Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 71 (1980)

Heft: 11

Artikel: Gelöste und ungelöste Probleme der Mikroprozessortechnik : Versuch einer Bilanz

Autor: Mey, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905260

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Gelöste und ungelöste Probleme der Mikroprozessortechnik: Versuch einer Bilanz

Von H. Mey

681.325–181.48;

1. Der Mikroprozessor als Phänomen

Unbestreitbar ist, dass das Wort *Mikroprozessor* heute zum Sprachschatz einer breiteren Öffentlichkeit gehört, ein Wort, das vor nicht einmal 10 Jahren im Entwicklungslaboratorium eines amerikanischen Unternehmens als Arbeitstitel für eines unter vielen Projekten geprägt worden ist. Während sich die meisten Wortbenutzer mindestens unter *Mikro* etwas Konkretes vorstellen können, nämlich extreme Kleinheit, wären wahrscheinlich die wenigsten in der Lage zu umschreiben, was mit *Prozessor* wirklich gemeint ist. Diese Feststellung soll nicht als Kritik verstanden werden, sondern als ein Hinweis darauf, dass hier wirklich etwas Bedeutsames entstanden ist, dass man es mit einem *Phänomen* zu tun hat. Das menschliche Gehirn ordnet Begriffe bekanntlich nicht nach technischen Kategorien, sondern nach Assoziationen; würde man eine Umfrage veranstalten, was den Befragten unter dem Stichwort «Mikroprozessor» einfällt, würde man vielleicht die folgenden assoziierten Begriffe als Antworten erhalten: Elektronik, Wegrationalisieren von Arbeitsplätzen, Computer, Augenschäden an Bildschirmen, Programmieren, Textverarbeitung, Mikroelektronik, Umschulung usw. Man weiss und spürt allenthalben, dass der Mikroprozessor insofern etwas wichtiges ist, als er viele und vieles direkt und indirekt betrifft und sich, obwohl ein rein technisches Element, nicht als rein technisches Phänomen verstehen lässt.

Im allgemeinen Sprachgebrauch spricht man mit dem Begriff Mikroprozessor nicht das technische Element an, sondern einerseits Mikroelektronik und Computertechnik und andererseits seine Anwendungen und Auswirkungen. Unter *Fachleuten* ist der Mikroprozessor zwar eine geniale, aber doch folgerichtige Weiterentwicklung einer Technik, deren Wurzeln relativ weit zurückliegen; in diesen Kreisen hat der Mikroprozessor evolutionäre und damit «gewöhnliche» Züge, wie man sie von anderen technischen Entwicklungen her kennt. Für den *Nicht-Fachmann* hat die Sache aber einen revolutionären Charakter, denn scheinbar plötzlich sind technische Möglichkeiten vorhanden, die man sich vor wenigen Jahren noch nicht einmal vorstellen konnte.

Man kann aus heutiger Sicht davon ausgehen, dass die Mikroelektronik eine *Basistechnologie* ist, so wie etwa die Stahlerzeugung, die Kunststoffe, die Fahrzeugtechnik zu den Basistechnologien gehören. Eine weitere Basistechnologie ist die *Computertechnik* oder vielmehr die Konzepte, die hinter ihr stehen. *Der Mikroprozessor liegt im Schnittpunkt der beiden Basistechnologien Mikroelektronik und Computer.* Dass etwas Besonderes herauskommen kann, wenn sich zwei je für sich erfolgreiche Konzepte kombinieren lassen, liegt auf der Hand; genau dies ist mit dem Mikroprozessor geschehen. Für unsere Generation problematisch ist die Sache deshalb, weil die Entwicklung, gemessen am menschlichen Umstellungs- und Umdenkvermögen, rasch vonstatten gegangen ist. Es sind noch keine 30 Jahre vergangen, seit nur die Idee einer «Programmiersprache» in Anlehnung an die natürlichen Sprachen entstanden ist, und es sind erst 20 Jahre her, seit zwei Transistoren in der Art einer integrierten Schaltung kombiniert werden konnten. Heute sind etwa 200 verschiedene Programmiersprachen im Einsatz nebst schätzungsweise 2000 daraus abgeleiteten «Dialekten»; auf einer einzigen integrierten Schaltung bringt man zwischen 100 000 und 1 Mio Transistoren unter. Die Öffentlichkeit ist über die Bewusstseinsbildung durch den Begriff Mikroprozessor direkt mit einer Technologie konfrontiert worden, die enorm komplex ist und deswegen wenig transparent erscheint. Aus diesem Blickwinkel heraus ergeben sich verschiedene «Alter» der Basistechnologien. In Tabelle I sind sie für die Mikroelektronik als Schätzwerte zusammengestellt.

«Alter» der Mikroelektronik Tabelle I

	Allgemein	Mikroprozessor
Für Labor	15...20	5...8 Jahre
Für Fabrik	10...15	3...5 Jahre
Für Publikum	1...3 Jahre	

Es gibt wissenschaftliche und technische Phänomene, die die Schwelle zur Öffentlichkeits-Diskussion überhaupt nie überschreiten; das hängt wahrscheinlich nicht nur mit ihrer Bedeutung für die Öffentlichkeit zusammen, sondern auch mit den aktuellen Umständen, unter denen sie bekannt werden. So hat sich der 1948 erfundene Transistor praktisch unter Ausschluss der Öffentlichkeit entwickelt, vermutlich deshalb, weil die Transistor-Periode in eine Zeit weltweiten wirtschaftlichen Aufschwungs und technologie-freundlicher Stimmung gefallen ist. Die Mikroprozessor-Periode dagegen fiel und fällt in eine Zeit wirtschaftlicher Schwierigkeiten und zunehmender Technologiefeindlichkeit. Jede Epoche bildet im Zusammenhang mit vermeintlich oder wirklich ungelösten Problemen ihre Sündenböcke; neben vielen anderen Aspekten kommt dem Mikroprozessor (als Repräsentant für die damit angesprochene Basistechnologie) diese Rolle zu. Das ist, und darüber sollten sich auch die Technologie-Verfechter klar werden, nichts a priori Negatives, sondern ein psychologisches Hilfsmittel der Problembehandlung. Unsere Denkart verlangt offenbar nach «Feindbildern», auf die wir unser Handeln zwecks Verbesserung irgend eines Umstandes vereinfachend konzentrieren können. Betrachten wir also die ungelösten Probleme, die Kritiken und Vorbehalte an «unserer» Technik nicht als widerwärtige Störmanöver, sondern als Ansatzpunkte für echte Problemlösungen.

2. Vom Problem zur Lösung oder umgekehrt

Früher war man es gewohnt, dass die Technik da ist, um Bedürfnisse befriedigen zu helfen; das entspricht der als normal angesehenen kausalen Reihenfolge vom Problem zur Lösung. Der Mikroprozessor lehrt uns, dass es auch umgekehrt sein kann: Eine Fülle von Lösungsmöglichkeiten steht

Abschliessendes Referat der SEV-Informationstagung «Der Mikroprozessor als Problemlöser und Problemquelle», 29. April 1980 in Neuchâtel.

zur Verfügung, mit der die Definition echter und sinnvoller Problemstellungen nicht Schritt gehalten hat. Es gibt Prognostiker, die vorhersagen, der Mikroprozessor werde Anlass sein zur Definition von 25 000 neuen Produkten, die es heute noch nicht gebe und die nur dank der Mikroprozessor-Technik erzeugbar seien (Fig. 1). So absurd derartige Prognosen aussehen mögen, so wahr dürften sie sein; dies lässt sich leicht aus Erfahrungen mit anderen umwälzenden Technologien belegen. Man denke nur etwa an das Konzept «Elektromotor»: Wer hätte bei seiner Erfindung im letzten Jahrhundert vorauszusagen gewagt, es gäbe dereinst elektromotorisch betriebene Zahnbürsten? Oder welcher Erzschürfer in der Bronzezeit hätte vorauszusagen gewusst, dass sein Metall dereinst wichtigster Träger der drahtgebundenen Fernmeldetechnik sein werde?

Das unausgeschöpfte und zurzeit unausschöpfbare Problemlösungspotential der Mikroprozessortechnik oder allgemeiner der Mikroelektronik widerspiegelt sich in allen Varianten. So ist man heute in den Halbleiter-technologischen Laboratorien in der Lage, mehr als 1 Mio Transistoren in einer einzigen integrierten Schaltung von einigen Quadratmillimetern Grösse unterzubringen. Aber wo sind die Anwendungen für derartig komplexe Schaltkreise? Zurzeit fällt einem nur eine einzige ein, nämlich grosse Halbleiter-Speicher. Der modernste, noch nicht auf dem Markt erschienene Mikroprozessor wird etwa 100 000 Transistoren enthalten; was machen wir mit den anderen 900 000 Transistoren, die uns die Mikroelektronik-Technologen zur Verfügung stellen? Packungsdichten in der Dekade zwischen 100 000 und 1 Mio Transistoren pro integrierte Schaltung erfordern eine geometrische Auflösung in der Grössenordnung der Lichtwellenlänge; das adäquate, technische Verfahren liefert die Optik mit Photolithographie usw., also vereinfacht ausgedrückt die Mikroskoptechnik. So wie sich die Naturwissenschafter nicht zufrieden geben mit der optisch möglichen Auflösung und deswegen Elektronenmikroskope erfunden haben, sind auch die Mikroelektronik-Technologen nicht zufrieden mit ihrem Stand der Technik und ersetzen das Licht durch Elektronenstrahlen mit dem Resultat, dass die Anzahl Transistoren und Leiter pro Flächeneinheit weiter gesteigert werden kann. Eine Komplexität von 1 Mia Transistoren pro integrierte Schaltung ist für etwa 1990 in greifbare Nähe gerückt; was machen wir dann mit den 999,9 Mio Transistoren, die uns über die Bedürfnisse eines Mikroprozessors hinaus in einer integrierten Schaltung noch zur Verfügung stehen? Folgt aus dieser Erkenntnis, dass die ganze Übung der technologischen Weiterentwicklung als absurd und sinnlos abzubrechen sei? Angesichts der dem Menschen innewohnenden Neugierde als Triebfeder seines kreativen Handelns wäre dies kaum sinnvoll. Aber wir müssen lernen, einen stets wachsenden Vorrat an technischen Problemlösungsmöglichkeiten als willkommenes Gut zu akzeptieren und daraus das Beste zu machen. Dabei bleibe nicht unerwähnt, dass die sich weiterbildende Basistechnologie aus aktueller Sicht alle nur erdenklichen Vorteile für sich in Anspruch nehmen kann: Sie ist bescheiden im Verbrauch von Rohmaterialien, sie belastet die Umwelt nicht, und ihr Energieverbrauch fällt überhaupt nicht ins Gewicht. Aber, und deshalb ist dieser Fragenkomplex zu den ungelösten Problemen zu zählen, die Sache ist zurzeit nicht im Gleichgewicht und trägt dadurch viele Anzeichen der Instabilität.

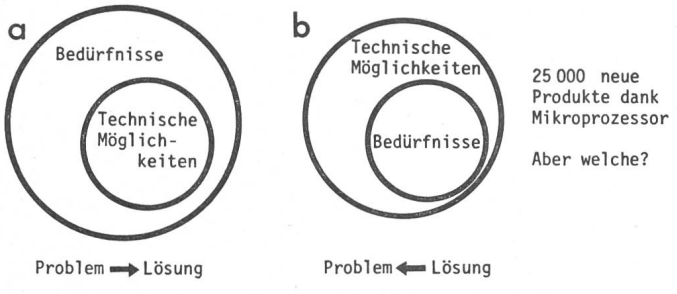

Fig. 1 **Das Verhältnis der technischen Möglichkeiten und der Bedürfnisse**
a gewohnter Zusammenhang
b umgekehrte Situation beim Mikroprozessor

3. Dynamik kontra Kontinuität

Das noch weit unausgeschöpfte mikroelektronische Potential bewirkt eine enorme Eigendynamik dieser Technologie, die in krassem Gegensatz steht zu einer gewissen Kontinuität, wie sie die Wirtschaft benötigt, um die Technologie einsetzen zu können. Eine durchaus ernste Folge sind die Beschaffungsprobleme [1]), vor der sich die Elektronikindustrie sieht. Der dauernde Erneuerungsdruck führt zu Zuständen, die man wohl nirgendwo sonst in der Industrie akzeptieren würde und die geradezu als absurd zu bezeichnen sind. Wohl oder übel ist die Elektronikindustrie in eine Abhängigkeit von dieser Dynamik hineingeraten, aus der kaum mehr herauszukommen ist. Ein Element dieser Abhängigkeit ist die Verletzbarkeit der Industrie durch unsichere Belieferung mit mikroelektronischen Komponenten. Ein schweizerischer Konzern des Maschinenbaus rechnet damit, dass in einigen Jahren von seinem Umsatz ein Drittel auf mikroelektronische Steuerungen entfällt. Das heisst, dass in absehbarer Zeit nicht nur die Elektronikindustrie, sondern mindestens auch die Maschinen- und Anlagenindustrie vollständig abhängig sein wird von der Verfügbarkeit mikroelektronischer Bestandteile. Das Erstaunliche daran ist, dass die damit gegebene Bedeutung der Mikroelektronik in keinem Verhältnis steht zum wirtschaftlichen Gewicht, das die Halbleiterindustrie und insbesondere die Mikroprozessorindustrie im Rahmen der Gesamtindustrie haben. Die raffinierten mikroelektronischen Herstellungsverfahren haben zu extrem tiefen Preisen pro Leistungseinheit geführt mit dem Ergebnis, dass beispielsweise die weltweiten Umsätze an Mikroprozessoren geradezu lächerlich klein sind. Dies macht es der Mikroprozessor-verbauenden Industrie fast unmöglich, zwecks Sicherung ihrer Ressourcen Mikroprozessoren und andere komplexe mikroelektronische Schaltkreise selbst herzustellen. So reicht selbst für Siemens der Eigenbedarf nicht aus, Mikroprozessoren wirtschaftlich selbst zu fertigen, trotzdem alle Kenntnisse und Einrichtungen dazu (inkl. eine Lizenz eines der bedeutendsten Mikroprozessorfabrikanten aus den USA) vorhanden sind. Die Mikroelektronik im allgemeinen und die Mikroprozessortechnik im speziellen sind deshalb durch eine fast unwahrscheinliche *Konzentration* bei der Fertigung der Schlüsselprodukte gekennzeichnet. Eine wichtige Ausnahme in der schweizerischen Wirtschaft

[1]) Vgl. Referat von H. Diggelmann, S. 563.

bildet die *Uhrenindustrie,* und zwar deshalb, weil in unserer Industrie die Uhr das einzige Massenprodukt ist, in das sich hochkomplexe Schaltkreise in grossen, gleichbleibenden Serien einbauen lassen. Das wohl wichtigste Indiz in dieser Richtung hat *J. J. Monbaron*[2]) gezeigt: In dieser Wirtschaftssparte ist es sogar möglich und sinnvoll, anwendungsspezifische Mikroprozessoren zu entwickeln und zu bauen. Ausserhalb der Uhrenindustrie ist ein derartiges Vorgehen wahrscheinlich vollständig ausgeschlossen; man muss gerade den Hauptvorteil des Mikroprozessors ausnützen, der darin besteht, dass er *universell* einsetzbar ist.

Ausserhalb der Uhrenindustrie sind die meisten Anwendungen der Mikroprozessor-Technik dadurch gekennzeichnet, dass der Kostenanteil des Mikroprozessors gering ist an den gesamten Gestehungskosten eines Produktes. Man könnte sich also die universelle Einsetzbarkeit voll zunutze machen, sich ein Know-how und eine Infrastruktur um den Mikroprozessor herum aufbauen und auf dieser Basis fast beliebige Anwendungen erschliessen. Das Referat von *J. D. Nicoud*[3]) zeigt aber, dass es auch hier Fussangeln gibt. Die Dynamik der Mikroprozessor-Technologie führt nicht nur zur steten Komplexitätssteigerung der Komponenten, sondern ebensosehr zu einer Diversifikation auf einem bestimmten Komplexitätsniveau. Die Tatsache, dass man jedes Problem auf verschiedene Art lösen kann, also auch das Problem, eine Prozessor-Architektur festzulegen, hat dazu geführt, dass diese Möglichkeiten auch ausgeschöpft werden und ihren Niederschlag in vielen, nicht-kompatiblen Produkten findet. Der Angebotsdruck einer nach Großserien drängenden Halbleiterindustrie, die Mechanismen der freien Marktwirtschaft und nicht zuletzt die persönlich gefärbten Vorlieben von Ingenieuren für diese oder jene Variante haben dazu geführt, dass von einer vernünftigen Normierung je länger je weniger die Rede sein kann. Mit dem Wechsel von einer Mikroprozessor-Version auf eine andere können mühsam und kostspielig aufgebaute Infrastrukturen in Entwicklung und Kontrolle teilweise wertlos werden, abgesehen vom Know-how, das, oft ohne zusätzlichen Gewinn, erneuert werden muss. Diesem ungelösten Problem stehen nun allerdings Lösungsansätze, zum Teil schon Lösungen, entgegen, die von der Erkenntnis ausgehen, dass man eine Komponente nicht als elektronisches Bauteil, wohl aber in ihrer Anwendung über wohldefinierte Schnittstellen vereinheitlichen kann. In diesem Lichte erhalten die Bemühungen zur Definition Lieferanten-unabhängiger Busstrukturen und von Prozessor-unabhängigen Programmiersprachen ein ganz besonderes Gewicht. Nur ein starker, gemeinsamer Wille der Industrie und die Kraft einer grossen Organisation könnten dazu beitragen, hier wirklich Durchbrüche zu erzielen und der Gefahr zu entgehen, ebensoviele unterschiedliche, nicht kompatible Normen aufzustellen, wie es verschiedene Mikroprozessorkonzepte gibt. In diesem Zusammenhang sei auf Bemühungen der CEI (Commission Electrotechnique Internationale), dessen Mitglied auch der SEV ist, hingewiesen; wenn es möglich würde, auf Mikroprozessorebene eine CEI-Norm zu etablieren, an die sich die Firmen wirklich halten, wäre viel gewonnen. Es sei auch erwähnt, dass auf der Seite der Sprachen-Normierung (allerdings nicht direkt auf Mikroprozessoren bezogen) im Fernmeldewesen ein Erfolg zu verzeichnen ist: Die Sprache CHILL (Communications high level language) steht als Norm für die Fernmeldeindustrie und die Fernmeldeverwaltungen weltweit so gut wie fest.

Im folgenden wird von der optimistischen Annahme ausgegangen, die Typenvielfalt sei durch vernünftige Normierung praktisch handhabbar gemacht oder, was dasselbe aussagt, diejenigen Ingenieure, deren favorisiertes System nicht der Norm entspricht, hätten über ihren eigenen Schatten springen können. Immer noch bleibt dann das Problem der Beschaffung bzw. der Risikominderung bei Beschaffungsschwierigkeiten als Problem zu lösen. *H. Diggelmann*[4]) hat die Elemente aufgezählt, die dem Käufer integrierter Schaltkreise zur Absicherung seiner eigenen Belieferungs-Sicherheit zur Verfügung stehen. Das alles funktioniert im Wechselspiel der freien Marktwirtschaft, d. h., solange die Grenzen für einen freien Warenaustausch offen bleiben und solange der Käufer grundsätzlich Zugriff zu allen Lieferanten hat. Es hat in der Vergangenheit wiederholt Engpässe bei der Belieferung mit komplexen Schaltkreisen gegeben; sie gingen aber, soweit bekannt ist, auf Produktions- und damit auf technische Probleme seitens der Lieferanten zurück und nicht auf künstliche Handelshemmnisse. Wer aber weiss, ob in den aktuellen Wirrnissen der internationalen Politik nicht einmal irgendwelche Embargomassnahmen auch auf integrierte Schaltkreise wirksam werden, die in irgend einer Form uns betreffen? Wo stehen wir dann mit unserer Produktion, und zwar nicht nur im engeren Bereich der Elektronikindustrie (man denke an den 30%igen Elektronik-Umsatzanteil im zukünftigen Maschinenbau)? Es gibt zwei Sicherungsmechanismen, nämlich Eigenfertigung und Lagerhaltung. Eine wirtschaftliche Eigenfertigung in «normalen Zeiten» fällt aus bereits genannten Gründen ausser Betracht. Würden wir über das notwendige Know-how und die notwendigen Rohstoffe verfügen, um *notfalls* eine Eigenfertigung an die Hand zu nehmen? Die in der Schweiz existierenden halbleiter-technologischen Betriebe beweisen, dass das Know-how vorhanden ist oder wenigstens aus eigener Kraft aufgebaut werden könnte; die Rohmaterialfrage ist dagegen unklar. Sicher ist, dass keinesfalls alle Typen der heute in schweizerischen Betrieben eingesetzten, integrierten Schaltkreise in nützlicher Frist entwickelt und fabriziert werden könnten; eine strenge Disziplin in der Konzentration auf eine Auswahl von Schaltkreisen wäre unumgänglich. Sowohl der Aufbau einer Eigenfabrikation wie die Umstellung der Produkte auf diese Typenauswahl brauchen Zeit; es ist wahrscheinlich nicht übertrieben, dafür einen Bedarf von ein bis zwei Jahren einzusetzen. Wesentlich erleichtert würde eine derartige Operation dadurch, dass die grossen Abnehmer elektronischer Anlagen, dazu gehören vor allem eidgenössische Verwaltungsstellen, einen Anreiz auf ihre Lieferanten auszuüben versuchten, der die Eigenfertigung schon in «normalen» Zeiten möglich machen könnte. Das ist heute aber ganz und gar nicht der Fall. Solange Einkaufsstellen potenter Abnehmer, was an sich verständlich ist, Lieferanten mit internationalen Preisvergleichen unter Druck setzen, ist es ausgeschlossen, höhere Kosten als Folge vermehrter Eigenfertigung in den Preisen unterzubringen. Aus den gegebenen Zwängen der Seriefertigung kann es nicht darum gehen, einer einheimisch gefertigten integrierten Schaltung einen

[2]) Vgl. S. 558.
[3]) Vgl. S. 567.
[4]) Vgl. S. 563.

um Prozente höheren Preis gegenüber der internationalen Konkurrenz zuzugestehen, es geht um *Faktoren*. Auf ein Gesamtsystem bezogen, würde sich dies allerdings auch nur in Prozenten auswirken; solange sich der Preiskampf in dieser Prozentregion bewegt, ist dies aber entscheidend.

Es verbleibt die *Lagerhaltung*. Man wäre, würde man ein Lagerinventar der schweizerischen Industrie über elektronische Komponenten aufstellen, wahrscheinlich überrascht und erschrocken, wie rasch wir «ausverkauft» wären. Man muss sich ernsthaft fragen, ob es nicht an der Zeit wäre, diese immer lebenswichtiger werdenden Halbfabrikate (und auch die Rohmaterialien für die Eigenfertigung) einem Krisenvorsorge-Regime zu unterstellen. Allerdings ist auch dies nur möglich, wenn vorgängig die Bereitschaft zu einer Normierung und zur Selbstbeschränkung auf ein reduziertes Typenangebot vorhanden ist.

Leider müssen alle diese Varianten in der Möglichkeitsform formuliert werden; der ganze Komplex ist unter «ungelöste Probleme» einzureihen. Dagegen darf festgestellt werden, dass die mangelhafte Lieferqualität der Komponenten zwar ärgerlich ist und Kosten verursacht, dass man sich aber darauf einrichten kann und auch eingerichtet hat. Wenn dies auch keine elegante Lösung ist, so ist sie doch brauchbar und funktioniert.

4. Von der Komponente zum System, vom Konkreten zum Abstrakten

Die wahrscheinlich entscheidendste Änderung, die der Mikroprozessor erzwingt, ist die Verbreiterung des Betrachtungshorizontes. Von Alters her ist man sich gewohnt, in Komponenten zu denken und diese sukzessive zu sinnvollen Systemen zu verknüpfen. Das menschliche Denken und insbesondere auch das Ingenieurdenken tendieren zum kleinstmöglichen Subsystem hin und zu seiner Durchdringung in die Tiefe. Man gehe einmal die Dissertationsthemen aus naturwissenschaftlich oder technisch orientierten Instituten durch, und man wird dieses Phänomen der Anziehungskraft des Kleinen immer wieder bestätigt finden. Das *Systemdenken* wird zwar immer wieder gefordert, es ist aber unendlich schwierig, es in die Tat umzusetzen. So kann man im Bereich komplexer EDV-Systeme feststellen, dass selbst von leistungsfähigen Firmen freiberufliche EDV-Berater (es sind immer dieselben) engagiert werden zur Überprüfung der Projekte, meist, nachdem man mit eigenen Mitteln bereits zum erstenmal Schiffbruch erlitten hat. Diese EDV-Berater sind Leute, die sich auf Systemlösungen spezialisiert haben und offensichtlich Erfolge buchen können. Warum, so fragt man sich, bringt man dies nicht mit den eigenen Ingenieuren zustande? Ganz offensichtlich sind sie nicht auf derartige Aufgaben vorbereitet oder, wenn sie in der Lage dazu wären, widersprechen sie sich in ein und derselben Firma. Das ist ein Indiz dafür, dass es eben (noch?) keine etablierte Systemlösungsmethodik im Sinne einer normalen Ingenieurdisziplin gibt.

Die Crux der *Mikroprozessor-Anwendung* ist es somit, dass dies selten als isolierter Akt möglich ist, sondern dass eine weitere Umgebung darum herum betroffen ist bzw. einbezogen werden muss. Diese «Umgebung» kann das technische System sein, in dem der Mikroprozessor steckt, oder die Entwicklungs-Infrastruktur, die dem Systementwurf zur Verfügung stehen muss oder gar die Führungs- und Organisationsstruktur eines Unternehmens, wozu *F. Eggimann*[5]) ein Beispiel liefert. Ursächlichster Grund für diese Ausstrahlung des Mikroprozessors auf umgebende Bereiche ist die Notwendigkeit oder Möglichkeit seiner Programmierung, also des Elementes *Software,* das mit dem Konzept «Computer» in der Elektronik Einzug gehalten hat. So ist es nur natürlich, dass dieses neue Element über den immer breiteren Einsatz der Elektronik auch in immer weiteren Bereichen zu berücksichtigen ist. Man hat dieselbe Erfahrung übrigens schon mit dem Einzug des Computers im EDV-Bereich erlebt: Es war selten möglich und vor allem nicht zweckmässig, einzelne administrative Handlungen zu computerisieren, vielmehr musste ein Teil oder die ganze Struktur des administrativen Ablaufs neu organisiert werden; nicht umsonst entstand das Berufsbild «EDV-Organisator» oder «Analytiker-Organisator».

Das Konzept «Computer» erzwingt neue Dimensionen im Denken in Systemen. Wie schwer dies fällt, zeigen die vielen Misserfolge komplexer, grosser EDV-Projekte. Was sich aber im kommerziellen EDV-Einsatz einigermassen vertuschen lässt, weil es innerhalb des Unternehmens bleibt, bleibt nicht ohne schwerwiegende Folgen beim Einsatz der Mikroprozessortechnik in Geräten und Anlagen. Wenn eine prozessorgesteuerte Anlage nicht rechtzeitig funktioniert, weil man nicht in der Lage war, eine funktionsfähige Software zu entwickeln, ist die Anlage unverkäuflich oder der Lieferant bezahlt Konventionalstrafen als Folge verspäteter Lieferung. Man muss über Ingenieure verfügen, denen das Systemdenken geläufig ist; auf dieses Ziel hin sind die Bemühungen gerichtet, Informatik-Ingenieure auszubilden, wie dies von *C. A. Zehnder*[6]) ausgeführt wurde. Dass dieses Systemdenken wesentlich mit Software und Programmierung zu tun hat, ist eine Folge des geschilderten Zusammenhangs zwischen System und Computerkonzept. Bei der Software-Entwicklung grosser Systeme hat man zum erstenmal in aller Härte erfahren müssen, dass man derartige Komplexe nicht von unten nach oben, also durch Zusammenfügen vieler kleiner Bausteine, realisieren kann, sondern dass man umgekehrt vom Entwurf des Gesamtsystems durch sukzessive Verfeinerung zu den einzelnen Bausteinen gelangen muss (Top-Down-Design). Man kennt diese Arbeitsweise aus anderen Gebieten allerdings schon lange, ja sie scheint geradezu der Normalfall jeder Projektabwicklung zu sein. Man denke an einen Hausbau, der mit dem Wunsch bzw. dem groben Pflichtenheft des Bauherrn beginnt. Kein Bauherr würde mit der Spezifikation eines Backsteins beginnen. Im Unterschied zu diesem Beispiel sind die Objekte der software-orientierten Systeme aber sehr *abstrakter Natur*. Es ist wahrscheinlich der hohe Grad dieser Abstraktion, der beim Bewältigen der Probleme am meisten Mühe bereitet. Es ist auch zu berücksichtigen, dass das Denken in grossen Systemen erst in jüngerer Zeit in unsere Gesellschaft Eingang gefunden hat. Man denke etwa an das Verständnis der Natur als System, das zu den ökologisch ausgerichteten Unternehmungen unserer Tage geführt hat. Es braucht ein gehöriges Mass an Systemdenken, um jemanden davon abzuhalten, ein kleines Fass Öl in den grossen Ozean zu schütten.

[5]) Vgl. S. 553.
[6]) Vgl. S. 574.

Eben dieses Systemdenken, das Denken in Interdependenzen, sollte nun auch die Diskussion um die Fragen der Arbeitsplatzsicherung prägen. Im Referat von *A. Hubschmid*[7]) kommt zum Ausdruck, wie vielfältig die Aspekte sind, die es gleichzeitig zu berücksichtigen gilt. Es geht nicht an, eine Gleichung aufzustellen etwa der Art «ein Mikroprozessor gleich ein verlorener Arbeitsplatz». Vielmehr handelt es sich um ein Gleichungssystem hoher Ordnung mit vielen Konstanten und vielen Variablen, aber auch mit vielen Freiheitsgraden. Diese Freiheitsgrade gilt es auszunützen, um das Gesamtsystem zu optimieren. Man sollte sich davor hüten, dieses System aufgrund einer einzigen Gleichung beurteilen zu wollen. Es ist wahrscheinlich ebenso falsch, vom Mikroprozessor als «Job killer» zu sprechen wie ihn als Quelle unbeschränkten Wohlstands zu preisen. Es kann verhängnisvoll sein, halbdurchdachte Neuerungen auf den Markt zu werfen, nur weil sie dank des Mikroprozessors möglich sind. Dies trifft zum Beispel auf denjengen zu, der ein prozessor-gesteuertes Gerät entwickelt und verkauft, ohne daran zu denken, dass er auch in der Lage sein muss, die Software zu warten. Oder es zeugt von mangelhaftem Systemdenken, wenn anfänglich Fotosatz-Einrichtungen verkauft wurden mit Bildschirmen, die für einen ganz anderen Zweck gedacht waren und bei dauerndem Gebrauch die Augen schädigen. Solche Fehlleistungen schaden dem Anwender und dem Lieferanten gleichermassen und bringen darüber hinaus eine ganze Technologie in Verruf, die durchaus zur sinnvollen Problemlösung geschaffen ist. Es ist auch nicht einzusehen, dass, wie oft behauptet wird, die Mikroprozessor-Technik zu einer Polarisierung der Arbeitswelt in einen unter- und einen überqualifizierten Teil führen sollte. Eine derartige Aussage verkennt die Tatsache, dass gerade die notwendige hierarchische Gliederung zwischen den verschiedenen Systemebenen zur Bildung von Qualifikationsstufen aller Grade beiträgt.

Der durch die Mikroprozessor-Technik erzwungene Umwandlungsprozess im Denken von Komponenten zu Systemen und vom Konkreten zum Abstrakten gehört heute zweifellos zu den eher ungelösten Problemen. Das ist letztlich nicht erstaunlich, da es sich dabei um ein Adaptions- und Ausbildungsproblem handelt, ein Problem, das nicht in beliebig kurzer Zeit zu lösen ist. Die doch erstaunlich raschen Erfolge der ökologischen Bewusstseinsbildung und die Bemühungen auf allen Stufen des Bildungswesens müssen aber optimistisch stimmen. Wenn alle mithelfen, von der unsinnigen, kategorischen Glaubensspaltung «Technik ja oder nein» wegzukommen und statt dessen das «Wie und Wo» einem rationalen Problemlösungsprozess zu unterziehen, sollte es nicht schwer sein, eine positive Bilanz zwischen gelösten und ungelösten Problemen herbeizuführen.

Adresse des Autors

Prof. Dr. *H. Mey*, Institut für angewandte Mathematik der Universität Bern, Sidlerstrasse 5, 3012 Bern.

[7]) Vgl. S. 570.