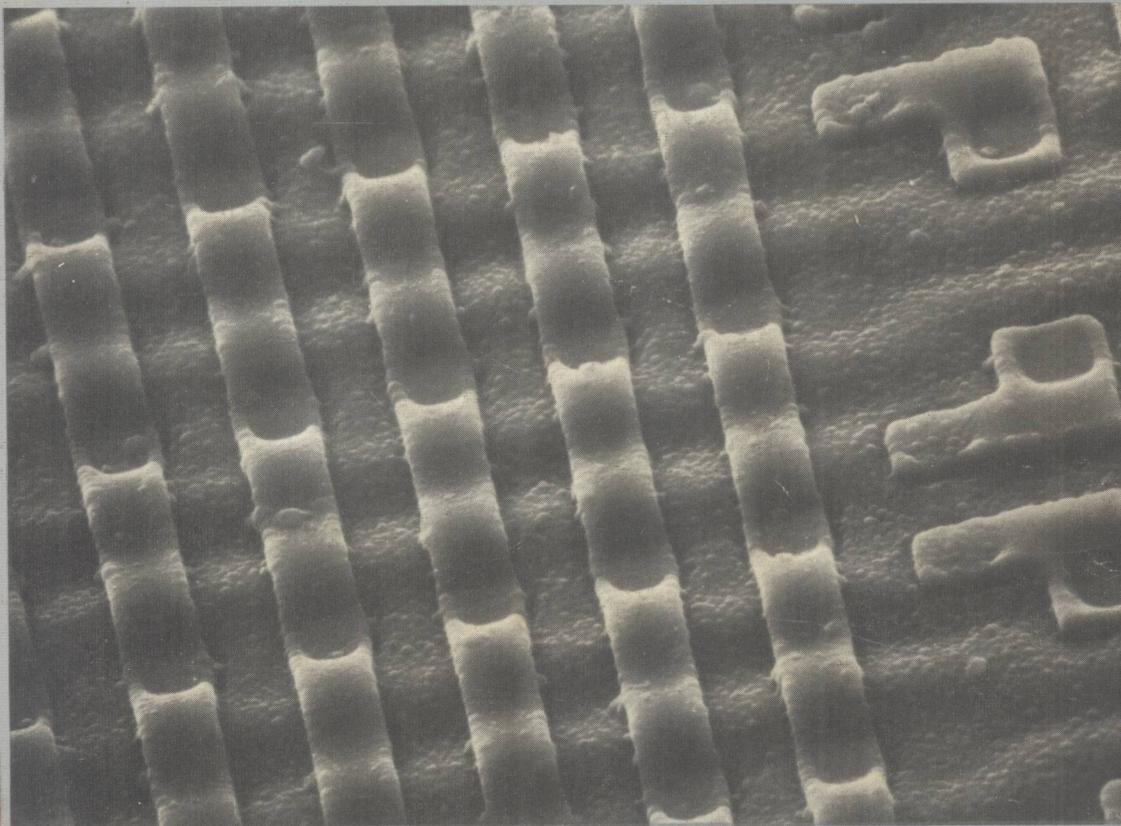


8462372

# Mikroelektronik Information Gesellschaft

Herausgegeben von  
H. Niemann D. Seitzer H. W. Schübler



Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo

TW4  
NI

8462372

# Mikroelektronik Information Gesellschaft

Herausgegeben von

H. Niemann D. Seitzer H. W. Schüßler



E8462372

Mit 80 Abbildungen



Springer-Verlag

Berlin Heidelberg New York Tokyo 1983

Professor Dr.-Ing. Heinrich Niemann  
Lehrstuhl für Informatik 5 (Mustererkennung)  
der Universität Erlangen-Nürnberg  
Martensstraße 3, 8520 Erlangen

Professor Dr.-Ing. Dieter Seitzer  
Lehrstuhl für Technische Elektronik  
der Universität Erlangen-Nürnberg  
Cauerstraße 9, 8520 Erlangen

Professor Dr.-Ing. Hans Wilhelm Schübler  
Lehrstuhl für Nachrichtentechnik  
der Universität Erlangen-Nürnberg  
Cauerstraße 7, 8520 Erlangen

ISBN 3-540-12359-8 Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg New York Tokyo  
ISBN 0-387-12359-8 Springer-Verlag  
New York Heidelberg Berlin Tokyo

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek  
Mikroelektronik, Information, Gesellschaft/hrsg. von H. Niemann .... –  
Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: Springer, 1983.  
(Informationstechnik und Datenverarbeitung)  
ISBN 3-540-12359-8 (Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo)  
ISBN 0-387-12359-8 (New York, Heidelberg, Berlin, Tokyo)  
NE: Niemann, Heinrich [Hrsg.]

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten  
Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Ent-  
nahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photo-  
mechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenver-  
arbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung,  
vorbehalten. Die Vergütungsansprüche des § 54, Abs. 2 UrhG werden  
durch die „Verwertungsgesellschaft Wort“, München, wahrgenommen.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1983  
Printed in Germany

Druck und Bindearbeiten: Beltz Offsetdruck, Hemsbach/Bergstr.  
2145/3140-543210

---

# Informationstechnik und Datenverarbeitung

In dieser Fachbuchreihe werden Themen behandelt, die den DV-Praktiker ansprechen, also Fragen der Programmierung und des Einsatzes von Rechnern. Darüber hinaus werden aber auch Themen aus dem weiteren Umfeld der Informatik behandelt. Ziel der Reihe ist es, neue Entwicklungen der Informatik aufzuzeigen und dem Praktiker nützliche Hilfen für deren Einsatz zu geben.

M. M. Botvinnik

## Meine neuen Ideen zur Schachprogrammierung

Übersetzt aus dem Russischen  
von A. Zimmermann

1982. 42 Abbildungen. X, 177 Seiten  
DM 48,-  
ISBN 3-540-11094-1

In diesem Buch wird erstmals umfassend und aktuell die Arbeit des Ex-Schachweltmeisters und Mathematikers M. M. Botvinnik an den Grundlagen und der Realisierung eines Computerschachprogramms vorgestellt. Aus dieser Arbeit entstand das Schachprogramm PIONIER, dessen zugrundeliegende Spielkonzeption sich völlig von allen bisher bekannten Lösungsansätzen der Schachprogrammierung unterscheidet. Der intellektuelle Streit entzündet sich an der Fragestellung, ob vorrangig Schnelligkeit, Speichergröße und Zuverlässigkeit von Rechnern auszunutzen seien, oder, wie Botvinnik vorschlägt, die Modellierung menschlicher Denkweisen beim Schachspiel angestrebt werden soll. Mit dieser Arbeit wendet sich Prof. Botvinnik an alle Leser, die sich für Probleme der Steuerung und Planung komplexer Systeme und für das Problem der Schachprogrammierung im besonderen interessieren.

**Inhaltsübersicht:** Grundlagen der Theorie. - Verfahren zur Beschränkung des Spielbaumes. - Die Suche nach einer Lösung. - Das Schachspiel als Beispiel für eine Problemlösung. - Drei Studien im Experiment. - Die zweiten Weltmeisterschaften im Computerschach. - Anhang 1: Die Spielzonen. - Anhang 2: Die Positionsbewertung. - Anhang 3: Die Endspielbibliothek des Programms „PIONIER“. - Anhang 4: Assoziative Bibliothek der Positionsfragmente. - Anhang 5: Terminologisches Wörterverzeichnis. - Literatur. - Nachtrag.

K. L. Bowles

## Pascal für Microcomputer

Übersetzt aus dem Englischen von A. Kleine

1982. 107 Abbildungen. IX, 595 Seiten  
DM 49,-  
ISBN 3-540-11391-6

Das vorliegende Buch gibt eine Einführung in die Programmiersprache Pascal. Dem Lernenden wird anhand von Beispielen und Übungsaufgaben gezeigt, wie er sich dieser Programmiersprache bedienen kann, um damit konkrete Probleme zu lösen. Das Buch basiert auf einem Pascal-Einführungskurs, den der Autor mit großem Erfolg über Jahre hinweg an der Universität von Kalifornien in San Diego durchgeführt hat. Es eignet sich sowohl für den Einsatz im Unterricht an Schulen und Universitäten als auch für das Selbststudium, da sich das zugrundeliegende UCSD-Pascal-System bereits auf einer ganzen Reihe von Mikrorechnern einsetzen läßt.

**Inhaltsübersicht:** Einführung. - Der erste Anfang. - Prozeduren und Variable. - Steuerung des Programmflusses, Wiederholung. - Mehr über Prozeduren. - Arbeiten mit Zahlen. - Verarbeitung komplexer Programmstrukturen. - Dateneingabe. - Grunddatenstrukturen - I. Felder. - Grunddatenstrukturen - II. Mengen. - Grunddatenstrukturen - III. Verbunde. - Die GOTO-Anweisung. - Formatierte Ausgabe. - Suchvorgang. - Sortiervorgang - I. Einfache Algorithmen. - Sortiervorgang - II. Schnell-Sortierung (QUICKSORT). - Anhang A: Unterschiede zwischen UCSD-PASCAL und Standard-PASCAL. - Anhang B: Glossar der Fachausdrücke. - Anhang C: Eingebaute Prozeduren und Funktionen. - Anhang D: Index. - Anhang E: Syntax-Diagramme.



Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo

---

W. Dvus, J. Gulbins

## CAD-Systeme

Hardwareaufbau und Einsatz

1983. 41 Abbildungen. IX, 107 Seiten

DM 49,-

ISBN 3-540-11759-8

Thema dieses Buches sind CAD-Systeme mit ihren Komponenten, ihren Einsatzgebieten und technischen Problemen. Das Buch versucht darüber hinaus, eine Trendaussage für die technologische Entwicklung des CAD in den Jahren 83 bis 88 zu machen. Zu den einzelnen Komponenten werden Aufbau, Anwendung, Leistungsdaten und der Preisbereich genannt. Es werden die unterschiedlichen Systemkonfigurationen vorgestellt und diskutiert. Die Einsatzbereiche von CAD werden unter dem Aspekt der Fähigkeiten heutiger Rechner betrachtet und an einigen Beispielen demonstriert. Basierend auf einer umfangreichen Herstellerumfrage wird ein Überblick zur Entwicklung bei CAD-Systemen in Deutschland gegeben. Das Buch wendet sich an jenen Personenkreis, der sich ohne spezielle EDV-Kenntnisse mit dem Einsatz von CAD-Systemen befassen muß. Während dem potentiellen Anwender der Hintergrund zum „Black-Box-CAD-System“ geliefert wird, stehen auch Informationen und Hilfen zur Verfügung, wie sie bei der Auswahl und Beschaffung von CAD-Systemen nützlich sind. Hierzu gehören Preise, Leistungsdaten und Überlegungen zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Durch die systematische Zusammenstellung der Daten zu den Rechnerkomponenten, kann das Werk durchaus auch EDV-Spezialisten eine Hilfe sein.

W. Kilian

## Personalinformationssysteme in deutschen Großunternehmen

Ausbaustand und Rechtsprobleme

Unter Mitarbeit von T. Heissner,  
B. Maschmann-Schulz

1982. XV, 352 Seiten

DM 42,-

ISBN 3-540-11136-0

(Die Erstausgabe erschien in der Reihe „Informatik-Fachberichte“, Band 42, 1981)

**Inhaltsübersicht:** Projektbeschreibung. - Allgemeine Beschreibung existierender Personalinformationssysteme in Großunternehmen. - Theoretisches Konzept zur Bewertung von Personalinformationen. - Informationsflüsse. - Arbeitsmedizinisches System. - Datenprofile. - Betriebsjustiz. - Leiharbeiternehmer. - Beteiligung des Arbeitnehmers an der Verarbeitung von Personaldaten. - Beteiligung des Betriebsrats an der Verarbeitung von Personaldaten. - Betriebsvereinbarungen. - Betrieblicher Datenschutzbeauftragter. - Datensicherung. - Qualitative Änderungen durch Personal-

informationssysteme. - Zusammenfassung und Vorschläge. - Summary. - Anhang A: Liste der 220 umsatzstärksten Unternehmen aus den Bereichen Industrie, Handel und Dienstleistungen, die der Untersuchung zugrundegelegt wurde. - Anhang B: Betriebsvereinbarungen, Musterbetriebsvereinbarungen, Tarifverträge und Gewerkschaftsbeschlüsse. - Literaturverzeichnis.

J. Kwiatkowski, B. Arndt

## BASIC

Eine Einführung in 10 Lektionen mit zahlreichen Programmbeispielen, 95 Übungsaufgaben und deren vollständigen Lösungen

1983. 25 Abbildungen. XI, 179 Seiten

DM 39,-

ISBN 3-540-11905-1

Dieses Buch führt den Leser in die Programmiersprache BASIC ein. Bei konsequentem Durcharbeiten der 10 Lektionen, die übersichtlich in Lernziel, Darstellung des Stoffes, Zusammenfassung und Übungsaufgaben gegliedert sind, kann auch der Leser ohne Vorkenntnisse innerhalb kurzer Zeit die Grundelemente von BASIC lernen. Das Buch ist besonders zum Selbststudium geeignet, da der Leser den gelernten Stoff anhand der Übungsaufgaben, deren vollständige Lösung im Anhang angegeben wird, überprüfen kann. Die mathematischen Voraussetzungen sind sehr gering gehalten. BASIC ist eine weltweit verbreitete Sprache, die sich sowohl für die Lösung technischer als auch kommerzieller Probleme eignet.

**Inhaltsübersicht:** Einführung. - BASIC-Grundelemente. - Ein- und Ausgabeanweisungen. - Unterprogramme I. - Steueranweisungen. - Schleifenanweisung. - Felder/Indizierte Variable. - Unterprogramme II. - Zeichenketten (STRINGS). - Dateien. - Anhang 1: BASIC-Anweisungen. - Anhang 2: BASIC-Operatoren. - Anhang 3: BASIC-Standardfunktionen. - Anhang 4: Kleines Wörterbuch für EDV-Fachausdrücke. - Anhang 5: Lösungen der Übungsaufgaben. - Literaturverzeichnis. - Sachverzeichnis.

Springer-Verlag  
Berlin  
Heidelberg  
New York  
Tokyo



## Vorwort der Herausgeber

Die Mikroelektronik wird als Schlüsseltechnologie bezeichnet. Sie ist Medium der Informationsverarbeitung, die auf vielen Wegen das Bild unserer Gesellschaft heute und in Zukunft entscheidend bestimmen, ja verändern wird. Die Mikroelektronik ist eine der wenigen, wenn nicht die einzige Technologie, der noch das Potential für immense weitere Fortschritte in Richtung vermehrter Leistungsfähigkeit und starker Verbilligung innewohnt. Der hiervon ausgehende Sog auf die technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung ist der Anlaß für die Herausgabe dieses Buches, in dem namhafte Fachleute von ihrem Standpunkt aus wesentliche Teilaspekte des gesamten Szenarios beleuchtet haben, um so zu einer Versachlichung der oft emotionell in der Öffentlichkeit geführten Diskussion beizutragen. Die hieraus resultierende Bestandsaufnahme wird hiermit einer breiten Öffentlichkeit zur Diskussion zur Verfügung gestellt. Es liegt in der Natur der Fachorientierung der Herausgeber und der Autoren, daß dabei technische und wirtschaftliche Fragen im Vordergrund stehen.

Die Reihe wird von Prof. Dr. O. G. Folberth mit dem Thema „Technische Möglichkeiten und Grenzen der Großintegration“ eröffnet. Der Autor ist als Verfasser entsprechender Fachveröffentlichungen, als gegenwärtiger Leiter der Komponententechnologie im Bereich Entwicklung und Forschung der IBM Deutschland, als IBM Fellow und als Mitglied nationaler und internationaler Fachgremien für das Thema besonders qualifiziert. So werden die Möglichkeiten in der Materialverbesserung und Bearbeitung ebenso aufgezeigt wie harte physikalische und eher weiche, d. h. verschiebbare technisch-wirtschaftliche Grenzen. Bei jeder neuen Stufe der Miniaturisierung treten Phänomene auf, die vorher entweder nicht bekannt waren oder einfach vernachlässigt wurden. Die derzeitige Entwicklung wird sich mindestens bis zur Jahrtausendwende fortsetzen, bevor geometrische, thermische und Laufzeitgrenzen erhebliche Bremswirkung entfalten.

Dr. H. Weinerth, Leiter des Hauptbereichs „Technik“ der Fa. Valvo, Unternehmensbereich Bauelemente der Philips GmbH und Vorsitzender des Fachausschusses „Großintegration“ der Nachrichtentechnischen Gesellschaft, behandelt das Thema „Auswirkungen der Großintegration auf die Industrie“. Das gemeinsame Medium Mikroelektronik wird zu einer Verschmelzung von Telekommunikation und Datentechnik führen und vermehrt in nichtelektronische Anwendungsgebiete, wie z. B. die Mechanik, eindringen. Neue Möglichkeiten der Dezentralisierung und zeitlichen Entkopplung von Arbeitsvorgängen bieten die Chance für bessere Mensch/Maschine-Schnittstellen. Damit verbunden sind Veränderungen der Arbeitsplatzgestaltung und neue Anforderungsprofile für die Ausbildung.

Prof. Dr. H.-J. Warnecke, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung, zeigt auf, welche Auswirkungen die Mikroelektronik und die von ihr ermöglichten Automatisierungsmaßnahmen auf die industrielle Fertigung haben. Es eröffnen sich neue und zur Erhaltung der Konkurrenzfähigkeit dringend erforderliche Möglichkeiten zur Steigerung der industriellen Produktivität, die allerdings noch in weit stärkerem Maße genutzt werden könnten als bisher. Wichtig ist eine Integration der Datenverarbeitung in den Produktionsprozeß, um Daten nur einmal zu erfassen und zentral darauf zugreifen zu können. Eine solche Entwicklung bleibt nicht ohne Folgen für die Arbeitsplätze, die in ihren Anforderungen verändert werden.

Die künftig geplanten neuen Dienste der Bundespost erläutert Dipl.-Ing. H. Kunze, Abteilungspräsident beim Fernmeldetechnischen Zentralamt in Darmstadt. Auch diese werden durch verbilligte Produktion hochintegrierter Schaltungen erst wirtschaftlich einsetzbar. Zu den neuen Diensten zählen das Bürofern schreiben, das unter dem Namen Teletex eingeführt wurde und die Übermittlung von Textseiten von Büro zu Büro ermöglicht, und der Bildschirmtext, mit dem über Telefonleitungen die Benutzer Zugang zu zentralen Informationssystemen erhalten und individuell Nachrichten abfragen und auf ihren Bildschirmen sichtbar machen können.

Eine auf umfangreichen Befragungen und Literaturanalysen beruhende Untersuchung stellt Prof. Dr. P. Mertens vor, in der es um die Frage geht, welche Vor- und Nachteile die Einführung der Datenverarbeitung in den Betrieben bringt. Der Autor beschäftigt sich als Leiter eines Lehrstuhls für Betriebswirtschaftslehre und einer Forschungsgruppe für Computergestützte Informations- und Planungssysteme sowie als Mitglied verschiedener Fachgremien seit langem mit Fragen der Informationsverarbeitung. Sein Beitrag ent-

hält eine gründliche Studie zahlreicher Einzelfragen und ist ein wichtiger Schritt zu einer fundierten und durch Zahlen untermauerten Analyse.

Dipl.-Volkswirt H. Hinz, Mitglied der Wirtschaftsabteilung beim Vorstand der IG Metall und Leiter des Projektes „Innovations- und Technologieberatungsstelle“ befaßt sich mit den Auswirkungen der Mikroelektronik auf die Arbeitsplätze. Die ernste Sorge um die Vernichtung von Arbeitsplätzen durch vorwiegend an Kostensenkung orientierten Rationalisierungsmaßnahmen bringt die Gewerkschaften dazu, eine Innovationsstrategie zu verfolgen, die über ein qualitatives Wachstum, innovierende Aktivitäten und kooperative Nutzung des „Know-how“ der Unternehmer und des Erfahrungsschatzes der Arbeitnehmer Arbeitsplätze und Wohlstand strukturell und damit auf Dauer sichert. Forschung, Technologie und lebenslanges Lernen sollen sich auf breiter Front sinnvoll ergänzen.

Prof. Dr. K. Steinbuch gehört zu den international bekannten Pionieren auf dem Gebiet der Informatik und ist einer breiten Öffentlichkeit durch seine Bücher bekannt. Er zeigt den grundsätzlichen Mangel an philosophischer Durchdringung des Begriffs Information auf; eine solche müßte sich daran orientieren, daß ein Mensch nur begrenzte Informationsmengen aufnehmen, behalten und verarbeiten kann. Die technische Entwicklung ist hier der geistigen Auseinandersetzung vorausgeeilt. Das hat weitreichende Konsequenzen, die bis in alltägliche Probleme des Austausches von Information zwischen Produzenten und Konsumenten hineinreichen. Dabei ist, wie der erste Beitrag deutlich macht, die technische Entwicklung noch lange nicht zu Ende.

Dipl.-Phys. U. Thomas, Leiter der Unterabteilung für Informations- und Produktionstechnik sowie Innovationsförderung im Bundesministerium für Forschung und Technologie, hat sich das Thema „Technologie, Politik und Innovation“ vorgenommen. Hierbei kommt die strategische Bedeutung der Informationstechnik bezüglich der Exportkraft der deutschen Wirtschaft zum Ausdruck. Der Löwenanteil des Exports entfällt auf den Bereich der Investitionsgüterindustrie, die z. Zt. einen Innovationsschub durch die Informationstechnik erfährt. Im notwendigen Konsensprozeß über Schwerpunkte für weitere Maßnahmen sind technologische Zielsetzungen zu ergänzen durch flankierende Planungen im Bildungswesen und die Schaffung günstiger Bedingungen für Unternehmensgründungen.

Den Schluß bildet der Beitrag von Dr. E. Hofmeister, Siemens AG, dem die Forschungs- und Entwicklungsplanung sowie Koordinierung im Unternehmensbereich Bauele-

mente und die Wahrnehmung der Öffentlichkeitsarbeit auf dem Gebiet der Mikroelektronik übertragen ist. Sein Thema „Wirtschaftsfaktor Mikroelektronik – nationale und internationale Aspekte“ erweitert den Gesichtskreis auf internationale Perspektiven, wo sich Vergleiche zwischen Europa, USA und Japan nahelegen: Die USA erwirtschaften  $\frac{1}{3}$  des Bruttosozialprodukts (BSP) aller westlichen Länder, verbrauchen aber die Hälfte der Mikroelektronikproduktion, Japan erzeugt  $\frac{1}{8}$  des BSP und verbraucht  $\frac{1}{4}$  der Elektronikproduktion, Europa liegt mit  $\frac{1}{4}$  des BSP und  $\frac{1}{7}$  des Verbrauchs an Elektronik im Verhältnis der Werte am ungünstigsten. Da die Bundesrepublik auf Teilgebieten, z. B. der Mikroelektronikherstellungstechnologie, dem derzeitigen Weltstandard nahekommt, sollte das Gewicht verstärkt auf den vermehrten Einsatz der Elektronik gelegt werden. Aus den einzelnen Beiträgen resultiert eine Bestandsaufnahme, die als neutrale Orientierungshilfe für die Beobachtung, die Bewertung, ja selbst die einzuschlagenden Wege künftiger Weiterentwicklung dienen kann. Die in diesem Band zusammengefaßten Aufsätze sind schriftliche Versionen von Vorträgen, die von den Autoren im Rahmen einer Ringvorlesung an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg im Wintersemester 1981/82 gehalten wurden. Dem Universitätsbund Erlangen-Nürnberg sei an dieser Stelle herzlich gedankt, daß er diese Veranstaltung ermöglicht hat. Den Autoren wird für ihre Mitwirkung gedankt und für ihre zusätzliche Arbeit, die mit der Veröffentlichung verbunden war. Dem Springer-Verlag, vertreten durch Herrn G. Rossbach, gebührt unser Dank für die rasche Herausgabe und die sachkundige Hilfe bei der Gestaltung des Buches.

Erlangen, April 1983

H. Niemann  
D. Seitzer  
H. W. Schüssler

## Autorenverzeichnis

Professor Dr. O. G. Folberth  
IBM Deutschland GmbH, Entwicklung und Forschung,  
Schönaicher Straße 220, 7030 Böblingen

Dipl.-Volkswirt H. Hinz  
Industriegewerkschaft Metall, Vorstandsverwaltung,  
Postfach 11 1031, 6000 Frankfurt 11

Dr. E. Hofmeister  
Siemens AG, UB Bauelemente, Balanstraße 73,  
8000 München 80

Dipl.-Ing. H. Kunze  
Fernmeldetechnisches Zentralamt der Deutschen  
Bundespost, Postfach 5000, 6100 Darmstadt

Professor Dr. rer. pol. P. Mertens  
Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, Universität  
Erlangen-Nürnberg, Lange Gasse 20, 8500 Nürnberg

Professor Dr.-Ing. K. Steinbuch  
Adalbert Stifter-Straße 4, 7505 Ettlingen

Dipl.-Phys. U. Thomas  
Bundesministerium für Forschung und Technologie,  
Postfach 200706, 5300 Bonn 2

Professor Dr. H.-J. Warnecke  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung, Postfach 800469, 7000 Stuttgart 80

Dr.-Ing. H. Weinerth  
Valvo Hamburg, Burchardstraße 19, 2000 Hamburg 1

## Inhaltsverzeichnis

O. G. Folbert Technische Möglichkeiten und Grenzen der Großintegration. . . . .	1
H. Weinerth Auswirkungen der Großintegration auf die Industrie . .	22
H.-J. Warnecke Auswirkungen der Entwicklungen in der Mikroelektronik auf die Fertigungstechnik. . . .	53
H. Kunze Neue Text- und Datenkommunikationsdienste der Deutschen Bundespost auf der Basis neuer Technologien . . . . .	73
P. Mertens Nutzen und Schaden der elektronischen Datenverarbeitung . . . . .	97
H. Hinz Technischer Fortschritt im Zwielficht – Zur Technologie – und Innovationspolitik der Gewerkschaften. . . . .	122
K. Steinbuch Probleme der Informationsgesellschaft . . . . .	160
U. Thomas Technologie, Politik und Innovation. . . . .	180
E. Hofmeister Wirtschaftsfaktor Mikroelektronik – Nationale und Internationale Aspekte . . . . .	201

# Technische Möglichkeiten und Grenzen der Großintegration

O. G. Folberth

IBM Deutschland GmbH, Entwicklung und Forschung, Schönaicher Straße 220,  
7030 Böblingen

## 1. Einleitung

Integrierte Schaltungen, basierend auf der Silizium-Chip-Technologie, haben in den letzten 20 Jahren in einer fast beispiellos stürmischen technischen Entwicklung in unzähligen Anwendungen Fuß gefaßt und verbreiten sich unaufhörlich mit wachsender Geschwindigkeit in alle Winkel unserer Erde. Der Hauptmotor hierfür ist die ständig zunehmende Miniaturisierung der Bauelementefunktionen, die es gestattet, immer mehr Elemente auf immer weniger Siliziumfläche unterzubringen. Diese Steigerung der Integrationsdichte (Elemente/cm<sup>2</sup>), gekoppelt mit einer gleichlaufenden Steigerung des Integrationsgrades (Elemente/Chip), führte zu immer billigeren Funktionseinheiten und damit zu einer immer weiter um sich greifenden technisch-wirtschaftlichen Verwendung.

Hierfür war neben den Fortschritten bei der Miniaturisierung (durch jeweils verbesserte lithografische Methoden) auch eine Vergrößerung der Chips und neue Ideen für Bauelemente und Schaltungen von ausschlaggebender Bedeutung. Der Beitrag der Chipvergrößerung mag auf den ersten Blick trivial erscheinen: man könnte ja gleich größere Chips verwenden. So einfach ist es aber nicht, denn bei einer gegebenen Rate von Kristall- und Fabrikationsfehlern sinkt die Ausbeute mit steigender Chipgröße. Die Vergrößerung der Chips muß also einhergehen mit einer Absenkung der Fehler-rate. So gesehen war es durchaus sinnvoll, die Entwicklung mit kleinen Chips zu beginnen (etwa 4 mm<sup>2</sup>) und sie auf heute übliche Größen von etwa 50 mm<sup>2</sup> zu steigern.

Der dritte wesentliche Beitrag zur Steigerung des Integrationsgrades, nämlich neue Ideen für Bauelemente und Schaltungen ist schwerlich in wenige Worte zu fassen, da es sich hierbei um eine Vielzahl von größeren und kleineren Verbesserungen handelt. Nur zur Illustration seien zwei der größeren Verbesserungen erwähnt:

- Der Ersatz von statischen Schaltungen durch dynamische Schaltungen. Dieses hat insbesondere bei Speichern zu einer wesentlichen Erhöhung der Integrationsdichte und zu einer Kostensenkung geführt. (Abb. 1) [1]
- Die ausgiebige Verwendung der Superintegration, bei der möglichst viele Funktionen auf möglichst geringer Fläche untergebracht werden. Dabei geht die Individualität der einzelnen Elemente weitgehend verloren und vielfach wird hierbei auch die dritte Dimension, z.B. durch das Aufbringen von Polysiliziumschichten flächensparend verwendet.

Insgesamt ließ sich so der Integrationsgrad für produktionsreife Chips auf gegenwärtig bis zu 100 000 Schaltungen pro Chip steigern, bei Labor-  
mustern sogar bis zu 500 000 Schaltungen! Damit lassen sich alle wesentlichen Funktionen eines digitalen Systems auf *einem* Chip unterbringen: Es entstand der *Mikroprozessor*, der eine rasche Entwicklung und Verbreitung erfuhr. Seine Komplexität konnte fast Jahr für Jahr verdoppelt werden, von 4 auf 8, 16, ja sogar auf 32 bit Verarbeitungsbreite. Eine riesige Fülle von verschiedenartigen Applikationen konnte damit erschlossen werden, deren praktische Ausschöpfung z.Zt. erst in den Anfängen steckt.

Bekanntlich soll man mit Voraussagen über zukünftige Entwicklungen vorsichtig sein, da es sehr oft ".... erstens anders kommt, zweitens als man denkt". Im Falle der Silizium-Chip-Technologie haben wir allerdings inzwischen so viel Erfahrung und Wissen angesammelt, daß man über die zukünftige Entwicklung doch einige Aussagen machen kann, die nicht nur aus der Luft gegriffen sind, sondern mit einiger Wahrscheinlichkeit eintreffen werden.

## 2. Material- und Bearbeitungsprobleme

Es ist relativ leicht vorauszusagen, daß die Güte der Siliziumkristalle noch gesteigert werden wird. Ob und inwieweit sich letztlich doch nicht ganz vermeidbare Fehler und Verunreinigungen hemmend auf die weitere Miniaturisierung auswirken werden [2], bleibt abzuwarten. Meiner Meinung nach werden sich diese Probleme nicht zu einer ausschlaggebenden Behinderung oder einer harten Grenze auswachsen, aber selbstverständlich ist weiterhin ein großer und auch kostspieliger Forschungs- und Entwicklungsaufwand notwendig, um hier weiterzukommen.

Seit einigen Jahren erleben wir den Einsatz von zwei neuen Verfahren, die eine bessere Kontrolle der Dotierung und der Strukturierung der

Muster erlauben als bei der herkömmlichen Planartechnik. Dabei handelt es sich um:

- Die Ionenimplantation, die insbesondere in Kombination mit anschließender Diffusion reproduzierbarere Profile und neuartige Profiltypen - die durch Diffusion prinzipiell nicht machbar sind - zu erzeugen gestattet. Mittels Ionenimplantation lassen sich die Eigenschaften der Bauelemente (wie z.B. die Schwellspannung von MOSFETs) in fast idealer Weise "maßschneidern" (Abb. 2).
- Die Trockenätzung in vielfachen Varianten (Plasmaätzen, reaktives Ionenätzen, usw.), die es gestattet, kleinere Strukturen mit präziseren Kanten zu ätzen, als es die herkömmlichen Naßätzverfahren liefern [3]. Insbesondere kann man mittels anisotroper Trockenätzung auch schmale, aber tiefe Gräben erzeugen, die durch Naßätzung prinzipiell nicht herstellbar sind (Abb. 3).

Für die sogenannten "Heißprozesse" setzten sich immer mehr Varianten durch, die ein Absenken der Bearbeitungstemperaturen um einige hundert Grad erlauben. Man erreicht damit, daß

- die Umverteilung der Dopanten geringer wird, die p-n-Übergänge bleiben steiler und wandern weniger;
- die thermischen Verspannungen und Verbiegungen ("warpage") abnehmen, es gibt weniger Defekte;
- die abgeschiedenen Schichten gleichförmiger werden.

Durch neuartige Epitaxie- und Rekristallisationsverfahren ("Grapho-Epitaxie", selektive Rekristallisation mittels Laserbestrahlung) kann man monokristalline Siliziumschichten auf Oxidfilmen erzeugen. Damit könnte man in Zukunft die "dritte Dimension" auch für aktive Elemente - und nicht wie bisher nur für (polykristalline) Widerstände - erschließen und die Integrationsdichte weiter steigern. Es gibt vielversprechende Versuche auf diesem Gebiet, aber bis zu ausgereiften Fabrikationsverfahren sind noch mehrere Jahre Entwicklungsarbeit notwendig.

Dazu werden in Zukunft sicherlich noch weitere Verbesserungen kommen, die alle eine bessere Prozeßkontrolle und auch eine weitere Reduzierung der Defekte zum Ziel haben werden. Auch hierbei werden die Geräte leider

immer teurer und größere Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten bei den Geräte-Produzenten und den Chip-Herstellern werden unvermeidlich sein.

### 3. Lithografische Verfahren

Mit optischen Verfahren ist es möglich, nahe an die 1- $\mu\text{m}$ -Grenze heranzukommen, was man vor einigen Jahren noch nicht für möglich hielt [4]. Darüberhinaus stehen neue Verfahren, die mit kürzeren Wellenlängen arbeiten und damit eine höhere Genauigkeit erreichen sozusagen vor der Tür. Es handelt sich dabei um die Elektronen-, Röntgen- und Ionenstrahlolithografie [5]. Voraussichtlich wird man damit nochmals eine Größenordnung weiterkommen, so etwa bis in die Gegend von 0.1  $\mu\text{m}$ . Dieses wird ausreichen, um die noch zu besprechenden physikalischen Grenzen der Silizium-Chip-Technologie ausloten zu können. Es werden hierfür aber gewaltige gerätetechnische Aufwendungen notwendig sein, die nur bei riesigen Stückzahlen verkaufter Chips rentabel sein dürften. Es ist daher abzusehen, daß sich solche Investitionen nur einige wenige kapitalstarke Firmen oder Firmenverbände für die Produktion von "Edelelektronik" leisten können. Für die preiswerte "Gebrauchselektronik" wird sich dieser große technische Einsatz kaum lohnen; daher wird sie von dieser letzten Stufe der Miniaturisierung wohl ausgeschlossen bleiben.

Die Herstellung qualitativ hochwertiger Masken mittels Elektronenstrahlbelichtung für die anschließende optische Lithografie ist dabei, ein Routineprozeß zu werden, entsprechende ausgereifte Geräte sind erhältlich. Dagegen wird z.Zt. die direkte Waferbelichtung mittels Elektronenstrahlen erst vereinzelt großfabrikatorisch eingesetzt.

Für die direkte Waferbelichtung werden außerdem den Röntgenstrahlen, insbesondere in Form von Synchrotronstrahlung, gute Chancen eingeräumt. Weltweit findet man vermehrte Aktivität auf diesem Gebiet, und es ist in den nächsten Jahren mit beachtlichen Fortschritten zu rechnen. Aber auch "konventionelle" Röntgenquellen sind noch gut im Rennen [6].

### 4. Bauelemente und Schaltungen

Voraussichtlich wird es bis auf weiteres bei planaren MOSFETs und Bipolartransistoren bleiben. Diese werden natürlich weiter miniaturisiert werden mit all den damit verbundenen Problemen, aber auch den entsprechenden Vorteilen. CMOS wird gegenüber NMOS voraussichtlich an Boden gewinnen [7],

da es mit geringerer Verlustleistung arbeitet und ein besseres Signal/Stör-Verhältnis aufweist, bei kaum geringerer, geometrischer Integrationsdichte. Bipolare Schaltungen werden im Hochgeschwindigkeitsbereich dominieren, aber sonst gegenüber MOSFET-Schaltungen weiter an Boden verlieren. Die Superintegration wird sicherlich weiter ausgebaut werden und neue Varianten werden entstehen unter weitgehender Verwendung von selbstregistrierenden Strukturen. Manche Fachleute sind der Meinung, daß auf dem Bauelemente- und Schaltungsgebiet nicht mehr mit vielen Neuerungen zu rechnen sei, da dieses Gebiet schon stark ausgereizt ist. Ich bin da nicht so sicher, im allgemeinen haben wir den Erfindungsgeist und die Cleverness der Ingenieure selten richtig voraussagen können und meistens unterschätzt. Warum sollte es eigentlich nun plötzlich anders sein?

## 5. Physikalische und technologische Hürden bei fortschreitender Miniaturisierung

In der Entwicklungsgeschichte der Integrationstechnik tauchen bei jeder neuen Miniaturisierungsstufe physikalische und technologische Effekte und Phänomene auf, die man vorher entweder nicht kannte oder die vorher als unwesentlich vernachlässigt werden konnten. Es bedarf dann meist konzentrierter, gezielter Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen, um auf dieser neuen Stufe wiederum technisch brauchbare Lösungen zu erzielen. Einige dieser Hürden seien kurz aufgezählt und diskutiert:

### 5.1 Materialtransport durch Ionenmigration

Bei miniaturisierten und damit hochbelasteten Emitterleitungen wurde der Materialtransport durch Ionenmigration anfangs übersehen und führte zu Leitungsunterbrechungen. Durch gezielte Materialforschung [8] lernte man jedoch nach und nach, Leitungsbahnen zu erzeugen, bei denen dieser Effekt unter eine akzeptable Ausfallschwelle gedrückt werden konnte, so daß bei heutigen Chips diese Ausfallursache nicht mehr ins Gewicht fällt. Zwar wird der Effekt durch weitere Miniaturisierung wieder größer, nicht weil Strom, wohl aber weil die Stromdichte in den kleiner werdenden Leiterquerschnitten zunehmen wird. Man ist jedoch der Meinung, daß man durch weiter verbesserte Legierungstechnik diese Hürde wird nehmen können [9].

### 5.2 Geometrie-Effekte bei kleinen MOSFETs

Die Schwellspannung und die Durchbruchspannung von MOSFETs ist normalerweise unabhängig von der Geometrie des Kanals. Bei sehr kurzen und/oder

sehr schmalen Kanälen (kleiner etwa  $3 \mu\text{m}$ ) gilt dieses jedoch nicht, weil der Einfluß der Randschichten nicht mehr zu vernachlässigen ist (Abb. 4). Dieser Effekt führt beim schaltungstechnischen Einsatz solcher Kurzkanal- (bzw. Schmalkanal-) Elemente zu einschneidenden Restriktionen, auf die man nicht vorbereitet war. Inzwischen ist man durch geeignete "Skalierungs"-Methoden [10] offenbar auch hier weitergekommen, so daß MOS-Elemente mit Kanallängen von  $0.3 \mu\text{m}$  technisch brauchbare Parameter liefern, und auch  $0.15 \mu\text{m}$  Kanallängen sollen nach Berichten aus den Bell-Telephone-Laboratories noch verwendbar sein [6],[11].

Kürzlich sind ultraminiaturisierte logische Gatter mit solchen Transistoren hergestellt und gemessen worden [12]. Die Ergebnisse sind beeindruckend und vielversprechend.

Bezüglich Schaltzeiten und Verlustleistung ergeben sich Verbesserungen von bis zu zwei Größenordnungen gegenüber dem gegenwärtigen Stand der Technik.

Obwohl es sicher noch Jahre dauern wird bis solche Rekordwerte in Produkte Eingang finden werden, demonstrieren diese aufsehenerregenden Ergebnisse doch unzweideutig das noch lange nicht ausgeschöpfte Entwicklungspotential der MOSFET-Technologie.

### 5.3 Heiße Elektronen

Digitale Schaltungen sind um so schneller, je stärker sie "getrieben" werden, d.h. je höher die angelegten Spannungen sind. Dabei muß man nicht nur darauf achten, sicher unterhalb der Durchbruch- und Durchgriffspannungsgrenzen zu bleiben, sondern man muß die elektrischen Felder auch so begrenzen, daß nicht schädliche "heiße Elektronen" entstehen [13]. Diese können nämlich durch tunneln an Haftstellen gelangen und diese umladen. Dadurch verändern sich im Laufe des Betriebs die elektrischen Eigenschaften der Elemente (z.B. die Schwellspannung von MOSFETs), was zum funktionellen Versagen der Schaltungen führen kann. Bei der bisher vorwiegend angewendeten Skalierung wird daher die Feldstärke konstant gehalten [14], so daß dieser Effekt durch das Skalieren zumindest nicht größer wird. Dieses Vorgehen führt zu einer linearen Absenkung der Spannungen mit kleiner werdenden Dimensionen. In der Praxis läßt sich so eine "gleitende" Änderung jedoch nicht immer durchführen, dem stehen oft Normung und schaltungstechnische Verträglichkeit (z.B. TTL-Kompatibilität) entgegen.