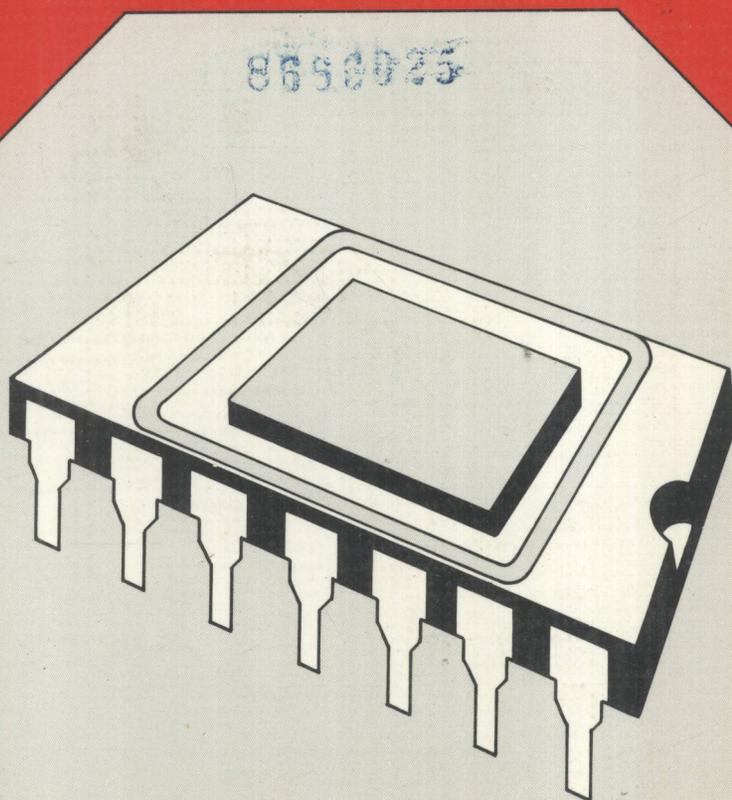


Reinhold Paul

Einführung in die Mikroelektronik



8650025

Hüthig

Handbuch TTL- und CMOS-Schaltkreise

1985, 412 S., 296 Abb.,
geb., DM 59,—
ISBN 3-7785-1086-X

Der vorliegende Titel ist als logische Fortsetzung aus dem „Handbuch Integrierte Schaltkreise“ von *Kühn/Schmied* hervorgegangen. Entsprechend der rasanten Entwicklung auf dem Bauelementensektor macht sich eine völlige Neukonzipierung sowohl inhaltlich als auch vom Umfang her erforderlich. Mit der jetzigen Neuauflage liegt ein modernes Handbuch über TTL- und CMOS-Schaltkreise vor. Er umfaßt im wesentlichen die modernen und heute eingesetzten TTL-Baureihen 74-Standard, 74 LS, 74 S, 74 ALS, 74 AS, die Interface-Baureihe 75 und die CMOS-Baureihen CD 4 000, HEF 4 000 und 74 HC.

Neben den allgemeinen Eigenschaften der einzelnen Baureihen (Schaltungsaufbau des Grundgatters, statisches und dynamisches Verhalten, Störeinflüsse) wird anwendungsbezogen ein Überblick über die dazugehörigen Schaltkreistypen gegeben. Dabei werden Grundelemente Gatter und Flipflops sowie solche komplexen Schaltkreise wie Impulsgeneratoren, Zähler und Teiler,

Schieberegister, Addierer, Leitungstreiber und -empfänger behandelt.

Zu den einzelnen Schaltkreistypen werden die wichtigsten Kenndaten, Anschlußbelegungen sowie Applikationsbeispiele mit Dimensionierungsrichtlinien für wichtige und besonders häufig vorkommende Schaltungskombinationen zusammengestellt.

Die TTL- und CMOS-Schaltkreistypen zeichnen sich durch eine starke internationale Vereinheitlichung ihrer elektrischen Parameter und Anschlußbelegungen aus, so daß es dem Autor möglich war, das komplette internationale Spektrum an digitalen TTL- und CMOS-Schaltkreisen für allgemeine Anwendung zu erfassen.

Das Buch ist aus der Praxis heraus geschrieben worden. Es werden kaum größere theoretische Abhandlungen geboten, dafür um so mehr Hinweise für den Einsatz der Schaltkreise. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird vor allem mit Tabellen und Diagrammen gearbeitet. Besonders hervorzuheben sind die umfassenden Übersichten im Anhang, die den Charakter des Buches als universelles Nachschlagewerk unterstreichen.

Einführung in die Technologie der Elektrotechnik/ Elektronik

2., stark veränderte Auflage
1985, ca. 380 S., ca. 195 Abb.,
geb., ca. DM 40,—
ISBN 3-7785-1123-8

Die zunehmende Bedeutung der Elektrotechnik/Elektronik für alle anderen Industriezweige der Wirtschaft verleiht auch der Technologie der Elektronik-industrie ein besonderes Gewicht. Wenn auch zahlreiche Fertigungsverfahren des Maschinenbaus in der Elektrotechnik eine Rolle spielen, so gibt es hier doch einige Besonderheiten, die es zu berücksichtigen gilt. Da Fragen der Stromleitung und Isolation eine Rolle spielen, ergeben sich oft eine andere Wertung der Verfahren sowie spezifische Besonderheiten im Ablauf. Fragen der Werkstoffbeschaffenheit werden unter anderen Gesichtspunkten betrachtet. Hinzu kommen spezielle Verfahren zum Beispiel in der Halbleiterfertigung und bei der Herstellung integrierter Schaltkreise.

Dieses Lehrbuch behandelt die verschiedenen Fertigungsverfahren der Elektrotechnik/Elektronik. Sie sind im Teil I zu Gruppen:

1. Verfahren auf physikalischer Grundlage;
 2. Verfahren auf chemischer, elektrochemischer und elektrophysikalischer Grundlage;
 3. Technologische Verfahren auf physikalisch-mechanischer Grundlage;
- zusammengefaßt dargestellt.

Der Teil II geht auf den Fertigungsprozeß, seine Gestaltung und Organisation ein. Das Buch wendet sich an Fach- und Hochschüler der Fachrichtungen: Technologie, Automatisierungstechnik, Elektrotechnik und Elektronik. Es vermittelt einen Überblick über die Probleme und Aufgaben, die den in der Technologie tätigen Ingenieur erwarten, und vermittelt den in der Forschung und Entwicklung Arbeitenden einen Einblick in Probleme der Überleitung in die Praxis.

Reinhold Paul

Einführung in die Mikroelektronik

TV 4
P4

8666025

Reinhold Paul



Einführung in die Mikroelektronik

Mit 102 Abbildungen und 75 Tabellen



E8666025

Dr. Alfred Hüthig Verlag Heidelberg

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Paul, Reinhold:

Einführung in die Mikroelektronik / Reinhold Paul. – Heidelberg: Hüthig 1985

ISBN 3-7785-1002-9

© 1985 Dr. Alfred Hüthig Verlag GmbH Heidelberg

Printed in Germany

Satz: K + V Fotosatz GmbH, 6124 Beerfelden

Druck: Neumann Druck, Heidelberg

Vorwort

Breit akzeptiert kommt heute der Mikroelektronik als technischer Basis der Informationsverarbeitung die Rolle einer Schlüsseltechnologie zu. Sie hat tiefgreifende strukturelle Veränderungen in jeder modernen Volkswirtschaft ausgelöst und weitere Auswirkungen können nur konturenhaft erahnt werden. Im täglichen Leben ist wohl fast jeder schon mit ihrer Anwendung in der Daten- und Textverarbeitung, der Konsumelektronik, der Meß-, Steuer- und Regelungstechnik und der Computer- und Robotertechnik in Berührung gekommen, um einige Beispiele zu nennen. Bereits heute hat die Mikroelektronik eine Reihe von Berufszweigen sehr entscheidend verändert und ihre weitere Bedeutung für die Arbeitswelt ist selbst durch Experten nur schwer abzuschätzen.

Aus dieser Sicht wird es verständlich, wenn sich heute breite Kreise mit der Mikroelektronik als Ursache dieser Umwälzungen näher beschäftigen, etwa aus allgemeinem Interesse, beruflich motiviertem Anreiz oder einfach während der Ausbildung. Gerade dort wächst der Einfluß der Mikroelektronik stark, hat doch eines ihrer wichtigsten Produkte – der Mikrorechner – auch das klassische Arbeitsfeld des Elektrotechnikers – die Schaltungsentwicklung – selbst verändert: Heute können elektronische Schaltungen nicht allein „hardwaremäßig“ für eine bestimmte Problemstellung entworfen werden, sondern ebenso durch eine allgemeine Mikrorechnerschaltung mittels eines speziell angepaßten Programmes, also durch „Software“. Das ist oft kostengünstiger, einsetzgerechter, zeitsparender und zudem flexibler mit Rücksicht auf mögliche Änderungen.

Auch der Entwurf mikroelektronischer Schaltungen unterscheidet sich tiefgreifend vom Schaltungsentwurf mit diskreten Bauelementen. Hier unterlag ein wichtiges Arbeitsgebiet des Elektrotechnikers selbst einem inhaltlichen Wandel.

Nicht vergessen werden soll die Fülle ingenieurtechnischer Problemstellungen aus den nichtelektronischen Bereichen, die heute durch den Einsatz der Mikroelektronik technisch und ökonomisch besser gelöst werden können. Gerade dort dürfte künftig der größte Anwendungsbereich der Mikroelektronik liegen.

Solchen und ähnlichen Überlegungen entsprang der hier unternommene Versuch, über eine „Einführung in die Mikroelektronik“ einer technisch interessierten breiten Leserschaft mit geringen elektrotechnischen Vorkenntnissen den Einstieg in dieses Gebiet zu erleichtern. Dabei stehen der Inhalt und Möglichkeiten, die Realisierung, Techniken und der Entwurf mikroelektronischer Schaltungen, die Produkte – nämlich analoge und digitale Schaltkreise – und Anwendungsbereiche der Mikroelektronik im Mittelpunkt. Inhaltlich besonders angesprochen sind natürlich Stu-

dentem technischer und naturwissenschaftlicher Disziplinen, besonders Elektrotechniker, Physiker und Informatiker, für die die Mikroelektronik ein wichtiges Teilgebiet ihrer Ausbildung darstellt.

Ausgegangen wird in der vorliegenden Schrift zunächst von den Gründen, die zur Mikroelektronik führten: die Entwicklung der Halbleitertechnik, die generellen Miniaturisierungsbestrebungen von Bauelementen und Schaltungen und dem wachsenden Bedarf durch die Entwicklung der elektronischen Informationsverarbeitung. Stand- und Entwicklungstendenzen der Mikroelektronik werden durch eine Reihe von typischen Merkmalen beschrieben, von denen der Integrationsgrad sicher das bekannteste ist.

Bei mikroelektronischen Schaltkreisen, deren Eigenschaften so eng vom Halbleitermaterial abhängen, sollte auf eine positionsartige Kenntnis der wichtigsten Herstellungsschritte für Funktionselemente, wie Strukturierung, Dotierung und Schichtherstellung nie verzichtet werden. Nur so sind der Gesamt Ablauf der Schaltkreisherstellung mit seinen beiden wichtigsten Basistechnologien, dem Bipolar- und MOS-Prozeß (und zahlreichen aufbauenden Varianten) besser zu verstehen und ebenso die wichtigsten Funktionselemente: Widerstand, Kondensatoren, Dioden und Transistoren. Auch für das Verständnis der tragenden Prinzipien der Schaltkreisrealisierung ist dies förderlich. Dafür sind stets wiederkehrende Grundschaltungen, die sog. Substrukturen der analogen und digitalen Schaltungstechnik und typische Schaltkreisfamilien der digitalen Schaltkreistechnik die schaltungstechnische Grundlage.

Völlig gewandelt hat sich gegenüber der klassischen Schaltungstechnik der Entwurf mikroelektronischer Schaltkreise, sowohl in der Methodik als auch den Werkzeugen. Gerade hier profitiert die Mikroelektronik von ihrem Spitzenprodukt – dem Rechner Schaltkreis – und der Weiterentwicklung der Rechentechnik selbst am meisten.

Massensprodukte der Mikroelektronik sind die analogen und digitalen Schaltkreise. Es wird versucht, aus der Fülle der informationsverarbeitenden und speichernden Schaltungen solche typischen Gruppen herauszugreifen, die bereits Systemfunktionen mit unterschiedlicher Komplexität erfüllen: Verstärker, Schalter, Regler, Multiplexer, Umsetzer, Register, Zähler und viele andere mehr. Exemplarisch erwähnte Schaltkreistypen mögen den Bezug zur praktischen Schaltkreistechnik erleichtern.

Individuelle Schaltungsaufgaben lassen sich nicht immer mit dem Standardschaltkreisangebot lösen. Deshalb haben die Hersteller der letzten Jahre durch verschiedene Techniken dem Kunden zusätzliche wirtschaftliche Lösungen – die Semikundenschaltkreise – in die Hand gegeben.

Die tiefgreifende Auswirkung der Mikroelektronik auf viele Bereiche der Volkswirtschaft wurde vor allem durch den Mikrorechner ausgelöst. Er besteht aus einem System von Schaltkreisen – Prozessor-, Speicher- und Ein-, Ausgabe-Schaltkrei-

sen, deren Informationsverarbeitung nicht allein durch diese Hardware, sondern erst durch ein Programm – die Software – vom Kunden festgelegt wird. Dies ist der tiefere Grund, weshalb die Anwendung der Mikroelektronik Innovationen auf so vielen Bereichen auslöst.

Sollte durch die vorgelegte „Einführung in die Mikroelektronik“ die Motivation für dieses faszinierende Gebiet der Technik vergrößert werden, so wäre das Ziel des Buches erreicht.

Dem Dr. A. Hüthig Verlag danke ich für die gute Zusammenarbeit und rasche Herausgabe des Bändchens und meiner Familie besonders für die technische Unterstützung bei der Vorbereitung und Bearbeitung des Manuskriptes.

München, im Sommer 1985

REINHOLD PAUL

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Bedeutung und Inhalt der Mikroelektronik	11
1.1 Begriff Mikroelektronik	12
1.2 Typische Merkmale mikroelektronischer Schaltkreise	18
1.3 Mikroelektronische Realisierungstechniken	24
2 Realisierung und Entwurf mikroelektronischer Schaltungen	27
2.1 Realisierungstechniken mikroelektronischer Schaltkreise	28
2.1.1 Gesamtablauf	28
2.1.2 Typische Prozessschritte zur Realisierung mikroelektronischer Schaltkreise	34
2.1.2.1 Strukturierung	34
2.1.2.2 Dotierungsverfahren	39
2.1.2.3 Schichtherstellung	39
2.1.3 Basistechnologien	42
2.1.3.1 Bipolar-Basistechnologie	42
2.1.3.2 MOS-Basistechnologien	48
2.2 Funktionselemente	54
2.2.1 Bipolartransistor	55
2.2.2 Weitere Funktionselemente der Bipolartechnik	57
2.2.3 Unipolar-, MIS-Transistoren	59
2.2.4 Weitere Funktionselemente der MOS-Technik	64
2.3 Realisierungsprinzipien integrierter Schaltungen	66
2.3.1 Formen der Schaltungsrealisierungen	67
2.3.2 Analoge Schaltungen, Substrukturen	70
2.3.3 Digitale Schaltungstechniken, Substrukturen	75
2.3.3.1 Substrukturen digitaler Schaltungstechnik	77
2.3.3.2 Digitale Grundsaltungen, Schaltkreisfamilien	82
2.3.3.3 Vergleich der Eigenschaften digitaler Grundsaltungen	94
2.4 Entwurf mikroelektronischer Schaltkreise	96
2.4.1 Entwurfsmethodik	100
2.4.2 Entwurfsebenen	106
2.4.3 Entwurfswerkzeuge	112

3	Analoge Schaltkreise	117
3.1	Operationsverstärker	117
3.2	Breitbandverstärker	122
3.3	Leistungsverstärker	123
3.4	Unstetig nichtlineare Verstärker	126
3.5	Analogschalter	127
3.6	Phasenregel-Schaltkreise	129
3.7	Signalerzeugende und signalformende Schaltkreise	130
3.8	Reglerschaltkreise für die Stromversorgung	132
4	Digitale Schaltkreise. Funktionsgruppen	135
4.1	Kombinatorische Funktionsblöcke	136
4.1.1	Multiplexer, Demultiplexer	136
4.1.2	Kodeumsetzer, Kodewandler, Dekodierer	139
4.1.3	Arithmetikschaltungen	141
4.2	Sequentielle Funktionsblöcke	144
4.2.1	Flip-Flop	144
4.2.2	Dynamische Schaltungen der MOS-Technik	149
4.2.3	Register	150
4.2.4	Zähler, Teiler	153
4.3	Hochintegrierte Schaltkreise	157
4.3.1	Halbleiterspeicher	157
4.3.2	Programmierbare logische Felder (PLA, PAL)	176
4.3.3	Mikrorechner, Mikroprozessoren	180
4.3.3.1	Mikrorechner – Mikroprozessor	182
4.3.3.2	Schaltkreisfamilien des Mikrorechners	196
4.3.4	Analog-Digital-Wandler-Schaltkreise	206
4.3.4.1	Analog-Digital-Wandler	208
4.3.4.2	Digital-Analog-Wandler	212
4.4	Personalisierung von Schaltkreisen, Kundeneinfluß	214
4.4.1	Semikundenschaltkreise	219
4.4.2	Vollkundenschaltkreise	225
5	Innovation durch Anwendung der Mikroelektronik	227
5.1	Anwendungsbereiche der Mikroelektronik	227
5.2	Anwendungsvorbereitung	230
5.3	Mikrorechneranwendungen	232
	Literaturverzeichnis	241
	Sachwortverzeichnis	242

1 Bedeutung und Inhalt der Mikroelektronik

Wohl kaum ein Begriff steht heute mehr im Blickpunkt der Öffentlichkeit wie der der Mikroelektronik. So wird diese Technik zu Recht als der Schrittmacher des wissenschaftlich-technischen Fortschritts angesehen, deren Entwicklung und Anwendung entscheidend die Leistungsfähigkeit einer modernen Volkswirtschaft bestimmt. Das ist berechtigt, fragt man nach dem Stand dieser sog. „Hochtechnologie“, ihrem Einfluß auf die Produkt-Exportfähigkeit, dem Wirtschaftswachstum und der Beschäftigungslage in den fortgeschrittensten Industrieländern der Welt.

Auf der anderen Seite wird der Mikroelektronik von wenigen zu Unrecht die Rolle einer arbeitsplatzvernichtenden Technik zugeschrieben. Sicher verschwinden durch ihre umfassendere Anwendung bestimmte Arbeitsplätze mit starkem Routineanteil (und damit notwendigerweise geringeren Qualifikationsanforderungen), aber es entstehen auch zahlreiche neue mit bedeutend höheren Bildungsvoraussetzungen. Daß sich aus diesem Strukturwandel erhebliche Aufgaben für das Bildungssystem eines jeden Industrielandes ableiten, sei nur am Rande erwähnt.

Die Mikroelektronik veränderte während der verfloßenen rund drei Jahrzehnte große Bereiche der Technik. Ihre Erzeugnisse, die integrierten Schaltungen, Mikroprozessoren und Mikrorechner drangen in fast alle Industriezweige und viele Lebensbereiche ein. Und es scheint, daß dieser Prozeß erst am Anfang steht. Indem die Mikroelektronik überhaupt zur technischen Basis einer jeden rationellen Informationsverarbeitung wurde, avancierte sie zwangsläufig zu einer Schlüsseltechnologie, die vielfältig das Bild der Gesellschaft durch tiefgreifende Strukturveränderungen in typischen Industriezweigen zu beeinflussen begann. Dies gilt heute und noch vermehrt für die Zukunft, gehört doch die Mikroelektronik zu denjenigen Technologien – vielleicht die einzige dieser Art überhaupt –, deren Produkte immer leistungsfähiger und gleichzeitig billiger werden, und deren ausschließlich informationsverarbeitende Funktion in die Lage versetzt, die geistige Routinetätigkeit des Menschen im Arbeitsprozeß wirkungsvoll zu unterstützen. So profitierten von den raschen Fortschritten der Mikroelektronik hauptsächlich die Rechentechnik und Datenverarbeitung. Sie erlangten während der letzten Jahre eine solche Perfektion und Leistungsfähigkeit dank der Kostenvorteile durch den Einsatz mikroelektronischer Schaltkreise, daß sie heute umgekehrt für die Weiterentwicklung der Mikroelektronik, z. B. die Simulation mikroelektronischer Bauelemente und den Entwurf mikroelektronischer Systeme unverzichtbar geworden sind. Damit beschleunigen Stand und Anwendung der Mikroelektronik rückwirkend ihren weiteren Fortschritt selbst.

1.1 Begriff Mikroelektronik

Das *Schlüsselprodukt* der Mikroelektronik ist der *integrierte Schaltkreis* (gleichwertig auch als integrierte Schaltung, integrierter Baustein, IC u. a. bezeichnet), hergestellt mit den Verfahren der *Halbleitertechnik* aus einem *Halbleiterwerkstoff* – heute dominierend Silizium (mit vorsichtiger Tendenz zu den $A_{III} - B_V$ -Verbindungen) –, in dem viele Hunderte, Tausende, ja Hunderttausende von Funktionselementen zu einer komplexen elektronischen Schaltung untrennbar verbunden sind.

Die Entwicklung der Mikroelektronik beruht außer auf einem allgemeinen, gut entwickelten Fundus physikalischer, chemischer und elektronischer Erkenntnisse, vor allem auf folgenden Pionierleistungen:

- der Erfindung des *Bipolartransistors* im Jahre 1947/48 von SHOCKLEY, BARDEEN und BRATTAIN;
- den Ideen von J. KILBY, R. N. NOYCE und K. LEHOVEC Ende der 50er Jahre, *mehrere* Funktionselemente – Dioden, Transistoren, Widerstände, Kondensatoren – als sog. *integrierte Schaltung* innerhalb eines Halbleiters zu realisieren;
- der Konzeption des *MOS-Feldeffekttransistors* durch D. KHANG und M. M. ATALLA um 1960;
- der Entwicklung der sog. *Silizium-Planartechnik* (Diffusion, thermische Oxidation) im gleichen Zeitraum anstelle des bis dahin hauptsächlich verwendeten Germaniums als Halbleitermaterial;
- der Entwicklung des *Mikroprozessors* durch M. E. HOFF zu einem späterem Zeitpunkt, nämlich 1969/70. Hier konnte erstmalig ein in großen Stückzahlen herstellbarer Schaltkreis durch *Programmierung* den breiten Anwenderwünschen nachträglich „angepaßt“ werden, eine Eigenschaft, die dem Einzug der Rechentechnik „vor Ort“ Tür und Tor öffnete.

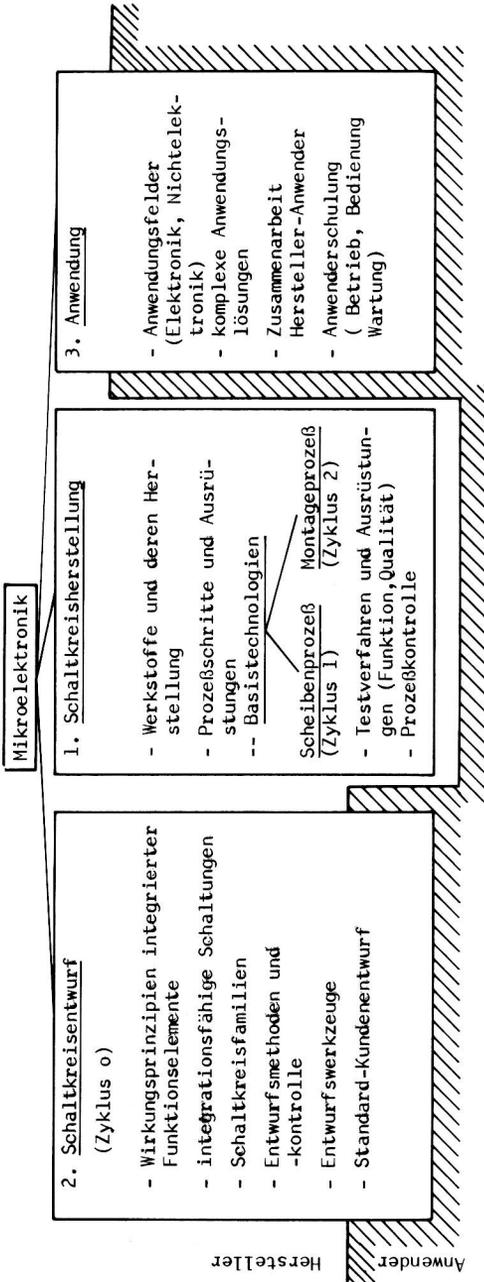
Sehr bald erkannte man die technischen und kostenmäßigen Vorteile der Integration vieler Funktionselemente in einem kleinen Stück (Scheibe) eines Silizium-Einkristalls – dem *Chip* – als so gravierend, daß die Steigerung des *Integrationsgrades*, d. h. der Zahl integrierter Komponenten in einem Chip, zur *Schrittmacherfunktion* der Mikroelektronik wurde. Zunächst umfaßte der Begriff „Mikroelektronik“ während der 60er Jahre vorrangig die physikalisch-technologischen Probleme der *Herstellung* integrierter Schaltungen und elementare Regeln für den *Entwurf integrierter Funktionselemente und Schaltungen*. Die Schaltungstechnik selbst lehnte sich hauptsächlich an die bekannte Technik mit diskreten Bauelementen an; integrationspezifische Lösungen waren sehr selten. Üblich waren Integrationsgrade von einigen 100 Funktionselementen, mit denen Verstärker, Logikgatter usw. bis hin zu Registern und Zählern integriert werden können. Von den wenigen integrations-spe-

zifischen Lösungen haben sich die sog. TTL-, ECL- und CMOS-Technik bis heute voll behaupten können.

Im Bestreben, immer mehr Funktionselemente zu integrieren, erweiterte sich der Inhalt des Begriffes „Mikroelektronik“ vor allem im Laufe der 70er Jahre in mehrfacher Hinsicht:

1. Die Perfektion bei der *Realisierung* integrierter Schaltungen mit immer höheren Integrationsgraden und kleineren Strukturabmessungen erreichte schließlich einen Punkt, an dem sich allmählich qualitativ neue Züge abzeichneten, die heute als „Microengineering“ oder „Semiconductor Microtechnology“ bezeichnet werden. Gleichzeitig wuchsen die Forderungen an das Halbleitermaterial; es begannen systematische Forschungen zum „maßgeschneiderten Halbleitermaterial“, oft als „Material-Engineering“ bezeichnet. Heute stellt die *Technologie integrierter Schaltungen*, d. h. die Materialherstellung und -verarbeitung, die technologischen Schritte zur Herstellung integrierter Schaltungen nebst den zugehörigen Ausrüstungen, bestimmte *Prozessschrittfolgen* für den Scheibenprozeß – sog. *Basistechnologien* –, die Zerteilung der Halbleiterscheibe in die einzelnen Chips (mit je einem Schaltkreis) und deren Montage in ein Gehäuse (*Montageprozeß*) einschließlich der erforderlichen Testschritte, die *erste* (zentrale) Säule (Tafel 1.1) einer ingenieurmäßigen Beherrschung der Mikroelektronik dar. Die Herstellung integrierter Schaltungen liegt wegen der hohen ökonomischen Vorleistungen, der Komplexität technologischer Ausrüstungen, des Erfahrungsschatzes und manch anderer Faktoren durchweg in der Hand des Schaltkreis- oder Bauelemente-Herstellers.

2. Es entstanden im Laufe der Zeit ständig neue Ideen für integrationsfähige Funktionselemente, integrationsfähige Schaltungen und schließlich ganze Systeme, die einen neue Philosophie des *Entwurfs* von mikroelektronischen Funktionselementen, Schaltungen und Systemen erforderlich machte: Bestanden die ersten integrierten Schaltungen um das Jahr 1960 noch aus einigen 10 bis 100 Funktionselementen, so hat sich seither diese Zahl jedes Jahr nahezu verdoppelt. Heute sind 100 000 Funktionselemente pro Chip keine Seltenheit, und eine Grenze ist noch nicht absehbar. Die Verknüpfung derart vieler Einzelemente zu Schaltungen und Systemen erforderte nicht nur eine totale Abkehr vom klassischen Schaltungsentwurf mit diskreten Schaltelementen, sondern auch eine völlig neue *Schaltungs- und Entwurfsmethodik*. Konnte bisher die Schaltung aus einzelnen Komponenten aufgebaut und ggf. zur Erzielung spezieller Eigenschaften durch Wechsel oder Abgleich einzelner Elemente *nach* dem Zusammenbau noch einfach korrigiert werden (durch Intuition, Erfahrung oder mit dem LötKolben), so ist dies bei integrierten Schaltungen aus mehreren Gründen gänzlich unmöglich: Technologisch werden integrierte Schaltungen dadurch realisiert, daß die Eigenschaften (Leitfähigkeit, Leitungstyp) bestimmter Halbleitergebiete *selektiv* beeinflusst, an bestimmten Stellen Isolatoren und Verbindungen eingefügt werden und diese Prozedur „Schicht für



Tafel 1.1 Mikroelektronik dargestellt durch Entwurf, Herstellung und Anwendung integrierter Schaltungen mit unterschiedlichen Hersteller- und Anwenderanteilen