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: 67 (1976)

Heft: 18

Artikel: Die Wirtschaftlichkeit von Mikroprozessoren aus der Sicht des Anwenders

Autor: Corbella, C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915211

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: 17.07.2025

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

Die Wirtschaftlichkeit von Mikroprozessoren aus der Sicht des Anwenders [1])

Von C. Corbella

681.325–181.48

Die mannigfachen Vorteile der Mikroprozessoren sind bekannt und lassen diese Bauelemente für den Entwicklungsingenieur äusserst attraktiv erscheinen. Weniger überblickbar hingegen sind die Einflussgrössen, deren Auswirkungen die Höhe der Entwicklungskosten massgeblich bestimmen. Es werden einige Kriterien diskutiert, die vom Anwender von Mikroprozessoren hinsichtlich Wirtschaftlichkeit im Zusammenhang mit bevorstehenden Entwicklungsvorhaben beurteilt werden sollten.

Les nombreux avantages des microprocesseurs sont connus et font que ces composants sont extrêmement intéressants pour l'ingénieur de développement. Par contre, on connaît moins bien les grandeurs d'influence, dont les répercussions sont déterminantes pour les coûts du développement. L'auteur expose quelques critères que l'utilisateur de microprocesseurs devrait considérer du point de vue de la rentabilité, quand il s'agit de projets de développement.

1. Einleitung

Mikroprozessoren sind äusserst attraktive Bauelemente und scheinen eine Menge von Vorteilen zu besitzen. Diese neuen Bauelemente werden dementsprechend von den Lieferanten mit erheblichem Aufwand propagiert, und es ist naheliegend, dass die Liste der Vorteile lange ist im Vergleich zu den Angaben über Konsequenzen, mit denen die Vorteile erkauft werden müssen.

Jeder Anwender von Mikroprozessoren, d. h. jeder Hersteller von Produkten, die einen Mikroprozessor enthalten, ist gezwungen, eine Wirtschaftlichkeitsanalyse durchzuführen. Leider werden in der bereits sehr umfangreich vorhandenen Literatur über Mikroprozessoren nur sehr knappe und äusserst vage Angaben über die wirtschaftlichen Aspekte gemacht. Vielversprechende Verkaufsargumente wie z. B. «Minimalsysteme sind heute bereits für einen Preis von Fr. 150.– zu haben», «Mikroprozessoren lassen die Profite in die Höhe schnellen», «dramatische Reduktion der Entwicklungszeiten» sind irreführend und sind mit äusserster Vorsicht zu geniessen. Solche Aussagen verfehlen oft ihre Wirkung nicht und sind weitgehend dafür verantwortlich, dass sie gewissermassen eine Mikroprozessor-Euphorie ausgelöst haben.

Das Referat möchte weder die unbestrittenen Vorteile dieser neuen Technologie in Zweifel ziehen noch den Enthusiasmus der Entwicklungsingenieure dämpfen. Es soll vielmehr bezwecken, einen kleinen Beitrag für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit aus der Sicht der Anwender zu liefern, und zwar für jene, die vor dem Entschluss stehen, ein Mikroprozessor-Entwicklungsvorhaben zum erstenmal durchzuziehen.

Mikroprozessoren können in zwei verschiedenen Gebieten sehr erfolgreich eingesetzt werden: in Computersystemen, z. B. als Subsystem in Grossrechenanlagen, sowie für den Ersatz von verdrahteter Logik, z. B. für Steuerungsaufgaben in der Nachrichtentechnik.

Im ersten Fall befassen sich erfahrene Computerspezialisten mit der Entwicklung, d. h., dass die neuen Bauelemente im Prinzip für diese Leute nichts Neues darstellen. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich jedoch auf den zweiten Fall, bei dem die Entwicklungsingenieure, die sich bis anhin mit der konventionellen Digitaltechnik befasst haben, mit vollständig neuen Problemen konfrontiert werden, die die Entwicklungskosten entscheidend beeinflussen können.

Fig. 1 zeigt als Anwendungsbeispiel ein Mikrocomputersystem, welches als universell verwendbares System konzipiert wurde und für folgende, voneinander vollständig verschiedene und unabhängige Projekte zur Anwendung kommt:

– Anlage für die Datenerfassung und -verarbeitung in einem Photolabor
– Dateneingabeterminal für verschiedene Anwendungen
– Ablaufsteuerung für diverse Drucker
– Ablaufsteuerung für einen automatischen Messplatz für das Ausmessen von Quarz-Oszillatoren

Der grosse Vorteil von Mikrocomputerschaltungen liegt darin, dass die einmal entwickelte Hardware praktisch unverändert für verschiedene Projekte übernommen werden kann, allerdings unter entsprechender Anpassung der Software. Man könnte die Liste der Vorteile von Mikroprozessoren beliebig ergänzen. Sie dürften aber hinlänglich gut bekannt sein und werden aus diesem Grunde an dieser Stelle nicht wiederholt.

2. Kriterien für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Mikroprozessoren

Für eine Analyse der Wirtschaftlichkeit ist nur die Betrachtung der Gesamtkosten sinnvoll. Der Einsatz eines Mikroprozessors ist nur dann zu verantworten, wenn die Lösung wirtschaftlich ist gegenüber anderen Varianten, insbesondere im Vergleich zu festverdrahteter Logik. Die folgende Liste gibt eine Übersicht über die wesentlichen Aufwendungen, die zu berücksichtigen sind:

a) Fixe Kosten

– Entwicklungskosten für Hardware und Software
– Investitionen für Entwicklungshilfen
– Ausbildungskosten für das Entwicklungspersonal
– Kosten für das Erstellen der Fabrikationsunterlagen
– Kosten für das Erstellen der Dokumentation

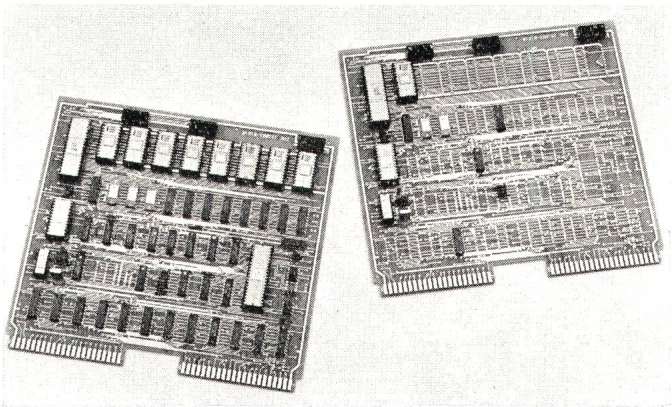

Fig. 1 **Beispiel eines Mikrocomputersystems**

[1]) Vortrag, gehalten anlässlich der 32. STEN am 15. Juni 1976 in Bern.

b) *Variable Kosten* (stückzahlabhängig)
- Fabrikationskosten
- Betreuungskosten
- Verkaufskosten
- Kosten für Garantieleistungen

Von den genannten Kosten dürften mit Ausnahme der Entwicklungs- und Ausbildungskosten alle recht gut überblickbar sein. Diese sind aber für Entwicklungsvorhaben, bei denen der Einsatz von Mikroprozessoren zum erstenmal vorgesehen ist, recht schwierig abzuschätzen, weil darin eine Menge verdeckter Kosten enthalten sein können und berücksichtigt werden müssen. Der Grund liegt darin, dass die Entwicklung von Mikrocomputersystemen im Vergleich zur herkömmlichen Technik etwas grundsätzlich Neues ist. Das Arbeiten mit Mikroprozessoren erfordert das Einrichten völlig neuer Arbeitsplätze mit computerkonformen Hilfsmitteln, den sog. Entwicklungshilfen. Weil die Entwicklungs- und Ausbildungskosten einerseits am schwierigsten abzuschätzen sind und anderseits den gesamten Entwicklungsaufwand entscheidend beeinflussen, wird im folgenden nur noch auf diese Kosten eingegangen.

3. Entwicklungsaufwand für Hardware und Software

Die Software nimmt dem Entwickler eine Menge Arbeiten ab, die bei der Hardware-Entwicklung mit herkömmlichen diskreten integrierten Schaltungen noch nötig waren, beispielsweise:

- Organisation der Logik
- Bau oder Anschaffung von Testgeräten zur Anzeige verschiedenster Funktionen
- Spezialeinrichtungen für die Diagnose bei fehlerhaftem Arbeiten der Schaltung
- Mühsame Fehlersuche
- Umentwicklung vom Prototyp zum Seriemuster (mit hoher Wahrscheinlichkeit, dass neue Fehler auftauchen)
- komplizierte und umfangreiche Beschreibung zwecks Dokumentation

Diese Tätigkeiten haben die Entwicklungsingenieure schon vor langem dazu veranlasst, zuoberst auf ihrer Wunschliste Methoden aufzuführen, die eine kompaktere Bauweise und eine vereinfachte Fehlersuche erlauben. Die Mikroprozessoren kommen diesen Wünschen weitgehend entgegen. Aber die auf ein komfortables Mass reduzierte Hardware-Entwicklung verlangt einen erheblichen Aufwand für die Software-Entwicklung, die ein Mehrfaches der Hardware-Entwicklung betragen kann. Dabei ist es sehr schwierig, Vergleiche zwischen dem Gesamt-Entwicklungsaufwand für festverdrahtete Logik und für ein Mikroprozessorsystem als deren Ersatz anzustellen. Konsultiert man die einschlägige Literatur, so stellt man fest, dass Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen praktisch nur von Herstellern von Mikroprozessoren erhältlich sind. Diese sind erwartungsgemäss optimistisch zugunsten ihrer Produkte. So behauptet beispielsweise eine Firma, dass die Gesamtentwicklungszeit, also die Entwicklungszeit für Hardware und Software, für ein Mikrocomputersystem nur ca. 20...30 % von dem beträgt, was für die Entwicklung einer vergleichbaren festverdrahteten Logikschaltung erforderlich ist.

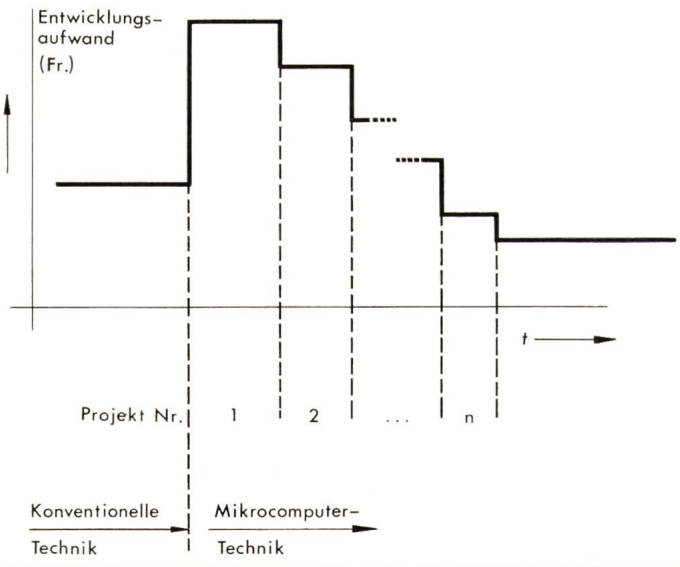

Fig. 2 Veränderung des Entwicklungsaufwandes für ein Mikroprozessorprojekt mit zunehmender Erfahrung

Es kann zwar angenommen werden, dass diese Angaben richtig sind. Nur muss man sich im klaren sein, dass dabei stillschweigend von der Voraussetzung ausgegangen wird, dass sowohl die Hardware- als auch die Software-Entwicklung von äusserst routinierten Spezialisten ausgeführt werden und dass für die Software-Entwicklung umfangreiche und mit hohen Investitionen verbundene Entwicklungshilfen zur Verfügung stehen, die ein sehr speditives Arbeiten ermöglichen.

Es kann angenommen werden, dass in wenigen Jahren der Umgang mit Mikroprozessoren eine Selbstverständlichkeit sein wird, so wie heute der Umgang mit den üblichen Halbleitern. In der Zwischenzeit kann aber die Umstellung auf die neue Technologie erhebliche Anpassungsschwierigkeiten bereiten. Besonders drastisch macht sich dies bei Entwicklungsingenieuren bemerkbar, die früher digitale Schaltungskreise entwickelt haben, die nun aber gezwungen sind, ihre Arbeitsweise auf die neue Technologie umzustellen.

Der ursprüngliche Hardware-Entwickler muss gezwungenermassen vermehrt Software-Entwicklungsarbeit leisten. Dieser Umstellungsprozess wird zweifellos dazu führen, dass der Entwicklungsaufwand im Vergleich zur herkömmlichen Technik vorübergehend ansteigt (Fig. 2). Erst im Laufe der Zeit wird der Entwicklungsaufwand auf einen Wert absinken, wie er in der Literatur prognostiziert und als Vorteil der Mikroprozessortechnik hervorgehoben wird.

4. Verdeckte Kosten

4.1 Hardware-Entwicklung

Bei der Hardware-Entwicklung bestehen vor allem die folgenden Gründe für verdeckte Kosten:

Bei einem geplanten Einsatz eines Mikrocomputersystems kommt eine ganze Reihe von neuen Bausteinen, und zwar in der Regel äusserst komplexe, zur Anwendung. Der Entwickler muss vorerst einmal alle kennenlernen, wobei der Mikroprozessor aber nur einer unter mehreren Bausteinen ist. Wenn in der Literatur die Eigenschaft des Mikroprozessors, einige Dutzend herkömmliche integrierte Schaltungen zu ersetzen, als Vorteil gepriesen wird, so kann man sich gleichzeitig ein Bild von dessen Komplexität machen. Bis der Entwickler sich darin auskennt, braucht er eine gewisse Zeit. Ganz ähnlich verhält es sich mit den anderen Bausteinen wie Programmspeicher, Datenspeicher, Ein-/Ausgabe-Einheiten usw., ohne die ein Mikroprozessor zu nichts taugt.

Die neue Technologie verlangt neuartige Entwicklungshilfen für die Hardware und Software, die eigens für das Arbeiten mit Mikroprozessoren entwickelt wurden. Auch hier ist wieder Zeit erforderlich, bis der Entwickler sich vollständig auskennt. Immerhin kann festgestellt werden, dass man für die eigentliche Hardware-Entwicklung in der Regel mit den herkömmlichen Laborgeräten auskommen kann.

4.2 Software-Entwicklung

Wie bereits erwähnt, wird ein beträchtlicher Aufwand für die Software-Entwicklung erforderlich sein; ferner muss der frühere Hardware-Entwickler zuerst das Programmieren erlernen. Dies bedeutet, dass er vorerst mit zusätzlichen Studienaufgaben vom effektiven Entwickeln abgehalten wird. Daraus folgernd kann man erkennen, dass jeder Entwickler eine Ausbildungsphase durchmachen muss, deren Länge stark von der Eignung jedes einzelnen abhängt, selbst dann, wenn der betreffende Entwickler sich vorher ausschliesslich mit der Entwicklung von herkömmlichen digitalen Schaltungen befasst und sich einen hohen Stand an technischem Wissen und Können in der klassischen Digitaltechnik erworben hat.

Der Zeitaufwand für die Ausbildung ist aber nur ein Aspekt. Ein weiteres Problem besteht darin, den Entwicklungsaufwand vor Inangriffnahme eines Mikroprozessorsystems abzuschätzen. Die Gefahr, dass ein Entwickler mit wenig Erfahrung im Umgang mit Mikroprozessoren den Software-Aufwand zu wenig überblickt und deshalb unterschätzt, ist sehr gross.

Neuerdings gibt es einige Ausbildungsstätten, die Ingenieure in einem neuen Lehrfach, der sog. Informatik, ausbilden. Die Absolventen haben bereits eine beachtliche Erfahrung im Umgang mit Computern, zum Teil auch mit Mikrocomputern, und bringen eine recht gute Grundausbildung mit. Ihre Ausbildungszeit kann als Vergleich herangezogen werden, um abzuschätzen, in welcher Grössenordnung sich der Ausbildungsaufwand für einen klassischen Hardware-Entwickler bewegt.

So kommt beispielsweise ein Informatik-Absolvent während seiner sechssemestrigen Ausbildung auf ca. 800 Stunden für Vorlesungen und Übungen inklusive Semester- und Diplomarbeiten. Rechnet man mit mindestens dem gleichen Zeitaufwand für Hausaufgaben, so erhält man die stattliche Zahl von rund 1600 bis 1800 Stunden, was ungefähr einem Mannjahr Arbeitszeit entspricht! Der Entwicklungsingenieur, der für das Programmieren eines Mikroprozessors vorgesehen ist, sollte daher mindestens über die Erfahrung verfügen, die ein Informatik-Absolvent mitbringt, um einigermassen speditiv arbeiten zu können. Dies bedeutet, dass er keinesfalls als routinierter Programmierer betrachtet werden kann, solange er sich nicht während mindestens einem Jahr ausschliesslich mit Computern befasst hat!

	Konfiguration					
	A	B	C	D	E	F
Teletype (inkl. PTR + PTP)	•	•	•	•		
Hilfscomputer	•	•	•	•	•	•
Programmiergerät	•	•	•	•	•	•
Lochstreifenleser (PTR)		•	•	•	•	•
Bildschirmgerät			•	•	•	•
Lochstreifenstanzer (PTP)				•	•	•
Zeilendrucker					•	•
Scheibenspeicher						•

Fig. 3 Verschiedene Konfigurationen von Entwicklungshilfen für Mikroprozessor-Projekte

4.3 Entwicklungshilfen für Software und Hardware

Eine der Schwierigkeiten bei Mikroprozessoren besteht darin, dass man mit ihnen nicht direkt verkehren kann. Aus diesem Grunde werden eine ganze Reihe von Entwicklungshilfen angeboten, die ein unterschiedlich komfortables Arbeiten mit den Mikroprozessoren erlauben. Diese Entwicklungshilfen stellen eine weitere Quelle verdeckter Kosten dar. Die Hauptaufgaben der Entwicklungshilfen bestehen in folgenden Punkten:

- das softwaremässige Erstellen und Austesten von Programmen für den Mikroprozessor
- das Austesten der Hardware-Schaltung mit Hilfe der erstellten Software
- das Austesten der Software mit Hilfe der Hardware
- die Implementierung der Software in die programmierbaren Festwertspeicher, die schlussendlich das ganze Mikrocomputersystem steuern sollen.

Zur Grund- oder Minimalausrüstung, die gleichzeitig auch die billigste ist, gehören beispielsweise (Fig. 3, Konfiguration A):

- ein Teletype mit Lochstreifenleser und Lochstreifenstanzer für die Eingabe von Programmdaten, den Ausdruck von Programmlisten, das Einlesen von Hilfsprogrammen ab Lochstreifen sowie das Erstellen von Lochstreifen für die Weiterverarbeitung
- ein Hilfscomputer (z. B. Intellec MDS für den INTEL 8080 Mikrocomputer)
- ein Programmiergerät für das Programmieren des Festwertspeichers (PROM), der die Funktionen des Mikroprozessors steuert.

Im Laufe einer Software-Entwicklung wird es aus verschiedenen Gründen kaum je vorkommen, dass das Ziel im ersten Anlauf erreicht wird. Vielmehr handelt es sich meist um eine mühsame Folge von Iterationen, d. h. um zahlreiche Wiederholungen von Operationen, wie Programmkorrekturen eingeben, Listen drucken, Lochstreifen lesen und Lochstreifen stanzen. Das bedeutet, dass die Geschwindigkeiten dieser elektromechanischen Geräte bezüglich Zeitbedarf sehr stark ins Gewicht fallen. Beispielsweise ist die Geschwindigkeit bei einem Teletype auf 10 Zeichen pro Sekunde beschränkt, sowohl für die Eingabe als auch für die Ausgabe von Daten im Verkehr mit dem Hilfscomputer. Praktisch heisst das, dass typische Werte für das Einlesen von Hilfsprogrammen, beispielsweise beim Intel 8080 Mikroprozessor, in den folgenden Grössenordnungen liegen:

– EDITOR-Programm (für die Programmerstellung)	ca. 15 min
– ASSEMBLER-Programm (für die Umwandlung der codierten Instruktionen in Maschinensprache)	ca. 45 min
– TEST-Programm (für das Austesten der Hardware)	bis zu ca. 60 min

Um den Speicherbedarf im Hilfscomputer aus Kostengründen nicht übermässig ansteigen zu lassen, können diese Hilfsprogramme nicht gleichzeitig im Speicher untergebracht

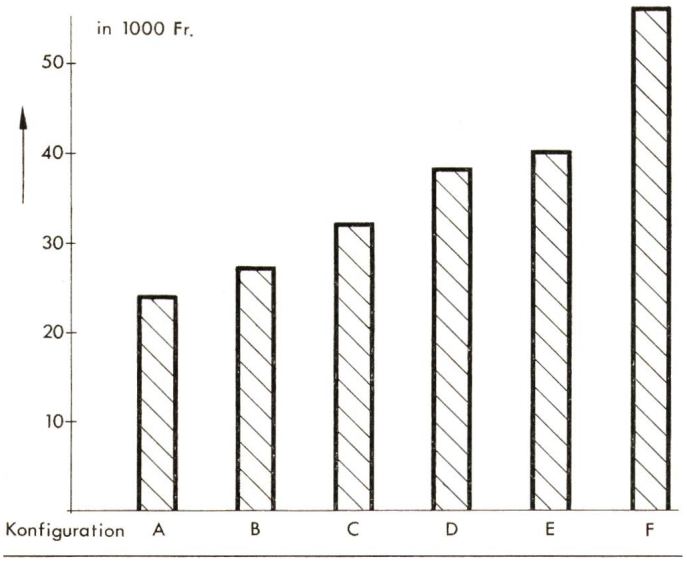

Fig. 4 Kosten für Entwicklungshilfen in Funktion der Konfiguration

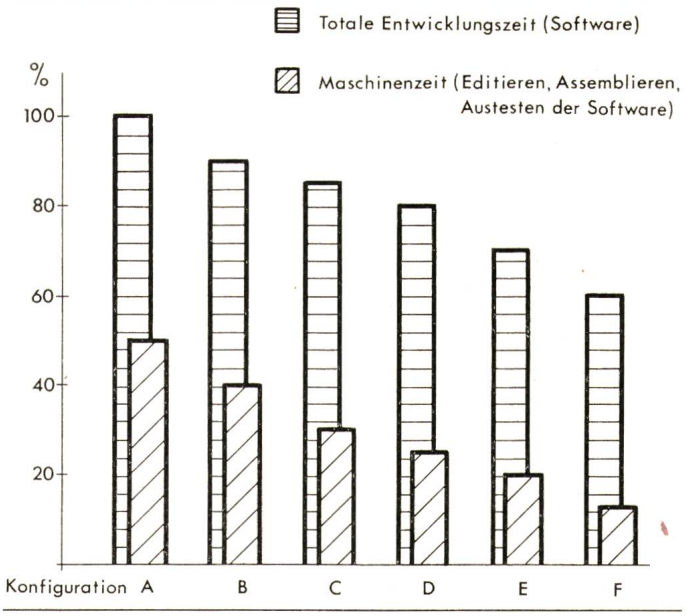

Fig. 5 Software-Entwicklungszeit in Abhängigkeit der Konfiguration

werden. Dies bedeutet, dass das jeweils benötigte Hilfsprogramm je nach Geschicklichkeit des Programmierers mit entsprechendem Zeitaufwand in den Hilfscomputer geladen werden muss. Der Programmierer wird also sehr bald die Software-Entwicklung zu beschleunigen versuchen.

Eine wesentliche zeitliche Einsparung ist mit einem schnellen Lochstreifenleser erzielbar (Fig. 3, Konf. B). Die Geschwindigkeit solcher Geräte beträgt 200...300 Zeichen pro Sekunde und liegt um einen Faktor 20...30 höher als beim Teletype.

Ein weiterer Schritt zur Abkürzung der Entwicklungszeit dürfte ein Bildschirmgerät anstelle des Teletype-Gerätes sein (Konf. C). Damit lässt sich die Geschwindigkeit für die Anzeige von Daten um den Faktor 100 erhöhen. Zudem arbeitet dieses Gerät geräuschlos. Das zeitraubende Stanzen von Lochstreifen kann mit einem schnellen Lochstreifenstanzer ebenfalls wesentlich beschleunigt werden (Konf. D).

Damit auch das Ausdrucken von Listen beschleunigt wird, schafft man sich einen Zeilendrucker an, der bis zu 20mal schneller arbeitet als der Teletype, womit letzterer ersetzt werden kann (Konf. E). Um auch auf das ständige Umwechseln beim Laden der Hilfsprogramme in den Hilfscomputer verzichten zu können, sind Lieferanten gerne bereit, auch diesen Wunsch dank Scheibenspeicher zu erfüllen, worunter die Floppy Disc Speicher bereits für einen Preis von ca. 16 000 Franken zu haben sind (Konf. F).

Fig. 4 zeigt typische Anschaffungskosten für die erwähnten Konfigurationen von Entwicklungshilfen. Aus Fig. 5 sind die mutmasslichen Einsparungen für die totale Entwicklungszeit in Funktion der gewählten Konfiguration ersichtlich. Man sieht aus dieser Abschätzung deutlich, dass beachtliche Gewinne bei der sog. Maschinenzeit erzielbar sind, d. h. bei jener Zeit, während der der Programmierer sich mit den verschiedenen Programmierhilfen befasst. Die effektive Programmierungszeit dagegen bleibt bei sämtlichen Konfigurationen konstant.

Ein Wort noch zu grösseren Rechenanlagen: Diese können weitgehend für die Programmherstellung herangezogen werden. Man wird aber auf keinen Fall grössere Anlagen oder sogar Grosscomputer für das ausschliessliche Arbeiten mit Mikroprozessoren beschaffen, sondern diese benützen, wenn sie schon vorhanden sind. Mit diesen relativ teuren Anlagen können die Zeiten für das Erstellen von Programmen (Editieren, Assemblieren, Programm austesten) meist mit Erfolg herabgesetzt werden. Sie gestatten aber den Verkehr mit dem Mikroprozessor nicht und ersetzen somit die übrigen Entwicklungshilfen nicht.

5. Schlussfolgerung

Die Mikroprozessoren dürfen sicher als ausserordentlich interessante Bauelemente betrachtet werden und werden in wenigen Jahren eine Selbstverständlichkeit sein. Es wird aber zumindest in naher Zukunft für viele Gerätehersteller, die vor der Entscheidung stehen, diese neue Technologie zu übernehmen, sehr schwierig sein, die vielen angepriesenen Vorteile kurzfristig vollumfänglich auszunützen. Vor allem dürfte das Ausbildungsproblem des Entwicklungspersonals die Wirtschaftlichkeit der Mikroprozessoren stark beeinflussen.

Adresse des Autors

C. Corbella, dipl. El.-Ing. ETHZ, Zellweger Uster AG, Telecommunication Technik, 8634 Hombrechtikon.