

Alfred Frosch

Mikroprozessoren – zentrale Technologie einer umfassenden Rationalisierung

Die widersprüchliche Entwicklung der gesellschaftlichen Produktivkräfte unter den Bedingungen kapitalistischer Produktionsverhältnisse wird in der gegenwärtigen Akkumulationsphase besonders deutlich. Die wissenschaftlich-technischen Erkenntnisse und ihr Transfer in alle gesellschaftlichen Produktionsbereiche zur Produktivitätssteigerung hat zwar – wie jeder technische Fortschritt – den Ersatz manueller und geistiger Arbeit zur Folge, doch, so scheint es, kann die substituierte menschliche Arbeitskraft nicht mehr durch Mehrproduktion beschäftigt oder in anderen gesellschaftlichen Bereichen eingesetzt werden. Da Kompensation nicht mehr möglich erscheint, ist ein qualitativer Unterschied der realen Auswirkungen des technischen Fortschritts innerhalb der gesamtgesellschaftlichen Produktion gegenüber bisheriger technologischer Entwicklungen erkennbar.

Die moderne Technologie in Form der Mikroelektronik ist als universelles Rationalisierungsinstrument sowohl in der unmittelbaren Produktion, wie auch in den ihr vor- bzw. nachgelagerten Bereichen anwendbar. Die Automation in nahezu allen Bereichen der Produktion und Verwaltung, im Industrie- und Dienstleistungssektor, wird möglich durch den Einsatz elektronischer Steuerungs- und Rechenelemente in Gestalt von Mikroprozessoren.

Für eine umfassende technische Innovation durch dieses elektronische Rationalisierungsmittel spricht der damit verbundene geringe Investitionsaufwand. Ursache dafür ist u.a. das kostengünstige Preis/Leistungsverhältnis der Elektronik, bei Steigerung der Produktionskapazität und -flexibilität. Auf dieser Grundlage läßt sich die Zahl der Steuerungs- und Regelungsfunktionen und -vorgänge stark ausweiten, was aber dann bei dieser Technologie in ihrer Anwendung hohe maschinelle und organisatorische Umstellungskosten verursacht. Voraussetzung für ihren rationalen Einsatz ist eine weitgehende Standardisierung und Vereinfachung von Arbeits- und Informationsverarbeitungsprozessen. Fortschritte in der Steuerungs- und Regelungstechnik ermöglichen die Automation besonders der Klein- und Mittelserienfertigung (kleine Losgrößen mit komplexem Steuerungsaufwand). An die Stelle der Kontrolle und Steuerung durch die menschliche Arbeitskraft tritt die Kontrolle, Steuerung und Koordination mittels elektronischer Systeme.

Da auch die betriebliche Informationsverarbeitung automatisierbar wird, nimmt die Möglichkeit der Arbeitsplatzerhaltung durch innerbetriebliche Umsetzung ab. Der umfassende Rationalisierungseffekt verengt die Weiterbeschäftigung der Arbeitskräfte bei Umstellungsmaßnahmen auf neue Technologien in der betrieb-

lichen Fertigung und Beschaffung.

Der kapitallogische Zwang zur Rationalisierung durch Anwendung neuer Techniken, durch Abbau von Lohnkosten und Intensivierung der Arbeit, erhält seine ideologische Absicherung in der Begründung einer notwendigen Rationalisierung bzw. Wegrationalisierung von Arbeitsplätzen zur Erhaltung und Schaffung qualifizierter Arbeitsmöglichkeiten und zur Sicherung des gesellschaftlichen Wachstums im Rahmen der Weltmarktkonkurrenz. Das fortschrittliche Element der modernen Technologie sei neben ihrer Wirtschaftlichkeit (Produktivitätssteigerung) vor allem in ihrem humanen Aspekt zu sehen: die Vernichtung von Arbeitsplätzen mit besonders un menschlichen monotonen und repetitiven Arbeitsverrichtungen. Der Humanisierungsaspekt und die Wirtschaftlichkeit der neuen Technologie bilden so die Basis eines Zivilisationsoptimismus, der gleichzeitig „Lebensqualität“ und Wachstum verheißt.

Dies ist jedoch für die Mehrheit der Betroffenen individuell nicht nachvollziehbar. Die bisherigen Auswirkungen widersprechen den euphorischen Aussagen der EDV-Technologen, die die Übernahme repetitiver und monotoner Tätigkeiten durch den Computer prophezeien, um dafür interessantere und kreativere Tätigkeiten für die Beschäftigten zu erhalten und zu schaffen.

Der Aufbau einer betrieblichen Infrastruktur auf der Grundlage der elektronischen Datenverarbeitung mit Hilfe der Mikroelektronik führt zu einer systematischen Umorganisation des gesamten Produktionsapparates, zu sinkenden Fertigungskosten und zu verkürzten Produktionszeiten. Dem wirtschaftlichen Vorteil stehen massive soziale Folgen gegenüber: Verlust des Arbeitsplatzes, Entwertung traditioneller Qualifikationen, Auftreten neuer physischer und psychischer Belastungsmomente bei den abhängig Beschäftigten und steigende Beschäftigungsunsicherheit in den von der Elektronik unmittelbar erfaßten Produktions- und Verwaltungsbereichen. Bereits formalisierte und regelbare Tätigkeiten werden durch die Technik der elektronischen Datenverarbeitung automatisiert, wodurch sich der Zugang auch zu solchen Arbeitsaufgaben eröffnet, die noch Gestaltungsfreiräume bieten. Auch sie werden nun stärker formalisiert und damit zu Routinetätigkeiten, die zukünftig automatisierbar sind.

Mit der zunehmenden Standardisierung der Produktionstechniken und der Arbeitsprozesse und dem Zwang zur Vollauslastung der Kapazitäten entwickeln sich ebenso Möglichkeiten der direkten Leistungsmessung und Planbarkeit menschlicher Arbeit. Verstärkte Kontrolle und straffe Planung der Arbeitsprozesse verschärfen den Arbeits- und Leistungsdruck. Auch die schöpferische Tätigkeit wird dabei erfaßt. Die Orientierung menschlicher Kreativität auf die Notwendigkeiten der elektronischen Datenverarbeitung und ihre Begrenzung auf die Möglichkeiten der Elektronik stellt eine perspektivische Umkehrung dar. War sie bisher auf eine phantasievolle Problemlösung ausgerichtet, so kann sie sich nun nur noch in vollkommener Maschinenorientierung entfalten.

So gesehen erweist sich die moderne Elektronik als kapitalistisches Herrschaftsinstrument, das die totale Unterordnung unter die verobjektivierten Profitinteressen auf der technischen Ebene möglich macht, Arbeitsplatzgeschehen und Un-

ternehmensziel integriert.

Die Mikroelektronik mit ihrem enormen Potential zur Steigerung der Produktivität und ihrer Auswirkung auf die Arbeitsplätze und die Qualifikation beeinflusst die aktuelle Rationalisierungsdebatte. Vor diesem Hintergrund und angesichts der jüngsten Tarifbewegungen um den Rastertarifvertrag im Druckgewerbe ist eine Positionsbestimmung notwendig. Wenn für gewerkschaftliches Handeln Positionen erarbeitet werden sollen, so genügt es nicht, einerseits die neue Technologie als Grundlage wirtschaftlichen Wachstums und internationaler Konkurrenzfähigkeit zu befürworten und anzuerkennen, andererseits aber ihre sozialen Folgen als „Jobkiller“ zu geißeln.

Die Technik selbst muß aufgrund der inzwischen offensichtlich gewordenen sozialen Folgen hinterfragt, d.h. die Trennung zwischen Technik, ökonomischer Anwendung und sozialen Folgen aufgebrochen werden. Erst eine konkrete Beschäftigung mit den technischen Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten der neuen Technologie erlaubt eine fundierte Einschätzung und ermöglicht differenziertes Beurteilen.

Die folgende Beschreibung der technologischen Entwicklung des Mikroprozesses und seiner Anwendung soll ein Beitrag zum technischen Verständnis sein. Auf eine differenzierte Darstellung der unterschiedlichen Technologiesysteme und elektronischen Schaltungstechniken wird zugunsten der Verständlichkeit verzichtet.

1. Was ist ein Mikroprozessor?

Der Mikroprozessor (im weiteren: Mp) stellt derzeit den höchsten Entwicklungsstand in der Halbleitertechnologie (1) dar. Eine lückenlose Beschreibung ihrer Entwicklung ist nicht Ziel des Aufsatzes. Dafür sollen einige markante Stufen der technischen Entwicklung dargestellt werden, die zum Verständnis der Mikroprozessortechnologie beitragen können.

1.1. Die Entwicklung der elektronischen Hardware (2)

Die Entwicklung der elektronischen Datenverarbeitungsanlagen (EDVA) ist charakterisiert durch die Steigerung der Rechengeschwindigkeit und -genauigkeit, der Zuverlässigkeit und Flexibilität. Gleichzeitig wird sie von einer weitgehenden Miniaturisierung und Integration ihrer elektronischen Bauelemente begleitet. Diese ist begründet im ökonomischen Zwang zur Verringerung der Herstellungskosten der elektronischen Bauteile, um mittels niedriger Preise und damit für die Käufer billiger Datenverarbeitungsanlagen einen breiten Absatzmarkt erschließen zu können.

- 1 *Die Halbleitertechnik nutzt die physikalischen Eigenschaften von sogenannten Halbleitern zur Verarbeitung oder Übertragung von Informationen in Form elektrischer Signale. Die Halbleiter sind Kristalle (aus Silicium oder Germanium), die den elektrischen Strom besser als Isolatoren leiten, aber schlechter als Metalle. Aus den Kristallen werden Dioden (Gleichrichter) oder Transistoren (elektr. Verstärker) hergestellt, die als Bausteine sogenannter „logischer Schaltkreise“ die Technik der digitalen und analogen Datenverarbeitung verbessern und beschleunigen.*
- 2 *Als Hardware wird die Gesamtheit der technischen Ausrüstung einer elektronischen Datenverarbeitungsanlage (EDVA) bezeichnet; sie umfaßt die einzelnen Bauteile ebenso wie die für bestimmte Operationen notwendigen elektrischen Schaltungen.*

Als entscheidende Triebfeder der Elektronikentwicklung gilt die Rüstung. Die Computerentwicklung begann während des II. Weltkrieges und diente zur schnelleren Berechnung von Geschößbahnen (Ballistikkurven, Bombenabwurf Tabellen; etc.), zur Steuerung und Lenkung von Fernraketen und Torpedos, zum Entschlüsseln feindlicher Codes und als Wahrnehmungssystem schnellfliegender Flugzeuge (z.B. als Radargerät).

Der in den USA entwickelte und gebaute Computer „Eniac“ (Electronic Numerical Integrator and Computer) zählt als die erste Generation und war nur zur Berechnung militärischer Aufgaben eingesetzt (3).

Wichtige Impulse zur Weiterentwicklung der elektronischen Rechenanlagen kamen nach dem Kriege vor allem aus den Bereichen der Nuklearwaffentechnik (Wasserstoffbombenbau), der Bomberflugzeug- und Raumfahrttechnik.

Die Ersetzung menschlicher Wahrnehmungs-, Mess- und Steuerungstätigkeit durch geschlossene, automatische Regelsysteme zwang zur Miniaturisierung der Anlagen bzw. der verwendeten Bauteile, wenn diese z.B. in Fernbomberflugzeugen oder als selbstoptimierende Zielfindungs- und Lenkungssysteme in Interkontinentalraketen Einsatz finden sollen. Grund dafür ist die Vielzahl von Operationen, die eine Maschine für eine beim Menschen vergleichbare Aufgabenlösung benötigt. Zugleich mußte sich auch die Rechengeschwindigkeit, die Zuverlässigkeit und Vielseitigkeit steigern, um einen „blitzschnellen Vernichtungsschlag“ führen zu können.

Die dafür notwendigen ungeheuren kapitalintensiven Forschungs- und Entwicklungskosten werden weitgehend durch den Staat übernommen (4).

Eine schnelle Ausweitung der Anwendung von Computertechnik außerhalb militärischer Bereiche ist aber erst möglich, wenn es gelingt, die komplexen und teuren, auf die jeweiligen spezifischen Kundenwünsche spezialisierten, elektronischen Schaltungen zur Informationsverarbeitung durch einen Universalschaltkreis zu ersetzen, d.h. mit Hilfe komplizierter Schaltungstechniken raffinierter Fertigungstechnologien elektronische Logikelemente zu entwickeln, die trotz steigender Komplexität der zu lösenden Aufgaben eine gewisse Standardisierung erlauben. Damit wären die technischen Voraussetzungen für eine gewinnbringende Massenproduktion gegeben.

Die Zentralisationsbestrebung (zentrale Leitung und Kontrolle) in der Betriebsorganisation kapitalistischer Konzerne schuf die Voraussetzung für den Einsatz von teuren Großrechnern und führte zur Vereinheitlichung und Standardisierung der Informationen, Informationsbeziehungen und Arbeitsprozesse. Eine breite Anwendung des Computers als Rationalisierungsmittel nicht nur im Verwaltungsbereich (z.B. Textverarbeitung), sondern auch in den Produktionsbereichen (z.B. Meß- und Regelungsautomatisierung) ist aber erst möglich mit dem Bau kleiner und billiger Anlagen, wobei besonders den Klein- und Mittelbetrieben die technischen und wirtschaftlichen Vorteile der EDV zugänglich gemacht werden können.

Mit der Entwicklung der Halbleitertransistoren war die Grundlage einer neuen technischen Generation der elektronischen Datenverarbeitung (Computer der 2. Generation) entstanden.

Dieses elektronische Halbleiterbauelement zeichnete sich gegenüber den bisher verwendeten Elektronenröhren durch eine Reihe verbesserter technischer Eigenschaften aus und war in der Herstellung wesentlich billiger. Die mit Transistoren und Dioden bestückten Anlagen erreichten eine um mehr als das hundertfache gesteigerte Rechengeschwindigkeit gegenüber den Elektronenröhren. Sie beanspruchen wesentlich weniger Raum und waren weit weniger störanfällig (geringer Verschleiß durch nahezu unbegrenzte Lebensdauer der Transistoren). Dennoch war dieses diskrete Bauteil (Halbleiterelement) bei komplizierten elektronischen Schaltungen bzw. entsprechend komplexer Aufgabe nicht optimal (5).

3 Diese Großrechenanlage hatte ein Gewicht von ca. 30 t und war über 30 m lang. Der 1943 gebaute Rechner war mit 18 000 Elektronenröhren bestückt.

4 Vgl. dazu „Das Argument“ – Sonderband 7, Automation in der BRD, Berlin 1975, S. 161 ff.

5 Besonders die Temperaturabhängigkeit bezüglich ihrer Funktionsfähigkeit war problematisch (Störanfälligkeit aufgrund von Klimaeinflüssen).

Rationellere Fertigungstechnologien und neuartige Schaltungstechniken ermöglichten die Ablösung sogenannter „gedruckter Schaltungen“ (6) durch die Technik der „integrierten Schaltkreise“. Sie bildeten Anfang der 60er Jahre den entscheidenden technologischen Schritt zur eigentlichen Mikroelektronik.

Integrierte Schaltkreise werden auf einem Halbleiterkristall hergestellt, wobei ein Silicium-Kristall von nur ca 1 mm² Größe, ein sogenannter Monolith, alle Bauelemente einer Schaltungskreislogik und ihre Verbindungsbahnen ohne Lötvorgänge aufnimmt. Ein derartiger Monolith (auch als Modul bezeichnet) trägt eine kleine standardisierte Baugruppe, wie sie bisher nur auf einer gedruckten Schaltung unterzubringen war.

Der inzwischen erreichte „Integrationsgrad“ läßt sich daran verdeutlichen, daß die ersten Schaltungen (sogenannte logische Gatter) nur aus etwa einem Dutzend Transistoren bestanden, heute bereits über 50 000 Transistoren auf einem Modul – als „Chip“ bezeichnet – integriert werden. Es wird damit gerechnet, daß noch bis 1980 die Integration von 1 000 000 (!) Elementen erreichbar ist (7).

Stets neue und verbesserte Fertigungstechniken zur Herstellung integrierter Computerteile ermöglichen diese großen Packungsdichten (8). Die Winzigkeit dieser Elemente und die Notwendigkeit äußerster Präzision bei ihrer Herstellung ist nur noch mit hochmechanisierten – automatisierten – Produktionsverfahren möglich. Die hierbei entwickelten Automatisierungstechniken sind Grundlage für die Verallgemeinerung der Automation in anderen Produktionsphären (9).

6 *Entstanden die bisherigen elektrischen Schaltungen durch verdrahten von einzelnen Bauelementen, wie Widerständen, Kondensatoren, Spulen, Transistoren, d.h. diese wurden mit Drähten zusammengelötet, so werden hier auf postkartengroßen Kunststoffplatten (Isolierplatten) die einzeln produzierten Bauelemente aufgesteckt und mittels eines Schwallbades verlötet. Auf den Platten sind bereits entsprechende Kupferleitbahnen aufgezätzt, die Löcher enthalten, um die Bauteile (bis zu 30 Teile) aufnehmen zu können. Die Herstellung dieser gedruckten Schaltungen verbilligte sich durch den Fortfall aller bisherigen Montage- und Lötarbeiten; die Verbindungen entstanden durch chemische Prozesse. Die Verkleinerung der Baugruppen und -elemente ließ zudem eine sichere manuelle Verlötung nicht mehr zu – automatisierte Fertigungsverfahren mußten entwickelt werden.*

7 *Vgl. VDI-Nachrichten Nr. 32/77, wobei die Fläche der Chips unter 30 mm² liegen soll.*

8 *Mit verschiedenen Fertigungstechnologien lassen sich unterschiedliche Verkleinerungen der Chipgrößen bei gleichen Schaltfunktionen erzielen, wobei jedoch die Leistungsaufnahme und Verarbeitungsgeschwindigkeit eingegebener Signale variieren.*

Eine schon standardisierte Schaltungstechnik ist die MOS-Technik (Metal Oxid Semiconductor). Der Fertigungsprozeß verläuft dabei so, daß zunächst eine Halbleiterscheibe (Silicium) mit einer Oxidschicht überzogen wird. Mit Hilfe von phototechnisch, mit hoher Präzision hergestellten „Masken“ ätzt man diese Oxidschicht an bestimmten Zonen wieder weg. Durch genau dotiertes Eindiffundieren von Zusatzstoffen an den freien Stellen werden dann wahlweise Transistor-, Widerstands- oder Kondensatoreigenschaften erzeugt. Die notwendigen Verbindungsbahnen entstehen durch Aufdampfen von Leiterbahnen. Der Entwurf (Berechnung und Design) dieser hochintegrierten Systeme kann heute nur noch mit Rechnerunterstützung geleistet werden. (Vgl. VDI-Nachrichten Nr. 48/77)

Packungsdichte ist die Anzahl der Einzelelemente, die auf einem Chip zusammengefaßt sind. Grundlage dafür sind unterschiedliche Integrationstechniken, wobei die heute praktizierte LSI-Technologie (Large Scale Integration = Großintegration) die fortschrittlichste ist. Vgl. Matthöfer, H.; Prommer, A., Die Industrie im Zeichen der elektronischen Großintegration; Siemens AG (Hrsg.), Berlin-München 1975.

9 *Besonders die Verfahren zur Automatisierung von Mess- und Regelsystemen und die Steuerung von automatisierten Produktionsprozessen werden für andere Produktionsabläufe grundlegend sein. (Z.B. die elektr. Prüfautomaten mittels computergesteuerter*

Mit der Halbleitertechnologie wird auch die Technik der Datenspeicherung verändert. Der Magnetspeicher, als Ablösung der Elektronenröhre, kann durch den Halbleiterspeicher verbessert und ergänzt werden. Damit läßt sich sowohl die interne Arbeitsspeicherkapazität des Rechners steigern, als auch die Zugriffszeit zu den gespeicherten Informationen (kleinste Dateneinheit: „bit“) minimieren bzw. die Rechengeschwindigkeit erhöhen.

Zum besseren Verständnis sei hier kurz der Aufbau einer Rechenanlage skizziert, dessen Konzeption sich bis heute nicht veränderte.

Jede EDVA arbeitet nach dem Prinzip, daß bestimmte Daten in sie eingegeben werden und diese – gemäß im Programm (Software) festgelegten Anleitungen – verarbeitet werden. Das Ergebnis wird wiederum in Datenform ausgegeben. Diese schematische Grundstruktur hat ihre Entsprechung in den einzelnen Komponenten der Computeranlagen.

Zentraleinheit und periphere Einheiten bilden eine EDVA. In der Zentraleinheit sind das Rechenwerk, das Steuer- oder Leitwerk und der interne Arbeitsspeicher zusammengefaßt (10). Zur Peripherie zählt man die Programmbibliothek (sogenannte Software: Organisations- und Übersetzungsprogramme, Betriebssysteme, Testhilfen) und die Bedienungseinheiten (11). Der interne Arbeitsspeicher, dessen Speicherkapazität ein Maß der Leistungsbeurteilung von Computern ist, wird ergänzt durch externe Speichermedien in Form von Magnetbändern, -trommeln und -platten, auf denen einige Millionen Daten gespeichert werden können. Durch Auswechseln der einzelnen Speichereinrichtungen ist praktisch eine unbegrenzte Speicherkapazität erreichbar und damit ein Moment des flexiblen Rechnereinsatzes.

Wenn es auch der Halbleitertechnologie gelang, tausende von Transistoren auf einem winzigen Silicium-Kristall zu integrieren, so konnten diese hochintegrierten Schaltungen nur anwendungsspezifisch entworfen und speziell eingesetzt werden. Für jeden kundenspezifischen Anwendungsfall (z.B. Lohnabrechnung, Maschinensteuerung) war eine eigene integrierte Schaltung notwendig, die trotz weitgehender Automation einen großen Zeitaufwand der Entwicklung erforderte und in kleinen Stückzahlen unrationell gefertigt werden mußte. Das erlaubte nur geringe Stückzahlproduktion dieser elektronischen Bauteile. Die damit gebauten Computer, sogenannte „Minicomputer“ (12), repräsentieren ausgereifte Technik der Datenverarbeitung (Eigenschaften wie hohe Rechengeschwindigkeiten, geringe Störanfälligkeit, leichte Wartung und Reparatur und flexibler Einsatz – auch als Prozeßrechner – zeichnen diese Geräte aus), sind aber für den Anwender mit hohen Fixkosten verbunden (13). Eine starke Abhängigkeit der Anwender von der Programmierertechnik (Software) des jeweiligen Geräteherstellers bremste einen breiten Einsatz des Computers.

Mit der Entwicklung der Mikroprozessoren erzielte hier die Halbleiterindustrie einen *technologischen* wie auch *ökonomischen* Durchbruch. Im Rahmen der LSI-Technologie gelang es

Tests (120 Tests in 1 Sek.) oder opto-elektronische Einrichtungen zur Automatisierung von Industrie-Roboter-Greifvorrichtungen.)

- 10 *Im Arbeitsspeicher befindet sich das Programm (Software), das den Ablauf der Daten-Verarbeitung bestimmt. Das Steuer- oder Leitwerk interpretiert die einzelnen Programm-instruktionen und überwacht (steuert) die Ausführung der Operationsanweisungen. Das Rechenwerk – als arithmetische und logische Einheit – (ALU = arithmetical and logical unit) löst die eigentlichen arithmetischen und logischen Aufgaben und führt entsprechende Operationen oder logische Entscheidungen durch. Rechenwerk und Leitwerk werden auch als „Prozessor“ (CPU = Central Processing Unit) bezeichnet. (Vgl. Davidson, C.H.; Koenig, E. C., Computers – Introduction to Computers and Applied Computing Concepts, New York 1967, S. 17).*
- 11 *Dazu gehören zur Dateneingabe die Bedienungsschreibmaschine und zur Datenausgabe entweder ein Drucker oder ein Sichtgerät.*
- 12 *Diese Geräte werden als 3. Computer-Generation bezeichnet.*
- 13 *Besonders in der Klein- und Mittelindustrie begrenzen die hohen Gesamtinvestitionen und die Überdimensionierung der Geräte für die dort anfallenden Aufgaben den Einsatz der EDV-Technik (vgl. Fleischmann, G.; Halbleitertechnologie – eine Chance für die mittelständische Industrie, in: Rationalisierung, Heft 4/1977, S. 81 ff.)*

Anfang der siebziger Jahre Rechen- und Steuerwerk eines Computers auf einem Chip zu integrieren. Wegen der beschränkten Leistungsfähigkeit dieses Bausteins entstand der Begriff „Mikroprozessor“ (14). Dieses Bauelement mit der Integration einer vollständigen CPU (Prozessoreinheit eines Computers) ist standardisiert und universell einsetzbar und läßt sich nun auch in großen Stückzahlen produzieren. Die rasche Weiterentwicklung des Mikroprozessors (Mp) vermag man daraus ersehen, daß es von der ersten Generation bis zur dritten Generation (1976) nicht einmal sechs Jahre dauerte und heute Rechengeschwindigkeiten möglich sind, die denen der Minicomputer entsprechen. Für die weitere Entwicklung dieser elektronischen Bauteile rechnet man mit einem Innovationszyklus von zwei bis drei Jahren (15).

Für sich alleine ist der Mp nicht arbeitsfähig. Er benötigt zusätzliche Bauteile, die den Programmablauf speichern und die Ein- und Ausgabe der Daten ermöglichen. Im Unterschied zum festverdrahteten Logiknetzwerk aus vielen Transistoren läßt sich durch Ändern des Programms das logische Verhalten des Mp schnell den Bedürfnissen anpassen – was man bei einem herkömmlichen Netzwerk aus Logikbausteinen nicht konnte. Mit dieser sogenannten freien Programmierbarkeit steht der Mp für eine Vielfalt von Anwendungsfällen zur Verfügung ohne technischen Mehraufwand und Fertigungsumstellung. Wird der Mp mit einem Halbleiterspeicher, einer Stromversorgung und peripheren Eingabe- und Ausgabe-Einheiten ergänzt, so bildet dieses System einen „Microcomputer“ (16).

Die Zentraleinheit bestehend aus Arithmetik- und Logikeinheit, Arbeitsspeicher und Kontrolleinheit eines Microcomputers bezeichnet man also mit Mikroprozessor.

1.2. Die Anpassung des Mikroprozessors an spezielle Aufgaben durch Software.

Der Mikroprozessor bzw. Microcomputer (ohne Peripherie-Einheiten kaum größer als ein Schuhkarton) ist erst nach einer entsprechenden Programmierung in der Lage, digitale Informationen zu verarbeiten. Die Gesamtheit aller Anweisungen (Ablaufschritte) für die Lösung eines Problems bezeichnen dabei das Programm. Ergänzt durch ein Betriebssystem (17) bilden diese zusammen die Software. Mit ihr geschieht die Anpassung eines universellen Mp an den jeweiligen Anwendungsfall (z.B. als Steuerungs- oder Rechenelement). Die damit erreichte Flexibilität ist durch

- 14 *Die Rechengeschwindigkeit war etwa 50 - 100mal langsamer als die üblicher Minicomputer; auch stand nur ein begrenzter Befehlsvorrat (Speicher) zur Verfügung. Häufig werden die Begriffe „Mikroprozessor“, „Microcomputer“, „Minicomputer“ synonym gebraucht. Eine begriffliche Abgrenzung wird hier nicht vorgenommen; doch soll der Begriff „Mikroprozessor“ nur im Zusammenhang als Bauteil eines Microcomputers verwendet werden. (Vgl. Diehl, W., Mikroprozessoren und Microcomputer, Würzburg 1978, S. 9)*
- 15 *D. h. maximal alle drei Jahre ist eine neue Technologie entwickelt worden, die die vorangegangene an Leistungsfähigkeit in Bezug auf die Integration, Packungsdichte und Datenverarbeitungsgeschwindigkeit übertrifft. Diese Innovationsgeschwindigkeit wird noch beschleunigt durch die weltweit bestehenden Überkapazitäten der Bauelementehersteller, die zu einem starken Konkurrenzdruck führen (vgl. Niess/Rock/Schlauch; Mikroprozessoren und Microcomputer, RKW-Studie (1. Teil), Frankfurt/Main 1976, S. 18).*
- 16 *Diese kleinen und äußerst leistungsfähigen Geräte (entsprechend den Anforderungen mit einem oder mehreren Chips und unterschiedlichen Speicherelementen bzw. -kapazitäten ausgelegt) unterscheiden sich heute vom Minicomputer nur noch in der Größe und im Preis. Dabei ist zu berücksichtigen, daß Microcomputer nur das Hardware-System darstellen, während für Minicomputer auch ein umfangreiches Software-Angebot mit zur Verfügung steht.
Nach Hoffman beträgt der Preis der Microcomputer nur noch ein Zehntel eines Minicomputers; ca. 2000 US-Dollar. (Vgl. Hoffman, Mini- und Microcomputer, in: Angewandte Informatik, Heft 10 1977, S. 451).*
- 17 *Es umfaßt das Programmsystem, das computerinternen Abläufe steuert und enthält Programmteile, die das Programmieren und Testen durch den Bediener erleichtern.*

die Funktionstrennung von Hardware und Software erst möglich geworden. Diese Trennung war aber auch Voraussetzung der Integrationstechnik in der Hardware (z.B. der LSI-Technik) und der damit realisierbaren Massenproduktion.

Da die Programmierung, bzw. die Software, gegenüber der Hardware einen immer größer werdenden Kostenfaktor darstellt, gewinnt die Programmierung an Bedeutung. „Allgemein ist festzustellen, daß die Entwicklung auf dem Software-Sektor mit der raschen Hardware-Entwicklung nicht schritthalten konnte. Es fehlen vor allem geeignete Software-Hilfsmittel, um anwendungsspezifische Software rationell zu entwickeln.“ (18)

Rationalisierung der EDV durch Standardisierung von Programmen (bzw. Programmier-techniken), Vereinheitlichung der Programmiersprachen und Aufbau kompatibler Software-Pakete (komplette, anwendungsspezifische Programme; Unterprogramme für bestimmte Anwendungsprobleme) sollen diesen Engpaß überwinden. Die Folge wird eine Normierung von zu steuernden Arbeitsprozessen bzw. Umwandlung bestimmter produktionsorientierter Fertigungsabläufe auf das Niveau der Digitalelektronik sein.

1.3. Billiger Elektronik-Baustein

Um die Durchsetzungsmöglichkeiten der neuen elektronischen Technik in verschiedenen Industriezweigen zu prognostizieren, wird besonders der Preisverfall bei den Mp hervorgehoben und damit die Einmaligkeit und das Revolutionäre dieses technologischen Fortschritts begründet. Als etwas völlig neues und unterscheidbares gegenüber sonstigen Innovationen sei dabei, daß eine leistungsfähigere Technologie nicht teurer, sondern stets billiger angeboten würde.

Dieses Preisphänomen ist technisch wie auch ökonomisch erklärbar. Da die Packungsdichte, d.h. die Anzahl der realisierten Funktionen, durch die Miniaturisierung und die Großintegration stark zugenommen hat, bei gleichbleibendem oder ähnlichem Materialbedarf und nur geringfügigem Fertigungsmehraufwand, verläuft die Entwicklung für die Funktionssteigerung exponentiell. Dabei wird die Grundeinheit, der Schaltkreis, nur unwesentlich teurer, und durch die exponentielle Mehrung der in ihr enthaltenen Funktionen ergibt sich eine enorme Verbilligung in der Herstellung. Die automatisierte Produktion und vor allem die Funktionstrennung von Hardware und Software und die damit erreichbare Massenproduktion der elektronischen Logikelemente bilden weitere Faktoren des Preisverfalls (20).

Aber auch die großen Produktionskapazitäten der Elektronikhersteller, die nicht ausgelastet sind, wirken sich auf die Preisgestaltung aus, sowie die staatlich subventionierte Forschung und Entwicklung der Mikroelektronik (Weltraumtechnik, Nuklearwaffen etc.).

Mit der enormen Verbilligung der Elektronik-Bauteile, verbunden mit immer günstigeren Preis/Leistungsverhältnissen, erhoffen sich die Elektronikhersteller einen breiten Absatzmarkt in allen Bereichen der Produktion, wo Steuerungs- und Rechenaufgaben zu den Fertigungseigenschaften gehören. Allein in Westeuropa soll sich der Absatz von Mp bis 1985 auf das 50-fache erhöhen.

Hauptanwendungsbereich der Mikrocomputer bleibt auch weiterhin die Daten- und Kommunikationstechnik. Daneben wird es aber eine Fülle anderer Anwendungsgebiete geben, wobei zu einen mechanische Funktionsträger durch elektronische Funktionen substituiert (z.B. ersetzt ein elektronischer Chip 936 mechanische Teile eines herkömmlichen Fernschreibers), zum anderen völlig neue Anwendungsmöglichkeiten erschlossen werden. Das Eindringen

18 Niess/Röck/Schlauch, a.a.O., S. 23.

19 Vgl. Fleischmann, G., a.a.O., S. 81.

20 Innerhalb von 15 Jahren verbilligte sich eine Halbleiterschaltung um den Faktor 1000. Anschaulicher erklärt sich das ein Betriebsrat: „Ein Volkswagen, der vor dem gleichen Zeitraum 5000 DM kostete, dürfte – hätten wir im Automobilbau die gleiche Kostenreduktion wie in der Halbleitertechnik – heute nur noch 5 DM kosten“. (Glöck, M. in: *Technologischer Wandel und Rationalisierung*, hrsg. DGB Mainz 1977).

der Elektronik in den tertiären Sektor (Handel, Banken, Dienstleistungen etc.), in die medizinische Technik, in die Haushaltstechnik und Unterhaltungselektronik wie auch in die Automobiltechnik werden als Anwendungsbereiche genannt. Der Schwerpunkt aber des sich anbahnenden technischen Strukturwandels ist die Möglichkeit der elektronischen Steuerung industrieller Prozesse, d.h. der Möglichkeit zur Automatisierung. Durch die freie Programmierbarkeit der elektronischen Schaltungen ist ein flexibler Einsatz möglich, ohne daß dabei besonders in der Klein- und Mittelserienfertigung ein technischer Mehraufwand oder eine Fertigungsumstellung erforderlich werden. Prozeßautomatisierung und damit bedingte Arbeitsplatzvernichtung sind so auch Beginn einer Entwicklung, deren Tragweite noch gar nicht eingeschätzt werden kann (22). Wobei die zukünftige Lage der anhängig Beschäftigten – meist Facharbeiter und mithin der Kern der Mitgliedschaft der Industriegewerkschaften – sich tendenziell verschlechtern wird.

2. Ein Anwendungsbeispiel: Mikroprozessoren steuern Werkzeugmaschine

Ein Beispiel aus dem Bereich des Werkzeugmaschinenbaus soll demonstrieren, welche Einsatzmöglichkeit sich dem Mikrocomputer (Mikroprozessor) eröffnet. Dieser Industriezweig wurde gewählt, weil von ihm die meisten Arbeitsplätze in der Bundesrepublik abhängen und seine Exportorientierung ihn zwingt, durch technisch hochwertige Produkte die am Weltmarkt erreichte Stellung zu erhalten und auszubauen.

Werkzeugmaschinen lassen sich je nach ihrer Fertigungsart klassifizieren (spanlose, spangebende und Nichtmetall-Bearbeitung) und aufgrund ihres Verwendungszwecks in der Produktion unterschiedlich typisieren (als Vielweckmaschinen – auch Universalmaschinen – mit verschiedenen Bearbeitungsmöglichkeiten; als Einweckmaschine mit gleichartiger Werkstückbearbeitung). Die Steuerung (Einstellen bestimmter Größen) und Regelung (Einhaltung der angesteuerten Größen) der Werkzeugmaschinen veranlassen Einzelfunktionen und/oder Bewegungsfolgen von Werkzeugmaschine und Werkstück. Im Gegensatz zu konventionellen, d.h. handgesteuerten Werkzeugmaschinen erfolgt die Steuerung sogenannter NC-Maschinen (Numerical Control = numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine) automatisch. Die für die Bearbeitung des Werkstücks erforderlichen Maschinenbefehle wie Schnittgeschwindigkeiten, Vorschübe, Werkzeugwahl sind in verschlüsselter Form (Zahlenwerte als Eingabeinformation) im sogenannten Befehlsgeber – meist ein Lochstreifen oder Magnetband – enthalten. Sie gelangen über ein Lesegerät in den Steuerungsteil der Maschine, werden umgesetzt und an den entsprechenden Maschinenenteil zur Ausführung weitergegeben (23).

Der Befehlsträger, der in der Regel in der Arbeitsvorbereitung hergestellt (programmiert) wird, kann bei hochwertigen Maschinen neben der Wegesteuerung von Werkstück und Werkzeug auch Befehle zur Meßsteuerung (24) enthalten. Je umfangreicher die Informationen zur Steuerung und Regelung der Maschinen sind, desto aufwendiger wird ihre Bereitstellung. Zeitlicher Aufwand der Steuerungsvorbereitung, erhebliche Anforderungen an die betriebliche Fertigungsorganisation und hohe Anschaffungskosten (25) kennzeichnen so den Einsatz von NC-Maschinen.

Dem stehen jedoch schnelle und genaue Fertigung auch komplizierter Teile (geringe Durchlaufzeit der Werkstücke, minimale Umrüstzeit der Maschine), flexibler Einsatz durch leichtes Auswählen des Informationsträgers, einfache Bedienbarkeit der Maschine gegenüber.

-
- 22 *Der damit verbundene Strukturwandel enthält eine permanente Besonderheit insoweit, als zusätzliche Forderungen für Funktionen und Komfort auf der elektronischen Ebene leicht und billig erfüllt werden können.*
 - 23 *Vgl. Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, Berlin-Heidelberg-New York 1970, S. 739.*
 - 24 *Auch Anpaßsteuerung – die Maschine vergleicht gemessene Ist-Werte mit den Soll-Werten und führt gegebenenfalls Korrekturen der Werkzeugposition durch.*
 - 25 *Gegenüber konventionellen Werkzeugmaschinen sind NC-Maschinen bis zu 10mal teurer.*

Die Entwicklung der Halbleitertechnologie beeinflusste auch die Steuerungs- und Regelungstechniken an der Werkzeugmaschine; es konnten immer umfangreichere Steuerungsaufgaben bewältigt werden, was stets auch Produktivitätssteigerungen zur Folge hatte. Durch den Einsatz von Kleinrechnern (Minicomputern) war die Ablösung sogenannter festverdrahteter Schaltsysteme möglich geworden. Computergesteuerte Werkzeugmaschinen wurden als CNC-Systeme bezeichnet (26). Diese waren aber wegen hoher Investitionskosten nur bei sehr komplexen Steuerungen wirtschaftlich einsetzbar.

Mit der Entwicklung der Mikroprozessoren bzw. der Mikrocomputer lassen sich nun Steuerungs- und Regelsysteme konzipieren, die frei programmierbar (27) und wesentlich billiger und wartungsfreundlicher sind als festverdrahtete Steuerungen konventioneller NC-Systeme. Darüberhinaus liegt der Vorteil dieser sogenannten M-CNC-(Mikrocomputer Numerical Control)-Steuerung in seiner Flexibilität und der einfachen Handhabung bzw. Programmierung. Bei gleichbleibender Hardware lassen sich weitere produktivitätssteigernde Eigenschaften der Maschinen mittels entsprechender Programmierung erreichen. Durch die Verfügbarkeit billiger Halbleiterspeicher kann die Steuerung bei geringem Aufwand immer mehr Maschinenfunktionen verwirklichen bzw. es lassen sich bisherige mechanische/manuelle Steuerungen durch kostengünstige elektronische Bausteine substituieren (28). Mit der Mikrocomputer-Steuerung ist auch der Aufbau „übergeordneter DNC- (Direct Numerical Control) -Systeme“ (29) möglich. Damit sind die technischen Voraussetzungen der Integration von Werkzeugmaschinen in eine automatische Fertigung gegeben (30).

Die preisgünstige elektronische Hardware und das zu Billiglösungen geeignete maschinenbautechnische Baukastenprinzip bewirken eine starke Verbilligung der Werkzeugmaschinen (31). Die elektronische Steuerung und die Verbesserung des maschinellen Aufbaus, verschleißfestere Werkzeuge und rationelle Auf- und Abspannvorrichtungen für die Werkstücke lassen Produktivitätssteigerungen von 50 bis 200 % erreichen (Herstellerangaben).

Ein wichtiger technischer Aspekt für die Beurteilung der Qualifikationsentwicklung der Beschäftigten ist die Bedienung und Programmierung der M-CNC-Maschinen. Wesentliche Vereinfachung und der Versuch einer Standardisierung der Programmsprachen bzw. der Steuerungspakete kennzeichnen die Software-Entwicklung. Dabei ist bedeutend die Möglichkeit der „Vor-Ort-Programmierung“, bei der der Bedienungsmann Befehle bzw. Arbeitsabläufe über eine Bedienungseinheiten direkt an der Maschine eingeben kann (32).

-
- 26 *„Computer Numerical Control“-Systeme waren als erste Automatisierungsstufe konzipiert, zeichneten sich durch Produktivitätssteigerung und als flexibles Rationalisierungsinstrument aus.*
 - 27 *Auch werkstattnahe Programmierung; damit wird der für die konventionelle NC-Fertigung erforderliche organisatorische Aufwand in der Arbeitsvorbereitung eliminiert, zugleich kann die Maschine während des Bearbeitungsvorganges korrigiert werden bzw. Bearbeitungsvorgänge optimiert werden.*
 - 28 *So werden z.B. aufwendige Ausgleichs-Zahnradgetriebe zur Maschinensteuerung durch Funktionsverlagerung in den Mikroprozessor ersetzt; damit weniger störanfällige und wartungsaufwendige Teile in der Werkzeugmaschine, was einen Faktor der Verbilligung darstellt.*
 - 29 *Hierbei werden mehrere CNC-Werkzeugmaschinen zusammengefaßt und von einem Prozeßrechner gesteuert. (Vgl. Werkstatt und Betrieb, Nr. 5/77, S. 278).*
 - 30 *Vgl. Auer, B.H., Flexible Fertigungszellen für automatisierte Fabriken; in: Werkstatt und Betrieb, Nr. 10/77, S. 707 ff.)*
 - 31 *Große Preisunterschiede zwischen konventionellen Werkzeugmaschinen und M-CNC-gesteuerten bestehen heute kaum mehr.*
 - 32 *Damit kann die M-CNC-Werkzeugmaschine auch in Kleinbetrieben eingesetzt werden, auch wenn dort weder eine Arbeitsvorbereitung oder ein Programmierbüro existieren. Bisherige Facharbeiter werden zu „Software-Technikern“ umgeschult. Da der eigentliche Maschinen- bzw. Produktionsablauf selbsttätig ist, wird Intensivierung der Arbeit durch*

