

---

# Taschenbuch Elektrotechnik

---

Herausgegeben von

Prof. Dr. sc. techn. Dr. techn. h. c. Eugen Philippow

**Band 3**

**Bauelemente und Bausteine  
der Informationstechnik**

Teil II

3., stark bearbeitete Auflage



VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

# 3 Integrierte Schaltungen

<b>3.1 Allgemeines</b>	520
<i>von Eberhart Köhler</i>	
3.1.1 Wesensmerkmale. Begriffsbestimmungen	520
3.1.2 Zusammenhang zwischen Zuverlässigkeit und Integrationsgrad	522
3.1.3 Kostengrundgesetz der Mikroelektronik	522
<b>3.2 Dünnschichtschaltungen</b>	524
<i>von Eberhart Köhler</i>	
3.2.1 Bauelemente für Dünnschichtschaltungen	524
3.2.1.1 Eigenschaften der Substrate	524
3.2.1.2 Dünnschichtwiderstände	524
Grundlagen der Stromleitung in dünnen Schichten – Kenngrößen von Dünnschichtwiderständen	
3.2.1.3 Dünnschichtkondensatoren	528
3.2.1.4 Dünnschichtinduktivitäten	529
3.2.1.5 Verbindungsleitungen	529
3.2.1.6 Systeme mit verteilten Parametern	529
3.2.1.7 Aktive Bauelemente	531
3.2.2 Entwurf und Herstellung von Dünnschichtschaltungen	531
3.2.2.1 Entwurfsschritte	531
3.2.2.2 Herstellungsschritte	531
<b>3.3 Dickschichtschaltungen</b>	531
<i>von Eberhart Köhler</i>	
3.3.1 Substrate	531
3.3.2 Dickschichtbauelemente	532
<b>3.4 Festkörperschaltungen</b>	532
<i>von Eberhart Köhler</i>	
3.4.1 Allgemeines	532
3.4.2 Silicium-Bipolarschaltungen	533
3.4.2.1 Elemente in Bipolarschaltungen. Rechnerunterstützung beim Entwurf integrierter Elemente	533
Integrierte Bipolartransistoren – Integrierte Dioden – Integrierte Widerstände – Integrierte Kondensatoren	
3.4.2.2 Grundsaltungen in digitalen Bipolarschaltungen	540
TTL-Technik – I <sup>2</sup> L-Technik – ECL-Technik	
3.4.2.3 Analoge Schaltungen	546
3.4.3 Unipolarschaltungen	548
3.4.3.1 Elemente in Unipolarschaltungen	548
Integrierte MOS-Transistoren	

3.4.3.2	Grundsaltungen in digitalen MOS-Schaltungen	552
	P-Kanal-Hochvolttechnik – PMOS-Niedervolttechniken – N-Kanal-Technik – MOS-Inverter-Vergleich – Ablauf der N-Silicon-Gate-Technologie – Komplementärkanaltechnik (CMOS-Technik) – Weitere MOS-Inverter – MOS-Verknüpfungsschaltungen – GaAs-Inverter und -Gatter – CCD-Technik	
3.4.4	Speicherschaltungen	564
3.4.4.1	Allgemeines	564
3.4.4.2	Schreib-Lese-Speicher Schieberegister – RAM	566
3.4.4.3	Nur-Lese-Speicher	567
3.4.4.4	Umprogrammierbare nichtflüchtige Speicher (EPROM und EEPROM)	568
3.4.5	Entwurf integrierter Schaltungen (Übersicht)	568
3.5	<b>Zellenarray- und Standardzellenschaltungen</b> von <i>Gerd Scarbata</i>	570
3.5.1	Allgemeines	571
3.5.1.1	Entwurf kundenspezifischer Schaltungen auf der Basis vorgefertigter Zellenarrays	572
3.5.1.2	Entwurf kundenspezifischer Schaltungen auf der Basis definierter Standardzellen	573
3.5.2	Technologie für Zellenarrays und Standardzellen	574
3.5.3	Struktur der Zellenarrays und Standardzellen	578
3.5.3.1	Gatearrays Basiszellen – Peripheriezellen	578
3.5.3.2	Zellenarrays für digitale und analoge Anwendungen	584
3.5.3.3	Standardzellen	585
3.5.4	Zellenarray- und Standardzellenangebot	586
3.5.4.1	Zellenarrayangebot	587
3.5.4.2	Standardzellenangebot	589
3.5.5	CAD-Ablauf für kundenspezifische Zellenschaltungen	589
3.5.5.1	Anforderungen an die CAD-Software Bereitstellung der Eingabedaten – Schaltungseditierung – (Pre-Layout-)Simulation – Layoutentwurf – (Post-Layout-)Simulation – Layoutverifikation	591
3.5.5.2	CAD-Hardware	593
<b>Literatur</b>		594

**4 Elementarbausteine der Informationstechnik**

**4.1 Analoge Elemente der Informationstechnik** ..... 599

**4.1.1 Verstärker** ..... 599  
 von *Georg Freiburger, Günter Fuchs, Alois Rehn und Günter Rösel*

4.1.1.1 Verstärkerprinzipien ..... 599  
 Verstärker ohne Laufzeiteffekte – Rückkopplungsprinzip

4.1.1.2 Grundschaltungen mit Steuerbauelementen im Kleinsignalbetrieb ..... 601  
 Betriebskenngrößen nichtgegengekoppelter Grundschaltungen – Gegengekoppelte Grundschaltungen – Erweiterte Grundschaltungen im Kleinsignalbetrieb

4.1.1.3 Mikrowellenverstärker ..... 615  
 Transistorverstärker – Röhrenverstärker – Phononenverstärker – Molekularverstärker – Parametrische Verstärker

4.1.1.4 Schmalbandige Kleinsignalverstärker für Wechselspannungen ..... 630  
 Innere Rückkopplung – Neutralisation – Selektivverstärker mit diskreten aktiven Bauelementen – Selektivverstärker mit integrierten Schaltungen

4.1.1.5 Mehrstufige breitbandige Kleinsignalverstärker für Wechselspannungen .. 634  
 RC-gekoppelte Verstärker – Bandpaßverstärker – Kettenverstärker – Differenzverstärker

4.1.1.6 Gleichspannungsverstärker ..... 649  
 Direkte Kopplung – Kopplung mit linearen Widerständen – Kopplung mit nichtlinearen Widerständen

4.1.1.7 Integrierte Kleinsignalverstärker ..... 651  
 Gleichspannungsgesteuerte Einstellung der Verstärkung

4.1.1.8 Zerhackerstabilisierte Verstärker ..... 652  
 Modulation der Meßgröße – Breitbandige zerhackerstabilisierte Gleichspannungsverstärker

4.1.1.9 Lineare Großsignalverstärker ..... 653  
 Kenngrößen – Kühlung – Betriebsarten – Eintaktverstärker – Gegentaktverstärker mit gleichkanaligen Transistoren – Gegentaktverstärker mit komplementären Transistoren – Gegentaktverstärker mit quasikomplementärer Endstufe – Brückenschaltungen

4.1.1.10 Integrierte Großsignalverstärker ..... 663

4.1.1.11 Senderverstärker ..... 663

4.1.1.12 Nichtlineare Großsignalverstärker ..... 664

**4.1.2 Operationsverstärker** ..... 665  
 von *Volkmar Seidel*

4.1.2.1 Aufbau ..... 667  
 Differenzverstärkerstufen – Koppelschaltungen – Konstantstromquellen – Ausgangsstufen

4.1.2.2 Eigenschaften und Kenngrößen ..... 670  
 Statisches Verhalten – Temperaturverhalten – Frequenzverhalten – Rauschverhalten – Netzwerktheoretische Beschreibung des Operationsverstärkers

4.1.2.3 Anwendung von Operationsverstärkern ..... 678  
 Lineare Schaltungen mit Operationsverstärkern – Nichtlineare Schaltungen mit Operationsverstärkern

4.1.2.4 Moderne Formen und Entwicklungstendenzen ..... 682

**4.1.3 Schwingungserzeuger** ..... 684  
 von *Rainer Kohlschmidt und Günter Fuchs*

4.1.3.1 Definition, Funktionsprinzipien ..... 684

4.1.3.2 Kleinsignaloszillatoren ..... 685

4.1.3.3 Impulsoszillatoren ..... 689  
 Sperrschwinger – Astabiler Multivibrator

4.1.3.4 Schwingungserzeuger für sehr hohe Frequenzen ..... 690  
 Transistoroszillatoren – Gunnoszillatoren – Impattoszillatoren – Röhrenoszillatoren – AOW-Verzögerungsleitungsoszillatoren

**4.1.4 Modulatoren und Demulatoren** ..... 699  
 von *Harald Thomass und Rainer Kohlschmidt*

4.1.4.1 Definition, Funktionsprinzipien ..... 699

4.1.4.2 Modulatoren und Demulatoren für sinusförmigen Träger und kontinuierliche Nachricht ..... 700  
 Amplitudenmodulatoren – Amplitudendemulatoren – Winkelmodulatoren – Winkel-demulatoren

4.1.4.3 Modulatoren und Demulatoren für sinusförmigen Träger und diskrete Nachricht ..... 720  
 Amplitudentastung – Frequenzastung – Phasentastung

4.1.4.4 Impulsförmige diskontinuierliche Träger (Zeitmultiplexsysteme), kontinuierliche Nachricht ..... 723  
 Pulsamplitudenmodulation – Pulsdauermodulation – Pulsamplitudenmodulation

4.1.4.5 Impulsförmige diskontinuierliche Träger, diskontinuierliche Nachricht (Pulsmodulation) ..... 731  
 Abtastung – Quantisierung – Kodierung – Leitungskodierung – Regenerierung von PCM-Signalen

**4.1.5 Mischer** ..... 734  
 von *Günter Fuchs*

4.1.5.1 Begriffe, Anwendung, Kenngrößen ..... 734

4.1.5.2 Mischung mit Halbleiterdioden ..... 737  
 Elektrische Eigenschaften von Halbleiterdioden – Mischung durch die Strom-Spannungskennlinie der Diode – Mischung durch die Kapazitäts-Spannungskennlinie der Diode

4.1.5.3 Mischung mit Transistoren ..... 746  
 Mischung mit bipolaren Transistoren – Mischung mit unipolaren Transistoren

**4.1.6 Frequenzwandler** ..... 749  
 von *Jürgen Beuthner*

4.1.6.1 Frequenzwandler mit einfacher Fremdsignalaussteuerung ..... 750  
 Frequenzvervielfacher – Frequenzteiler

4.1.6.2 Frequenzwandler mit doppelter oder mehrfacher Fremdsignalaussteuerung 767

**4.1.7 Schallspeicher** ..... 771  
 von *Manfred Siakkou*

4.1.7.1 Schallplatte ..... 771  
 Aufzeichnung – Abtastung

4.1.7.2 Tonfilm ..... 775  
 Lichtton – Magnettonrandspur – Magnetfilm

4.1.7.3 Audioband ..... 778  
 Aufzeichnungsprinzip, Magnetkopf – Wechselstromvormagnetisierung – Wiedergabefrequenzgang – Standardisierung, Elektroakustische Parameter – Frequenzgangverzerrung – Rauschminderung

4.1.7.4 Videoband ..... 786

4.1.7.5 Digitalaudioband ..... 787  
 Ton-PCM auf Videorecordern – Ton-PCM-Recorder

4.1.7.6 Magnetspeichermaterialien ..... 791  
 Magnetbandbestandteile und -eigenschaften – Bandrauschen – Magnetkopfmaterialeigenschaften

4.1.7.7 Digitalschallplatte ..... 797

**4.1.8 Schallwandler** ..... 798  
 von *Dietrich Orth, Norbert Schneider und Gottfried Schroth*

4.1.8.1 Elektroakustische Wandlerprinzipien ..... 799  
 Elektromechanische Wandler – Mechanisch-akustische Wandler

4.1.8.2	Schallaufnehmer (Mikrofone) . . . . .	806
	Kenngrößen – Elektrodynamische Mikrofone – Elektrostatische Mikrofone – Piezoelektrische Mikrofone – Kontaktmikrofone	
4.1.8.3	Schallstrahler (Lautsprecher) . . . . .	814
	Kenngrößen – Elektrodynamische Lautsprecher – Elektrostatische Lautsprecher – Piezoelektrische Lautsprecher – Lautsprecherkombinationen – Frequenzweichen – Lautsprechergehäuse. Schallführungen – Lautsprecheranordnungen – Kopfhörer	
4.1.9	Aktive RC-Filter . . . . .	829
	von <i>Volkmar Seidel</i>	
4.1.9.1	Einführung . . . . .	829
4.1.9.2	Aktive lineare Netzwerke . . . . .	831
	Aktive Elemente – Übersetzervierpole – Empfindlichkeiten – Analyse aktiver Netzwerke	
4.1.9.3	Elemente der Theorie passiver Netzwerke . . . . .	836
	LC-Reaktanzfiltermodell – Approximation – Frequenztransformation – Eigenschaften passiver RC-Netzwerke	
4.1.9.4	Kaskadenrealisierung . . . . .	841
	Überblick – Filterbausteine 2. Grades mit einem Verstärker – Zwei- und Dreiverstärkerschaltungen – Praktische Probleme und Anwendungen	
4.1.9.5	Direkte Realisierung . . . . .	852
	Überblick – Realer Antoniou-Impedanzkonverter – LC-Strukturen und ihre Umsetzung	
4.1.9.6	Realisierung mit mehrfach rückgekoppelten Schaltungen . . . . .	856
	Überblick – Entwurf mit Zustandsgleichungen – Follow-the-leader-Struktur – Leapfrog-Schaltung	
4.1.9.7	Vergleich der Realisierungsverfahren . . . . .	859
4.1.9.8	Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	862
4.2	Digitale Elemente der Informationstechnik . . . . .	865
	von <i>Michael Roth</i> und <i>Veronika Sauer</i>	
4.2.1	Transistor als Schalter . . . . .	865
4.2.1.1	Kennlinien und Ersatzschaltungen . . . . .	865
4.2.1.2	Schaltverhalten bei statischer Last . . . . .	866
4.2.1.3	Schaltverhalten bei dynamischer Last . . . . .	867
	Idealisiertes Schaltverhalten – Schaltverläufe im Ausgangskennlinienfeld	
4.2.2	Analyse kritischer Schaltzustände . . . . .	870
4.2.2.1	Einführung . . . . .	870
4.2.2.2	Analyse der kritischen Schaltbedingungen am einfachen Transistorschalter . . . . .	871
4.2.3	Kombinatorische Schaltungen . . . . .	872
4.2.3.1	Diodenschaltungen . . . . .	872
4.2.3.2	Bipolarschaltungen . . . . .	874
	DCTL-Schaltungen – RTL-Schaltungen – DTL- und DZTL-Schaltungen – TTL-Schaltungen – I <sup>2</sup> L-Schaltungen – ECL-Schaltungen	
4.2.3.3	Statische Unipolarschaltungen . . . . .	881
	Einkanal-MOS-Schaltungen – CMOS-Schaltungen	
4.2.3.4	Vergleich der Schaltungsfamilien . . . . .	884
4.2.4	Sequentielle Schaltungen . . . . .	885
4.2.4.1	RS-Flipflop . . . . .	885
	Modifikationen des RS-Flipflops – Getakteter RS-Flipflop	
4.2.4.2	JK-Flipflop . . . . .	887
4.2.4.3	D- und DV-Flipflop . . . . .	888
4.2.4.4	T-Flipflop . . . . .	889
4.2.5	Bedingt stabile und astabile Multivibratoren und Schmitt-Trigger . . . . .	890
4.2.5.1	Monostabile Multivibratoren . . . . .	890
	Grundsaltungen mit Bipolartransistoren – TTL-Monoflop – Genauer Operationsverstärker-Monoflop – Monostabiler Multivibrator mit Zeitgeberschaltung	

4.2.5.2	Astabile Multivibratoren . . . . .	893
	Grundsaltung mit Bipolartransistoren – Astabiler Multivibrator mit TTL-Schaltungen – Astabiler Multivibrator mit Operationsverstärker – Astabiler Multivibrator mit Zeitgeber-schaltung – Quarz-Taktgenerator	
4.2.5.3	Schmitt-Trigger . . . . .	896
	Schmitt-Trigger mit Bipolartransistoren – TTL-Schmitt-Trigger – Schmitt-Trigger mit Operationsverstärker	
4.2.6	Mittelintegrierte Schaltungen . . . . .	899
4.2.6.1	Multiplexer und Demultiplexer . . . . .	899
4.2.6.2	Zähler und Teiler . . . . .	901
	Zähler – Teiler – Anzeige des Zählerstandes	
4.2.6.3	Schieberegister . . . . .	908
4.3	Analog-Digital und Digital-Analog-Umsetzer . . . . .	909
4.3.1	AD-Umsetzung und ihre Fehlereinflüsse . . . . .	909
	von <i>Hans Rudolph</i>	
4.3.1.1	Vorgänge bei der AD-Umsetzung . . . . .	909
4.3.1.2	Abtastung und ihre Effekte . . . . .	910
4.3.1.3	Quantisierung und ihre Effekte . . . . .	911
	Definitionen – Deterministische Quantisierungsfehlerabschätzung – Statistische Quantisierungsfehlerabschätzung	
4.3.2	DA-Umsetzung mit Analogsignalrekonstruktion . . . . .	920
	von <i>Hans Rudolph</i>	
4.3.2.1	Zur Notwendigkeit der Analogsignalrekonstruktion . . . . .	920
4.3.2.2	Analogsignalrekonstruktion in signaltheoretischer Sicht . . . . .	920
4.3.2.3	Signalextrapolatoren ohne Rückkopplung . . . . .	921
	Analytische Lösungsansätze und Dimensionierung – Prinzip der technischen Realisierung – Spezielle Signalextrapolatoren – Dynamische Eigenschaften	
4.3.2.4	Signalextrapolatoren mit Rückkopplung . . . . .	931
	Analytischer Lösungsansatz und Dimensionierung – Prinzip der technischen Realisierung – Dynamische Eigenschaften	
4.3.3	Schaltungen für Digital-Analog- und Analog-Digital-Umsetzer . . . . .	934
	von <i>Norbert Hirt</i> und <i>Michael Roth</i>	
4.3.3.1	Definitionen . . . . .	935
	Digital-Analog-Umsetzer – Analog-Digital-Umsetzer	
4.3.3.2	Statische Kenngrößen von DA- und AD-Umsetzern . . . . .	936
4.3.3.3	Dynamische Kenngrößen von DA- und AD-Umsetzern . . . . .	936
4.3.3.4	Klassifizierung der DA- und AD-Umsetzverfahren . . . . .	937
	Digital-Analog-Umsetzung – Analog-Digital-Umsetzung	
4.3.3.5	DA-Umsetzer-Module und -Elemente . . . . .	941
	Parallel-DA-Umsetzer – Indirekte DA-Umsetzer	
4.3.3.6	AD-Umsetzer-Module und -Elemente . . . . .	942
	Parallel-AD-Umsetzer – Stufen-AD-Umsetzer – Parallel-Serien-AD-Umsetzer – Erweiterte Serien-AD-Umsetzer – Serien-AD-Umsetzer	
4.3.3.7	DA- und AD-Umsetzer als Interfacemodule für Mikrorechner . . . . .	949
	DA- und AD-Umsetzer-Interfacemodule – Datenerfassungsmodule	

## Literatur

### 4.1 Analoge Elemente der Informationstechnik

#### 4.1.1 Verstärker

##### 4.1.1.1 Verstärkerprinzipien

[4.1] [4.2]

**Verstärker ohne Laufzeiteffekte.** Verstärker finden überall dort Anwendung, wo eine vorgegebene Eingangsgröße (Strom, Spannung, Leistung) in eine entsprechende Ausgangsgröße

# 5 Elementarbausteine der Mikrorechentchnik

<b>5.1 Bussysteme und -elemente</b> .....	971
von <i>Gunter Roche</i> und <i>Michael Roth</i>	
5.1.1 Allgemeine Busarchitekturen .....	971
5.1.2 Ausgewählte Mikrorechnerbussysteme .....	972
5.1.2.1 Multibus I .....	972
5.1.2.2 Multibus II .....	973
5.1.2.3 Z-Bus .....	976
5.1.2.4 VME-Bus .....	978
5.1.3 Elemente der Bussystemtechnik .....	980
5.1.3.1 Busarbitr	980
5.1.3.2 Buscontroller .....	981
5.1.3.3 Bustreiber und -puffer .....	982
<b>5.2 Speicherbausteine</b> .....	983
von <i>Dietrich Rhein</i>	
5.2.1 Aufgaben, Kenngrößen und Klassifizierung der digitalen Speicher .....	983
5.2.1.1 Aufgaben und Einsatz digitaler Speicher .....	983
5.2.1.2 Kenngrößen digitaler Speicher .....	984
5.2.1.3 Klassifizierung und Typen digitaler Speicherelemente und Speicher .....	986
Klassifizierung – Physikalische Eigenschaften der Speicher – Speichertypen	
5.2.1.4 Theoretische Grundlagen der Speichertechnik .....	988
5.2.2 Halbleiter-Operativspeicher (RAM) .....	988
5.2.2.1 Übersicht .....	988
5.2.2.2 Statische MOS-RAMs .....	989
Speicherzellen – Speicher-IS – Bauformen, Eigenschaften, Tendenzen	
5.2.2.3 Dynamische MOS-RAMs .....	994
Speicherzellen – Speicher-IS mit Dreitransistorzellen – Speicher-IS mit Eintransistorzellen – Weitere Erhöhung des Integrationsgrades	
5.2.2.4 Bipolare Halbleiter-RAMs .....	1001
Speicherzellen – Speicher-IS	
5.2.2.5 GaAs-Speicher .....	1004
5.2.3 Halbleiter-Festwertspeicher (ROM) .....	1004
5.2.3.1 Typen .....	1004
5.2.3.2 Realisierung .....	1005
5.2.4 Sonstige Halbleiterspeicher .....	1008
5.2.4.1 CCD-Speicher mit zyklischem Zugriff .....	1008
5.2.4.2 Speicher mit Gunnelementen und Glashalbleitern .....	1009
5.2.5 Mikromagnetische Speicher .....	1009
5.2.5.1 Allgemeines .....	1009
5.2.5.2 Grundlegende Strukturelemente der ZMD-Speicher .....	1010
Domänenentransport in Registerstrukturen – Erzeugung und Vernichtung von Domänen – Detektorelemente – Torelemente	

5.2.5.3	Besonderheiten der Technologie und Aufbau von ZMD-Speicher-IS . . . .	1012
5.2.5.4	Organisation und Aufbau von ZMD-Speicher-IS . . . . .	1012
5.2.5.5	Schaltungsfamilien für den Aufbau von ZMD-Speichern . . . . .	1014
5.2.5.6	Weiterentwicklung integrierter magnetischer Speicher . . . . .	1015
5.2.6	Magnetische Operativspeicher . . . . .	1016
5.2.6.1	Eigenschaften der Rechteckferrit-Speicherkerne . . . . .	1016
5.2.6.2	Aufbau der Ferritkernspeicher . . . . .	1018
	3D-Speicher – 2½D-Speicher – 2D-Speicher – Vergleich der Kernspeicherorganisationsformen	
5.2.6.3	Magnetische Dünnschicht-Matrixspeicher . . . . .	1022
5.2.7	Josephsonspeicher . . . . .	1022
<b>5.3</b>	<b>Mikroprozessoren</b> . . . . .	<b>1022</b>
	von <i>Klaus-Dieter Geidel</i> und <i>Michael Roth</i>	
5.3.1	Architektur von Mikroprozessoren . . . . .	1023
5.3.1.1	Mikroprogrammsteuerung . . . . .	1027
5.3.1.2	Klassifizierung von Mikroprozessoren . . . . .	1031
5.3.1.3	Realisierungskonzepte . . . . .	1032
	Befehlsverarbeitungsprinzipien – Speicherorganisation – Interrupts und Traps – Busabgabesteuerung – Multiprozessorsystemunterstützung	
5.3.2	Architekturbeschreibung von 8-bit-Prozessoren . . . . .	1042
5.3.2.1	Mikroprozessorschaltungsfamilie Z80 . . . . .	1043
	Z80-CPU – Befehlsbeschreibung des Z80	
5.3.2.2	Einchip-Mikroprozessor Z8 . . . . .	1056
5.3.3	Architekturbeschreibung von 16-bit-Prozessoren . . . . .	1069
5.3.3.1	Mikroprozessorschaltungsfamilie 8086 . . . . .	1069
	8086-CPU – Buscontroller 8288 – Busarbitr 8289 – Taktgenerator 8284 – Dynamischer RAM-Controller 8202 – 8086-Systeme	
5.3.3.2	Mikroprozessorschaltungsfamilie Z8000 . . . . .	1092
	Z8000-CPU – Speicherverwaltungseinheit Z8010 – Virtuelle Speicher-CPU Z8003/4 – Seitensteuernde Speicherverwaltungseinheit Z8015 – DMA-Controller Z8016 – Serieller Schnittstellen-Controller Z8030 – Z8000-FIO und Z8000-FIFO	
5.3.3.3	Mikroprozessorschaltungsfamilie iAPX286 . . . . .	1108
5.3.4	Architekturbeschreibung von 32-bit-Prozessoren . . . . .	1111
5.3.4.1	Mikroprozessorschaltungsfamilie iAPX432 . . . . .	1111
5.3.4.2	Mikroprozessorschaltungsfamilie Z80000 . . . . .	1114
5.3.5	Spezialprozessoren . . . . .	1115
5.3.5.1	Arithmetikprozessoren . . . . .	1115
	Arithmetikprozessor 8087 – Arithmetiksaltungen der Computerserie HP1000	
5.3.5.2	E/A-Prozessoren . . . . .	1118
	E/A-Prozessor 8089 – Mikrocontroller 8096	
5.3.5.3	Signalprozessoren . . . . .	1121
5.3.5.4	Bildschirmprozessoren (CRT-Controller) . . . . .	1122
<b>5.4</b>	<b>Interface-Systemelemente</b> . . . . .	<b>1124</b>
	von <i>Wolfgang Fengler</i> und <i>Michael Roth</i>	
5.4.1	Parallele Interfaceelemente . . . . .	1125
5.4.1.1	Eingabebtor . . . . .	1126
5.4.1.2	Ausgabebtor . . . . .	1126
5.4.1.3	Programmierbare parallele Eingabe/Ausgabe-Schaltungen . . . . .	1126

5.4.2	Serielle Interfaceelemente .....	1131
5.4.2.1	Asynchrone Datenübertragung .....	1131
5.4.2.2	Synchrone Datenübertragung .....	1131
5.4.2.3	Programmierbare serielle Eingabe/Ausgabe-Schaltungen .....	1133
5.4.3	Zähler-Zeitgeber-Schaltungen .....	1137
5.4.4	Elemente für spezielle Interfacefunktionen .....	1139
5.4.4.1	Tastatur- und Anzeigesteuerung .....	1139
5.4.4.2	Bildschirmsteuerung .....	1140
5.4.4.3	Kassetteninterfacesteuerung .....	1143
5.4.4.4	Floppy-Disk-Steuerung .....	1144
5.4.4.5	Matrixdruckersteuerung .....	1148
5.4.4.6	GPiB-(IEC-Bus-)Steuerung .....	1149
5.4.5	Interruptsteuerung .....	1153
5.4.5.1	Interruptsteuerungsschaltungen .....	1153
5.4.5.2	Dezentrale Interruptsteuerung .....	1154
5.4.6	Direkter Speicherzugriff .....	1156
5.4.7	Universelle Interfaceprozessoren .....	1157
<b>5.5</b>	<b>Programmschaltungen</b> .....	<b>1158</b>
	<i>von Ilka Philippow und Michael Roth</i>	
5.5.1	Programmschaltungs-Systemtechnik .....	1159
5.5.2	ROM-Programmschaltungen .....	1160
5.5.3	System-Programmschaltungen .....	1161
5.5.4	Kundenspezifische Programmschaltungen .....	1165
	PLA, FPLA – Lineare Arrays – Gatearrays – Standardzellen – Voll-Kundenschaltungen	
<b>Literatur</b>	.....	<b>1170</b>