

37. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift

für die gesamte elektronische Nachrichtentechnik

VEB VERLAG TECHNIK

Träger des Ordens

Banner der Arbeit



Herausgeber:

Kammer der Technik

FV Elektrotechnik

Inhalt

ISSN 0323-4657

Redaktionsbeirat

Nationalpreisträger Prof. Dr. eh. mult. M. v. Ardenne, Prof. Dr. H. Bernicke, Dr.-Ing. D. Bogk, Prof. Dr. sc. techn. W. Cimander, Prof. Dr. sc. techn. Fey, Prof. Dr. sc. techn. G. Fritzsche, Nationalpreisträger Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. eh. H. Frühauf, Prof. Dr.-Ing. habil. U. Frühauf, Prof. em. Dr. W. Heinze, Ing. H. Jentzen, Prof. Dr. sc. techn. K.-H. Kleinau, Prof. Dr. sc. techn. D. Kreß, Prof. em. Dr.-Ing. eh. W. Kutzsche, Prof. em. Dr. sc. techn. Dr.-Ing. eh. F. H. Lange, Prof. Dr. sc. techn. D. Lochmann, Prof. Dr.-Ing. habil. W. Mansfeld, Dr.-Ing. G. Naumann, Prof. Dr. sc. techn. H. Preuß, Dipl.-Ing. W. Rollmann, Dr. rer. oec. Dipl.-Ing. H. Schindler, Prof. Dr. sc. techn. K. Thiele, Prof. Dr.-Ing. habil. P. Vielhauer, Prof. Dr. rer. nat. habil. H. Völz

Biebler, H.

Allgemeine Tendenzen in der Entwicklung neuer mikroelektronischer Bauelemente

122

Kieser, H.

Überblick zum 16-bit-Mikroprozessorsystem U 8000

130

Mäder, K.

Aspekte des Einflusses der Mikroelektronik auf die Entwicklung der Geräte der Rechen- und Drucktechnik

133

Heun, P.; Kretzschmar, J. G.

Erfahrungen bei der Programmierung von EPROM-Speichern auf den Leiterplatten elektronischer Schreibmaschinen

135

Naumann, G.

Methoden des Entwurfs und der Implementierung von Datenbanken mit Mikrorechnern

138

Meusel, K.-H.; Ambos, F.; Wissmann, F.

Analogaufzeichnung mit Logikanalysator

143

Blumrich, V.

Probleme zeitdiskreter Echokompensatoren für die digitale Duplexübertragung

147

Koebe, M.; Scheibner, H.

Konzept für eine „rasterlose“ mehrstufige Trassierung gemischt bestückter Leiterplatten

151

Kreß, D.; Thomä, R.

Grundlagen der Spektralanalyse mit diskreter Fouriertransformation. Teil 2

155

Buchbesprechungen

159

Titelbild

Zwischen den Herstellern und Anwendern der Bauelemente (BE) sowie der Baugruppen und Geräte (BG) gab es noch 1970 im wesentlichen einfache Lieferbeziehungen.

Mit der Entwicklung der Mikroelektronik und dem steigenden Bedarf an Kundenwunschschatkreisen (ASIC) sind die Kooperationsbeziehungen zunehmend komplizierter geworden. Die untere Darstellung veranschaulicht die Verflechtungen in den kommenden Jahren — um 1990 (s. S. 122—129).



Günther Barth,

seit über 25 Jahren Verantwortlicher Redakteur nachrichtentechnischer Zeitschriften im VEB Verlag Technik, übergibt am 31. März 1987 seine Funktion seinem Nachfolger *Ernst-Otto Schönemann*. Im Jahre 1961 begann *G. Barth* seine Tätigkeit im Verlag Technik. Im gleichen Jahr wurde er Verantwortlicher Redakteur der Zeitschrift „Fernmelde-Praktiker“, der späteren „Fernmeldetechnik“. 1969 übernahm er zusätzlich die Funktion des Verantwortlichen Redakteurs der Zeitschrift „Nachrichtentechnik · Elektronik“. *Günther Barth* verfügt über zwei unerläßliche Voraussetzungen für eine erfolgreiche redaktionelle Tätigkeit: solide Fachkenntnisse und journalistisches Können. Beide befähigten ihn dazu, eine aktuelle und interessante wissenschaftlich-technische Zeitschrift zu gestalten. Dabei waren ihm auch seine guten Verbindungen zur nachrichtentechnischen und elektronischen Industrie, zu den Universitäten und Hochschulen, zu den Fachministerien und den fachlichen Gremien der KDT überaus nützlich.

Sein Bemühen war stets darauf gerichtet, das auch international anerkannte, hohe wissenschaftliche Niveau der Zeitschrift beizubehalten. Die Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden ehrte ihn 1985 mit der Verleihung der „Friedrich-List-Plakette“ und die Ingenieurhochschule Mittweida mit dem Ehrenpreis für hervorragende Leistungen.

Günther Barth hat auch unter manchmal schwierigen Bedingungen stets mit großer Einsatzbereitschaft gewissenhaft und zuverlässig gearbeitet. Kritische Situationen, wie sie im technologischen Ablauf der Zeitschriftenherstellung immer wieder auftreten, hat er mit bewundernswerter Ruhe und großem Verantwortungsbewußtsein gemeistert. Für seinen unermüdlichen Einsatz wurde er mehrfach als „Aktivist der sozialistischen Arbeit“ ausgezeichnet.

In uneigennütziger Weise hat er sich in den vergangenen Jahren der Ausbildung junger Redakteure angenommen. Geduldig und einfühlsam machte er die Nachwuchskader mit dem redaktionellen „Handwerkszeug“ vertraut. Auch seinem Nachfolger hat er bereitwillig seine reichen Erfahrungen vermittelt; wenn er jetzt von der Leitung der Zeitschrift zurücktritt, will er sein Werk in guten Händen wissen. Sein Rat wird auch weiterhin gefragt sein.

Die Leitung unseres Hauses und seine Kollegen danken *Günther Barth* für viele Jahre erfolgreicher journalistischer Tätigkeit, für sein persönliches Engagement, für seine Zuverlässigkeit und Pflichttreue. Wir wünschen ihm für die kommenden Jahre Gesundheit, Wohlergehen und die Erfüllung aller persönlichen Wünsche.

M. Rumpf



Ernst-Otto Schönemann,

Verantwortlicher Redakteur der Zeitschrift „Nachrichtentechnik · Elektronik“ ab 1. April 1987, studierte von 1961 bis 1967 an der Technischen Universität Dresden Elektrotechnik. Nach mehr als 17jähriger Tätigkeit in der elektrotechnischen und nachrichtentechnischen Industrie der DDR begann er am 1. Januar 1985 seine Tätigkeit im Verlag Technik. Hier arbeitete er zuerst als Lektor für das Fachgebiet Computertechnik. Seit 1. Juli 1986 ist er Mitarbeiter der Redaktion „Nachrichtentechnik · Elektronik“.

Für seine neue Tätigkeit wünschen ihm die Leitung des Hauses und seine Kollegen viel Erfolg.

M. Rumpf

Allgemeine Tendenzen in der Entwicklung neuer mikroelektronischer Bauelemente¹⁾

K. Biebler, KDT, Berlin

Die weitere Fortführung und Verwirklichung der ökonomischen Strategie ist, wie von *Erich Honecker* auf dem XI. Parteitag der SED zum Ausdruck gebracht wurde, nur durch die beschleunigte Entwicklung und Anwendung von Schlüsseltechnologien möglich. Eine zentrale Rolle spielen hierbei

- die weitere Entwicklung und Durchsetzung der Mikroelektronik
- die flexible Automatisierung
- die rechnergestützte Planung, technische Vorbereitung, Steuerung und Überwachung.

Es wurde eine Entwicklung in Angriff genommen, die in den nächsten 10 bis 15 Jahren über verschiedene Stufen hinweg zu einer immer stärker automatisierten Fertigung führt. Dabei kommt der Elektrotechnik/Elektronik und dem Maschinenbau die Aufgabe eines Wegbereiters zu. Ausgehend von diesen auf dem XI. Parteitag gestellten Aufgaben hat auch das Präsidium der KDT auf seiner 10. Beratung im Mai 1986 die KDT-Initiative „Spitzenleistung für Schlüsseltechnologien“ beschlossen. Mit dieser Initiative werden die

Kräfte aller Mitglieder der KDT auf Spitzenleistungen für solche volkswirtschaftlichen Schwerpunkte gelenkt, wie

- die Entwicklung und vorfristige Überleitung mikroelektronischer Schaltungen in höchster Qualität
- die Erhöhung der Produktivität der Arbeit in Konstruktion, Projektierung und technischer Produktionsvorbereitung durch schnellere Einführung und Nutzung von CAD/CAM-Systemen und
- die Erhöhung der Effektivität und Qualität der Produktion durch breite Entwicklung und Anwendung der flexiblen Automatisierung.

Um diese Aufgaben, die hohe Anforderungen an die Elektronik bzw. Mikroelektronik stellen, zu lösen, sind die internationalen Tendenzen zu berücksichtigen. Daher sollen einige Schwerpunkte dieser Entwicklung betrachtet werden, die auch für die Industrie der DDR von Bedeutung sind.

1. Zielstellungen und Tendenzen der modernen Elektronik

Die in der Elektronik miteinander verknüpften Zielstellungen und Tendenzen lassen sich allgemein wie folgt zusammenfassen:

¹⁾ Nach einem Vortrag anlässlich der „Informationstagung Mikroelektronik“ der Kammer der Technik in Erfurt im Juni 1986

1. Erreichung einer optimalen Lösung der geforderten Funktion, insbesondere hinsichtlich Geschwindigkeit, Störsicherheit, Komplexität und Kosten.

2. Steigerung

— der mechanischen und physiko-chemischen Stabilität, z. B. gegenüber Stoß, Spannung, Feuchte u. a.
 — der Zuverlässigkeit, z. B. für eine höhere Verfügbarkeit bei hochkomplexen Systemen, einer höheren Sicherheit bei automatisierten Vorgängen u. a.

— des Bedienkomforts, z. B. um eine breite Nutzung von Geräten zu erreichen (Bedienung nicht nur durch Spezialisten, sondern durch den Nutzer)

— der Arbeitsgeschwindigkeit, z. B. zur Erhöhung der Produktivität.

3. Verminderung

— des notwendigen Serviceaufwandes, z. B. um eine bessere Maschinenauslastung zu erreichen

— der Verlustleistung, z. B. um die Probleme der Wärmeabfuhr, der Energieeinsparung u. a. zu lösen

— der Abmessungen, z. B. zur Verringerung des Flächen- und Raumbedarfs

— des Gewichts, z. B. zur besseren Mobilität und Handhabung von Geräten.

2. Integration — eine entscheidende Methode für höhere Leistungsfähigkeit in Technik und Ökonomie

Die Entwicklung eines Industriezweiges, den die Mikroelektronik von jetzt darstellt, wird entscheidend durch

— die ökonomischen Möglichkeiten als einen Teil des gesellschaftlichen Umfeldes

— die technologischen Möglichkeiten als einen Teil des wissenschaftlich-technischen Umfeldes

bestimmt.

Der enge Zusammenhang zwischen Ökonomie und Elektronik spiegelt sich in beinahe identischen Begriffen wider. Die Integration ist in beiden Gebieten eine Methode, um höhere Leistungsfähigkeit zu erreichen. Sie ist aber gleichzeitig, wie der Begriff „Geschwindigkeit“, ein Gradmesser für den Entwicklungsstand und die Leistungsfähigkeit auf dem ökonomischen und technischen Sektor. Hohe Geschwindigkeit in der Technik bedeutet z. B., daß eine Nachrichtentechnik, die in hohen Frequenzbereichen arbeitet, dem Nutzer ein Vielfaches an Übertragungskapazitäten zur Verfügung stellen kann im Vergleich zu einer, die noch nicht diese Bereiche erschlossen hat.

Die ständig zunehmende Integration ist ein wichtiges Mittel zur Steigerung der Geschwindigkeit eines Systems. So wird die Anzahl von Funktionseinheiten je Chip bzw. je Bauelemente so gesteigert, daß die Anzahl der Bausteine und damit proportional die Kosten je Gerätesystem sinken und gleichzeitig die Arbeitsgeschwindigkeit des Gerätesystems steigt.

Die hohe Geschwindigkeit in der Wirtschaft bedeutet, das Gesetz von der Ökonomie der Zeit zu berücksichtigen. So wird der Industriezweig am effektivsten arbeiten, bei dem die Wege von der Innovation zum Erzeugnis kurz sind und der in der Lage ist, die Produkte in kürzester Zeit umzuschlagen. International wird zunehmend deutlich, daß nicht durch den Verkauf einzelner Bauteile oder Bauelemente maximale Effekte erzielt werden, sondern nur durch den Verkauf kompletter Gerätesysteme. Das hierbei notwendige Systemdenken in der Technik, aber auch in immer stärkerem Maße in der Ökonomie, führt international und national zu einer neuen und immer enger werdenden Kooperation, d. h. zur Integration von Wirtschaftsstrukturen. Dem in den o. g. allgemeinen Tendenzen zum Ausdruck kommendem Trend zu immer leistungsfähigeren Erzeugnissen trägt gegenwärtig derjenige am meisten Rechnung, der am intensivsten nicht nur an der technischen, sondern auch ökonomischen Integration, d. h. Kooperation, arbeitet. In dieser Richtung liegt auch die Bedeutung der im Entstehen begriffenen „Entwurfs- und Fertigungszentren für mikroelektronische Schaltungen“ und der „Ingenieurbetriebe für die Anwendung der Mikroelektronik“ (IfAM). Erstere sind ein Beitrag der Geräteindustrie der DDR zur Erhöhung ihrer Mitwirkungsleistung bei der Bauelementebereitstellung, die anderen verdeutlichen die Anstrengungen der Bauelementeindustrie zur Intensivierung der Applikation. Daß Entwurfs- und Fertigungszentren nicht nur in der traditionellen Geräteindustrie (Kombinat VEB Carl Zeiss JENA oder VEB Kombinat Nachrichtenelektronik), sondern auch in anderen Industriezweigen, z. B.

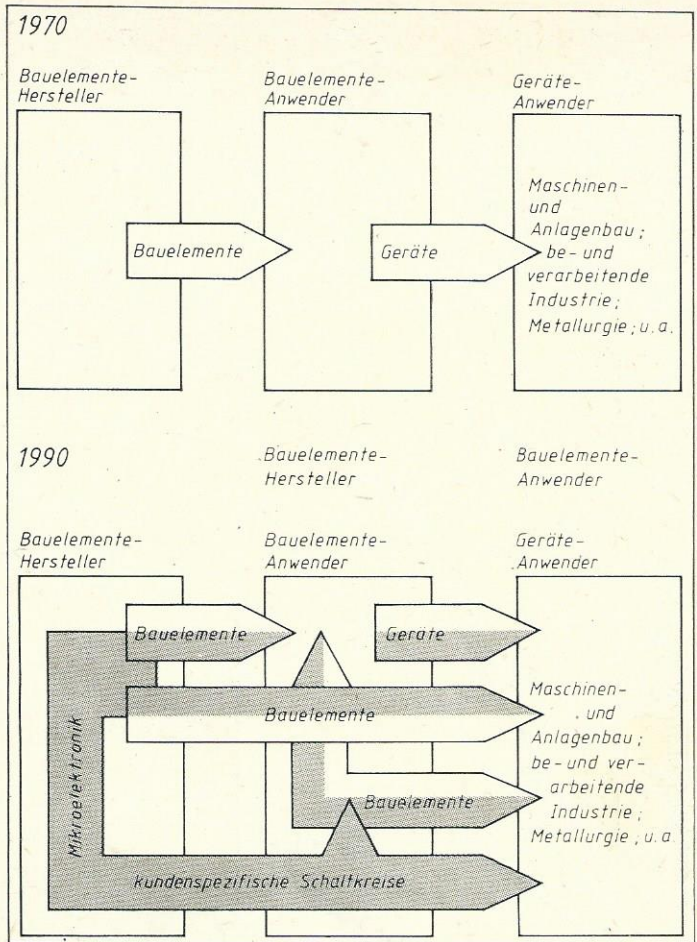


Bild 1. Veränderung des Profils des Bauelementeanwenders

Maschinen- und Anlagenbau, aufgebaut werden, zeigt einen Wandel in den wirtschaftlichen Beziehungen zwischen den Industriezweigen (Bild 1).

Es wird deutlich, daß mit der Entwicklung der Mikroelektronik der konventionelle Gerätehersteller in seiner Rolle als Mittler zwischen Bauelementeindustrie und den anderen Industriezweigen zurückgedrängt wird. Den Umfang solcher strukturellen Prozesse zeigt z. B. international die wenig bekannte Tatsache, daß nach eigenen Angaben General-Motors, der größte Automobilkonzern der USA, gleichzeitig der drittgrößte Produzent von Halbleiterbauelementen in der Welt ist (Fa. Delco).

In Abhängigkeit von der Entwicklung der Mikroelektronik müssen Formen der interdisziplinären Zusammenarbeit gefunden werden. Sie müssen sich durch Flexibilität und durch Denken in

— technologischen Ketten bis hin zur fertigen Anlage und nicht in Einzeltechnologien

— Gerätesystemen und nicht in einzelnen Geräten, die mit singulären Punkten verglichen werden können

auszeichnen. Die effektive Bereitstellung hochwertiger Gerätesysteme bedeutet nicht nur ein Höchstmaß an Integration, sondern auch an Kompatibilität der ökonomisch-organisatorischen Strukturen und der einzelnen Erzeugnisse, die das System bilden. Bei letzteren bezieht sich das nicht nur auf die Schaltungskonfiguration (Schnittstellenproblematik), sondern zunehmend auch auf die Technologie.

3. Aufsetztechnik — ein Beispiel für technologisches Systemdenken

Ein besonders aktuelles Beispiel für das künftig verstärkte Denken in technologischen Ketten ist die Weiterentwicklung der Gehäusetechnik in der Bauelementeindustrie auf der einen Seite und der Leiterplattentechnik in der Geräteindustrie auf der anderen Seite. So werden auch künftig die Kosten eines Gerätesystems direkt proportional der Anzahl der für das System notwendigen Bauelemente/Bausteine sein. Das führt folgerichtig zu immer höher integrierten Bauelementen mit einer immer höheren Komplexität und immer höheren Anschlußzahlen. Ab 48 Anschlüsse je Bauelement werden Dual-In-Line-Gehäuse und ab 64 Anschlüsse die an sich schon schwer zu handhabenden Quad-In-Line-Gehäuse für die Durchstecktechnik problematisch. Außerdem haben die Gatterverzöge-

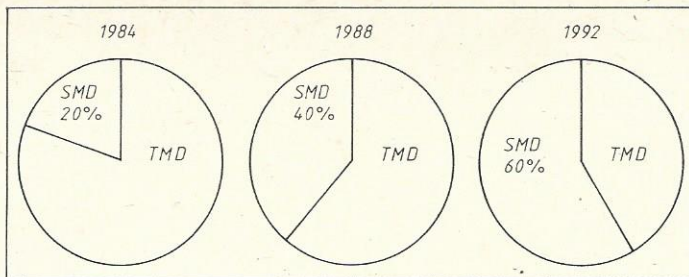


Bild 2. Prognostische Entwicklung von aufsetzbaren Bauelementen (SMD) im NSW

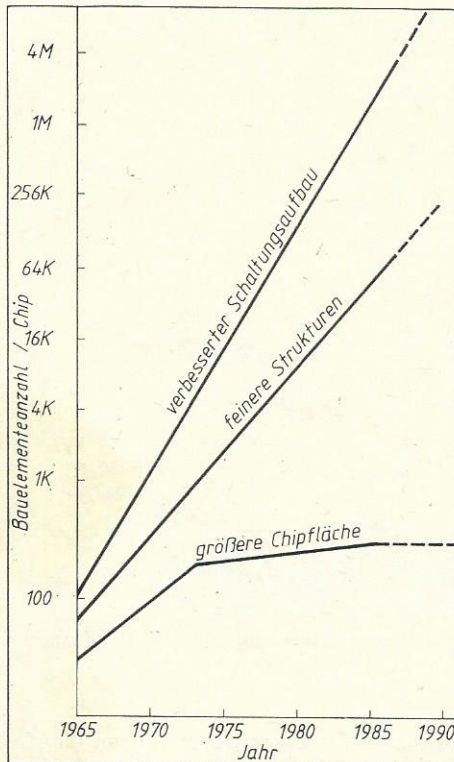


Bild 3. Technologischer Trend in der Integrationstechnik

rungszeiten in den integrierten Schaltungen u.a. durch die Skalierung die gleiche Größenordnung wie die Signallaufzeiten in den Leiterzügen zwischen den Schaltungen erreicht. Um die Arbeitsgeschwindigkeiten von Gerätesystemen weiter zu steigern, müssen die Leiterzüge in Zukunft innerhalb des Gehäuses und auf der Leiterplatte verkürzt werden. Somit ergibt sich ein technisch begründeter Trend zur SMD-(Surface-Mounted-Device)-Technik (Aufsetztechnik).

Mit diesem technischen Zwang zur Aufsetztechnik gehen Einsparungen an Gehäuse- und Trägerstreifenmaterial einher. Gleichzeitig kommt es beim Bauelementeanwender zu Kosteneinsparungen aufgrund des geringeren Platzbedarfs (30 bis 50% weniger Raumbedarf, etwa 30% weniger Leiterplattenmaterial) und zu günstigen Möglichkeiten einer automatischen Bestückung. Das sind die Hauptargumente, die für den international erwarteten Aufschwung der Aufsetztechnik sprechen (Bild 2). So bieten sich schon jetzt für Bauelemente mit hohen Anschlußzahlen besonders im Hinblick auf die Aufsetztechnik Chipcarrier an. Gegenwärtig werden international 64-kbit-DRAM in „Plastic-Leaded-Chip-Carrier“ (PLCC) in großen Stückzahlen gefertigt und auf Leiterplatten, die auch 256-kbit-DRAM aufnehmen können, montiert. Eine Doppelpackkarte (230 mm × 160 mm) ergibt dann mit Fehlerkorrektur eine Speicheranordnung von 4 Mbyte bzw. 8 Mbyte bei doppelseitiger Bestückung. Das heißt, ein PLCC-Gehäuse benötigt im Vergleich zum 16-poligen DIL-Gehäuse nur etwa 50% der Platine, wobei das Durchkontaktieren entfällt. Damit kann die Platine um 40% und mehr verkleinert oder, wie angeführt, die Kapazität vergrößert werden.

Da es nicht möglich sein wird, alle Bauelemente einer Leiterplatte gleichzeitig in Aufsetztechnik bereitzustellen, wird für die nächste Zeit eine gemischte Bestückung unumgänglich sein. Hier ist auch in der DDR im Zuge der Weiterentwicklung die technologische Kette Bauelementehersteller/-anwender in effektiver Weise zu schließen, zumal 1990 etwa 30% der Bauelemente in Aufsetztechnik zu verarbeiten sind. Probleme, die in diesem Zusammenhang zu lösen sind, sind u.a. die Meß- und Gurtungsproblematik beim Bauelementehersteller oder die kompatible Bestückungs- und Löttechnik, die den Belangen der Wirtschaft der DDR gerecht werden,

beim Bauelementeanwender. Ohne auf dieses Thema weiter einzugehen, wird hier an einem relativ durchschaubaren Beispiel deutlich, was Systemdenken und technologische Kompatibilität bedeuten und welche Probleme, die aus diesen Forderungen resultieren, zu lösen sind.

In diesem Zusammenhang wird sich u.a. die Feinleitertechnik verstärkt entwickeln und der Übergang zur Hybridtechnik wird fließend werden. Daraus ergibt sich ein steigender Einsatz von hybridgerechten Bauelementen, d.h., die Verarbeitung von Nackchips wird ebenfalls zunehmen.

4. Entwicklung der Mikroelektronik im engeren Sinne

Der hier makroskopisch sichtbare Trend zur Miniaturisierung setzt sich auch im mikroskopischen Bereich der integrierten Schaltungen fort. Weitreichende Aussagen, welcher Schaltungstyp, charakterisiert durch Typenbezeichnung und genaue Kenndaten, wann erforderlich ist, sind schwer bzw. unmöglich zu treffen. Damit der Bauelementehersteller den künftigen Anwenderforderungen gerecht werden kann, muß er die dafür jeweils notwendige Technologie beherrschen. Daher müssen aus einer Analyse der Möglichkeiten von Wissenschaft und Technik sowie der Anwenderforderungen die Kennziffern, die das Leistungsvermögen der Technologie und damit auch eines künftigen Erzeugnisses charakterisieren, abgeschätzt und als Zielgrößen vorgegeben werden. So kann die Technologie in die richtige Richtung entwickelt werden, um zum gegebenen Zeitpunkt die benötigten Bauelemente rationell fertigen zu können. Im folgenden zwei Beispiele für solche Abschätzungen:

Die Möglichkeiten, die die Mikroelektronik bietet, zeigen besonders die hochintegrierten Schaltungen, wie Speicher, Mikrorechner, Controller-Schaltkreise und die unterschiedlichsten anwendungsspezifischen Schaltungen. Sie charakterisieren gleichzeitig die auch künftigen anhaltenden Tendenzen zu

- steigender Komplexität
- höherer Geschwindigkeit
- verringerten Kosten.

Diese Tendenzen basieren wiederum auf der

- Verringerung der Strukturen (Senkung der internen Spannungen und Ströme, was gleichzeitig zu einer Minimierung parasitärer Effekte, insbesondere von Kapazitäten, führt)
- Verbesserung der Schaltungstechnik durch technologisch optimierte Flächen- bzw. Raumaussnutzung (z. B. Mehrebenen) und leistungsfähigere Architekturen
- Vergrößerung der Chipfläche
- Erhöhung der Scheibendurchmesser und der Ausbeute.

Die ersten drei Punkte beschreiben das technisch/technologische Niveau der Erzeugnisse, d.h. ihr Leistungsvermögen, das sich für den Anwender in entsprechend guten Parametern dokumentiert. Der letzte Punkt charakterisiert die Effektivität der Fertigung. Bild 3 zeigt, welche Anteile die ersten drei erwähnten Charakteristika an der weiteren Steigerung des Leistungsvermögens moderner Bauelemente der Mikroelektronik, insbesondere der VLSI-Technik haben werden. Aus der Grafik geht hervor, daß die Strukturverkleinerung, d.h. die laterale Skalierung und die bessere Ausnutzung der vorhandenen Chipfläche, die entscheidenden Anteile haben werden.

Das zweite Beispiel zeigt eine Abschätzung der ökonomischen Vorteile beim Übergang zu kleineren Strukturen. Es wird anhand eines Kostenvergleichs gezeigt, wie effektiv sich eine Strukturverringern von 4 auf 1,5 µm auswirkt (Tafel 1). Diese Angaben sind sicher vom beherrschten technologischen Niveau abhängig und auch nicht direkt auf andere, höher integrierte Bauelemente übertragbar, da sich die Kostenanteile der einzelnen Positionen, z. B. der Endmessung, ändern. Der Vergleich spiegelt aber die Größenordnungen (Kostensenkung auf etwa 25%) und die Tendenz wider.

5. Entwicklung des Integrationsgrades — eine zentrale Kennziffer zur Charakterisierung des technologischen Niveaus

Die Entwicklung des Integrationsgrades und der minimalen Strukturen, die in der Produktion und der Forschung und Entwicklung beherrscht werden, zeigt Bild 4. Zur Darstellung und auch zur Abschätzung des künftigen Entwicklungsverlaufs sind die Speicherbauelemente am besten geeignet. Sie sind die Standardbauelemente mit der größten Anzahl von Wiederholstrukturen und einem stetig steigenden Bedarf. Bei ihnen wird die hochintegrierte Technik mit dem jeweils höchsten Niveau zuerst eingesetzt und getestet, da hier bei relativ kleinem Risiko ein hoher Lerneffekt erreicht wird. Die Speicher sind in der Regel die ersten Produkte, die mit der beherrsch-

ten Technologie mit dem jeweils höchsten Niveau produziert werden. Der treppenförmige Kurvenzug soll den Entwicklungsverlauf der dRAMs verdeutlichen; die waagerechten Teilstücke kennzeichnen den Integrationsgrad und symbolisieren das Zeitintervall, in dem sie mit steigendem technologischem Niveau, gekennzeichnet durch die beherrschte Minimalstruktur, produziert werden; die senkrechten Teilstücke der Treppenkurve deuten die Skalierung an. Außerdem zeigt die Darstellung, daß die jeweils neue Speichergeneration vom höchsten technologischen Niveau der vorigen Generation ausgeht. Die gestrichelten Kurven kennzeichnen die in Forschung und Entwicklung erreichten kleinsten Abmessungen. Dabei werden die Werte der oberen Grenzlinie durch die Strahltechniken und die der unteren Grenzlinie durch die Fotolithographie erreicht. Gleichzeitig werden auch die zeitlichen Differenzen zwischen den Werten in der Entwicklung und der Produktion sichtbar. Sie sind recht erheblich, wenn die Strukturbreiten unter $1\ \mu\text{m}$ sinken und sich dem lichtoptischen Grenzwert von etwa $0,5\ \mu\text{m}$ nähern. International ist die Entwicklung von Ausrüstungen mit der Zielstellung eingeleitet worden, in etwa 5 Jahren Strukturbreiten unter $0,8\ \mu\text{m}$ mit optischen Produktionsanlagen zu erreichen, da alle anderen Verfahren sowohl in den Kosten als auch besonders in der Produktivität weitaus ungünstigere Werte haben. Aus diesem Grunde werden alle Anstrengungen unternommen, die Fotolithographie auszuschöpfen, um dann mit Strahltechniken, wie die Elektronen-, Röntgen- oder Ionenstrahltechnik, auch in der Fertigung Strukturen unter der lichtoptischen Grenze bis zu $0,1\ \mu\text{m}$ zu erreichen. Man kann einschätzen, daß in den nächsten 10 bis 15 Jahren die fotolithographischen Verfahren dominieren werden. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß eine Skalierung nur möglich ist, wenn der gesamte technologische Prozeß entsprechend entwickelt wird. Ein Beispiel ist die Ablösung der Naß- durch Trockenätzverfahren, die bei Strukturen unter $3,5\ \mu\text{m}$ unbedingt notwendig sind.

Um die lateralen Dimensionen einer Schaltung zu verringern, wird gleichzeitig an Techniken gearbeitet, die zu einem dreidimensionalen Schaltungsaufbau führen. Theoretisch ergibt sich ein vierfacher Integrationsgrad bei zweidimensionalen Schaltungen, wenn man die Strukturabmessungen halbiert. Würde die dritte Dimension, z. B. in Form einer weiteren Schaltungsebene hinzukommen, so hätte man den 8fachen Effekt. Die Mehrebenenverdrahtung und die Trenchzelle sind erste Schritte in diese Richtung. Bei letzteren werden Bauelementstrukturen u. a. an den Wänden von Gräben angeordnet, die durch selektives Ätzen erzeugt werden. Mit diesen Techniken und minimalen Strukturen, die um $1\ \mu\text{m}$ liegen, werden bis 1990 1- und 4-Mbit-dRAM produziert werden. An darüber hinausgehenden Verfahren, die zu mehreren Bauelementebenen in einem Chip führen, wird intensiv gearbeitet. Aus den hier nur angedeuteten Aktivitäten zur Vervollkommnung der Siliziumtechnologie — ein anderer Schwerpunkt der Entwicklung sind z. B. die Niedrigtemperaturverfahren — kann mit Sicherheit festgestellt werden, daß das Silizium als dominierender Halbleiterwerkstoff in einem überschaubaren Zeitraum nicht substituiert werden wird. Das heißt nicht, daß nicht an der Erforschung und technologischen Beherrschung anderer Werkstoffe gearbeitet wird. Ein Beispiel sind die Bemühungen, auf der Basis von Verbindungshalbleitern, nicht nur in Richtung optoelektronischer Bauelemente voranzukommen, sondern die Vorteile dieser Werkstoffe für die Realisierung logischer integrierter Schaltungen zu nutzen. Der für 1990 erwartete Anteil wird im Bild 7 wiedergegeben.

So werden in den 90er Jahren superschnelle Rechner auf der Grundlage von Bauelementen aus Verbindungshalbleitern erwartet.

Der im Bild 4 dargestellte zeitliche Nachlauf der in der Produktion beherrschten Minimalstrukturen im Vergleich zu den Werten in der Forschung und Entwicklung macht eindringlich deutlich, daß in der Mikroelektronik der Aufbau einer effektiven Massenfertigung mit einer eindeutig beherrschten Produktionstechnologie und die Überführung einer Laborfertigung in die Produktion, der wohl schwerste und aufwendigste Schritt ist. Nur mit dem Schaltungsentwurf und wenigen Prototypen ist es nicht getan. Mit der ständigen Weiterentwicklung der hochintegrierten Technik wird der Abstand, der zwischen einer Musterfertigung und einer bedarfsdeckenden Produktion besteht, ständig größer. Das gilt auch für die Bauelementeindustrie der DDR; hier müssen die entscheidenden Erfolge unter Nutzung der Potenzen im RGW errungen werden. Die Lösung dieser überproportionalen Aufgabe durch den VEB Kombinat Mikroelektronik verlangt in Zukunft nicht nur maximale Anstrengungen des Kombinats selbst, sondern auch eine überproportionale Mitwirkungsleistung der bauelemente-anwendenden Kombinate, die sich hier ihrer hohen Mitverantwortung zu stellen haben.

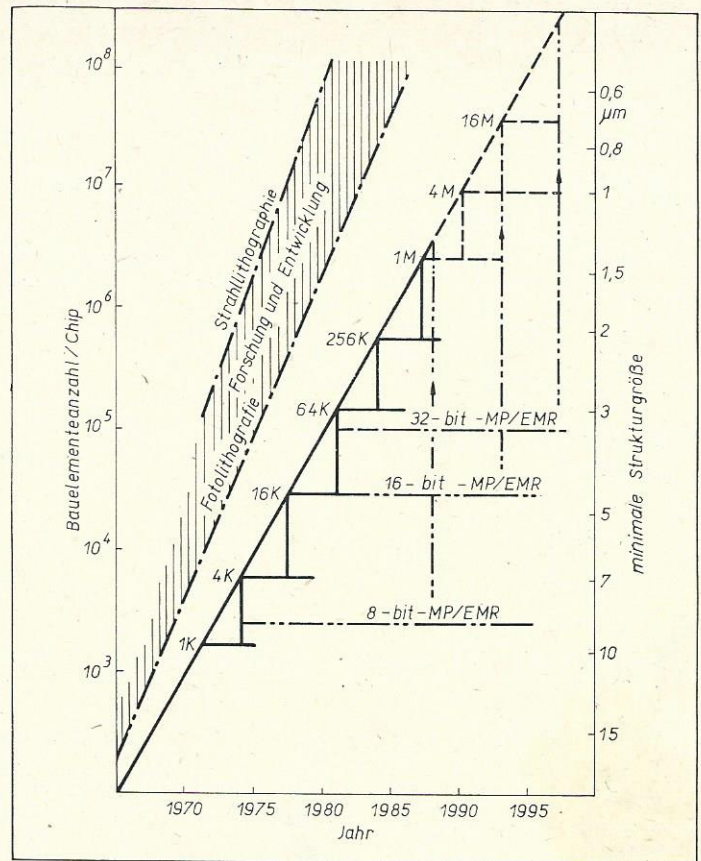


Bild 4. Zeitliche Entwicklung des Integrationsgrades am Beispiel von dRAM

Solche Gebiete sind z. B. Ausrüstungen für die Fotolithographie und die Meßtechnik, deren Umfang an Qualität und Quantität ständig zunimmt.

Im Bild 4 sind gleichzeitig die Erzeugnisgruppen Speicher und Mikroprozessoren eingetragen, die das Niveau einer Technologie kennzeichnen. Dabei sind die Speicher die Bauelemente mit den höchsten Integrationsgraden. Die aus der Darstellung ersichtliche zeitliche Differenz bezüglich der Minimalstrukturen in Forschung und Entwicklung sowie Produktion lassen gleichzeitig erkennen, welche großen technologischen Anstrengungen notwendig sind, um 1-Mbit-dRAM bedarfsdeckend zu produzieren.

So muß z. B., um Geometrien unter $1\ \mu\text{m}$ zu erreichen, eine Positioniergenauigkeit von etwa $\pm 0,05\ \mu\text{m}$ beherrscht werden. Der Aufwand an Ausrüstungen für $1\text{-}\mu\text{m}$ -Minimalstrukturen wird im Vergleich zu Ausrüstungen für $2\text{-}\mu\text{m}$ -Strukturen das Doppelte betragen.

6. Zu erwartende Entwicklung der wichtigsten Halbleitertechnologien

Bevor einzelne Erzeugnisgruppen näher betrachtet werden, soll kurz auf die sich wandelnde Bedeutung der Techniken und Technologien für die Bauelemente und ihren Einsatz eingegangen werden. Um eine Eindeutigkeit der oft nicht einheitlich benutzten Begriffe zu erreichen, wird eine Möglichkeit zur Systematisierung vorangestellt (Bild 5).

In der Mikroelektronik ist unter „Technik“ im wesentlichen ein technisch-technologisches Prinzip zu verstehen, das der Herstellung mikroelektronischer Bauelemente (Bauelement = kleinste Kon-

Tafel 1. Ökonomische Vorteile kleiner Strukturen am Beispiel eines 16-k-dRAM

Parameter	Minimalstrukturen	
	4 μm	1,5 μm
Chipfläche	21,86 mm ²	3,61 mm ²
Anzahl der Chips/100-mm-Scheibe	323	2142
Chipausbeute	12 %	65 %
Anzahl guter Chips/Scheibe	39	1392
Kostenfaktor für Scheibenprozeß	75	175
Kostenfaktor/gutem Chip	1,92	0,126
Kostenfaktor Zyklus II	0,08	0,08
Ausbeute Zyklus II	85	85
Kostenfaktor/verkapptem Chip	2,36	0,24
Kostenfaktor für Endmessung	0,5	0,5
Kostenfaktor/verkauftes BE	4,08	1,06

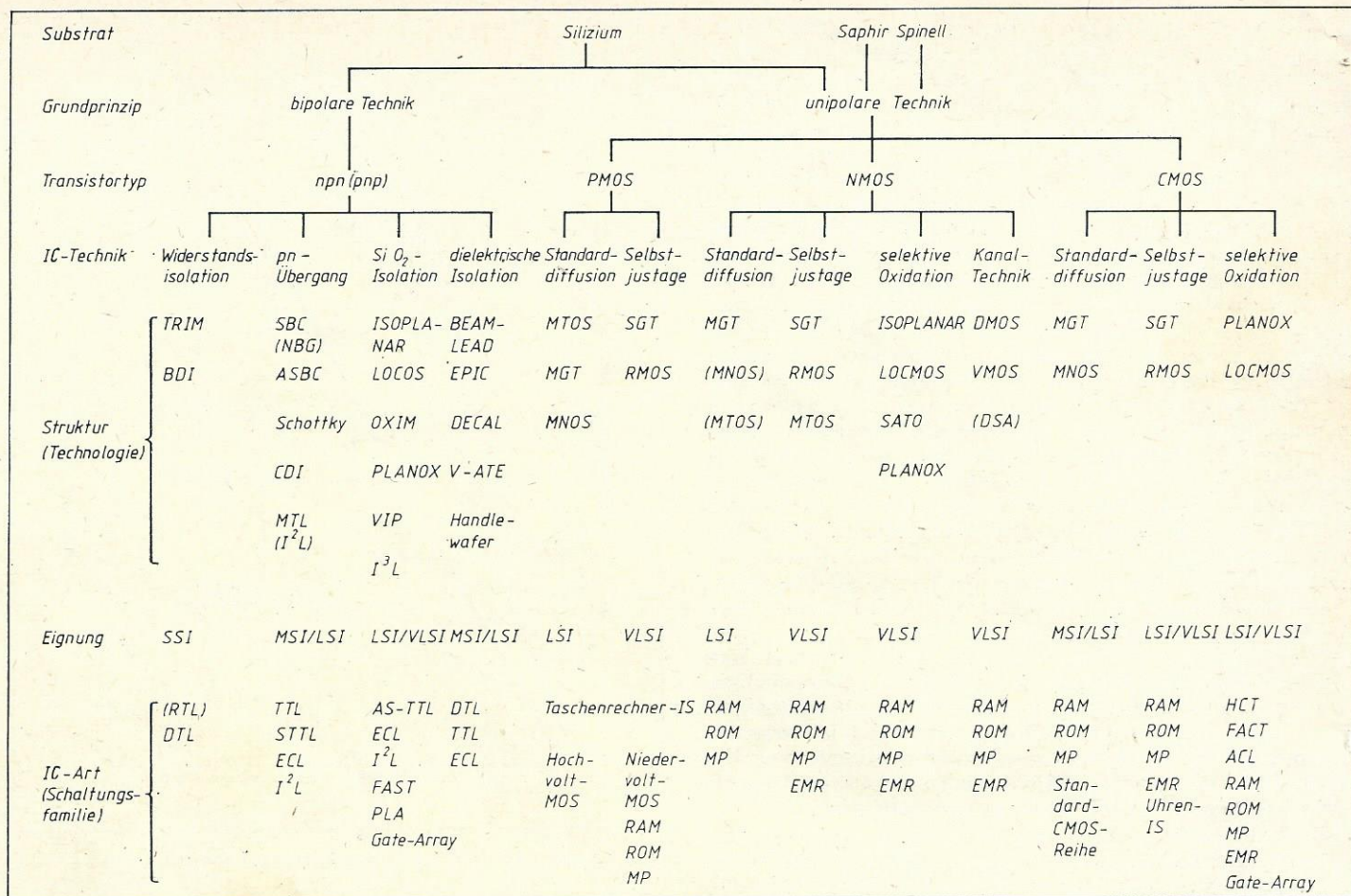


Bild 5. Systematik wichtiger IC-Technologien

ACL	Advanced CMOS logic
AHCT	Advanced HCT
ASBC	Advanced standard buried collector process
AS-TTL	Advanced Schottky TTL
BDI	Base diffusion isolation process
CDI	Collector diffusion isolation process
DECAL	Decalcomania technology
DMOS	Double diffused MOS
DSA	Diffusion-self-aligned process
DTL	Diode transistor logic
ECL	Emitter coupled logic
EPIC	Etched and polycrystalline carried IC
FACT	Fairchild advanced CMOS interface devices with TTL-levels
FAST	Fairchild advanced Schottky TTL
HC	High speed complementary MOS
HCT	High speed CMOS interface devices with TTL-levels
I²L	Integrated injection logic
I³L	ISOPLANAR I³L

ISOPLANAR	Isolation oxide planar process
LOCOS	Local oxidation CMOS
LOCOS	Local oxidation of silicon process
MGT	Metal gate technology
MNOS	Metal nitride oxide semiconductor
MTL	Merged transistor logic
MTOS	Metal thick oxide semiconductor
OXIM	Oxid isolated monolith
PLANOX	Planar oxide process
RMOS	Refractory MOS
RTL	Resistor transistor logic
SATO	Self-aligned thick oxide technology
SBC	Standard buried collector bipolar structure
SGT	Silicon gate technology
STTL	Schottky TTL
TRIM	Trimask technology
TTL	Transistor transistor logic
V-ATE	Vertical-anisotropic-etch process
VIP	V-isolation with polysilicon backfill
VMOS	V-groove MOS

struktioneinheit) mit bestimmten Eigenschaften, die für ein spezielles Anwendungsgebiet geeignet sind, dient. Davon ausgehend kann man den Begriff „Halbleitertechnologie“ als eine Folge von Verfahrensschritten definieren, mit denen ein solches Prinzip realisiert werden kann. Eine Anzahl solcher Technologien, d.h. Strukturierungsverfahren, gibt die Ebene „Struktur“ im Bild 5 wieder. Wenn man davon ausgeht und beachtet, daß eine Technik durch die vier in Wechselbeziehung stehenden Komplexe:

- angewandtes Wirkprinzip
- Schaltungstechnik
- Werkstoff
- Technologie

bestimmt wird, lassen sich die Begriffe, wie im Bild 5 dargestellt, systematisch zuordnen. Aus technologischer Sicht werden die Eigenschaften der bipolaren integrierten Schaltungen wesentlich durch die Isolationstechniken und die der unipolaren integrierten Schaltungen durch das Kanalgebiet und seine Herstellungsart bestimmt. Daher wurden im Bild 5 für die bipolare Technik die Isolationstechniken und für die unipolare Technik die Techniken zur Realisierung des Kanalgebietes als Ordnungskriterium gewählt. Die Darstellung zeigt nicht nur eine hierarchische Einordnung der Begriffe, sondern sie spiegelt in den Ebenen (von links nach rechts) die Richtung des Entwicklungstrends wider; so werden die anfangs dominierenden bipolaren Schaltungen zunehmend durch die unipolaren Schaltungen verdrängt. Innerhalb der letzteren erfolgt eine

Schwerpunktverlagerung von der p-Kanal- über die n-Kanal- zu CMOS-Technik. Diese Tendenz findet man in den Bildern 6 und 7 wieder. Das 1984 bestehende Übergewicht der unipolaren gegenüber den bipolaren integrierten Schaltungen wird 1990 noch stärker werden. Das Aufkommen an unipolaren gegenüber bipolaren digitalen integrierten Schaltungen betrug 1984 mehr als das Doppelte; 1990 wird es über das Dreifache sein. Der Anteil von linearen Schaltungen, bei denen auch 1990 die bipolare Technik dominieren wird, bleibt relativ konstant. Es wird erwartet, daß sich der steile Aufwärtstrend der unipolaren Bauelemente seit dem Ende der 70er Jahre bis weit in die 90er Jahre fortsetzt. Von ausschlaggebender Bedeutung ist dabei die stürmische Entwicklung der CMOS-Bauelemente. Für 1990 wird die p-Kanal-Technik bedeutungslos sein, n-Kanal- und CMOS-Technik werden die Rollen tauschen und das gegenwärtige Verhältnis von etwa 2 : 1 wird sich umkehren. Bei Speicherschaltkreisen wird die CMOS-Technik dominieren und bei den logischen Schaltungen im Aufkommen eine weitgehende Parität zwischen CMOS- und Bipolartechnik erreicht werden. Die CMOS-Technik ist ein eindrucksvolles Beispiel, wie ein für die integrierte Technik vorteilhaftes Wirkprinzip, der sich selbst isolierende MOS-Feldeffekttransistor, und eine für die digitale Technik vorteilhafte Schaltungsart, die Komplementärschaltung, erst durch die großen Fortschritte der Technologie zur Herstellung lateraler Mikrostrukturen für die Breitenanwendung erschlossen wurden. Vor einigen Jahren wurden CMOS-Schaltungen noch als eine teure Technik für exklusive Aufgaben, die bestenfalls für niedrig- bis

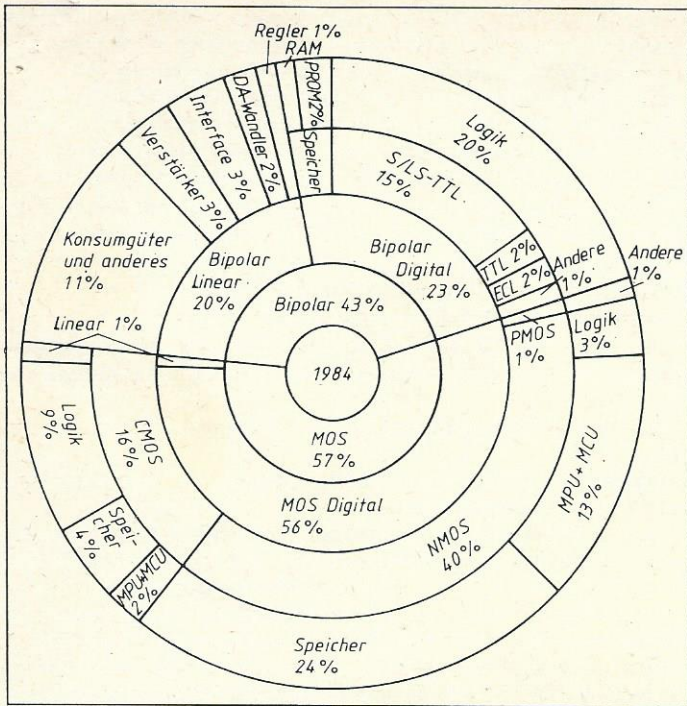


Bild 6. Gliederung des Aufkommens von IC nach Technologien (1984)²⁾

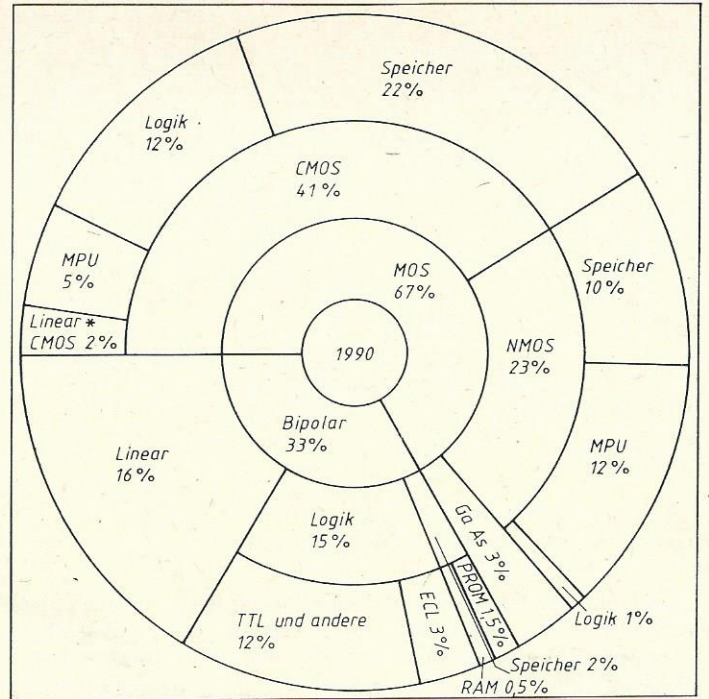


Bild 7. Für 1990 erwartete Gliederung des Aufkommens von IC nach Technologien²⁾
* ohne Mischtechnologien

mittelintegrierte Logikschaltungen geeignet ist, eingestuft. Gegenwärtig ist sie eine Universaltechnik der Mikroelektronik, die dabei ist, sich ein breites Anwendungsfeld (Logik, Prozessorschaltungen, Voll- und Halbkundenschaltungen) zu erschließen. So will die Fa. Intel ab 1987 60% ihrer Erzeugnisse in CMOS-Technik herstellen. Im Zuge dieser Entwicklung wird die CMOS-Technik nicht nur weit in das Gebiet der Speicher vordringen (Bild 7), sondern sie wird ein wichtiger Ansatzpunkt sein, um durch weitere Integration in das Gebiet der Megabit-Speicher zu gelangen.

Das bedeutet nicht, daß die bipolare Technik vernachlässigt wird. Neben der Analogtechnik werden Anwendungsgebiete, in denen hohe Geschwindigkeiten und/oder Leistungen gefragt sind, im wesentlichen dem Einsatz bipolarer Bauelemente vorbehalten bleiben. Der Weg zu leistungsfähigeren digitalen bipolaren Schaltungen wird am Beispiel der Entwicklung von der Schottky-TTL zur Advanced-Schottky-TTL durch Verbesserung der Technologie (Skalierung/Bild 4, Oxidisation/Bild 5) deutlich.

Der VEB Kombinat Mikroelektronik hat unter anderem die Aufgabe, mit einem Minimum an Technologien ein Maximum an Bauelementen bereitzustellen. Die Schwierigkeit dieser Aufgabe wird indirekt im Bild 5 deutlich. So muß der VEB Kombinat Mikroelektronik aus einer Vielzahl von Technologien die richtigen Linien auswählen und entwickeln, um damit — ohne sich zu verzetteln — ein optimiertes Bauelementesortiment bereitzustellen, das den Anforderungen der Anwenderindustrie gerecht wird, d.h., das die volkswirtschaftlich wichtigen Programme der DDR bauelementeseitig sichert.

7. Trends einiger wichtiger Bauelementelinien

7.1. Mikroprozessor (MP) und Einchip-Mikrorechner (EMR)

Zunehmend ist ein volkswirtschaftlich effektiver Einsatz der Mikroelektronik nur mit kompletten bzw. ergänzungsfähigen Mikroprozessorsystemen möglich. Dazu gehören neben dem Prozessor selbst Speicher- und Peripherieschaltkreise. Die Entwicklung von 8-bit-Mikroprozessoren ist abgeschlossen. Die 8-bit-Einchip-Mikrorechner, die gegenwärtig die 4-bit-Einchip-Mikrorechner verdrängen, werden über 1990 hinaus dominieren. Die 16-bit-Einchip-Mikrorechner befinden sich in der Einführungsphase. Ähnliches gilt für die 32-bit-Mikroprozessoren.

Es besteht ein Trend zu größeren Datenwortlängen, d.h., wo bisher 4-, 8-, 16-bit-Mikroprozessoren eingesetzt wurden, werden zunehmend 8-, 16-, 32-bit-Prozessoren eingesetzt werden.

Mit diesem Trend geht auch eine zunehmend schärfere Trennung der Einsatzgebiete bzw. eine Spezialisierung einher:

- 4-bit-CMOS-EMR für die Konsumgüter
- 8-bit-CMOS-EMR/MP für Kleinststeuerungen und die untere Leistungsklasse der Mikrorechentechnik
- 16-bit-CMOS-EMR/MP für Steuerungen und hochwertige Büro-/Personalcomputer
- 32-bit-EMR/MP für hochwertige Steuer- und Rechentechnik, besonders auch als Leitreechner in Mehrprozessorsystemen für die Planung und Leitung.

Insgesamt geht die Entwicklung zunehmend zu solchen Prozessoren, die mit anderen zusammenarbeiten können. Diesem Trend folgend hat die Fa. NEC einen Einchip-Datenfluß-Prozessor für parallele Datenverarbeitung (μ PD 7281) entwickelt. Eine Vorstellung, welche hohe Leistungsfähigkeit mit konventionellen Siliziumbauelementen durch ein Multiprozessorsystem erreicht werden kann, gibt u. a. der Rechner „Cray II“, der 1,2 Mrd. Fließkommaoperationen je Sekunde ausführen kann. Das wird durch 4 „Hintergrund-Prozessoren“ und einen „Vordergrund-Prozessor“ erreicht, der nur die Koordinierung der Datenströme übernimmt.

Dieses Beispiel zeigt die gangbaren Wege, mit Bauelementen auf der Basis einer hochwertigen beherrschten Siliziumtechnik Geräte mit höherem Datendurchsatz aufzubauen durch

- leistungsfähigere Architekturen, d. h. Mehrprozessorfähigkeit und verschachtelte Parallelverarbeitung
- wirkungsvollere Befehlssätze, d. h. Software-Lösungen werden durch Hardware ersetzt (wie die fest verdrahteten Funktionen im Taschenrechner, z. B. Multiplikationen)
- verfeinerte Technologien, d. h. z. B. mit 1,25- μ m-Strukturen (HMOS III) werden Taktfrequenzen bis zu 25 MHz erreicht, wie für die 8-bit-CPU Z 800 angekündigt wurde.

Die zunehmenden Forderungen nach Signalechtzeitverarbeitung (z. B. schnelle Multiplizierer) hat eine breite Sortimentsentwicklung bei digitalen Signalprozessoren zur Folge. Im Zusammenhang mit verbesserten Technologien steht die unübersehbare Tendenz zu leistungsarmen CMOS-Prozessoren. So ist das Geschwindigkeits-Leistungs-Produkt bei HMOS 10mal größer als bei CHMOS. Da die CMOS-Mikroprozessoren den Systemtakt von gängigen NMOS-Mikroprozessoren erreicht haben (z. B. 80 C 88 bis 8 MHz), werden die wichtigsten Prozessortypen und Einchip-Mikrorechner in n-Kanal- und CMOS-Technik produziert werden. Dabei geht die Tendenz dahin, für die breite Anwendung CMOS-Bauelemente und nur dort, wo höchste Geschwindigkeiten gefordert sind, n-Kanal-Bauelemente einzusetzen. Bei 32-bit-Mikroprozessoren besteht auf Grund der schwierigen Wärmeabfuhr bei hohen Integrationsgraden (der Mikroprozessor 80386 hat 275000 Transistoren auf einem cm^2) beinahe ein Zwang zur CMOS-Technik. So werden künftige 32-bit-Mikroprozessoren wahrscheinlich CMOS-Bauelemente sein, um die wesentlichen Vorteile, wie

²⁾ (Quelle: Wissenschaftlich-Technische und Ökonomische Information des VEB KME; H. 11/85)

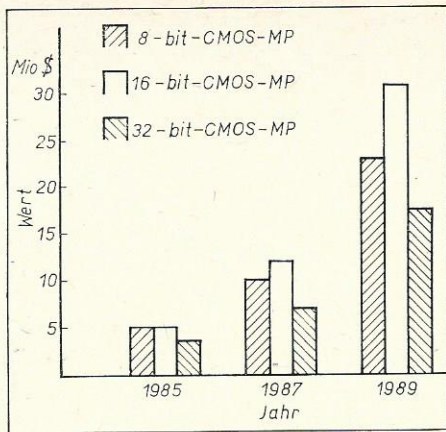


Bild 8. CMOS-Mikroprozessormarkt in Westeuropa

- niedriger Leistungsverbrauch
- hohe Störsicherheit
- Stand-by-Funktionen

zu nutzen. Bild 8 zeigt eine Einschätzung der Entwicklung des CMOS-Mikroprozessormarktes in Westeuropa. Alle künftigen hochwertigen Mikroprozessoren werden mit hohen Taktfrequenzen (10 MHz) und hohen Anschlußzahlen (> 48) als Aufsetzbauelemente (Chip-Carrier) oder in Pin-grid-Gehäusen gefertigt werden.

7.2. Peripherie-Schaltungen

Die hochintegrierten speziellen Systemschaltungen erlangen eine zunehmende Bedeutung. Diese Peripherie-Schaltungen bestimmen wesentlich die Leistungsfähigkeit eines Mikroprozessorsystems und damit auch seine Anwendungsbreite. Schwerpunktfunktionen sind:

- integrierte Schaltungen für lokale Netze (LAN, Ethernet)
- integrierte Schaltungen für die Steuerung peripherer Geräte, wie Monitor, Hard- und Floppy-Disc-Laufwerk
- Schnittstellenschaltungen, wie E/A-, Bus- und Interrupt-Controller, DA- und AD-Wandler
- Schaltkreise als Speicherzubehör für Fehlererkennung und -korrektur sowie RAM-Controller.

Ihre Entwicklung verläuft in Verbindung mit den Prozessorschaltungen zu

- höheren Verarbeitungsgeschwindigkeiten und Datenübertragungsraten
- optimalen Problemlösungen durch verbesserte Architektur und hohe Komplexität
- universellen und processorunabhängigen Einsatzmöglichkeiten.

Dieser letzte Punkt trifft auch voll auf die 3. „Säule“ eines Mikroprozessorsystems, die Speicher, zu.

7.3. Speicher-Schaltungen

Bei Speicher-Schaltungen besteht im Zusammenhang mit Mikroprozessorsystemen ein unübersehbarer Trend zur sogenannten „Silizium-Software“. Um die Leistungsfähigkeit von Mikroprozessorsystemen (z. B. Zuverlässigkeit) zu steigern, werden nicht nur, wie schon erwähnt, einzelne Funktionen fest verdrahtet, sondern man setzt zunehmend in ROMs gespeicherte Software-Pakete ein (1-Mbit-EPROM). Das sind meist:

- Standard-Betriebssysteme
- Programmierhilfen auf der Basis höherer Programmiersprachen (z. B. Basic-Interpreter)
- zusätzliche Systemfunktionen (z. B. Interrupt-Controller).

Diese ROM-residente Software kann durch vorhandene „Pointer“ an die unterschiedliche Hardware angepaßt werden. Die Vorteile sind:

- höhere Zuverlässigkeit
- minimierte Programmspeicherung auf Magnetband oder -platte
- billigere und platzsparendere Programmspeicherung als in externen Massenspeichern
- kürzere Ladezeiten.

Der Trend zur „Silizium-Software“ ist ein Ausdruck der erheblichen Fortschritte, die auf dem Gebiet der Halbleiterspeicher gemacht wurden. Insgesamt werden die Halbleiterspeicher auch weiterhin eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung und dem Einsatz der Mikroelektronik spielen. Sie werden auch künftig das Standard-erzeugnis sein, das in größten Stückzahlen produziert wird, d. h.,

über die Hälfte aller abgesetzten Schaltungen werden Speicher sein. Wie schon festgestellt, werden sie auf Grund ihrer Wiederholstruktur ergebnisseitig Schrittmacher und Leistungsmesser der hochintegrierten Technik bleiben. Durch dreidimensionale Zellstrukturen (Trenchzelle, Stacked-Capacitor-Cell, Mehrebenenbau) und geringere Minimalabmessungen werden der Integrationsgrad und damit die Kapazität der Speicherbauelemente weiter steigen (Bild 4). Ende der 80er Jahre werden 1-Mbit-dRAM und Anfang der 90er Jahre 4-Mbit-dRAM in größeren Stückzahlen produziert werden. Neben den schon gezeigten Tendenzen, die adäquat zu denen der Mikroprozessoren verlaufen (Verringerung von Strukturen und Leistungsverbrauch), sind folgende zu verzeichnen:

- Sicherung der Kompatibilität zwischen den Speichergenerationen (z. B. Anschlußbelegung, nur eine Versorgungsspannung von 5 V)
- Integration weiterer Funktionen (z. B. Refresh-Logik, Steuerungslogik)
- interne Redundanz und Fehlererkennung zur Kostensenkung und höheren Zuverlässigkeit
- bessere Beherrschung der internen Feldstärken durch Senkung des Spannungspegels, der Leitungs- und Kontaktwiderstände, Isolatorschichten mit hohen Dielektrizitätskonstanten u. a.
- Dominanz der unipolaren Speicher (Bilder 6 und 7), wobei die n-Kanal-Speicher entsprechend den technologischen Möglichkeiten sukzessive durch CMOS-Speicher substituiert werden. Die schnelleren, meist in CMOS-Technik ausgeführten statischen Speicher haben im Vergleich zu den dynamischen Speichern etwa ein Viertel der Kapazität und ein Drittel der Zykluszeit bei gleichem technologischem Niveau. Nur bei hohen Geschwindigkeitsanforderungen (z. B. Cache-Speicher) werden bipolare Speicher mit Zugriffszeit von weniger als 20 ns und Kapazitäten bis 64 kbit eingesetzt.
- Übernahme zusätzlicher Funktionen durch Festwertspeicher (2-Wege-Handshake, NOVRAM).
- Entwicklung der Festwertspeicher bis nach 1990 zu folgenden Anteilen:

• EEPROM	23 %
• EPROM	60 %
• ROM	17 %

Dabei ist zu bemerken, daß sich die nur einmal programmierbaren Plastik-EPROM so stark entwickeln, daß die Anteile weit mehr als 60 % (bis 80 %) erreichen werden.

- Entwicklung der Speicherkapazität

• EEPROM	256 kbit
• EPROM	1 Mbit
• ROM	4 Mbit

— Zunahme der Bedeutung von anwendungsorientierten Speichern (Speicher zur Unterstützung von Grafikanzeigesystemen), wobei ihre Entwicklung im Zusammenhang mit den schon erwähnten Peripherie- bzw. Systemschaltungen zu sehen ist.

7.4. Anwendungsspezifische integrierte Schaltungen (ASIC)

Die anwendungsspezifischen Schaltungen (zu ihnen sind eigentlich auch die Festwertspeicher zu rechnen) nehmen an Bedeutung in dem Maße zu, wie sich der rechnergestützte Entwurf und die damit im Zusammenhang stehende Technologie (CAD/CAM-Systeme) verbessert. Es wird erwartet, daß diese Bauelemente in den 90er Jahren im NSW den gleichen Marktanteil wie Standardschaltungen haben werden. Mit dieser Entwicklung geht gleichzeitig auch eine Verschiebung innerhalb dieser Erzeugnisgruppe einher (Tafel 2).

Bei der im Bild 9 wiedergegebenen Systematik zu den anwendungsspezifischen Schaltungen wurden die Voll-Kunden- mit den Standard-Zellen-IC unter Kunden-IC eingeordnet, da sie sich in ihrem Konzept ähnlich sind. Bei beiden sind im Gegensatz zu den Gate-Arrays alle Maskenebenen kundenspezifisch, d. h., die auf dem Chip realisierten Zellen werden 100 %ig genutzt. Dementsprechend wird auch die vorhandene Chipfläche besser genutzt. Eine optimale Nutzung ist allerdings nur bei Voll-Kunden-IC gegeben. Die Vorteile einer besseren Nutzung der Chips, die erst bei steigenden Stückzahlen wirksam werden, werden mit längeren Entwicklungszeiten,

Tafel 2. Entwicklung der Produktionsanteile der verschiedenen ASIC (in %)

ASIC	1984	1988	1990
Voll-Kunden-IC	47	25	20
Standardzellen-IC	6	25	35
Gate-Array	32	30	30
PLA	15	15	15

höheren Kosten, einer größeren Mitwirkungsleistung und einer größeren Abhängigkeit gegenüber dem Bauelementhersteller erkaufte. Im Bild 9 wird das durch die Angabe der Ebenen, die durch den Kunden zu spezifizieren sind, durch die Größenordnung der Entwicklungszeiten und den Relationen der Entwicklungskosten ausgedrückt. Die Entwicklung von immer besseren CAD/CAM-Systemen verläuft zur Zeit schneller als die technologische Entwicklung, die eine bessere Nutzung der Chipfläche auf Grund verkleinerter Strukturen ermöglicht. Hierin dürfte der Trend von Gate-Array zur Standard-Zelle begründet sein. Die schnelle Entwicklung der CAD-Systeme wird nach 1990 auch dazu führen, daß sich die Unterschiede zwischen Voll-Kunden- und Standard-Zellen-Schaltungen zunehmend verwischen werden. Das heißt, daß die Bedeutung der ASIC zunimmt und der hochintegrierten Technik mit ihren Vorteilen weitere Anwendungsgebiete, auch mit kleinen Stückzahlen, erschlossen werden. So erwartet man in Westeuropa, daß etwa 80 % der anwendungsspezifischen Schaltungen in weniger als 5000 Stück im Jahr benötigt werden. Es gibt Firmen, die nach 7 bis 10 Tagen den Prototyp eines Gate-Arrays anbieten und bei denen teilweise schon 1000 Stück rentabel sind. Insgesamt sind folgende Entwicklungen zu erwarten:

— Die Bedeutung von programmierbaren Logik-Anordnungen (PLA) wird trotz der genannten Tendenzen eher zu- als abnehmen, da

- die Argumente, die anwendungsseitig für Logikreihen sprechen (z. B. Unabhängigkeit von der Datenbank des Halbleiterproduzenten, weil keine Maskenebene zu erstellen ist), auch für den gesamten Komplex der programmierbaren Logik-Anordnung gelten ausgehend vom Trend bei den Festwertspeichern in verstärktem Maße mit mehrmals programmierbaren Logik-Anordnungen zu rechnen ist.

— Fortgeschrittene PLA werden künftig vorwiegend durch bipolare, oxydisolierte Schaltungen (z. B. ASTTL) mit 150 bis 400 Gattern je Chip, Minimalstrukturen $\leq 1,5 \mu\text{m}$ und internen Gatterverzögerungszeiten $\leq 1 \text{ ns}$ realisiert werden.

— Bei Gate-Arrays und Standard-Zellen-Schaltungen werden CMOS-Schaltungen mit Minimalstrukturen von 1 bis $1,5 \mu\text{m}$, 1 bis 20 T Gattern je Chip und internen Gatterverzögerungszeiten von 0,5 bis 1 ns dominieren. Für Anwendungsfälle mit sehr hohen Geschwindigkeitsforderungen werden auch künftig ECL-Gate-Arrays mit internen Gatterverzögerungszeiten von $\leq 0,3 \text{ ns}$ und 500 bis 3000 Gattern je Chip eingesetzt werden.

— Bei Gehäusen werden Chip-Carrier überwiegen, die bei mehr als 128 Anschlüssen durch PIN-Grid-Gehäuse ergänzt werden.

— In vielen Anwendungsgebieten werden die Standard-Logik-Familien durch die anwendungsspezifischen Schaltungen substituiert werden.

7.5. Standard-Logik-Schaltungen

Bei den Logik-Reihen gibt es international ein festes Standard-Sortiment an Funktionen. Unter Nutzung der Fortschritte in der hochintegrierten Technik werden sie in zwei Hauptrichtungen,

- Erhöhung der Arbeitsfrequenz
- Leistungsarmut,

weiter entwickelt. Die dabei beschrittenen Wege sind wie in der hochintegrierten Technik:

- Strukturverkleinerung
- dielektrische Isolierung (Oxydisolation)
- Einsatz der CMOS-Technik.

CMOS-Reihen, ergänzt durch bipolare Baureihen für hohe Geschwindigkeit und bestimmte Leistungsfunktionen (z. B. Treiberschaltungen), werden überwiegen. Bis 1990 werden TTL-Baureihen ihre Bedeutung verloren haben. Für die breite Anwendung kommen CMOS-Reihen, wie 74 HC (3 V) und 74 HCT und ihre Weiterentwicklung zu höheren Geschwindigkeiten (z. B. die ACL-Reihe, hergestellt mit $1,5 \mu\text{m}$ -Strukturen und pinkompatibel zu den FAST- bzw. ASTTL-Reihen) zum Einsatz. Dabei überschneiden sich zunehmend die Einsatzfelder der CMOS-Schaltungen mit denen der ALS- und ASTTL-Familien, die bei bestimmten Anforderungen, z. B. an Geschwindigkeit und Treiberleistung, noch Vorteile haben. Die gegenwärtigen Gatterverzögerungszeiten von etwa 1,7 ns werden dann bei etwa 1 ns liegen.

Bei Anwendungen mit hohen Geschwindigkeitsanforderungen (z. B. Teiler, Großrechner) werden ECL-Schaltungen eingesetzt, deren Gatterverzögerungszeiten von 0,3 ns auf weniger als 0,1 ns gesunken sein werden. In diesem Zusammenhang ist in Gebieten mit höchsten Geschwindigkeitsanforderungen für 1990 schon eine gewisse „Breitenanwendung“ von Galliumarsenid-Logik zu erwarten.

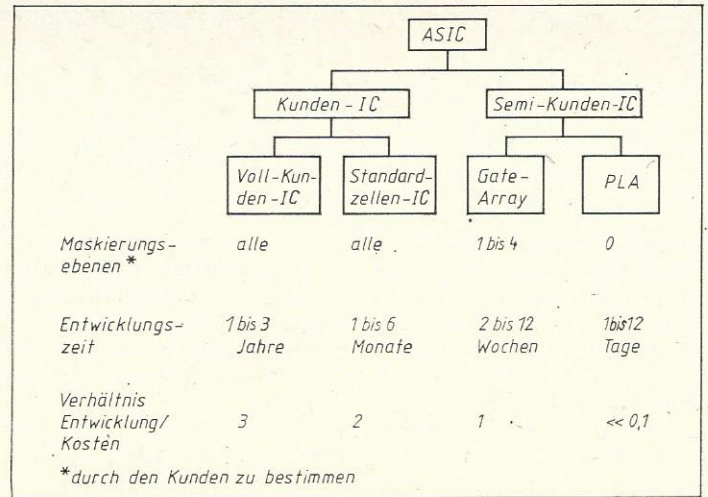


Bild 9. Einteilung der anwendungsspezifischen integrierten Schaltungen (ASIC)

7.6. Analoge integrierte Schaltungen

Der Anteil an analogen Schaltungen wird durch den anhaltenden Trend zur Digitalisierung weiter zurückgedrängt (Bilder 6 und 7). Absolut gesehen ist ein weiteres Wachstum besonders auf den Gebieten der

- Telekommunikation (neue Dienste)
- Interface-Schaltungen
- AD-, DA-Wandler
- Fahrzeugindustrie

zu verzeichnen. Das Gebiet der Analogschaltungen wird auch noch nach 1990 eine Domäne der Bipolartechnik sein, obwohl sich die CMOS-Technik bei den AD- und DA-Wandlern für die Breitenanwendung durchsetzen wird, u. a. bedingt durch die Tendenzen zu

- erhöhter Umsetzungsgeschwindigkeit (12 bit in weniger als 500 ns)
- verringerter Leistungsaufnahme
- größerer Komplexität (Zusatzfunktionen, Mehrfachwandler)
- minimalem Aufwand zur Anpassung.

So werden sich bis 1990 CMOS-Flash-Wandler (Umsatzrate besser als 20 MHz bei weniger als 250 mW) weitgehend durchsetzen. Eine Ausnahme sind die Video-Wandler, die auch 1990 in bipolarer Technik gefertigt werden.

Durch den zunehmenden Einsatz von Mikroprozessorsystemen in der Automatisierungs- und Meßtechnik besteht die Tendenz zu mikroprozessorkompatiblen Wandlern, die für die Verbindung zu äußeren Peripherie (Sensoren, Aktoren) unentbehrlich sind. Daher ist auch mit jährlichen Wachstumsraten von 20 bis 30 % zu rechnen.

Bei den Operationsverstärkern setzt sich der Trend zu höherer Schnelligkeit fort, wobei zu erwarten ist, daß 1990 die Festkörperschaltungen eine Slewrates bis $1000 \text{ V}/\mu\text{s}$ erreichen werden; das Gebiet darüber wird der Hybridtechnik vorbehalten bleiben.

8. Schlußbemerkungen

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Möglichkeiten des Siliziums als wichtigster Halbleiterwerkstoff der Mikroelektronik in Verbindung mit einer stetig verbesserten Planartechnik noch nicht ausgeschöpft sind. Daher ist für einen überschaubaren Zeitraum zu erwarten, daß das Silizium mit seinen gleichermaßen guten elektrischen und technologischen Eigenschaften als Voraussetzung für eine effektive Massenfertigung weiterhin der Basiswerkstoff für eine Mikroelektronik mit hoher Breitenwirksamkeit bleiben wird. Um diese Breitenwirksamkeit der Mikroelektronik zu verstärken, sind zusätzlich wirksame Sensoren und Aktoren mit Mikroelektronikkompatibilität bereitzustellen. Diese Kompatibilität bezieht sich nicht nur auf die Systemintegration, sondern auch auf die Fertigung und damit auf die Kosten. Das wird nur durch die Nutzung der Verfahren der Mikroelektronik für diese Zielstellung zu erreichen sein. Zunehmende Schwerpunkte der internationalen Entwicklung sind neben der Mikroelektronik die Sensoren, Aktoren und die in diesem Zusammenhang nicht wegzudenkende Mikromechanik. Hiermit sind auch für die Industrie der DDR die Aufgaben abgesteckt, wobei die Mikromechanik als Nachfolgetechnik der Feinmechanik eine besondere Herausforderung ist.

NaA 9770

Dipl.-Ing. Kurt Biebler, VEB Applikationszentrum Elektronik Berlin, Mainzer Str. 25, Berlin, 1035