanziellen Aufwand möglich ist.

Taylor konnte seine bahnbrechenden Erfolge bei der Entwicklung des Schnellarbeitsstahles ohne große Kosten erzielen, indem er die Produktionsanlagen der Werkstätten für seine Versuche verwandte. Heute erfordern Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiete der Fertigungstechnik neben einem hochqualifizierten Mitarbeiterstab Einrichtungen und Anlagen, deren Wert in die Millionen geht.

Die notwendigen Mittel — dies gilt für alle Gebiete — sind so erheblich, daß die Privatindustrie nur einen kleinen Teil davon aufzubringen vermag. Wenn in immer stärkerem Maße

Gelder der öffentlichen Hand für die Förderung der Forschung, besonders der Grundlagenforschung, aufgebracht werden müssen, so sollte man sich vor Augen halten, daß es — wenn auch auf lange Sicht hin — volkswirtschaftlich gesehen keine rentableren Investitionen geben kann. Wie an dieser Stelle noch einmal betont sei, sind sich alle beteiligten Stellen darin einig, daß die Forschungsmittel bisher nicht ausreichen, um den Vorsprung des Auslandes aufzuholen, und erst recht nicht, um die Zukunft unseres Volkes zu sichern.

Wenn man nun die Anforderungen, die durch die aufgezeigte Entwicklung an die Menschen gestellt werden, betrachtet, erkennt man eine Verlagerung von einer körperlich-handwerklichen Tätigkeit zu solchen Funktionen, die weitgehend andere Qualifikationen, und zwar in verstärktem Maße Eigeninitiative und Entscheidungskraft, verlangen. Dies sind aber gerade jene Eigenschaften, die bei primitiver Fließarbeit nicht nur nicht gefragt, sondern sogar hinderlich waren. Ganz allgemein wird der Bedarf an qualifizierten Kräften für die Entwicklung und den Einsatz automatisierter Anlagen und Verfahren also wachsen, während ein großer Teil der einfachen Tätigkeit entfällt.

Es ist eine Frage zielbewußter Ausbildung, ob durch die geringere zeitliche Belastung die Kräfte freiwerden, die für eine verstärkte Betätigung auf anderen Gebieten erforderlich sind. Vielleicht werden durch die genannten Möglichkeiten eine längere Schulzeit, eine weitergehende Erziehung und damit eine sinnvoller genutzte Freizeit erreicht, so daß neben einer rational sachlichen Betätigung eine Hinwendung auf die übrigen Bereiche menschlichen Lebens eintritt. Daß darüber hinaus auch in Zukunft einer Begabtenauslese und -förderung erhöhte Bedeutung zukommt, ergibt sich von selbst, ganz abgesehen von den hohen Kosten, die dem Staat durch jedes Studium, besonders in den technischen Disziplinen, entstehen.

Diese Entwicklung, die durch eine analytische Rationalisierung und eine Arbeitsteilung im Sinne des optimalen Einsatzes aller Faktoren bestimmt wird, bietet die Chance, zu einem menschenwürdigeren Dasein in einer industriellen Gesellschaft

zu gelangen, als dies jemals zuvor für die Allgemeinheit möglich war. Es steht außer Zweifel, daß in der Zukunft, deren Gesicht wir mitbestimmen, die Bildungsfrage das zentrale Problem sein muß. Ich darf dies mit einem Wort unseres Wirtschaftsministers zusammenfassen, der mit dem ihm eigenen Optimismus sagte: „Überall bricht sich die Erkenntnis Bahn, daß auch in der Zukunft nicht Automaten und Elektronenhirne, sondern Köpfe das Schicksal der Menschen und Völker bestimmen werden. Diese können aber nicht produziert, sondern nur auf dem Wege einer weltweiten, umfassenden Bildung geformt werden.“

Ich möchte in diesem Sinne die Frage, ob die Vorteile der ungeheuren technologischen Entwicklung und Industrialisierung, der Massenproduktion und deren Auswirkungen auf unser wirtschaftlich-soziales Gefüge überwiegen, mit einem grundsätzlichen „Ja“ beantworten. Es liegt an uns, wie die Zukunft aussehen wird und ob die Möglichkeiten, die uns gegeben sind, zum Positiven genutzt werden.

