

**Dietmar Benda**



**JUBILÄUMSAUSGABE!**

Elektronik leicht verständlich.  
Über 1.300 Seiten nur

**EUR 49,95**

# Elektronik ohne Ballast

Grundlagen der Elektronik leicht verständlich

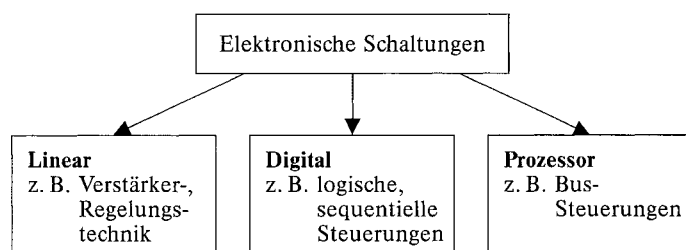
## Grundlagen der Elektronik

Bauelemente · Messen und Prüfen · Analoge und  
digitale Schaltungstechnik · Mikroprozessor/Computer ·  
Leistungselektronik · Nachrichtentechnik · u. v. m.

# Vorwort

Im Zeitalter der integrierten Halbleitertechnik verlieren viele Überlegungen an Bedeutung, die in der Elektronenröhren- und Transistortechnik für das Funktionsverständnis von Schaltungen erforderlich waren. Vielfach kam dadurch die irrige Meinung auf, dass für den Einstieg in die Elektronik keine Grundkenntnisse mehr erforderlich wären. Dass dies nicht zutrifft, wird in dem vorliegenden Buch an zahlreichen Beispielen aus der Elektronik gezeigt.

Die Mikroelektronik, insbesondere die Mikroprozessortechnik, hat zu einer neuen Schaltungstechnik geführt, die sich wesentlich von der der einfachen Digitaltechnik unterscheidet und dadurch als eine weitere Schaltungsgruppe betrachtet werden kann. Somit ergibt sich eine Gliederung gemäß der folgenden Abbildung für elektronische Schaltungen.



Das Werk gliedert sich in Elementar-, Aufbau- und Fachstufe.

In der **Elementarstufe** erfährt der Leser, dass ein tieferer Einstieg bereits mit wenigen physikalischen Grundkenntnissen möglich ist. An zahlreichen Beispielen und Vergleichen wird aufgezeigt, dass die Beherrschung dieser Grundregeln das Pauken von „Faustformeln“ und „Eselsbrücken“ überflüssig macht.

Eine theoretische, aber praktisch orientierte Minimalausrüstung ist also der Schlüssel für fundiertes Basiswissen.

Bei den Bauelementen unterscheidet man zwischen mechanischen, elektrischen und elektronischen Bauelementen. Würde man versuchen, alle Varianten zu beschreiben, wäre ein mehrbändiger Katalog das Ergebnis. Die Vielzahl basiert im Wesentlichen auf einigen Grundbauelementen, z. B. Widerständen, Kondensatoren, Dioden und Transistoren. Das Buch zeigt dem Leser die wichtigsten Kennwerte, Leistungs- und Funktionsmerkmale und erklärt anhand praktischer Beispiele die Einsatzmöglichkeiten.

Die zunehmende Standardisierung der Komponenten und Funktionseinheiten in allen Bereichen der Anwendungselektronik sowie die zunehmenden Geschwindigkeiten bei der Datenübertragung und die Verzahnung von Soft- und Hardware verändern die Tätigkeitsschwerpunkte der Elektronikberufe.

Nicht mehr das Wissen um die Dimensionierung von Schaltungskomponenten und deren Anwendung ist gefragt, sondern die Bewertung von Eingangs- und Ausgangsgrößen von Systemkomponenten und Software/Hardware-Schnittstellen.

Die Erfassung und Bewertung dieser Messgrößen erfordert grundlegende und umfangreiche Kenntnisse in der elektronischen Messtechnik und den angewendeten Schaltungs- und Übertragungstechniken.

Daher wird der Leser mit den elementarsten Messkenntnissen und den wichtigsten Messfehler-Möglichkeiten vertraut gemacht. Weiterhin wird er mit allen wesentlichen messtechnisch erfassbaren Funktionsfehlern der Bipolar- und FET-Technologie konfrontiert, statisch und dynamisch, in Linear- und Schaltverstärkern.

Da es für Lernende und Lehrende immer schwieriger wird, aus der vielfältigen Literatur die wesentlichen elektronischen Grundsaltungen herauszufinden und sich als Basiswissen anzueignen, liegt in der **Aufbaustufe** dieses Werkes der Schwerpunkt auf der Darstellung und der Funktionserklärung repräsentativer Schaltungen. Die einzelnen Funktionen sind dazu unter dem Gesichtspunkt der praxis- und berufstypischen Situation beschrieben und ausgewertet. Dabei entsprechen die einzelnen Lernabschnitte dem angestrebten Lernumfang.

Gleichungen und Hinweise zur Dimensionierung dienen in erster Linie dazu, dem Lernenden das Abschätzen und Auswerten der an den Schaltungen gemessenen Potenziale und Kennwerte zu erleichtern. Wo es für das Verständnis erforderlich erschien, wurden die Schaltungen auf vereinfachte Funktionsmodelle zurückgeführt.

Im Wesentlichen werden auch die logischen und sequenziellen Funktionen der Grundelemente der Digitaltechnik erläutert – einschließlich ihrer Anwendung in kombinatorischen Standardschaltungen. Auch die wichtigsten Regeln der Booleschen Algebra und die Anwendung von KV-Diagrammen sind Bestandteil dieser Thematik.

Durch die zunehmende Bedeutung der Prozessortechnik verschieben sich die Einsatzschwerpunkte der Digitaltechnik: So verliert die Anwendung der Digitaltechnik in vollständigen Schaltnetzwerken in zunehmendem Maße an Bedeutung; dafür aber ist ihr Einsatz in Form von Verbindungselementen in Prozessorschaltungen und zur Adaptierung an andere Systeme und periphere Funktionen (Interfaces) weiter vorrangig. Ferner erleichtert die Kenntnis der logischen und sequenziellen

Standardschaltungen der Digitaltechnik das Verständnis der funktionalen Zusammenhänge in der Steuerungs- und Prozessortechnik.

Das Grundwissen über logische Verknüpfungen, Speicherelemente sowie Zeit- und Zähler-schaltungen ist Voraussetzung für den Einstieg in die Funktionsabläufe und Programmbausteine von speicherprogrammierbaren Steuerungen.

Kennzeichnend für Prozessorschaltungen sind die standardisierten (Bus-)Verbindungen, über die alle Schaltungsfunktionen (periphere Schaltungen) von einer zentralen Funktion (CPU) gesteuert werden, die wiederum ihre Funktionsanweisungen aus einem Speicher(-Programm) erhält.

Der Anwendungselektroniker (Aufbau, Prüfung oder Service) muss daher in erster Linie wie bei der Analog- oder Digitaltechnik die Schaltungen der Prozessortechnik lesen und verstehen können. Für das Verständnis der Systemtechnik ist es aber auch erforderlich, die Steuerungsmöglichkeiten der Befehlsstruktur (Software) zu kennen.

Erläutert werden Aufbau und Funktion der wesentlichsten IS-Bausteine und die zu ihrer Steuerung erforderlichen Programmstrukturen.

Die **Fachstufe** befasst sich mit wichtigen speziellen Ausprägungen der Elektronik. Etwa die fortschreitende Automatisierung durch die Mikroelektronik verlangt auch im elektrischen Energiebereich Schaltungen zur schnelleren und verlustärmeren Umwandlung bzw. Steuerung elektrischer Energie. Dieses Thema soll den Anwendern beispielhaft aufzeigen, auf welche Weise er die geeignetsten Schaltungen am zweckmäßigsten in der Energieelektronik einsetzen kann. Daher werden u. a. die gängigsten Bauelemente sowie die Geräte und Anlagen zur Energieversorgung und Antriebstechnik beschrieben. Beschreibungen praktisch angewandeter und aktueller Schaltungen aus den wichtigsten Anwendungsgebieten, z. B. aus der Photovoltaik, runden das Thema ab.

Der Begriff „Nachrichtentechnik“ für die Übermittlung von Informationen wurde in den letzten Jahren mehr und mehr durch den Begriff „Kommunikationstechnik“ ersetzt. Dies aus der logischen Konsequenz, dass Entwicklungslinien, die zunächst nebeneinander liefen – Computertechnik auf der einen und Nachrichtentechnik sowie Telekommunikation auf der anderen Seite –, nun zusammenlaufen. Daraus resultieren Schnittstellen, an denen Informationssysteme entstanden sind.

Die unter den Begriff „Kommunikationstechnik“ fallenden Endgeräte und Systeme sind inzwischen so vielfältig geworden, dass in diesem Buch als Auswahl nur Geräte und Systeme mit Zentralfunktionen unter schaltungstechnischen Gesichtspunkten betrachtet werden können. Die Vielzahl der Endgeräte kann nur in Form von Über-

sichten, Begriffserklärungen und einheitlichen Funktionsmerkmalen berücksichtigt werden.

Neben der ausführlichen Darstellung der Grundlagen werden – soweit möglich – Systemfunktionen anhand von praktischen Anwendungsbeispielen erläutert.

Die Satellitenempfangstechnik wird in einem eigenen Abschnitt eingehend in den Funktionen und den Installationsmerkmalen beschrieben.

Auch die Regelungstechnik als Grundvoraussetzung der Automatisierung ist im Wesentlichen durch die Anwendung der Elektronik geprägt. Die zentrale Steuerung, Überwachung und selbsttätige Regelung von Arbeitsvorgängen und von Produktionsprozessen ist dabei die Aufgabe dieser Technik.

Beispiele für solche Regelungsprozesse gibt es aus allen Fabrikations- und Anwendungsbereichen. Sie reichen von einfachen Soll-Ist-Regelungen bis hin zu den komplexesten Automatisierungs- und Robotersteuerungen.

Analoge und digitale Regelung, speicherprogrammierbare Steuerungen als zentrale Regelung sowie die Prozessorregelung werden sowohl unabhängig voneinander als auch im Verbund eingesetzt. Dieser Teil des Buches erklärt für alle Anwendungsbereiche der elektronischen Regelungstechnik die einzelnen Funktionselemente und vermittelt zahlreiche Anwendungsbeispiele.

Der Anwendungsbereich elektronischer Steuerungselemente ist ebenfalls sehr groß. Er reicht vom einfachen analogen Verstärkerglied bis zum prozessorgesteuerten Roboter, von der Lichtschranke bis zur SPS-Fertigungsstraße. Man unterscheidet hier zwischen analoger und digitaler Steuerung, speicherprogrammierbarer Steuerung, Prozessor- und Robotersteuerung (Controller). Diese Techniken können sowohl unabhängig voneinander als auch im Verbund eingesetzt werden. Dementsprechend wurde auch inhaltlich gegliedert. In komplexen Anwendungsbereichen, z. B. Robotersteuerungen, sorgen Übersichtsbeschreibungen und Anwendungsbeispiele für mehr Transparenz.

# Inhalt

## Teil 1 Elementarstufe

<b>A</b>	<b>Grundlagen der Elektronik</b>	27
<b>1</b>	<b>Die Grundrechenregeln</b>	29
1.1	Die Addition in verschiedenen Ziffersystemen	29
1.2	Übungen	39
1.3	Die Subtraktion in verschiedenen Ziffersystemen	41
1.4	Übungen	43
<b>2</b>	<b>UND, ODER, EXKLUSIV-ODER und NICHT</b>	45
2.1	ODER-Verknüpfung	46
2.2	UND-Verknüpfung	50
2.3	EXKLUSIV-ODER-Verknüpfung	51
2.4	Übungen	53
2.5	Das Komplement und die Negation	54
2.6	Übungen	56
2.7	Wie subtrahiert ein Computer?	57
2.8	Übungen	59
<b>3</b>	<b>Das ohmsche Gesetz und seine Anwendung</b>	60
3.1	Zusammenhang zwischen $U$ , $I$ und $R$	61
3.2	Übungen	63
3.3	Anwendung des ohmschen Gesetzes	65
3.4	Übungen	67
<b>4</b>	<b>Die kirchhoffschen Gesetze</b>	69
4.1	Die Reihenschaltung	69
4.2	Übungen	72
4.3	Der Spannungsteiler	73
4.4	Generator mit Lastwiderstand	74
4.5	Lineare und nichtlineare Widerstände	76
4.6	Übungen	80
4.7	Die Parallelschaltung	80

4.8	Übungen .....	87
4.9	Belasteter Spannungsteiler .....	87
4.10	Übungen .....	90
<b>5</b>	<b>Funktionen von Kondensator und Spule .....</b>	<b>92</b>
5.1	Funktionsbetrachtung des Kondensators .....	92
5.2	Übungen .....	94
5.3	Typen von Kondensatoren .....	95
5.4	Funktionsbetrachtung der Spule .....	95
5.5	Übungen .....	96
5.6	Stromleiter im Magnetfeld .....	97
5.7	Anwendung von Spulen .....	102
<b>6</b>	<b>Bauelemente und Schaltungen verbrauchen elektrische Leistung .....</b>	<b>103</b>
6.1	Prinzipielle Berechnung der Leistung .....	103
6.2	Belastbarkeit von Bauteilen .....	104
6.3	Leistung bei Wechselspannung .....	107
6.4	Übungen .....	109
6.5	Leistungsanpassung .....	110
6.6	Übungen .....	111
<b>7</b>	<b>Zeitglieder und frequenz- abhängige Widerstände .....</b>	<b>113</b>
7.1	Nochmals zur Wechselspannung .....	113
7.2	Übungen .....	115
7.3	Blindwiderstände .....	115
7.4	Übungen .....	118
7.5	Spule und Kondensator an Gleichspannung .....	118
7.6	Übungen .....	121
<b>8</b>	<b>Dioden und Transistoren .....</b>	<b>123</b>
8.1	Dioden .....	123
8.2	Z-Dioden .....	128
8.3	Transistoren .....	129
8.4	Übungen .....	135
<b>9</b>	<b>Lösungen zu den Übungen .....</b>	<b>137</b>

<b>B</b>	<b>Bauelemente</b>	147
<b>1</b>	<b>Ohmsche (lineare) Widerstände</b>	149
1.1	Kennwerte	149
1.2	Kohleschichtwiderstand	155
1.3	Metalloxid-Schichtwiderstand	160
1.4	Metallschichtwiderstand	160
1.5	Drahtwiderstand	161
1.6	Dreh-, Schiebe- und Trimmwiderstand	167
1.7	Widerstandsnetzwerk in Schichttechnik	170
<b>2</b>	<b>Nichtlineare Widerstände</b>	171
2.1	Heißleiter (NTC-Widerstand)	171
2.2	Kaltleiter (PTC-Widerstand oder Thermistor)	172
2.3	Temperaturunabhängiger Widerstand	172
2.4	Spannungs- und stromabhängiger Widerstand	173
<b>3</b>	<b>Kondensatoren</b>	175
3.1	Funktion	175
3.2	Kennwerte	177
3.3	Metallpapierkondensator	179
3.4	Kunststoff-Folienkondensator	181
3.5	Glimmerkondensator	182
3.6	Elektrolytkondensator	182
3.7	Keramikkondensator	184
3.8	Kondensator mit veränderbarer Kapazität	192
<b>4</b>	<b>Spulen</b>	194
4.1	Elektrische Eigenschaften	194
4.2	Induktivität von Einzel- und Doppelleitungen	195
4.3	Luftspule	195
4.4	Spule mit Massekern	198
4.5	Spule mit Eisenblechkernen	200
4.6	Spule mit Ferritkern	203
<b>5</b>	<b>Diskrete Halbleiterbauelemente</b>	204
5.1	Was sind Halbleiter?	204
5.2	Stromfluss im Halbleiter	208
5.3	Dioden	209
5.3.1	Allzweckdiode	212



5.3.2	Kapazitätsdiode .....	213
5.3.3	Silizium-Schalterdiode .....	216
5.3.4	Si-PIN-Dioden-Regler .....	217
5.3.5	Z-Diode .....	217
5.3.6	Tunneldiode .....	218
5.3.7	Backward-Diode .....	219
5.3.8	Silizium-Kontaktschutzdiode .....	219
5.3.9	Schottky-Diode .....	220
5.4	Gleichrichter .....	220
5.4.1	Einweggleichrichter .....	220
5.4.2	Brückengleichrichter .....	221
5.5	Vierschichtthalbleiter .....	222
5.5.1	Verschichtdiode .....	222
5.5.2	Diac (Triggerdiode) .....	223
5.4.3	Thyristoren .....	224
5.5.4	Thyristortetrode .....	227
5.5.5	Triac .....	227
5.6	Transistoren .....	228
5.6.1	Bipolartransistor .....	229
5.6.2	Unipolartransistor .....	235
5.6.3	Lawinentransistor .....	238
5.6.4	Unijunction-Transistor .....	239
5.7	Mikrowellengeneratoren .....	239
5.8	Thermogenerator und Thermokühler .....	242
5.9	Hallgenerator .....	244
<b>6</b>	<b>Integrierte Halbleiterschaltungen .....</b>	<b>245</b>
6.1	Digitale TTL-IS .....	245
6.1.1	Funktionseigenschaften .....	247
6.1.2	Eingangssignale .....	248
6.1.3	Ausgangssignale .....	249
6.1.4	TTL-Lasteinheit, Fan-out .....	250
6.1.5	Störspannungsabstände .....	251
6.1.6	Eingangs-Clamping-Dioden .....	253
6.1.7	WIRED-OR .....	253
6.1.8	Gatter .....	255
6.1.9	Flipflops .....	257
6.1.10	Stromspitzen .....	258
6.1.11	Temperaturbereiche .....	258
6.2	Digitale CMOS-IS .....	258

6.2.1	Kennwerte .....	259
6.2.2	Offene Eingänge .....	260
6.2.3	Fan-out .....	260
6.2.4	Eingangssignale .....	261
6.2.5	Parallelschaltung .....	261
6.2.6	Interface für TTL-Schaltungen .....	261
6.2.7	Eigenschaften .....	261
6.2.8	Grenzwerte .....	261
6.2.9	Betriebsspannung .....	262
6.2.10	Behandlung von CMOS-Schaltungen .....	262
6.3	Analoge (lineare) IS .....	263
6.3.1	Operationsverstärker .....	263
6.3.2	IS für Rundfunk- und Fernsehempfänger .....	266
<b>7</b>	<b>Bus-Funktionen .....</b>	<b>269</b>
7.1	IS mit Tri-state-Ausgang .....	269
7.2	Halbleiterspeicher .....	271
7.2.1	Schreib-Lese-Speicher .....	272
7.2.2	Festspeicher .....	272
7.2.3	Programmierbarer Festspeicher .....	273
7.2.4	Löschbares PROM .....	273
7.3	Ein-Ausgabe-Bausteine .....	273
<b>8</b>	<b>Sensoren .....</b>	<b>276</b>
8.1	Temperatursensoren .....	276
8.2	Lichtsensoren .....	277
8.3	Druck- und Kraftmess-Sensoren .....	281
8.4	Sensoren zur Erfassung mechanischer Größen .....	284
<b>9</b>	<b>Optoelektronische Bauelemente .....</b>	<b>287</b>
9.1	Fotowiderstand .....	287
9.2	Fotodiode .....	288
9.3	Fototransistor .....	289
9.4	Leuchtdioden .....	290
9.5	Optokoppler .....	294
<b>10</b>	<b>SMD-Technik .....</b>	<b>297</b>
10.1	SMD-Widerstände .....	297
10.2	SMD-Kondensatoren .....	299
10.3	SMD-Dioden und -Transistoren .....	299
10.4	Integrierte SMD-Schaltungen .....	301

<b>11</b>	<b>Normen und Symbole</b>	304
11.1	Kennzeichen für Veränderbarkeit	304
11.2	Widerstände	304
11.3	Spulen	306
11.4	Kondensatoren	306
11.5	Halbleiterwiderstände	307
11.6	Halbleiterdioden und Vierschichtelemente	307
11.7	Bipolare Transistoren	308
11.8	Unipolare Transistoren	309
<b>C</b>	<b>Messen an Bauelementen und Schaltungen</b>	311
<b>1</b>	<b>Was man beim Messen alles beachten muss</b>	312
1.1	Messen der elektrischen Größen	314
1.2	Sicherung des Messgeräts	320
<b>2</b>	<b>Basiswissen der Messtechnik mit dem Digitalmultimeter (DMM)</b>	322
2.1	Polarität bei Spannungsmessungen	323
2.2	Übungen	327
2.3	Polarität bei Strommessungen	327
2.4	Messen von Gleich- oder Wechselgrößen	329
2.5	Welcher Messbereich soll gewählt werden?	330
2.6	Weitere Messfunktionen bei DMM	335
2.7	Innenwiderstandsverhältnis von Messobjekt und Messgerät	341
2.8	Messleitungen, Einfluss von Länge und Qualität	342
2.9	Messgenauigkeit der Messinstrumente	345
2.10	Fehler im Messaufbau oder im Messobjekt	346
<b>3</b>	<b>Messpraktikum mit DMM</b>	348
3.1	Durch Widerstandsmessungen im Stromkreis Festzustellendes	348
3.2	Übungen	352
3.3	Schneller Komponententest	352
3.4	Übungen	356
3.5	Funktionsprüfungen an Halbleiterbauelementen durch Spannungsmessungen	357
<b>4</b>	<b>Messungen mit dem Oszilloskop</b>	362
4.1	Funktionsübersicht und Bedienelemente	362
4.2	Erzeugung der Zeitablenkung	364

4.3	Triggerflanke und Triggerpegel .....	365
4.4	Stabilität .....	366
4.5	Triggersignale .....	366
4.6	Ankopplung .....	367
4.7	Helltastung .....	368
4.8	Dehnung .....	368
4.9	Übungen .....	369
<b>5</b>	<b>Messungen mithilfe des PC .....</b>	<b>373</b>
5.1	Wie funktioniert ein PC-Oszilloskop? .....	374
5.2	DMM mit Computerschnittstelle .....	375
<b>6</b>	<b>Lösungen zu den Übungen .....</b>	<b>379</b>

## Teil 2 Aufbaustufe

<b>A</b>	<b>Analoge (lineare) Schaltungstechnik .....</b>	<b>381</b>
<b>1</b>	<b>Definitionen und Grundbegriffe der Analogtechnik .....</b>	<b>382</b>
1.1	Merkmale analoger Signalverarbeitung .....	382
1.2	Übertragungselemente der Analogtechnik .....	383
1.3	Funktionsdefinitionen .....	383
<b>2</b>	<b>Grundsaltungen .....</b>	<b>385</b>
2.1	Spannungsteiler .....	385
2.2	Brückenschaltungen .....	387
2.2.1	Messbrücken für ohmsche Widerstände .....	390
2.2.2	Kapazitäts- und Induktivitätsmessbrücken .....	392
2.2.3	Temperatur- und HF-Strom-Messbrücken .....	393
2.2.4	Dehnungs- und Druckmessbrücken .....	394
2.3	Phasenverschiebungsschaltungen .....	395
2.3.1	Phasenverschiebungsglieder .....	395
2.3.2	Phasenbrücken .....	398
2.4	Frequenzabhängige Übertragungsglieder und Filter .....	399
2.5	Übungen .....	402
<b>3</b>	<b>Spannungs- und Stromversorgungsschaltungen .....</b>	<b>405</b>
3.1	Gleichrichterschaltungen .....	406
3.1.1	Einwegschaltung .....	407

3.1.2	Zweiwegschaltung .....	408
3.1.3	Zweiweg-Brückenschaltung .....	409
3.1.4	Gesteuerter Gleichrichter .....	410
3.2	Ladekondensator und Siebglieder .....	412
3.2.1	Ladekondensator .....	412
3.2.2	Siebglieder .....	413
3.3	Spannungsvervielfachung .....	415
3.4	Begrenzer- und Stabilisierungsschaltungen .....	417
3.4.1	Diodenschaltungen .....	418
3.4.2	Z-Diodenschaltung .....	419
3.5	Elektronische Regler .....	423
3.5.1	Funktionsmerkmale .....	424
3.5.2	Spannungsstabilisierung .....	426
3.6	Übungen .....	433
<b>4</b>	<b>Verstärkerschaltungen .....</b>	<b>436</b>
4.1	Grundlagen der Verstärkertechnik .....	436
4.1.1	Das Dezibel als Maßeinheit der Verstärkung .....	437
4.1.2	Übertragungseigenschaften .....	439
4.1.3	Verzerrungen, Klirrfaktor und Störsignale .....	443
4.1.4	Nullpunktdrift und Ausgangswerte .....	445
4.2	Verstärkergrundschaltungen .....	446
4.2.1	Strom-, Spannungs- und Leistungsverstärkerstufe .....	447
4.2.2	Erzeugung des Arbeitspunkts .....	454
4.3	Verstärkerkopplungen .....	455
4.3.1	Widerstandskopplung .....	456
4.3.2	Direkte oder galvanische Kopplung .....	456
4.3.3	Kapazitive Kopplung .....	457
4.3.4	Übertrager- und Bandfilterkopplung .....	457
4.4	Verstärkergegenkopplungen .....	460
4.4.1	Thermische Beanspruchung .....	465
4.4.2	Gegenkopplung über mehrere Stufen .....	467
4.5	Mehrstufige Verstärkergrundschaltungen .....	468
4.5.1	Differenzverstärker .....	469
4.5.2	Gegentaktverstärker .....	472
4.5.3	Kaskadenverstärker .....	474
4.5.4	Kettenverstärker .....	475
4.6	Übungen .....	476

<b>5</b>	<b>Schwingschaltungen</b>	480
5.1	Mitkopplung	480
5.2	LC-Oszillator	481
5.3	RC-Oszillator	482
5.4	Quarzoszillatoren	485
5.5	Spannungsgesteuerter Oszillator (VCO)	486
5.6	Übungen	489
<b>6</b>	<b>Modulator- und Demodulatorschaltungen</b>	491
6.1	Amplitudenmodulation (AM)	492
6.2	Demodulatorschaltungen für AM	497
6.3	Frequenzmodulation (FM)	499
6.4	Demodulatorschaltungen für FM	501
6.5	Übungen	504
<b>7</b>	<b>Integrierte Verstärker</b>	506
7.1	Kennwerte des Operationsverstärkers	506
7.2	Grundsaltungen	511
7.3	Übungen	511
<b>8</b>	<b>Aktive Filter</b>	517
8.1	Filter erster Ordnung	517
8.2	Filter höherer Ordnung	518
<b>9</b>	<b>Analog-Digital-Wandler</b>	521
9.1	Verfahren	521
9.2	Parallelverfahren	522
9.3	Wägeverfahren	523
9.4	Einsatz integrierter AD-Wandler	524
<b>10</b>	<b>Lösungen zu den Übungen</b>	530
<b>B</b>	<b>Digitale Schaltungstechnik</b>	535
<b>1</b>	<b>Digitale Signale als Träger der Informationen</b>	536
1.1	Das digital-binäre System	536
1.2	Vergleich von digitaler und analoger Signalverarbeitung	537
1.2.1	Leistung und Wirkungsgrad	537
1.2.2	Betriebssicherheit und Stabilität	538
1.2.3	Genauigkeit	539

<b>2</b>	<b>Funktionen der Bauelemente in digitalen Schaltungen</b>	<b>540</b>
2.1	Elektrische Funktion eines Schalters	541
2.2	Diode als Schalter	541
2.3	Transistor als Schalter	543
2.4	Definition der Schaltzeiten	546
2.5	Emitterschaltung im Schalterbetrieb	548
2.6	Kollektorschaltung im Schalterbetrieb	549
2.7	Transistorschalter bei induktiver und kapazitiver Last	550
2.8	Übertragung, Klammerung und Begrenzung digitaler Signale	554
2.8.1	Kapazitive Kopplung	554
2.8.2	Kompensierter Spannungsteiler	555
2.8.3	Klammer- und Begrenzerschaltungen	556
2.9	Übungen	558
2.10	Kennwerte von TTL-ICs	560
2.11	Kennwerte von CMOS-ICs	563
<b>3</b>	<b>Logische Grundsaltungen</b>	<b>565</b>
3.1	Negation (NICHT-Verknüpfung)	566
3.2	Konjunktion (UND-Verknüpfung)	568
3.3	Disjunktion (ODER-Verknüpfung)	569
3.4	NAND-Verknüpfung	571
3.5	NOR-Verknüpfung	573
3.6	ANTIVALENZ-Verknüpfung	574
3.7	ÄQUIVALENZ-Verknüpfung	575
3.8	Übungen	576
<b>4</b>	<b>Logische Schaltnetze</b>	<b>579</b>
4.1	Prioritätsencoder	579
4.2	Multiplexer (Datenselektor)	580
4.3	Demultiplexer (Decoder)	582
4.4	Vergleicher	583
4.5	Komplementierer	586
4.6	Volladdierer	587
4.7	Arithmetisch-logische Einheit (ALU)	593
<b>5</b>	<b>Kippstufen, Speicherschaltungen</b>	<b>597</b>
5.1	Gliederung und Funktion	597
5.2	Integrierte Kippschaltungen und Taktgeneratoren	599
5.2.1	RS- oder Basis-Flipflop	599
5.2.2	Positiv-flankengetriggertes Flipflop	600
5.2.3	Negativ-flankengesteuertes Flipflop	602

5.2.4	Pulsgetriggertes Flipflop (Master-Slave) .....	603
5.2.5	Monoflop .....	604
5.2.6	Schmitt-Trigger .....	605
5.3	Übungen .....	606
<b>6</b>	<b>Schaltwerke .....</b>	<b>608</b>
6.1	Betriebsarten .....	608
6.1.1	Synchrone Steuerung .....	608
6.1.2	Asynchrone Steuerung .....	608
6.2	Taktgenerator .....	609
6.3	Zähler und Frequenzteiler .....	609
6.4	Ringzähler .....	614
6.5	Schieberegister .....	616
6.6	Rechenelemente .....	619
6.7	Übungen .....	623
<b>7</b>	<b>Codes und Code-Umsetzer .....</b>	<b>624</b>
7.1	Code-Umsetzer .....	625
7.1.1	BCD-zu-Dezimal-Decodierer .....	626
7.1.2	Excess-3-zu-Dezimal-Decodierer .....	626
7.1.3	BCD-zu-Siebensegment-Decodierer .....	628
7.2	Paritätsgenerator, Paritätsprüfer .....	630
<b>8</b>	<b>Digital-Analog-Umsetzer (DAU) .....</b>	<b>632</b>
8.1	Stromsummierer .....	632
8.2	Widerstandskettenleiter .....	636
8.3	DAU mit elektronischen Schaltelementen .....	637
8.4	Einchip-DAU .....	640
8.5	Übungen .....	644
<b>9</b>	<b>Digitale Filter .....</b>	<b>646</b>
9.1	A-D- und D-A-Umsetzung .....	646
9.2	Grundaufbau .....	647
9.3	IC-Beispiel .....	648
<b>10</b>	<b>KV-Diagramme zur Erstellung von Schaltnetzen .....</b>	<b>652</b>
10.1	Das KV-Diagramm .....	652
10.2	Beispiel mit drei Variablen .....	653
10.3	Bausteinauswahl .....	655
10.4	Beispiel mit fünf Variablen .....	656
<b>11</b>	<b>Lösungen zu den Übungen .....</b>	<b>659</b>



<b>C</b>	<b>Mikroprozessor- und Computer-Schaltungstechnik</b>	665
<b>1</b>	<b>Was sind Bus-Leitungen und Bus-Systeme?</b>	667
1.1	Mögliche schaltungstechnische Lösungen	669
1.2	Beispiel für eine Programminstruktion	671
1.3	Blockschaltbild eines Speicherbausteins	673
<b>2</b>	<b>Aufbau des Computers und der MPU</b>	675
2.1	Einige Prozessoren	675
2.2	16-bit-MPU	676
2.3	Eingehendere Erläuterung einiger Anschlussfunktionen	681
<b>3</b>	<b>Was sind Befehle und Adressierungen?</b>	685
3.1	Code-Informationen	685
3.2	Befehlsaufbau	685
<b>4</b>	<b>Wie werden Befehle und Unterbrechungen zeitlich gesteuert?</b>	691
4.1	Arbeitsgeschwindigkeit	691
4.2	Operationszyklen	691
<b>5</b>	<b>Mikroprozessorgesteuerte Halbleiterspeicher</b>	699
5.1	Speicherkenngößen	699
5.2	Schreib-Lese-Speicher	700
5.2.1	Statische Speicher	700
5.2.2	Dynamische Speicher	703
5.3	Festwertspeicher	704
5.4	Wie werden Speicherbausteine an die MPU angeschlossen? ..	707
<b>6</b>	<b>Arbeiten mit Ein-/Ausgabe-Bausteinen</b>	716
6.1	Einfache Ein-/Ausgabe-Funktion	719
6.2	Programmierbare Ein-/Ausgabe-Funktion	721
6.3	Einchip-Speicher und Ein-/Ausgabe-Funktion	724
6.4	Programmierbarer Serienschnittstellen-Baustein	731
6.5	Programmierbarer Tastatur- und Anzeigebaustein	736
6.6	Programmierbarer Zeitgeberbaustein	741
<b>7</b>	<b>Bildschirmsteuerung</b>	746
7.1	Monochrome Bildschirmsteuerung	746
7.2	Farb-Bildschirmsteuerung	751
7.3	Grafik-Bildschirmsteuerung	757

<b>8</b>	<b>Erstellen und Prüfen von Programmen</b>	760
8.1	Programmbeispiele	763
8.1.1	Addition	763
8.1.2	Speicherplätze löschen	765
8.2	Assemblierung mit Computer-Entwicklungssystem	767
8.2.1	Befehls-Syntax des Primärprogramms	767
8.2.2	Pseudo-Befehle	768
8.3	Debugger	770

### Teil 3: Fachstufe

<b>A</b>	<b>Energie- bzw. Leistungs-elektronik</b>	773
<b>1</b>	<b>Einsatzbereiche und Gliederung</b>	775
1.1	Stromrichter-Betriebsarten	775
1.2	Stromrichter-Funktionsgruppen	776
<b>2</b>	<b>Halbleiterventile</b>	779
2.1	Dioden	779
2.2	Thyristoren	781
2.3	Triac	784
2.4	Selengleichrichter	787
2.5	Reihen- und Parallelschaltungen von Ventilen	789
<b>3</b>	<b>Stromrichterschaltungen</b>	791
3.1	Gleichrichterschaltungen	791
3.1.1	Brückenschaltungen	792
3.1.2	Spannungs- und Stromglättung	795
3.2	Wechselrichter	798
3.2.1	Selbstgelöschte Wechselrichter	799
3.2.2	Lastgelöschte Wechselrichter	800
3.3	Umrichter	802
3.4	Gleichspannungssteller	803
3.5	Wechsel- und Drehstromsteller	805
3.6	Steuerschaltungen und Taktgeneratoren	807
<b>4</b>	<b>Schutz- und Hilfseinrichtungen</b>	812
4.1	Überspannung- und Überstrom-Schutzschaltungen	812
4.2	Schutz vor Netzurückwirkungen	815
4.3	Funk-Entstörung	818

<b>5</b>	<b>Stromversorgungsschaltungen</b>	820
5.1	Lade- und Puffergeräte	820
5.2	Notstromgeräte für Wechselstrom	824
5.3	Elektronisch geregelte Gleichstrom-Versorgungsschaltungen	825
<b>6</b>	<b>Anwendungsbeispiele mit integrierten Steuer- und Regelfunktionen</b>	829
6.1	Sensorbedienbarer Treppenlicht-Zeitschalter	829
6.2	Nullspannungsschalter	833
6.3	Phasenanschnittsteuerung	835
6.4	Weitere Anwendungsbeispiele für integrierte Steuer- und Regelbausteine	840
<b>7</b>	<b>Antriebssteuerungen und Antriebsregelungen</b>	843
7.1	Drehzahlregelung mit Impulssteuerung	843
7.2	Drehzahlregelung mit Sägezahnsteuerung	844
7.3	Motorsteuerungen mit SPS	846
7.4	Wechselrichterbetrieb für Gleichstromantriebe	851
7.5	Getaktete Endstufen	856
<b>8</b>	<b>Drehstrom-Servoantriebe mit modularen Regelverstärkersystemen</b>	859
8.1	Versorgungsmodul	860
8.2	Verstärkermodule	863
8.3	Drehstrom-Servomotor	865
8.4	Netzanschluss für AC-Antriebe	866
<b>9</b>	<b>Anwendungsbeispiele für Wechselrichter in der Photovoltaik</b>	868
9.1	Schaltungsübersicht und Teilschaltungen	868
9.2	Dreiphasige Einspeisung	868
9.3	„Multi-String“-Netzkopplung	871
<b>Teil B Nachrichtentechnik</b>		873
<b>1</b>	<b>Übersicht</b>	875
1.1	Fernseh- und Rundfunktechnik	877
1.2	Fernsprechsysteme	877
1.3	Bildschirmtext (Btx)	877
1.4	Datentechnik, sprachgesteuert	879
1.5	Funktechnik	880
1.6	Verkehrs- und mobile Informationstechnik	881
1.7	Übertragungstechnik	881

<b>2</b>	<b>Grundlagen der Nachrichten- und Übertragungstechnik .....</b>	<b>882</b>
2.1	Schwingungen und ihre Übertragungseigenschaften .....	883
2.1.1	Lange Wellen .....	888
2.1.2	Mittlere Wellen .....	888
2.1.3	Kurze Wellen .....	888
2.1.4	Ultrakurze Wellen .....	890
2.2	Kabel und Glasfaserleitungen .....	891
2.2.1	Doppeladerkabel .....	892
2.2.2	Koaxialkabel .....	894
2.2.3	Lichtwellenleiter (LWL) .....	895
2.3	Sende- und Empfangsantennen .....	898
2.3.1	Sendeantennen .....	898
2.3.2	Richtfunkantennen als Relaisstationen .....	903
2.3.3	Empfangsantennen .....	903
2.4	Verstärkung, Dämpfung, Anpassung .....	906
2.5	Modulation und Demolulation .....	908
2.6	Sender .....	913
<b>3</b>	<b>Fernsprech-Vermittlungstechnik .....</b>	<b>914</b>
3.1	Koppelnetze .....	915
3.2	Teilnehmeranschlusssystem im Fernsprechnet .....	918
3.3	Netzstrukturen .....	923
3.4	Digitales Ortsnetz .....	925
3.5	Fernvermittlungstechnik .....	926
3.6	Internationale Fernvermittlungstechnik .....	927
3.7	Signalisierung im Fernverkehr .....	931
3.8	Gebührenerfassung .....	935
3.9	Dämpfungsplan .....	936
<b>4</b>	<b>Digitales Vermittlungssystem (ISDN) .....</b>	<b>938</b>
4.1	Systemstruktur .....	938
4.2	Verteilte Steuerung .....	942
4.3	Digital-Koppelnetz .....	944
4.4	Anschlussmodule .....	946
4.5	Softwarestruktur .....	948
4.6	Systemverfügbarkeit .....	950
4.7	Analog-Teilnehmersatz .....	950
4.8	Analog-Verbindungssatz .....	955
4.9	Digitaler Verbindungssatz .....	959
4.10	Koppelnetz-Baustein .....	961

<b>5</b>	<b>Richtfunksysteme</b>	969
5.1	Analoges Richtfunksystem	969
5.2	Digitales Richtfunksystem	970
<b>6</b>	<b>Satellitensysteme</b>	977
6.1	Funktionsübersicht	977
6.2	Digitales Vermittlungssystem	979
6.3	Technik des Satellitenempfangs	980
<b>C</b>	<b>Regelungstechnik</b>	993
<b>1</b>	<b>Regelungstechnische Grundlagen</b>	995
1.1	Regelungstechnische Grundbegriffe	996
1.2	Regelkreis im Blockschema	1000
1.3	Regelverstärker	1001
<b>2</b>	<b>Regeln und Steuern</b>	1009
2.1	Beispiele	1009
2.2	Funktionsschema	1012
<b>3</b>	<b>Zeitverhalten von Regelkreisen</b>	1015
3.1	Proportionalglied	1016
3.2	Totzeitglied	1019
3.3	Integrierglied	1020
3.4	Differenzierglied	1021
3.5	Summierungsstelle	1021
3.6	Kennlinienglied	1022
3.7	Multiplikatives Glied	1023
3.8	PI-Regler	1023
3.9	PID-Regler	1025
3.10	Regelung nichtlinearer Strecken	1028
<b>4</b>	<b>Nachlaufsynchronisation</b>	1032
4.1	Abtast-Halteglied	1033
4.2	Synchrone Gleichrichter	1034
4.3	Frequenzempfindlicher Phasendetektor	1036
4.4	Phasendetektor mit erweitertem Messbereich	1038
4.5	Frequenzvervielfacher mit PLL	1039

<b>5 Sensoren</b>	1041
5.1 Schutzarten und Einsatzbeanspruchung	1042
5.2 Induktiver Wegsensor	1043
5.3 Drehzahlsensor	1045
5.4 Kraftsensor	1047
5.5 Absolutdrucksensor	1049
5.6 Gabelkoppler	1051
5.7 Reflexkoppler	1052
5.8 Inkrementale Drehgeber	1056
<b>6 Robotersteuerung und -regelung</b>	1059
6.1 Mechanische Grundlagen	1059
6.2 Steuerung und Bedienung	1060
<b>7 Anwendungsbeispiele und Anwendungsschaltungen</b>	1063
7.1 Spannungsregler	1063
7.2 Nachlaufregelung mit P-, I- und D-Regler	1073
7.3 Drehzahlregelung mit Blockierschutz	1078
7.4 Nachlaufsteuerung für mechanische Stelleinrichtungen	1080
7.5 Zweipunkt-Temperaturregelung	1082
7.6 Regelschaltung für die Vertonung	1083
7.7 Digitalservo	1086
7.8 SPS- und Mikrocomputer-Regelungen	1088
7.9 Regelverstärker für Drehstrom-Servoantriebe	1092
7.10 Fuzzy-Control	1094
<b>D Steuerungstechnik</b>	1097
<b>1 Grundlagen und Systemübersicht</b>	1099
1.1 Grundlagen	1099
1.2 Systemübersicht	1101
1.3 Gesteuerte Verbraucher und Geräte	1103
1.4 Steuereinrichtungen	1106
<b>2 Analoge Steuerungen</b>	1111
2.1 Stabilisierungsschaltungen für Strom und Spannung	1111
2.2 Verstärkerschaltung	1119
2.3 Steuerschaltung für Gleichstrommotor	1120
2.4 Nachlaufsteuerung	1122

2.5	Frequenz- und Drehzahlmessung .....	1124
2.6	Impulsbreiten-Steuerung für Gleichstromlast .....	1128
<b>3</b>	<b>Digitale Steuerungen .....</b>	<b>1131</b>
3.1	Normierschaltung .....	1131
3.2	Sicherheitsschaltung .....	1132
3.3	Führungssteuerung .....	1132
3.4	Drehrichtungssteuerung .....	1133
3.5	Digitale Drehzahlsteuerung für einen Gleichstrommotor .....	1134
3.6	Steuerschaltung für einen Schlittenantrieb .....	1136
3.7	Drehzahlmesser .....	1137
3.8	Umdrehungswächter .....	1138
3.9	Erstlingsmelder .....	1140
3.10	Prüfschaltung für Schaltnetze .....	1142
3.11	Druckgussautomat .....	1145
3.12	Hydraulische Presse .....	1147
3.13	Digitaler Phasenschieber .....	1151
<b>4</b>	<b>Speicherprogrammierbare Steuerungen .....</b>	<b>1157</b>
4.1	Wie arbeiten speicherprogrammierbare Steuerungen? .....	1158
4.2	Programmsteuerung der SPS .....	1158
4.3	Programmieren von logischen Verknüpfungen .....	1162
4.4	Programmieren von Speicherfunktionen .....	1163
4.5	Zeit- und Zähloperationen .....	1165
4.6	Sprunganweisungen .....	1167
4.7	Lade-Sofort-Anweisung .....	1169
4.8	Flankenerkennung .....	1170
4.9	Anwendungsbeispiele .....	1172
<b>5</b>	<b>Mikrocomputer-Steuerungen .....</b>	<b>1178</b>
5.1	Steuerung einer Modell-Verkehrsanlage .....	1178
5.2	Schrittmotorsteuerung .....	1182
5.3	Schnittstelle für Steuerungsmodelle .....	1189
<b>6</b>	<b>Roboter-Controller .....</b>	<b>1195</b>
6.1	Steuerungssysteme .....	1195
6.2	Sensor-Datenverarbeitung .....	1196
6.3	Anwendungsbereiche von RC-Systemen .....	1198
	<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>1203</b>

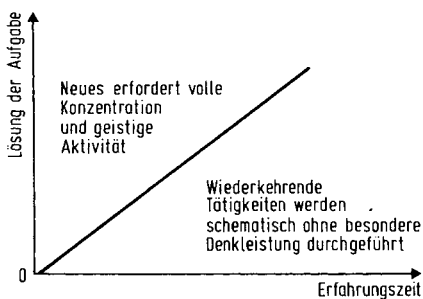
# 1 Die Grundrechenregeln

Die Rechenregeln helfen nicht nur bei der Anwendung von physikalischen Gesetzen, sondern auch bei der Umwandlung von Ziffernsystem zu Ziffernsystem.

Es gibt zwei Möglichkeiten, eine Tätigkeit auszuüben:

- eine bekannte Tätigkeit, die systematisch und gewohnheitsmäßig durchgeführt wird,
- eine unbekannte Tätigkeit, die volle geistige Konzentration und Beachtung von Verhaltensregeln erfordert.

Können Sie sich noch an Ihre erste Autofahrt erinnern? Die Fahrt war bestimmt anstrengender und ermüdender als eine Autofahrt unter gleichen Bedingungen nach mehrjähriger Praxis.



**Abb. 1.1:** Neue Tätigkeiten und Routinearbeiten

Die erste Ausfahrt verlangte volle Konzentration und Beachtung der Verkehrsregeln, da alles neu war. Je länger die Fahrpraxis, umso routinierter die Reaktionen und die Beachtung der Regeln. Man kann dies wie in *Abb. 1.1* gezeigt veranschaulichen.

## 1.1 Die Addition in verschiedenen Ziffernsystemen

Prüfen Sie sich einmal kritisch, wenn Sie addieren und subtrahieren. Wissen Sie genau, was Sie tun, oder arbeiten Sie nach einem Schema? Versuchen Sie folgende Aufgabe zu lösen:

$$\begin{array}{r} 24 \\ + 17 \\ \hline \dots \end{array}$$



Diese Aufgabe war bestimmt kein Problem? Sie haben die Aufgabe gelöst, weil Sie der Meinung sind, dass Sie die Rechenregeln und das Ziffernsystem beherrschen. Wenn dies wirklich der Fall ist, könnten Sie die Zahlen auch in das oktale Ziffernsystem umsetzen und unter Anwendung der Rechenregeln in diesem Ziffernsystem addieren.

Dezimal	Achter (Okta)
24	....
<u>+ 17</u>	+ ....
....	....

Konnten Sie diese Aufgabe lösen, so haben Sie den Beweis erbracht, dass Sie die Rechenregeln in beiden Ziffernsystemen beherrschen. Sie brauchen deshalb die folgenden Ausführungen nicht mehr durchzuarbeiten und können gleich das nächste Kapitel beginnen.

Wenn Sie aber die Aufgabe nicht lösen konnten, so beherrschen Sie die Rechenregeln nicht ausreichend. Betrachten wir daher in den folgenden Beispielen den Aufbau der Ziffernsysteme etwas genauer.

Mit dem Dezimal- bzw. Zehner-Ziffernsystem sind wir bestens vertraut. Deshalb wollen wir uns zuerst diesem zuwenden. Dieses Ziffernsystem hat einen Ziffernvorrat von zehn Ziffern. Dies sind die Ziffern:

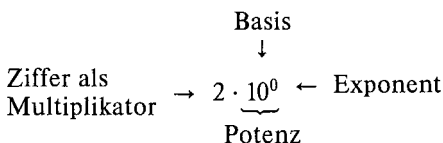
0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Aus diesem Ziffernvorrat kann man beliebige Zahlenwerte bilden.

Solange eine dieser Ziffern für sich allein steht, hat sie die „Einer-Wertigkeit“. Diese Wertigkeit kann man auch in der Potenzschreibweise darstellen:

$1 \cdot 10^0, 2 \cdot 10^0, 3 \cdot 10^0$  usw. bis  $9 \cdot 10^0$

Die Zahl Zehn wird hier als Basis bezeichnet. Sie gibt den Ziffernvorrat und damit die Wertigkeit dieses Ziffernsystems an.



Die rechte Ziffer über der Basis ist der Exponent. Der Exponent gibt an, wie viel mal die Basis mit sich selbst malgenommen werden muss. Die Ziffer davor gibt die Wertigkeit im Ziffernvorrat an, mit dem die Potenz multipliziert werden muss.

Dazu einige Beispiele:

$$1 \cdot 10^0 = 1$$

$$2 \cdot 10^0 = 2$$

$$3 \cdot 10^0 = 3$$

$$9 \cdot 10^0 = 9$$

Wird der Wert des Exponenten erhöht, nehmen die Zahlen folgende Werte an:

$$1 \cdot 10^1 = 1 \cdot 10 = 10$$

$$1 \cdot 10^2 = 10 \cdot 10 = 100$$

$$1 \cdot 10^3 = 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1000$$

An den Beispielen sehen wir, dass der Exponent angibt, wie oft die Basis mit sich selbst multipliziert werden muss.

Die Potenz, multipliziert mit der Ziffer, ergibt dann die entsprechende Zahl, z. B.:

$$3 \cdot 10^1 = 3 \cdot 10 = 30$$

$$5 \cdot 10^2 = 5 \cdot 10 \cdot 10 = 500$$

$$9 \cdot 10^0 = 9 \cdot 1 = 9$$

Die Beispiele zeigen auch, dass die Potenz den Stellenwert angibt und der Multiplikator die Ziffer davor:

$0 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^2$	$9 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^0$
0	1	9	9	1

Das Beispiel zeigt, dass die Potenz  $1 \cdot 10^0 = 1$  im dezimalen Ziffernsystem den Stellenwert der „Einer“ angibt, die  $9 \cdot 10^1$  den Stellenwert der „Zehner“, die  $9 \cdot 10^2$  den Stellenwert der „Hunderter“, die  $1 \cdot 10^3$  den Stellenwert der „Tausender“ und die  $0 \cdot 10^4$  den Stellenwert der „Zehntausender“. Wir erkennen daran auch, dass von Stelle zu Stelle ein Zehnersprung vorliegt.

Kehren wir zurück zu dem ersten Additionsbeispiel:

	$10^1$	$10^0$
	2	4
	+ 1	7
Übertrag	1	
Summe	4	1

Im „Einer“-Stellenwert wird durch die Addition der Ziffern 4 und 7 der Ziffernvorrat überschritten. Hierbei wird der Rest des „Einer“-Wertes als „Einer“-Summe angeschrieben, in diesem Beispiel die 1. Die Summe „Zehn“ wird als Übertrag der „Zehner“-Stelle zugeordnet und in der Summenbildung dieses Stellenwerts als Ziffer 1 berücksichtigt.

Die Logik dieser Rechenregeln können wir auf alle Ziffernsysteme übertragen. Wir können selbst Ziffernsysteme eröffnen und mit diesen genauso rechnen wie im Zehner- bzw. Dezimalsystem.

Versuchen wir nun, mit den gleichen Überlegungen die Lösung für alle Ziffernsysteme zu finden.

Wir wissen, dass jedes Ziffernsystem einen bestimmten Ziffernvorrat besitzt. Alle Ziffernsysteme, die einen kleineren Ziffernvorrat als das Zehnersystem haben, können mit den Ziffern des „Zehner“-Systems berechnet werden. *Tabelle 1.1* zeigt die Ziffernvorräte und die Stellenwertigkeiten der Ziffernsysteme 2 bis 10.

**Tabelle 1.1:** Ziffernsysteme mit Ziffernvorrat 0 bis 9

Ziffern- system	Ziffernvorrat	Stellenwertigkeit					
Zweier (Dual)	0-1	$2^4$ 16	$2^3$ 8	$2^2$ 4	$2^1$ 2	$2^0$ 1	
Dreier	0-1-2	$3^4$ 81	$3^3$ 27	$3^2$ 9	$3^1$ 3	$3^0$ 1	
Vierer (Quarta)	0-1-2-3	$4^4$ 256	$4^3$ 64	$4^2$ 16	$4^1$ 4	$4^0$ 1	
Fünfer	0-1-2-3-4	$5^4$ 625	$5^3$ 125	$5^2$ 25	$5^1$ 5	$5^0$ 1	
Sechser	0-1-2-3-4-5	$6^4$ 1296	$6^3$ 216	$6^2$ 36	$6^1$ 6	$6^0$ 1	
Siebener	0-1-2-3-4-5-6	$7^4$ 2401	$7^3$ 343	$7^2$ 49	$7^1$ 7	$7^0$ 1	
Achter (Oktal)	0-1-2-3-4-5-6-7	$8^4$ 4096	$8^3$ 512	$8^2$ 64	$8^1$ 8	$8^0$ 1	
Neuner	0-1-2-3-4-5-6-7-8	$9^4$ 6561	$9^3$ 729	$9^2$ 81	$9^1$ 9	$9^0$ 1	
Zehner (Dezimal)	0-1-2-3-4-5-6-7-8-9	$10^4$ 10000	$10^3$ 1000	$10^2$ 100	$10^1$ 10	$10^0$ 1	

Aus *Tabelle 1.1* ist ersichtlich, dass der Ziffernvorrat entsprechend der Wertigkeit des Ziffernsystems ansteigt. Aus der Spalte „Stellenwertigkeit“ ist zu erkennen, dass die Basiszahl die Wertigkeit des Ziffernsystems darstellt. Daraus ergeben sich die einzelnen Stellenwerte. Im „Zweier“-System verdoppelt sich der Stellenwert mit steigendem Wert des Exponenten. Im Dreiersystem erfolgt eine Verdreifachung, im Viersystem eine Vervierfachung usf.

Man kann auch Ziffernsysteme benutzen, die über dem des Zehner-Ziffernsystems liegen. Nur muss man dafür neue Ziffern bilden. In der Praxis nimmt man hierfür das Alphabet, wie es in *Tabelle 1.2* dargestellt ist.

**Tabelle 1.2:** Ziffernsysteme mit Ziffernvorrat 11 bis 16

Ziffern- system	Ziffernvorrat	Stellenwertigkeit				
Elfer	0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-A	$11^3$ 1331	$11^2$ 121	$11^1$ 11	$11^0$ 1	
Zwölfer	0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-A-B	$12^3$ 1728	$12^2$ 144	$12^1$ 12	$12^0$ 1	
Dreizehner	... A-B-C	$13^3$ 2197	$13^2$ 169	$13^1$ 13	$13^0$ 1	
Vierzehner	... A-B-C-D	$14^3$ 2744	$14^2$ 196	$14^1$ 14	$14^0$ 1	
Fünfzehner	... A-B-C-D-E	$15^3$ 3375	$15^2$ 225	$15^1$ 15	$15^0$ 1	
Sechzehner (hexadezimal)	... A-B-C-D-E-F	$16^3$ 4096	$16^2$ 256	$16^1$ 16	$16^0$ 1	

Der Ziffernvorrat der *Tabelle 1.2* zeigt, dass an die Stelle der zweistelligen Zahl 10 (im Dezimalsystem) der Buchstabe A getreten ist, 11 steht für den Buchstaben B, 12 für den Buchstaben C, 13 für den Buchstaben D, 14 für den Buchstaben E und 15 für den Buchstaben F. Somit wurde es möglich, in den Ziffernsystemen, die den Ziffernvorrat des Dezimalsystems überschreiten, mit einstelligen Ziffernwerten auszukommen.

Versuchen wir jetzt, einen Teil unserer eingangs gestellten Aufgabe ( $24 + 17$ ) im oktalen Ziffernsystem zu lösen.

Bevor wir die Additionen der Zahlen im Oktalsystem vornehmen können, müssen wir erst die Zahlen aus dem Zehner-Ziffernsystem in das Oktal-Ziffernsystem umsetzen.

Die Zahlen 24 und 17 (dezimal) werden entsprechend der einzelnen Stellenwerte (vgl. *Tabelle 1.1*) des Achter-Ziffernsystems aufgeteilt. Zuerst wird geprüft, welcher Stellenwert als Divisor für die umzuwandelnde Zahl in Frage kommt. Der Stellenwert  $8^1 = 8$  ist hier richtig. Durch diese Zahl lässt sich die Zahl 24 (dezimal) dividieren, dies gilt auch für die Zahl 17 (dezimal). (In den folgenden Beispielen wird zur Kennzeichnung des jeweiligen Ziffernsystems die Zahl mit der Basis des Ziffernsystems versehen, z. B. 24<sub>10</sub>, 17<sub>10</sub>, 318<sub>10</sub>, 279<sub>10</sub> usw.) Bleibt nach der Division ein Rest, wird durch den nächstniedrigeren Stellenwert dividiert:

$$\begin{array}{r}
 24 : 8 = \text{---} \\
 \text{Rest } 0 \quad \text{---} \\
 \quad \quad \quad \begin{array}{|c|c|} \hline 3 & 0 \\ \hline 8^1 & 8^0 \end{array}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 17 : 8 = \text{---} \\
 \text{Rest } 1 \quad \text{---} \\
 \quad \quad \quad \begin{array}{|c|c|} \hline 2 & 1 \\ \hline 8^1 & 8^0 \end{array}
 \end{array}$$

Nach dieser Umsetzung kann die Addition erfolgen:

$$\begin{array}{r}
 30_8 \\
 + 21_8 \\
 \hline
 \text{Übertrag } \text{---} \\
 51_8 \rightarrow 5 \cdot 8^1 + 1 \cdot 8^0 = 40_{10} + 1_{10} = 41_{10}
 \end{array}$$

Bei dieser Addition wurde in keiner Stelle der Ziffernbereich überschritten. Es gibt also keinen Übertrag. Wiederholen wir daher dieses Rechenbeispiel im Dreier- und Zweier-Ziffernsystem:

$$\begin{array}{r}
 24 : 9 = \text{---} \\
 \text{Rest } 6 : 3 = \text{---} \\
 \text{Rest } 0 \quad \text{---} \\
 \quad \quad \quad \begin{array}{|c|c|c|} \hline 2 & 2 & 0 \\ \hline 3^2 & 3^1 & 3^0 \end{array}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 17 : 9 = \text{---} \\
 \text{Rest } 8 : 3 = \text{---} \\
 \text{Rest } 2 \quad \text{---} \\
 \quad \quad \quad \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 2 \\ \hline 3^2 & 3^1 & 3^0 \end{array}
 \end{array}$$

Addition:

$$\begin{array}{r}
 220_3 \\
 + 122_3 \\
 \hline
 \text{Übertrag } 11 \\
 1112_3 = 1 \cdot 3^3 + 1 \cdot 3^2 + 1 \cdot 3^1 + 2 \cdot 3^0 \\
 = 27_{10} + 9_{10} + 3_{10} + 2_{10} = 41_{10}
 \end{array}$$

Aus diesem Beispiel ist ersichtlich, dass der Ziffernbereich in den Stellen  $3^1$  und  $3^2$  überschritten wurde. In der Stelle  $3^1$  ergab die Summe  $2 + 2 = 4$ . Da der Ziffernbereich nur bis 3 geht, muss der Wert 3 (höchster Stellenwert) mit dem Ziffernwert 1 in die nächsthöhere Stelle  $3^2$ . Der Rest von  $4 - 3 = 1$  verbleibt in der Stelle  $3^1$ . In der Stelle  $3^2$  muss dieser Übertrag hinzuaddiert werden. Als Summe ergibt sich dadurch wieder  $1 + 1 + 2 = 4$ . Dieses gibt wieder einen Übertrag in die Stelle  $3^3$ .

Im Zweier-Ziffernsystem wird bei der Umsetzung von Zahlen aus dem Zehner-Ziffernsystem genauso vorgegangen. Nur mit dem Unterschied, dass beim Dividieren gleich die Stellenwerte des Zweier-Ziffernsystems eingesetzt werden.

$$\begin{array}{rcl}
 24 : 16 = & & \\
 \text{Rest } 8 : 8 = & & \\
 \text{Rest } 0 = & & \\
 \hline
 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 2^4 & 2^3 & 2^2 & 2^1 & 2^0
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{rcl}
 17 : 16 = & & \\
 \text{Rest } 1 : 1 = & & \\
 \text{Rest } 0 = & & \\
 \hline
 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 2^4 & 2^3 & 2^2 & 2^1 & 2^0
 \end{array}$$

In diesem Ziffernsystem muss beachtet werden, dass als Ziffernvorrat nur die Ziffern 0 und 1 vorhanden sind. Das Ergebnis darf beim Dividieren nie größer als 1 werden. Entsprechend hoch muss die Stellenwertigkeit gewählt werden. Bei der ersten Zahl  $2^4$  war dies der Stellenwert  $1 \cdot 2^4 = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 16$ . Bei der Zahl 17 war ebenfalls der Stellenwert  $2^4$  enthalten. Der Rest war nur noch in der Stelle  $2^0$  unterzubringen.

$$\begin{array}{r}
 \text{Addition: } 2^4 \ 2^3 \ 2^2 \ 2^1 \ 2^0 \\
 \quad 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0_2 \\
 + 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1_2 \\
 \hline
 \text{Übertrag } 1 \\
 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \\
 \hline
 = 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 \\
 = 32_{10} + 0_{10} + 8_{10} + 0_{10} + 1_{10} \\
 = 41_{10}
 \end{array}$$

Auch dieses Additionsbeispiel hat gezeigt, dass bei Überschreiten des Ziffernvorrats 0 und 1 ein Übertrag in die nächsthöhere Stelle erforderlich ist.

Bei all diesen Beispielen wird Ihnen aufgefallen sein, dass der nächsthöhere Stellenwert in jedem Ziffernsystem immer multipliziert um den Faktor der Basis höher ist als der vorangegangene Stellenwert, z. B.:

$$\begin{array}{lll}
 1 \cdot 2^4 = 16 & 1 \cdot 3^1 = 3 & 1 \cdot 8^2 = 64 \\
 1 \cdot 2^5 = 16 \cdot 2 = 32 & 1 \cdot 3^2 = 3 \cdot 3 = 9 & 1 \cdot 8^3 = 64 \cdot 8 = 512 \\
 \hline
 1 \cdot 16^1 = 16 & 1 \cdot 4^3 = 64 & 1 \cdot 6^2 = 36 \\
 1 \cdot 16^2 = 16 \cdot 16 = 256 & 1 \cdot 4^4 = 64 \cdot 4 = 256 & 1 \cdot 6^3 = 36 \cdot 6 = 216
 \end{array}$$

Nachdem anhand einiger Beispiele die Ziffernsysteme dargestellt wurden, deren Ziffernvorrat kleiner als zehn ist, zeigen die nachfolgenden Beispiele die Umsetzungs- und Additionsvorgänge mit Ziffernsystemen, deren Ziffernvorrat größer als zehn ist. Dazu betrachten wir wieder das Additionsbeispiel mit den Zahlen 24 und 17.

Zuerst ein Beispiel aus dem Zwölfer-Ziffernsystem (Tabelle 1.2). Umsetzung: (Beachte: Für die zweistelligen Zahlen 10, 11 und 12 werden die einstelligen Buchstaben A, B und C eingesetzt.)

$$\begin{array}{r} 24 : 12 = \text{---} \\ \text{Rest } 0 = \text{---} \\ \hline 2 \quad 0 \\ 12^1 \quad 12^0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 17 : 12 = \text{---} \\ \text{Rest } 5 = \text{---} \\ \hline 1 \quad 5 \\ 12^1 \quad 12^0 \end{array}$$

Addition:

$$\begin{array}{r} 12^1 \quad 12^0 \\ 2 \quad 0_{12} \\ + 1 \quad 5_{12} \\ \hline \text{Übertrag} \quad 3 \quad 5_{12} = 3 \cdot 12^1 + 5 \cdot 12^0 = 36_{10} + 5_{10} = 41_{10} \end{array}$$

Das folgende 16er-Ziffersystem hat in der elektronischen Datenverarbeitung (EDV) und in der Mikroprozessortechnik besondere Bedeutung. Dort aber unter den Namen hexadezimals oder sedezimals Ziffersystem!

Umsetzung:

$$\begin{array}{r} 24 : 16 = \text{---} \\ \text{Rest } 8 = \text{---} \\ \hline 1 \quad 8 \\ 16^1 \quad 16^0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 17 : 16 = \text{---} \\ \text{Rest } 1 = \text{---} \\ \hline 1 \quad 1 \\ 16^1 \quad 16^0 \end{array}$$

Addition:

$$\begin{array}{r} 16^1 \quad 16^0 \\ 1 \quad 8_{16} \\ + 1 \quad 1_{16} \\ \hline \text{Übertrag} \quad 2 \quad 9_{16} = 2 \cdot 16^1 + 9 \cdot 16^0 = 32_{10} + 9_{10} = 41_{10} \end{array}$$

In diesen zwei Beispielen gab es keinen Übertrag, da der Ziffernbereich von 0 bis 9 in den einzelnen Stellen nicht überschritten wurde. Daher noch zwei Beispiele:

$$\begin{array}{r} 24_{16} \\ + 18_{16} \\ \hline \text{Übertrag} \quad 3C_{16} \end{array} \qquad \begin{array}{r} 19_{16} \\ + 98_{16} \\ \hline \text{Übertrag} \quad 1 \quad B1_{16} \end{array}$$

Im ersten Beispiel ergab die Summe von  $8 + 4 = 12$  den einstelligen Wert C. Im zweiten Beispiel wurde in der ersten Stelle ( $8 + 9 = 17$ ) der Ziffernvorrat von 16 Ziffern um eine Ziffer überschritten. Daher wurde für den Wert 16 ein Übertrag geschrieben und der Rest 1 als Summe in der ersten Stelle ( $16^0$ ) eingetragen.

**Tabelle 1.3:** Darstellung vierstelliger Zweierzahlen als einstellige 16er-Ziffer

Zweier-Zahlen (Dualzahlen)					Sechzehner-Ziffern (Hexadezimale Ziffern)	Dezimal- zahlen	
Stellenwert	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	16 <sup>0</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>0</sup>
	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	1	0	1
	0	0	1	0	2	0	2
	0	0	1	1	3	0	3
	0	1	0	0	4	0	4
	0	1	0	1	5	0	5
	0	1	1	0	6	0	6
	0	1	1	1	7	0	7
	1	0	0	0	8	0	8
	1	0	0	1	9	0	9
	1	0	1	0	A	1	0
	1	0	1	1	B	1	1
	1	1	0	0	C	1	2
	1	1	0	1	D	1	3
	1	1	1	0	E	1	4
	1	1	1	1	F	1	5

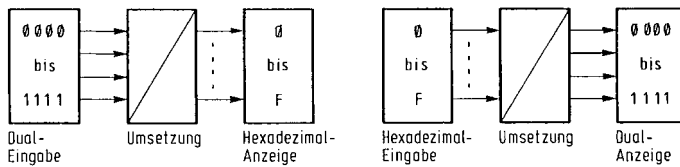
Das 16er-Ziffersystem ist insbesondere in der EDV die Kurzschreibweise des Zweier-Ziffersystems. Der Vergleich dieser Ziffersysteme in *Tabelle 1.1* und *Tabelle 1.2* zeigt, dass eine vierstellige Zweier-Zahl (Dualzahl) mit einer einstelligen 16er-Ziffer dargestellt werden kann, vgl. *Tabelle 1.3*.

In der Digitaltechnik wird vorwiegend im dualen Ziffersystem gearbeitet, solange die Zahlen relativ klein sind, d. h., solange sie überschaubar sind. Eine vierstellige Zahl kann bei entsprechender Übung schnell übersehen und ausgewertet werden. Bei fünf Stellen und mehr ist dies nicht mehr möglich. Für standardisierte Datenwortbreiten, z. B. vierstelliges Datenwort oder achtstelliges Datenwort, gibt es standardisierte Eingabe- und Ausgabeeinheiten für die Umsetzung vom hexadezimalen Ziffersystem in Dualzahlen und umgekehrt (*Abb. 1.2*). Aus *Tabelle 1.3* ist ersichtlich, dass für jeweils vier Stellen im dualen Ziffersystem eine Stelle im sedezeimalen (hexadezimalen) Ziffersystem erforderlich ist:

dual	hexadezimal (sedezeimal)
vierstellig	einstellig
achtstellig	zweistellig
zwölfstellig	dreistellig
sechzehnstellig	vierstellig

Die Umsetzung zwischen dualen und hexadezimalen Ziffersystem ist ebenfalls nicht schwierig. Solange die Dualzahl nicht mehr als vier Stellen aufweist, setzt man





**Abb. 1.2:** Umsetzer (Decoder) für duale und hexadezimale Ziffernsysteme

entsprechend *Tabelle 1.3* und bei etwas Übung leicht vom dualen ins sedezimale Ziffernsystem um.

Bei größeren dualen Datenwörtern teilt man die Dualzahlen in vierstellige Datenwörter, z. B.:

dual:  $10101110101_2$

In vierstellige Dualwörter aufgeteilt (von rechts nach links):

dual:  $101\ 0111\ 0101$

hexadezimal:  $5\ 7\ 5$

dual:  $1000\ 1011\ 1111$

hexadezimal:  $8\ B\ F$

In dieser Form kann man auch vom hexadezimalen System ins duale System umsetzen.

hexadezimal:  $A\ B\ C\ D$

dual:  $1010\ 1011\ 1100\ 1101$

hexadezimal:  $7\ 4\ 0\ F\ 2$

dual:  $0111\ 0100\ 0000\ 1111\ 0010$

In der Fachsprache der Datentechniker haben Datenwörter bzw. Datenformate verschiedene Bezeichnungen: Der kleinste Stellenwert im dualen Ziffernsystem (Stellenwert  $2^0$ ) wird als Informationseinheit bezeichnet. Der Wert ist ein Bit. Eine zwei-stellige Dualzahl hat den Informationswert zwei Bit. Daraus ist ersichtlich, dass die Anzahl der Informationseinheiten von der Anzahl der Stellen abhängt. Genauso wie es im dezimalen Ziffernsystem Mengeneinheiten, wie z. B. deka = 10, kilo = 1000, gibt, so gibt es auch in der Datentechnik für die Informationseinheit verschiedene Mengenzeichen:

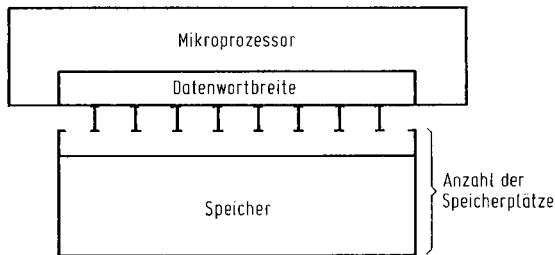
1 bit	$1_2 = 1_{16}$
4 bit (1 Halbbyte)	$1111_2 = F_{16}$
8 bit (1 Byte)	$11111111_2 = FF_{16}$
1024 bit (1 Kilobit)	$1111111111_2 = 3FF_{16}$
1024 Byte (1 Kilobyte)	$111111111111_2 = 1FFF_{16}$

Das Datenformat „Byte“ wird vor allem bei Mikroprozessoren und bei der Angabe der Speicherkapazität von elektronischen Speichern eingesetzt.

Wird z. B. für einen Mikroprozessor mit einem Datenwortformat von acht bit (ein Byte), s. *Abb. 1.3*, die Speicherkapazität des Programmspeichers angegeben, so gibt man die Anzahl der Speicherplätze an, z. B. 1/4 Kilobyte oder 2 Kilobit.

In diesem Beispiel gilt folgende Aussage: Die Speicherkapazität beträgt 256 Speicherplätze zu je 8 bit (1 Byte) Datenwort.

Ergänzend muss hinzugefügt werden, dass ein Speicher das gleiche Datenformat aufweisen muss wie der dazu eingesetzte Mikroprozessor. Mit 1/4 Kilobyte ist die gesamte Speicherkapazität definiert ( $1/4 \text{ K} \cdot 8 \text{ bit} = 2 \text{ Kilobit}$ ).



**Abb. 1.3:** Datenwortbreite eines Computers

## 1.2 Übungen

Abschließend zu dem Thema „Addition in Ziffersystemen“ einige Übungsaufgaben (Lösungen in Teil 1A, Kapitel 9).

Addieren Sie in den jeweiligen Ziffersystemen:

1.1)	$11_3$	1.2)	$1010_2$	1.3)	$24_7$	1.4)	$44_5$
	$+ 2_3$		$+ 1110_2$		$+ 62_7$		$+ 23_5$
Übertrag:	.....		.....		.....		.....
Summe:	..... <sub>3</sub>		..... <sub>2</sub>		..... <sub>7</sub>		..... <sub>5</sub>

Setzen Sie folgende Zahlen um:

- |  |  |
|--|--|
| 1.5) $27_{10} \dots \dots \dots XXX_3$     | 1.6) $56_{16} \dots \dots \dots XXXX_2$    |
| 1.7) $16_7 \dots \dots \dots XXX_4$        | 1.8) $1011_2 \dots \dots \dots XX_{10}$    |
| 1.9) $1010111_2 \dots \dots \dots XX_{16}$ | 1.10) $AF_{16} \dots \dots \dots XXX_{10}$ |
| 1.11) $5A_{11} \dots \dots \dots XX_{10}$  | 1.12) $7C_{16} \dots \dots \dots XXX_8$    |

Addieren Sie im sedezimalen Ziffersystem:

1.13)	$27_{16}$	1.14)	$CA_{16}$	1.15)	$FF_{16}$	1.16)	$80_{16}$
	$+ 1A_{16}$		$+ 9_{16}$		$+ F0_{16}$		$+ 80_{16}$
Übertrag:	.....		.....		.....		.....
Summe:	..... <sub>16</sub>		..... <sub>16</sub>		..... <sub>16</sub>		..... <sub>16</sub>

1.17) Ein Speicher hat 256 bit Speicherkapazität. Ein Datenwort hat das Format 1 Byte. Wie viele Adressen (Adressraum) hat dieser Speicher?

Antwort: ..... Adressen

1.18) Wie viele Bytes haben 504 bit?

Antwort: ..... Byte

1.19) Wie viele Adressen benötigt ein Speicher, der 1024 bit Speicherkapazität aufweist, die im Byte-Format adressiert sind?

Antwort: ..... Adressen

1.20) Wie viele Kilobit sind 4096 bit?

Antwort: ..... Kbit

Lösungen in Teil 1A, Kapitel 9

Nach so viel Theorie nun noch etwas Anwenderpraxis:

Ein Addierwerk, das nach den Rechenregeln des dualen Ziffersystems arbeitet, erhält man als integrierten Baustein (Abkürzung: IC oder IS).

Abb. 1.4 zeigt einen 4-bit-Volladdierer des Typs SN 74283. Über eine Eingabetastatur können die Operanden A und B eingestellt werden. Der Eingang  $\bar{U}_E$  ( $C^0$ ) ist der

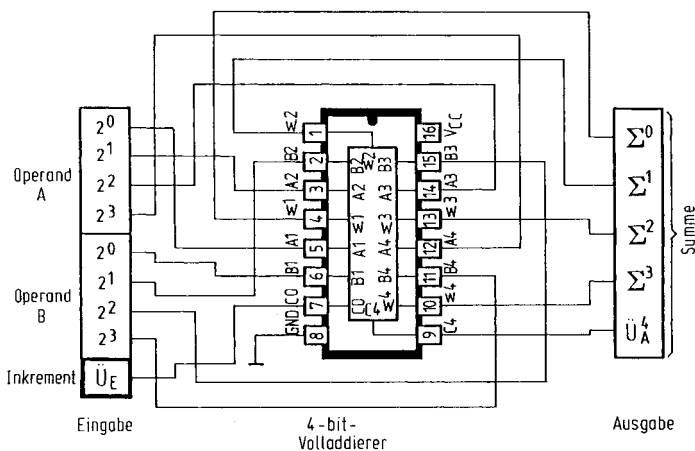


Abb. 1.4: Volladdierer mit 4 bit Datenwortbreite

sogenannte Übertragseingang (Inkrement). Wenn dieser Eingang auf logisch 1 gesetzt wird, erscheint am Ausgang  $\Sigma^0$  ebenfalls logisch 1. Dieser Eingang hat die gleiche Wertigkeit wie der Operanden-Eingang  $2^0$ . Der Summenausgang  $\dot{U}_A^4$  ist die fünfte Stelle im dualen Ziffersystem. Dieser Ausgang geht dann auf logisch 1, wenn die Summe größer als 1111 an den Ausgängen  $\Sigma^0$  bis  $\Sigma^3$  ist.

Hierzu zwei Beispiele:

Wertigkeit:	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
Operand A:		0	1	1	1		0	0	0	1
Operand B:		1	1	1	1		0	0	0	1
Inkrement:					1					1
Übertrag:		1	1	1				1		
Ergebnis:	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1

Zur Unterscheidung der Ziffer 0 vom Buchstaben O wird von datenverarbeitenden Anlagen die Ziffer 0 als durchgestrichene 0 ausgedruckt. Die Schaltung benötigt als Betriebsspannung +5 V am Anschluss 16. Bezugspotenzial 0 V ist der Anschluss 8.

## 1.3 Die Subtraktion in verschiedenen Ziffersystemen

Für die Subtraktion von Zahlen in allen Ziffersystemen gelten die selben Rechenregeln wie im Dezimalsystem.

Zuerst ein Beispiel ( $25 - 17 = ?$ ) aus dem dezimalen Ziffersystem, an dem wir uns die Regeln nochmals bewusst machen wollen:

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{c} (10) \\ 25 \\ -17 \\ \hline 8 \end{array} \\
 \text{geliehen} \quad \begin{array}{c} 1 \\ \hline 0 \end{array}
 \end{array}$$

Die Aufgabe zeigt, dass die Ziffer mit der Einer-Wertigkeit, die abgezogen werden soll, größer ist als die Ziffer der Zahl, von der subtrahiert werden soll ( $5 - 7$ ). In diesem Fall leiht man sich von der nächsthöheren Wertigkeit  $10^1$  die Ziffer 1 ( $1 \cdot 10^1 = 10$ ).







Diese Zahl wird zur Ziffer 5 hinzuaddiert ( $10 + 5 = 15$ ). In der Einer-Stelle ergibt sich dann der folgende Rechenvorgang:  $15 - 7 = 8$ . Die „geliehene“ Ziffer 1 von der Zehner-Wertigkeit muss zur Ziffer 1 der Zahl 17 hinzuaddiert werden ( $1 + 1 = 2$ ).

## 2 Funktionen der Bauelemente in digitalen Schaltungen

Entsprechend den vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten der Elektronik (Regel- und Steuerungstechnik, Energietechnik und Nachrichtentechnik) kommen eine Vielzahl von Bauelementen zur Anwendung, wie z. B. mechanische Schalter, Relais, Dioden, Vierschichtelemente, Bipolartransistoren und Feldeffekttransistoren sowie integrierte Schaltungen (Abk. IS oder IC).

Tabelle 2.1 zeigt eine Gegenüberstellung der wesentlichsten Bauelemente und ihre wichtigsten Kennwerte sowie Schalteigenschaften.

**Tabelle 2.1:**

Bezeichnung	Schalter	Relais	Diode	Thyristor	Transistor Emitterschaltung	FET Sourceschaltung
Schalt- symbole						
Kontaktart	mechanisch	elektro- mechanisch	elektrisch	elektronisch	elektronisch	elektronisch
Schalt- eigenschaft	prellt	prellt	prellfrei	prellfrei	prellfrei	prellfrei
Schaltzeit	ms	ms	$\mu\text{s}$	$\mu\text{s}$	$\mu\text{s}$	$\mu\text{s}$
Übergangs- widerstand im leitenden Zustand	$\text{m}\Omega$	$\text{m}\Omega$	$1\ \Omega$ bis $10\ \Omega$	$10\ \Omega$ bis $100\ \Omega$	$\text{m}\Omega$ bis $\Omega$	$0,1\ \text{k}\Omega$ bis $1\ \text{k}\Omega$
Übergangs- widerstand im nichtlei- tenden Zu- stand	$\infty$	$\infty$	$10\ \text{k}\Omega$ bis $1\ \text{M}\Omega$	$100\ \text{k}\Omega$ bis $1\ \text{M}\Omega$	$1\ \text{M}\Omega$ bis $10\ \text{M}\Omega$	$10\ \text{M}\Omega$ bis $100\ \text{M}\Omega$
Potenziale (leitend)	$U_B$	$U_B$	$0,4\ \text{V}$ bis $0,8\ \text{V}$	$1\ \text{V}$ bis $3\ \text{V}$	$0,2\ \text{V}$ bis $0,3\ \text{V}$	$0,5\ \text{V}$ bis $1\ \text{V}$
Potenziale (nichtleitend)	$\approx 0\ \text{V}$	$\approx 0\ \text{V}$	$U_B$	$U_B \approx$ $> 100\ \text{V}$	$U_B \approx$ $5\ \text{V}$ bis $> 50\ \text{V}$	$U_B \approx$ $> 10\ \text{V}$
Last- widerstand	$R \approx \Omega$ bis $\text{M}\Omega$	$R \approx \Omega$ bis $\text{M}\Omega$	$R \approx 100\ \Omega$ bis $100\ \text{k}\Omega$	$R_k = 1\ \Omega$ bis $1\ \text{k}\Omega$	$R_a \approx 10\ \Omega$ bis $100\ \text{k}\Omega$	$R_s \approx 10\ \text{k}\Omega$ bis $1\ \text{M}\Omega$

## 2.1 Elektrische Funktion eines Schalters

Die Funktion des *Schalters* wird in Form von Tastern für die Signaleingabe und als Drehschalter für eine Programmwahl benötigt. Ein Nachteil ist das *Nachprellen der Kontakte*, wenn ein Schalter geschlossen wird. Abb. 2.1 zeigt die dadurch entstehenden Auswirkungen. Durch das Vor- und Zurückprellen während der Einschaltphase wird der Stromkreis mehrmals geschlossen und geöffnet. Während dieser *Prellzeit* ( $t_1 - t_2$ ) entstehen Impulse mit hohen Schaltfrequenzen, die von einer nachfolgenden digitalen Schaltung weiterverarbeitet werden. Daher werden Eingabeschalter oder Eingabetaster durch eine entsprechende Schaltung in Form eines Kondensators oder einer Schaltstufe entprellt.

Die gleichen Nachteile entstehen durch einen Relaiskontakt. Der Einsatz des *Relais* ist daher nur bedingt möglich, vor allem in Kombination mit schnell schaltenden elektronischen Bauelementen und Schaltkreisen.

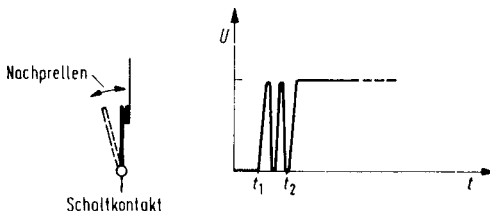


Abb. 2.1: Elektrische Auswirkung einer Kontaktprellung

## 2.2 Diode als Schalter

Die *Diode* findet vorwiegend in Logikschaltungen Anwendung. Für das Durchschalten der Diode ist ein ausreichendes Steuersignal erforderlich, das sowohl in seinen Spannungs- als auch Stromwerten nicht mehr verstärkt zu werden braucht. Die Diode ist ein passives Bauelement ohne Verstärkerwirkung (vgl. Grundlagen). Bei der Diode wird die Richtwirkung des Innenwiderstands in Abhängigkeit von der Polarität des angelegten Signals ausgenutzt. Die Funktion zeigt Abb. 2.2.

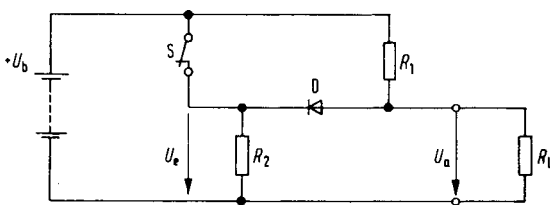


Abb. 2.2: Schalterfunktion der Diode

Solange der Schalter S geöffnet bleibt, ist die Diode leitend, da sie mit der Anode über den Widerstand  $R_1$  am Pluspol der Stromquelle liegt und mit der Katode über den Widerstand  $R_2$  am Minuspol der Stromquelle. Die Ausgangsspannung beträgt dann:

$$U_a = U_b - U_{R1} = U_F + U_{R2}$$

Dieser Zustand würde dem Binärsignal L (low) entsprechen. Wenn  $U_e = 0 \text{ V} = L$  ist, dann entspricht  $U_a$  ebenfalls  $0 \text{ V} = L$ . Die Spannungen  $U_F + U_{R2}$  werden bei dieser Betrachtungsweise ganz einfach vernachlässigt. Das digital-binäre Signal hat die zwei Amplitudenstufen H (high) und L (low). Damit ist der Informationsgehalt nicht wie beim analogen Signal vom Betrag der Amplitude selbst, sondern nur von deren Vorhanden- oder Nichtvorhandensein abhängig. Es ist daher bei einem digitalen Signal nicht kritisch, wenn die Amplitude des Signals um einige Prozent über oder unter dem Sollwert liegt. Geht man davon aus, dass an der Diode im leitenden Zustand etwa  $U_F = 0,75 \text{ V}$  entsteht und der gleiche Spannungswert an  $R_2 = 470 \Omega$  abfällt, dann würde  $U_a$  etwa  $1,5 \text{ V}$  betragen. Damit nun dieser Spannungsanteil nicht mehr als 10 % der Gesamtspannung  $U_b$  ausmacht, muss diese mindestens  $15 \text{ V}$  betragen.

Der Widerstand  $R_1$  muss dann etwa 20 mal größer als  $R_2$  werden, also etwa  $9 \text{ k}\Omega$ .

Man sieht, dass die Dimensionierung dieser Schaltung relativ einfach ist. Die zulässigen Toleranzen sind meist sogar größer als  $\pm 10 \%$ , z. B. bei TTL  $L = 0 \text{ V}$  bis  $1,4 \text{ V}$  und  $H = 3,5 \text{ V}$  bis  $5,5 \text{ V}$ .

Wird der Schalter S geschlossen, liegt am Eingang  $U_e = U_b$ . Diese Spannung liegt dann auch an der Katode der Diode, wodurch diese gesperrt wird. Die Spannung an der Anode wird kleiner, da durch den Widerstand  $R_1$  ein kleiner Spannungsverlust entsteht, hervorgerufen durch den Sperrstrom der Diode. Am Ausgang entsteht dann die Spannung:

$$U_a = U_b - U_{R1}$$

Der Sperrwiderstand  $R_D$  der Diode ist größer als  $1 \text{ M}\Omega$ . Die Spannungsverluste an den Widerständen  $R_1$  und  $R_2$  können vernachlässigt werden, da sie kleiner als 10 % sind. Nicht vernachlässigt werden darf der Lastwiderstand  $R_L$ , der durch die nachfolgende Schaltung gebildet wird. Dieser Widerstand liegt in Reihe zu  $R_1$  und bildet mit ihm einen Spannungsteiler. Um diese Wirkung zu vermeiden, muss der Widerstand  $R_L$  mindestens zehnmal größer sein als der Widerstand  $R_1$ , in diesem Fall etwa  $100 \text{ k}\Omega$ . Der Spannungsverlust beträgt dann weniger als 10 % und kann vernachlässigt werden. Der damit erreichte Binärzustand würde dem Binärsignal H entsprechen.

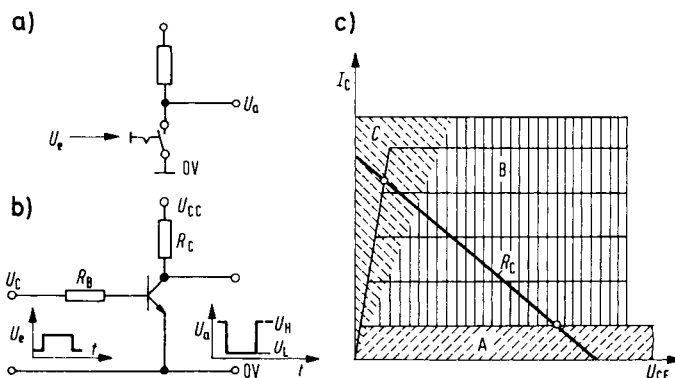
Wenn  $U_e$  etwa  $U_b$  entsprechend H ist, dann ist  $U_a$  etwa  $U_b$  entsprechend H.

Benötigt man das binäre Signal H mit negativem Potenzial, dann braucht man in Abb. 2.2 lediglich die Diode und die Stromquelle umzupolen.

## 2.3 Transistor als Schalter

Transistoren und Feldeffekttransistoren werden in der Digitaltechnik zur Erzeugung binärer Signale ebenfalls in einer einem Schalter ähnlichen Funktion betrieben. Diese Bauelemente haben den Vorteil, dass gleichzeitig eine Strom- oder Spannungsverstärkung bzw. beides zusammen für das zu übertragende Signal erfolgt.

In der digitalen Schaltungstechnik gibt es zahlreiche Ansteuerungsmöglichkeiten und Schaltungsvarianten, die man kennen muss, da sie auf das binäre Ausgangssignal unterschiedliche Auswirkungen haben. Im Folgenden werden die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale dargestellt. Ein Transistor wird in Schalterbetrieb nur in den beiden Zuständen „leitend“ oder „nichtleitend“ betrieben. Er übernimmt dabei annähernd die Funktionen eines mechanischen Schalters, der nur die Betriebszustände „geöffnet“ oder „geschlossen“ einnehmen kann (Abb. 2.3 a). Durch die volle Aussteuerung oder Übersteuerung der Basis wird die Ausgangsspannung am Kollektor nur ein- oder ausgeschaltet (Abb. 2.3 b). Die Funktion des Schalterbetriebes eines Transistors lässt sich aus dem  $I_C$ - $U_{CE}$ -Kennlinienfeld in Abb. 2.3 c entnehmen.



**Abb. 2.3:** Transistor im Schalterbetrieb

- a) Kontaktfunktion
- b) Spannungsfunktionen
- c) Lastwiderstand im Kennlinienfeld



Dabei unterscheidet man drei Arbeitsbereiche:

- A: *Sperrbereich*  
Emitter- und Kollektordiode sind in Sperrrichtung gepolt. Der Transistor ist nichtleitend.
- B: *aktiver Bereich*  
Das ist der Arbeitsbereich der Steuereckennlinie für Verstärkerbetrieb (lineare Steuerung). Die Emitter-Basis-Diode ist in Durchlassrichtung und die Kollektor-Basis-Diode in Sperrrichtung gepolt.
- C: *Übersteuerungsbereich*  
Die Kollektorspannung hat soweit abgenommen, dass sie niedriger als die Basisspannung ist. Man nennt diesen Bereich auch Sättigungsbereich, der Transistor ist leitend.

Im Diagramm entsprechend Abb. 2.3 c werden die Bereiche A und B durch die Kennlinie für  $I_B = 0$  abgegrenzt. Der Übergang von B nach C erfolgt an der Grenze für  $U_{CB} = 0$ , d. h. an der Stelle, an der  $U_{CE} = U_{BE}$  geworden ist. Entsprechend der Widerstandsgeraden für  $R_C$  kann im Schalterbetrieb der Arbeitspunkt von A nach der Grenze C-B oder sogar bis C verschoben werden. Das zeitliche Verhalten beim Schaltvorgang wird von den Bereichen B und C beeinflusst.

Wird die Einschaltspannung so groß gewählt, dass der Arbeitspunkt in den Übersteuerungsbereich C verschoben wird, erhält man als Folge der Übersteuerung eine kleinere Anstiegszeit  $t_p$ , was oft erwünscht ist. Dagegen wird jedoch beim Abschalten die gesamte Abfallzeit  $t_f + t_s$  größer, da zu der normalen Abfallzeit  $t_f$  noch die sogenannte Speicherzeit  $t_s$  hinzukommt (Abb. 2.4).

Nach dem Abschalten der Einschaltspannung bleibt der Kollektorstrom in gleicher Größe bestehen, weil die Basiszone durch Übersteuerung mit Ladungsträgern überschwemmt wurde und die Ladungsträger während der Speicherzeit  $t_s$  erst abfließen müssen, bis der normale Abfall erfolgen kann.

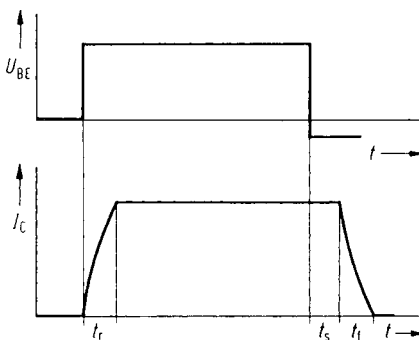


Abb. 2.4: Verhalten von Anstiegs- und Abfallzeit bei Übersteuerung des Transistors

Wie groß die Ausgangspegel  $U_L$  und  $U_H$  der Schaltung nach Abb. 2.3 b sind, ist von der angewandten Schaltungstechnik abhängig. Damit die Spannungspegel der Ausgangsspannung definiert werden können, sollen Spannungspegel zwischen  $U_H$  und  $U_L$  nicht auftreten. Für die Schaltung nach Abb. 2.3 b werden daher folgende Eigenschaften definiert:

$U_e$  max.  $U_L$  gibt  $U_a$  min  $U_H$

$U_e$  min.  $U_H$  gibt  $U_a$  max.  $U_L$

Ist der Transistor in Abb. 2.3 b gesperrt, wird die Ausgangsspannung im unbelasteten Zustand gleich  $U_{CC}$ . Geht man von einem Lastwiderstand  $R_L = R_C$  aus, dann wird  $U_a = 0,5 \cdot U_{CC}$ . Dies ist die kleinste Ausgangsspannung im H-Zustand. Bei einer Betriebsspannung von 5 V ergibt sich  $U_H = 2,5$  V.

Für  $U_a$  min.  $U_H$  befindet sich die Eingangsspannung auf Pegel L. Als Pegel  $U_L$  wird die größte Eingangsspannung definiert, bei der der Transistor gerade noch sicher sperrt, also nichtleitend ist. Bei einem Siliziumtransistor liegt dieser Wert bei 0,4 V.

Die Schaltung muss nun so dimensioniert werden, dass sich für  $U_e = U_H$  die Ausgangsspannung  $U_a$  max.  $U_L$  ergibt. Der Kollektorwiderstand  $R_L$  muss zum einen so klein sein, dass die Schaltzeiten klein werden, zum anderen darf die Stromaufnahme nicht zu groß werden. Für dieses Beispiel werden  $R_C = 5 \text{ k}\Omega$  eingesetzt.  $R_B$  wird so groß gewählt, dass bei einer Eingangsspannung  $U_e = 1,5$  V die Ausgangsspannung unter dem Wert  $U_L = 0,4$  V liegt. Dazu muss ein Kollektorstrom von  $I_C = U_{CC} / R_C = 1 \text{ mA}$  fließen. Der Transistor hat eine Stromverstärkung  $B = 100$ . Der notwendige Basisstrom beträgt dann  $I_{Bmin} = I_C / B = 10 \text{ }\mu\text{A}$ . Um den Transistor sicher in die Sättigung zu bringen, wählt man  $100 \text{ }\mu\text{A}$ , also eine zehnfache Übersteuerung. Der Basiswiderstand kann dann wie folgt berechnet werden:

$$R_B = \frac{1,5 \text{ V} - 0,6 \text{ V}}{100 \text{ }\mu\text{A}} = 9 \text{ k}\Omega$$

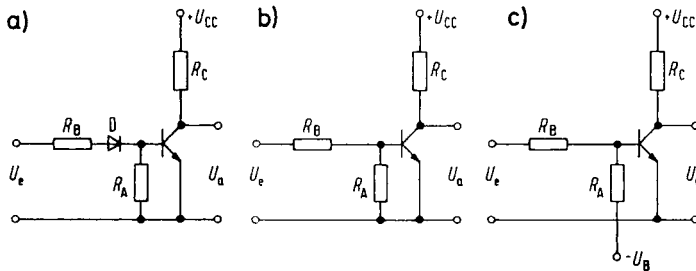
Bei dieser Dimensionierung ( $R_C = 5 \text{ k}\Omega$ ,  $R_B = 9 \text{ k}\Omega$ ) wird für  $U_e = U_L = 0,4$  V die Ausgangsspannung  $U_a = 2,5$  V. Für einen geforderten Minimalwert  $U_H = 1,5$  V beträgt der Störabstand  $S_H = 1$  V. Der Störabstand  $S_L$  liegt zwischen  $U_L = 0,4$  V und  $U_{CEsat}$  mit etwa 0,2 V und beträgt somit etwa 0,2 V.

Die Störabstände sind ein Maß für die Betriebssicherheit der Schaltung. Ihre Definition lautet:

$$S_H = U_a - U_H$$

$$S_L = U_L - U_a$$

Wenn der Störabstand  $S_L$  verbessert werden soll, muss  $U_L$  erhöht werden, da die Spannung  $U_{CEsat}$  nicht nennenswert verringert werden kann.



**Abb. 2.5:** Verbesserung des Störabstands

- a) Diode in der Basiszuleitung
- b) Spannungsteiler
- c) Spannungsteiler an Vorspannung

Schaltungsmöglichkeiten dazu zeigt *Abb. 2.5*. In *Abb. 2.5 a* sind eine oder mehrere Dioden vor die Basis geschaltet. Der Widerstand  $R_A$  dient zur Ableitung des Kollektor-Basis-Sperrstroms. Dadurch wird der Transistor sicher gesperrt.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, einen Spannungsteiler vorzuschalten (*Abb. 2.5 b* und *Abb. 2.5 c*). In *Abb. 2.5 c* liegt der Widerstand  $R_A$  am Minuspotential. Der Störabstand wird dadurch noch weiter erhöht.

## 2.4 Definition der Schaltzeiten

Aufgrund der Umladungsträgheit von Zonenübergängen bei Dioden und Transistoren werden bei der Anwendung dieser Bauteile als Schalter die Schaltflanken am Ausgang gegenüber den Eingangswerten immer verzögert und dadurch verformt sein.

Auch wenn der steuernde Impuls eine sehr kurze Anstiegs- oder Abfallzeit hat, benötigt der Transistor eine bestimmte Zeit, um ein- oder auszuschalten. In *Abb. 2.6* werden die einzelnen Zeiten definiert.

Die Bezeichnungen dieser Zeiten wurden aus der amerikanischen Literatur übernommen, weil diese am gebräuchlichsten sind:

- **Verzögerungszeit  $t_d$**  (delay time)  
Nach dem Anschalten des Steuerstroms  $I_B$  vergeht eine bestimmte Zeit, bis der Ausgangsstrom  $I_C$  auf 10 % seines Endwerts angestiegen ist.
- **Anstiegszeit  $t_r$**  (rise time)  
Dies ist die Flankenzeit, die der Strom benötigt, um von 10 % des Endwerts auf 90 % des Endwerts anzusteigen.

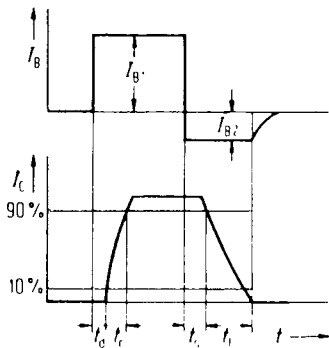


Abb. 2.6: Kennwerte eines rechteckförmigen Stromverlaufs am Transistor

- **Einschaltzeit  $t_{ein}$**   
Dies ist die Summe von  $t_d$  und  $t_r$ .
- **Speicherzeit  $t_s$  (storage time)**  
Nach dem Abschalten des Steuerstroms vermindert sich der Kollektorstrom auf 90 % seines Maximalwerts.
- **Abfallzeit  $t_f$  (fall time)**  
Das ist die Flankenzeit, die der Strom benötigt, um von 90 % des Endwerts auf 10 % abzusinken.
- **Ausschaltzeit  $t_{aus}$**   
Das ist die Summe aus Speicherzeit und Abfallzeit.

Die Speicherzeit  $t_s$  ist wesentlich größer als die anderen Schaltzeiten. Sie tritt dann auf, wenn ein gesättigter Transistor ( $U_{CE} = U_{CEsat}$ ) gesperrt wird. Ist die Spannung  $U_{CE}$  des leitenden Transistors größer als  $U_{CEsat}$ , verringert sich die Speicherzeit  $t_s$  erheblich.

Bei schnellen Schaltvorgängen vermeidet man daher das Durchschalten auf  $U_{CEsat}$ . Schaltungen, die nach diesem Kriterium ausgelegt sind, werden als *ungesättigte Logikschaltungen* bezeichnet. Das Zeitverhalten von Digitalschaltungen wird durch die Gatterlaufzeit  $t_{pd}$  (propagation delay time) definiert:

$$t_{pd} = \frac{t_{pdL} + t_{pdH}}{2}$$

Die Größe  $t_{pdL}$  resultiert aus der Zeitdifferenz zwischen dem 50-%-Wert der ansteigenden Eingangsflanke und dem 50-%-Wert der abfallenden Ausgangsflanke. Die Größe  $t_{pdH}$  ist die entsprechende Zeitdifferenz bei der ansteigenden Ausgangsflanke und der abfallenden Eingangsflanke (Abb. 2.7).

Der H-Pegel der Schaltstufen in Abb. 2.3 und Abb. 2.5 ist stark belastungsabhängig. Dies kann vermieden werden, wenn man der Schaltstufe einen Emitterfolger nach-

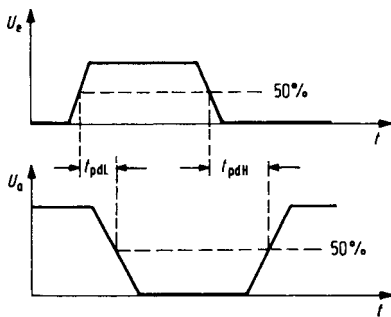


Abb. 2.7: Einfluss der Gatterlaufzeit

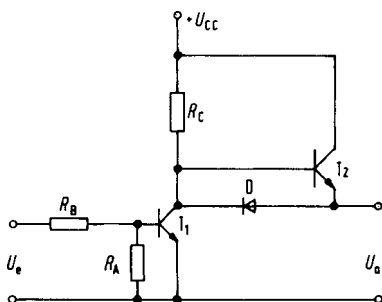


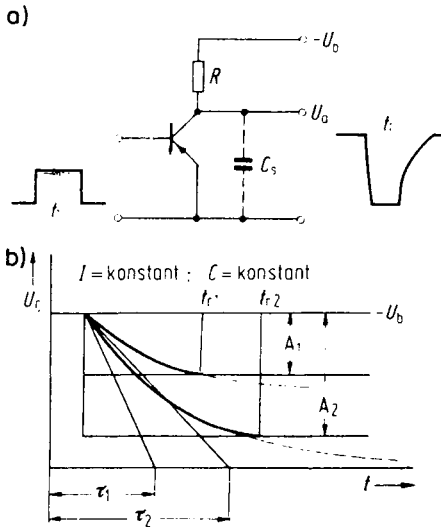
Abb. 2.8: Schaltungsmaßnahmen zur Verminderung der Gatterlaufzeit

schaltet. In Abb. 2.8 fließt der Ausgangsstrom über den Emitterfolger T2, wenn Transistor T1 sperrt. Dadurch bleibt die Belastung des Kollektorswiderstands  $R_C$  gering. Wird T1 leitend, verringert sich die Kollektorspannung. Bei ohmscher Ausgangsbelastung verringert sich die Ausgangsspannung ebenso. Bei kapazitiver Belastung muss die Schaltung den Entladestrom des Kondensators aufnehmen. Der Transistor T2 würde dadurch nichtleitend. Dies verhindert die Diode D, die den Entladestrom über den leitenden Transistor T1 abfließen lässt. Durch die Schwellenspannung der Diode erhöht sich die Ausgangsspannung im L-Zustand auf etwa 0,8 V.

## 2.5 Emitterschaltung im Schalterbetrieb

Einer Schaltstufe entspricht die Emitterschaltung in Abb. 2.9. Wir betrachten bei dieser Grundsaltung den Spannungsverlauf von  $U_C$  am Kollektor eines npn-Transistors, der an der Basis durch einen idealen Rechteckimpuls der Dauer  $t_i$  voll durchgesteuert wird.

In der Kollektorzuleitung befindet sich der Arbeitswiderstand  $R_C$ . Parallel zum Transistor liegt die unvermeidliche Transistor- und Schaltkapazität  $C_S$  (Abb. 2.9).

**Abb. 2.9:** Emitterschaltung

- a) mit kapazitiver Ausgangsbelastung  
 b) Zusammenhang zwischen Impulsamplitude und Anstiegszeit

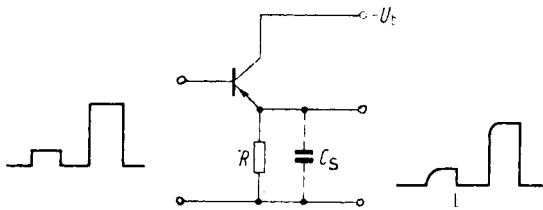
Obwohl von einer idealen Rechteckspannung an der Basis des Transistors ausgegangen wird, ist das Ausgangssignal keineswegs ideal rechteckig. Dies hat folgenden Grund:

Die Lade- und Entladezeit eines  $RC$ -Glieds wird mit dem Fünffachen der Zeitkonstante definiert, das Vorhandensein eines  $RC$ -Glieds verhindert also grundsätzlich ideale Flanken. Diese Überlegung bedeutet, dass die Flankensteilheit von der Kapazität im Kollektorkreis abhängt.

Der nächste Impuls darf erst beginnen, wenn der vorhergehende abgeklungen ist. Dies ist davon abhängig, wie groß der Arbeitswiderstand gewählt wird (Abb. 2.9 b). Die Flankensteilheit, insbesondere zu Beginn des Impulses, lässt sich dadurch jedoch nicht beeinflussen. Sie kann nur verbessert werden, wenn es gelingt, die Kapazität  $C_S$  zu verkleinern. Dazu wählt man einen Transistor mit höherer Grenzfrequenz und/oder kleinerer Verlustleistung.

## 2.6 Kollektorschaltung im Schalterbetrieb

Bei allen Anwenderschaltungen, wo man die Belastung einer Spannungsquelle durch niederohmige Lastwiderstände oder größere Schaltkapazitäten vermeiden will, setzt man Kollektorschaltungen als Trennstufen ein. Diese auch als Emitterfolger bezeichnete Schaltung hat einen großen Eingangswiderstand und einen kleinen Ausgangswiderstand. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass man diese Schal-



**Abb. 2.10:** Kollektorschaltung an unterschiedlichen Impulsamplituden

tung nicht bedenkenlos einsetzen und beliebig belasten darf, insbesondere bei der Ansteuerung mit Impulsen.

Die Kollektorschaltung hat die Eigenschaft, bei großen Impulsamplituden und großer kapazitiver Belastung die Anstiegs- und Abstiegsflanke nicht im gleichen Maße zu übertragen. Bei der Anstiegsflanke nach positiver Spannung wird die in Abb. 2.10 dargestellte pnp-Transistorstufe nichtleitend, also gesperrt.

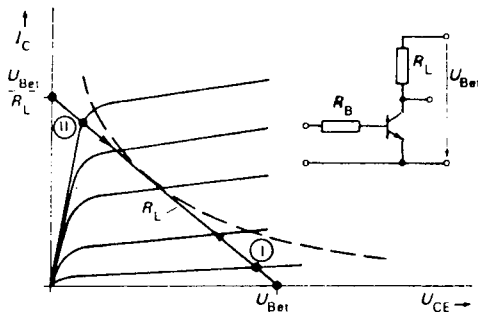
In diesem Fall wird die Anstiegsflanke nur durch  $R$  und  $C$  bestimmt, und die größte Anstiegsgeschwindigkeit ist  $(U / R) \cdot C$ . Bei einem npn-Transistor würden diese Eigenschaften bei der Abstiegsflanke auftreten. Somit lässt sich feststellen, dass für große Signale die Kollektorschaltung nicht schneller schaltet als die Emitterschaltung. Für kleine Signale hat der Transistor eine Ausgangsimpedanz, die sehr niedrig ist. Anstiegs- und Abfallzeit sind etwa gleich und – da der Ausgangswiderstand sehr klein ist – recht kurz. Die Kollektorschaltung eignet sich daher besonders für Impulse bis zu 0,5 V, die an einer kapazitiven Last schnell geschaltet werden sollen.

## 2.7 Transistorschalter bei induktiver und kapazitiver Last

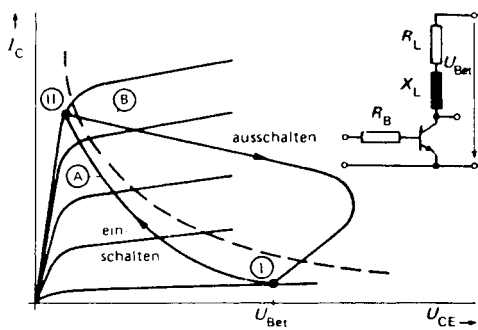
Befindet sich ein ohmscher Widerstand  $R_L$  im Kollektorkreis, so sind alle Arbeitspunkte möglich, die auf der Arbeitsgeraden für den Widerstand  $R_L$  liegen (Abb. 2.11). Die Leistungshyperbel wird bei richtiger Dimensionierung der Schaltung höchstens berührt, jedoch nicht geschnitten bzw. überschritten, solange sich an den Betriebsbedingungen (Spannung, Temperatur o. ä.) nichts ändert.

Ganz anders ist die Beanspruchung des Transistors, wenn der Lastwiderstand einen induktiven Anteil enthält, z. B. bei einem Relais.

Im Augenblick des Einschaltens wird der Strom in der Spule vergrößert. Die Vergrößerung des Stroms hat an den Klemmen der Induktivität eine Selbstinduktionsspannung zur Folge, die der anliegenden Spannung entgegenwirkt. Die Spule zeigt somit bei Stromänderung ihren induktiven Widerstand. Als Lastwiderstand wirken



**Abb. 2.11:** Ohmscher Widerstand im Kollektorstromkreis



**Abb. 2.12:** Induktiver Widerstand im Kollektorstromkreis

daher im Einschaltmoment der ohmsche und der induktive Widerstand. Bei einem großen Lastwiderstand steigt die Widerstandsgerade sehr flach an. Daher beginnt die Kurve mit flacher Steigung im Punkt I. Mit abnehmender Kollektorstromänderung wird der induktive Widerstand kleiner, bis er schließlich zu null wird. Der Einschaltzustand im Punkt II wird durch den ohmschen Anteil  $R_L$  bestimmt. Alle möglichen Arbeitspunkte beim Einschalten liegen auf dem Teil A der Kurve in Abb. 2.12.

Beim Ausschalten wird der Kollektorstrom kleiner. Dadurch entsteht an den Klemmen der Spule eine Selbstinduktionsspannung, die den ursprünglichen Kollektorstrom aufrechtzuerhalten sucht.

Da der Stromkreis nach dem Ausschalten unterbrochen ist, können bei kurzen Abschaltzeiten sehr hohe Spannungen an den Klemmen der Spule auftreten (Teil B der Kurve in Abb. 2.12).

Beim Schalten induktiver Lastwiderstände wird der Schalttransistor im Moment des Einschaltens durch Überspannungen gefährdet.

Die Induktionsspannung einer Spule mit der Induktivität  $L$  bei Änderung des Spulenstroms  $\Delta I$  in der Zeit  $\Delta t$  errechnet sich aus:



$$U_{ind} = \frac{L \cdot \Delta I}{\Delta t}$$

Beispiel:

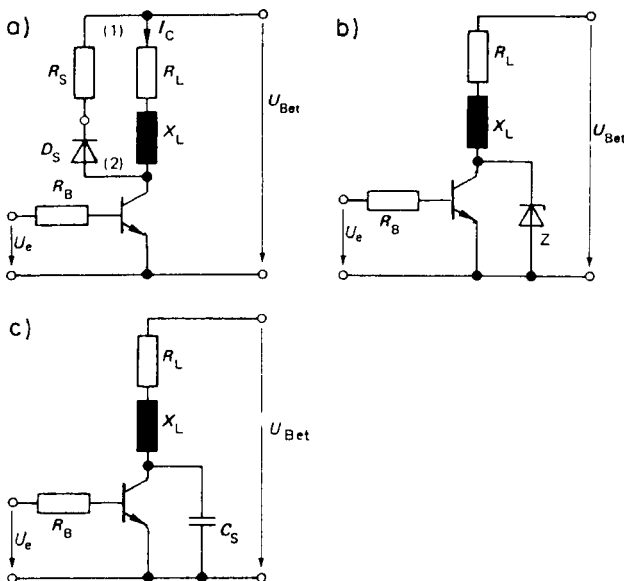
Die Induktivität der Spule im Lastkreis eines Transistors beträgt  $L = 0,1 \text{ H}$ ; der Kollektorstrom ändert sich in  $2 \mu\text{s}$  um  $10 \text{ mA}$ . Wie groß ist die induzierte Spannung in der Spule?

Nach der obigen Gleichung ergibt sich folgende Lösung:

$$U_{ind} = 0,1 \text{ H} \cdot \frac{10 \text{ mA}}{2 \mu\text{s}} = 500 \text{ V}$$

Spannungen dieser Höhe würden den Transistor zerstören. Daher müssen Schalttransistoren, die induktive Last schalten, durch besondere Schaltungsmaßnahmen geschützt werden.

Zur Spannungsbegrenzung am Transistor beim Schalten induktiver Lastwiderstände sind mehrere Schaltungsmaßnahmen möglich. Eine häufig angewendete Schaltung zeigt Abb. 2.13 a. Im Ausschaltmoment hat die Induktionsspannung des induktiven Widerstands  $X_L$  eine Richtung, die den Kollektorstrom  $I_C$  aufrechterhält. Der positive Pol der Selbstinduktionsspannung liegt daher am Punkt 2 und der negative Pol am Punkt 1 in Abb. 2.13 a. Für die Selbstinduktionsspannung ist die



**Abb. 2.13:** Schutzschaltung für induktive Last  
a) Freilaufdiode  
b) Z-Diode  
c) Kondensator

Schutzdiode  $D_S$  (auch als Freilaufdiode bezeichnet) in Durchlassrichtung geschaltet. Der induktive Widerstand  $X_L$  kann seine gespeicherte Energie abgeben. Zur Strombegrenzung für die Diode  $D_S$  wird der Schutzwiderstand  $R_S$  in Reihe geschaltet.

Eine andere Schaltungsvariante zum Schutz des Schalttransistors zeigt Abb. 2.13 b. Parallel zum Transistor ist eine Z-Diode geschaltet. Die Z-Spannung muss unterhalb der Durchbruchspannung des Transistors liegen. Die jeweilige Durchbruchspannung eines Transistors ist aus einem Datenblatt als Grenzwert zu entnehmen.

In Fernsehgeräten hat sich die Schaltung nach Abb. 2.13 c bewährt. Der zum Transistor parallel geschaltete Kondensator  $C_S$  nimmt beim Abschalten die Energie der Spule auf (Kurzschlussbelastung).

Beim Schalten kapazitiver Widerstände bewegt sich der Arbeitspunkt ebenfalls nicht auf einer geradlinigen Verbindung zwischen den Punkten I und II (Abb. 2.14).

Im Moment des Einschaltens hat der ungeladene Kondensator den Widerstand null. Der Transistor arbeitet im Kurzschlussbetrieb. Deshalb steigt bei konstanter Kollektorspannung der Kollektorstrom (Einschaltkennlinie A in Abb. 2.14) steil an. Mit zunehmender Ladung des Kondensators sinkt der Strom, der Verlauf der Einschaltkennlinie A wird daher flacher und schließlich durch die Kennlinie für  $I_{B1}$  begrenzt. Nach dem Abschalten fällt am Widerstand  $R_L$  keine Spannung mehr ab. Der Kondensator entlädt sich über den Widerstand  $R_L$  und erzeugt an ihm einen Spannungsabfall. Diese Entladespannung am Widerstand  $R_L$  wirkt der Betriebsspannung  $U_B$  entgegen, sodass die Spannung  $U_{CE}$  langsam auf den Wert  $U_B$  ansteigt. Diese Funktion zeigt die Ausschaltkennlinie B in Abb. 2.14.

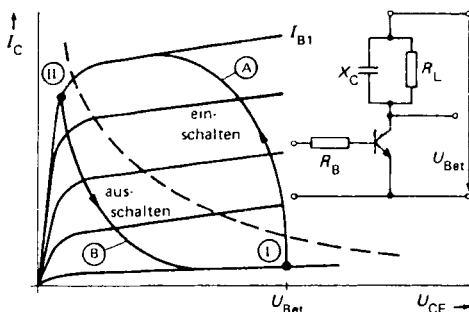


Abb. 2.14: Funktion bei kapazitiver Last

## 2 Grundlagen der Nachrichten- und Übertragungstechnik

In der Übertragungstechnik vollzieht sich ein tiefgreifender Wandel durch die Digitalisierung des Nachrichtennetzes und den Einsatz breitbandiger Netze zur Verwirklichung neuer Teilnehmerdienste. Digitale Vermittlungssysteme führen zum Zusammenwachsen vermittlungstechnischer und übertragungstechnischer Funktionen, die bisher völlig getrennt waren.

Obwohl die optische Nachrichtenübertragung sich rasch entwickelte und dort, wo neue Kabel installiert sind, bereits Kosten- und Qualitätsvorteile bietet, werden sowohl Kupfer-Doppelkabel (vgl. Abb. 1.6) als auch Kupfer-Koaxialkabel, die weltweit schon in großer Menge verlegt sind, noch für viele Jahre weiter vorherrschen. Viele dieser Kabel sind nicht mit Trägerfrequenzsystemen ausgerüstet und bieten sich daher für eine Nutzung mit Pulsmodulations-Übertragungssystemen (PCM) unterschiedlicher Übertragungsgeschwindigkeiten an. Solche Systeme werden im Bereich von Zehnkanaleinrichtungen mit 0,7 Mbit/s für dünn besiedelte Gebiete und mit 56 Mbit/s für als Hochgeschwindigkeitssysteme über Koaxialkabel eingesetzt.

Bei neu einzurichtenden Strecken werden in zunehmendem Maße Koaxialkabel-Übertragungssysteme durch Systeme der optischen Nachrichtentechnik abgelöst. Wobei nicht abzusehen ist, ob die optischen Multimoden- oder die Monomodentechnik zum Standard wird. Mit Monomodenfasern erreicht man die höchste Übertragungskapazität (565 Mbit/s und darüber). Unter 140 Mbit/s hat das Multimodensystem Vorteile.

Richtfunk-Übertragungssysteme mit ihren besonderen Vorteilen und Anwendungsgebieten werden wohl durch die Einführung der optischen Nachrichtentechnik nicht berührt werden. Auch hier ist die Digitalisierung vorangeschritten. Durch Einführung verbesserter Modulationsverfahren wird die Kapazität der Systeme noch gesteigert.

In integrierten Nachrichtennetzen wird sich die Übertragungstechnik vor allem auf Glasfaserkabel stützen. Richtfunk- und Satellitenstrecken sind nur für große Entfernungen ökonomische Übertragungswege.

## 2.1 Schwingungen und ihre Übertragungseigenschaften

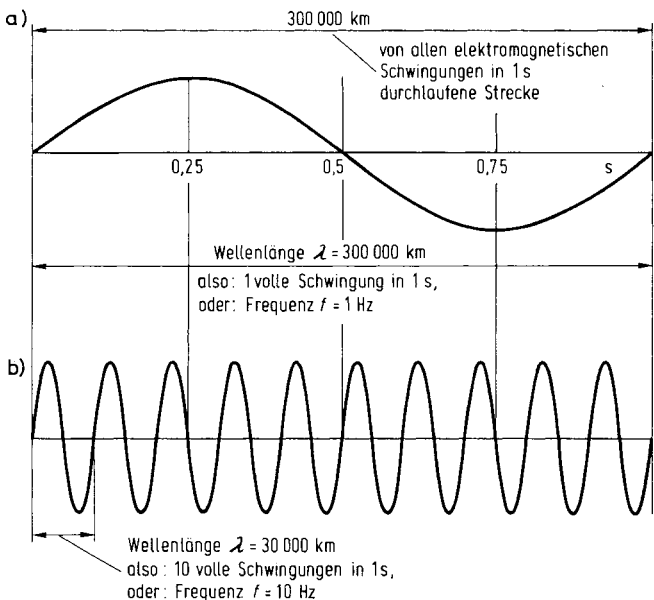
Die von den Sendern ausgestrahlten elektromagnetischen Wellen sind verschieden lang. Lange Wellen haben eine niedrigere Frequenz, d. h., sie schwingen langsamer, sie machen in einer Sekunde weniger Schwingungen als kurze Wellen. Aber alle elektromagnetischen Schwingungen haben die gleiche Ausbreitungs- oder Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Lichtwellen, Wärmewellen, Sendewellen legen in einer Sekunde einen Weg von 300.000 km im Vakuum zurück, d. h., sie haben dort eine Geschwindigkeit von 300.000 km/s.

Da die einzelnen Wellen verschieden schnell schwingen – bei gleicher Fortpflanzungsgeschwindigkeit (300.000 km/s) –, besteht zwischen Wellenlänge und Frequenz ein Zusammenhang (Abb. 2.1):

$$\text{Frequenz} = \frac{\text{Wegstrecke pro Sekunde}}{\text{Wellenlänge}}$$

$$f \text{ in Hz} = \frac{300.000 \text{ km/s}}{\text{Wellenlänge in km}}$$

Entsprechend kann bei gegebener Frequenz die Wellenlänge bestimmt werden:



**Abb. 2.1:** Zusammenhang zwischen Frequenz und Wellenlänge

$$\text{Wellenlänge in km} = \frac{300.000 \text{ km/s}}{f \text{ in Hz}}$$

Sender strahlen grundsätzlich hochfrequente Wellen ab, wegen besserer Übertragungseigenschaften.

Rundfunkwellen haben Frequenzen zwischen 150 kHz und 300 MHz und dementsprechend Wellenlängen von etwa 2000 m bis 1 m. Die Abhängigkeit der Wellenlänge von der Frequenz ist für die Hochfrequenztechnik in *Tabelle 2.1* zusammengestellt.

**Tabelle 2.1:** Wellenlänge und Frequenz hochfrequenter Schwingungen (für 1 Milliarde Hz setzt man 1 Gigahertz, abgekürzt GHz)

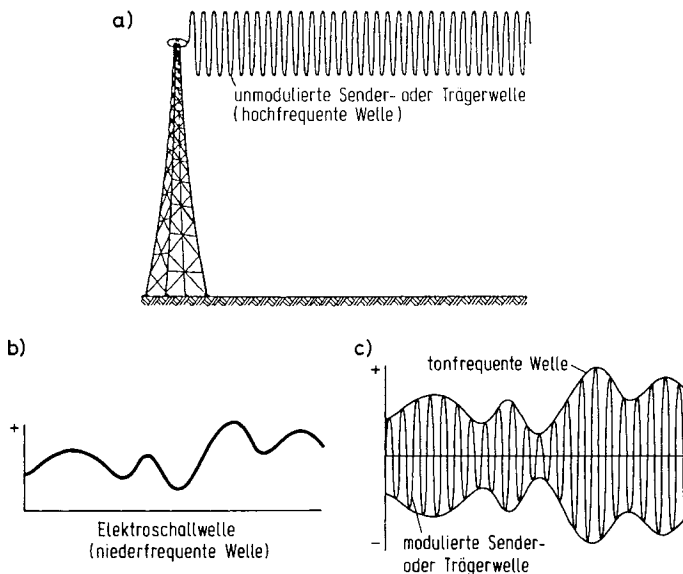
Wellenlänge	Frequenz
30 km	10.000 Hz = 10 kHz
10 km	30.000 Hz = 30 kHz
6000 m	50.000 Hz = 50 kHz
3000 m	100.000 Hz = 100 kHz
1000 m	300.000 Hz = 300 kHz
600 m	500.000 Hz = 500 kHz
300 m	1 Mio. Hz = 1000 kHz = 1 MHz
300 m	3 Mio. Hz = 3000 kHz = 3 MHz
60 m	5 Mio. = 5 MHz
30 m	10 Mio. Hz = 10 MHz
10 m	30 Mio. Hz = 30 MHz
6 m	50 Mio. Hz = 50 MHz
3 m	100 Mio. Hz = 100 MHz
1 m	300 Mio. Hz = 300 MHz
60 cm	500 Mio. Hz = 500 MHz
30 cm	1 Mrd. Hz = 1000 MHz = 1 GHz
10 cm	3 Mrd. Hz = 3000 MHz = 3 GHz
6 cm	5 Mrd. Hz = 5 GHz
3 cm	10 Mrd. Hz = 10 GHz
1 cm	30 Mrd. Hz = 30 GHz
6 mm	50 Mrd. Hz = 50 GHz
3 mm	100 Mrd. Hz = 100 GHz
1 mm	300 Mrd. Hz = 300 GHz
6 mm	500 Mrd. Hz = 500 GHz
3 mm	1 Bio. Hz = 1000 GHz
1 mm	3 Bio. Hz = 3000 GHz

**Tabelle 2.2:** Bereiche der Rundfunkwellen

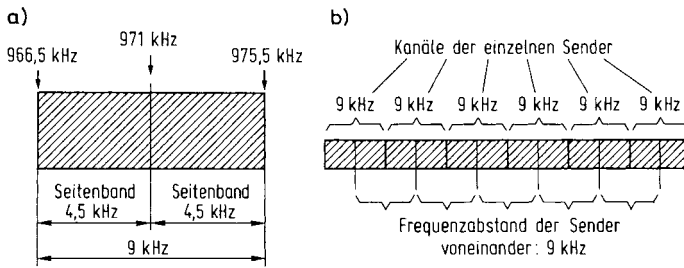
Bezeichnung	Wellenlänge	Frequenz
Langwellen	2000 m bis 1000 m	150 kHz bis 300 kHz
Mittelwellen	600 m bis 200 m	500 kHz bis 1500 kHz
Kurzwellen	60 m bis 10 m	5 MHz bis 30 MHz
Ultrakurzwellen	10 m bis 1 m	30 MHz bis 300 MHz

Die Einteilung der Rundfunkwellen, deren Bezeichnungen sowie Bereiche (Frequenzabstand) ist in *Tabelle 2.2* zusammengefasst. Wie viele Sender in den jeweiligen Frequenzbändern arbeiten können oder dürfen, ist durch die Übertragungsbandbreite festgelegt. Im Mittelwellenbereich beträgt die Bandbreite 9 kHz. Im Kurzwellenbereich stehen als Bandbreite 10 kHz zur Verfügung.

Jeder Sender strahlt eine bestimmte hochfrequente Trägerfrequenz aus. Die zu übertragenden niederfrequenten Schallwellen (Wörter, Musik, Geräusche) werden dieser Trägerfrequenz mitgegeben, d. h. aufmoduliert (vgl. *Abb. 2.2*).

**Abb. 2.2:** Ausstrahlung von Wellen

- a) Trägerfrequenz (TF)
- b) Niederfrequenz (NF)
- c) Amplitudenmodulation (AM)



**Abb. 2.3:** Trägerfrequenzband  
a) Seitenbänder  
b) Kanalabstände

Dazu müssen Ton oder auch Bilder in elektrische Signale umgewandelt werden. Diese Umwandlung erfolgt beim Ton über das Mikrofon, bei Bildaufnahmen über die Videokamera. In Abb. 2.2 a ist die unmodulierte Trägerfrequenz dargestellt. Abb. 2.2 b zeigt die niederfrequente Schwingung und Abb. 2.2 c die resultierende Amplitudenmodulation (AM). Daneben gibt es noch die Frequenzmodulation (FM) und die Pulsmodulation (PCM). Darüber wird in einem gesonderten Abschnitt gesprochen.

Durch die Frequenzbreite der der Trägerfrequenz mitgegebenen niederfrequenten Schwingungen wird die Trägerfrequenz nach beiden Seiten zu einem Band auseinandergezogen. Die Bandstücke rechts und links neben der Grundfrequenz (in Abb. 2.3 a und Abb. 2.3 b die Bandstücke von 971 kHz bis 975,5 kHz und von 966,5 kHz bis 971 kHz) nennt man die *Seitenbänder*. Die geringe Tonfrequenzbreite von 4,5 kHz = 4500 Hz geht zu Lasten der Tonqualität. Zwar reicht ein Frequenzspielraum von 4500 Hz aus, um die Grundtöne sämtlicher Instrumente zu übertragen (Klavier hat den Grundtonumfang 4100 Hz), die Obertöne jedoch, die z. T. mit höheren Frequenzen schwingen (Vielfache der Grundtöne) und die Klangfarbe des Instruments bestimmen, werden nicht voll übertragen bzw. unterdrückt.

Ein ebenfalls unerwünschter Nebeneffekt tritt bei der *Mischung verschiedener Frequenzen* auf. Wie Abb. 2.4 zeigt, addieren sich die Wellen zu einer resultierenden Welle, die allerdings nichts mehr mit den einzelnen Wellenverläufen, den Amplituden und Vorzeichen der einzelnen Amplitudenwerte gemeinsam hat.

Das Zusammenwirken von zwei und mehr Wellen nennt man *Interferenz*. Zwei oder mehrere Wellen interferieren, wenn sie sich gegenseitig beeinflussen.

Jeder Sender strahlt seine elektromagnetischen Wellen nach allen Richtungen hin aus; es sei denn, dass eine Strahlenrichtung durch besondere Maßnahmen (z. B. Richtfunk) eingeschränkt wird. Läuft ein Teil der ausgestrahlten Wellen fast parallel mit der Erdoberfläche, spricht man von *Bodenwellen*. Bei den Langwellensendern kommt den Bodenwellen eine große Bedeutung zu. Bei Kurzwellensendern gelangt hingegen der Hauptteil der ausgestrahlten Wellen in die Atmosphäre, daher spricht

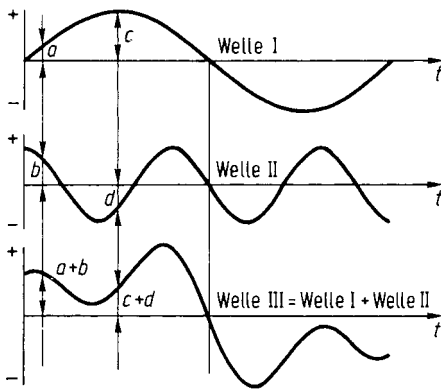


Abb. 2.4: Interferenz

man von *Raumwellen*. Sie werden von einer leitenden Schicht der Atmosphäre reflektiert und gelangen dadurch zur Erdoberfläche zurück. Diese Schicht, die Ionosphäre, wird wiederum in verschiedene Schichten eingeteilt (Abb. 2.5). Darunter liegen die Stratosphäre und die Troposphäre.

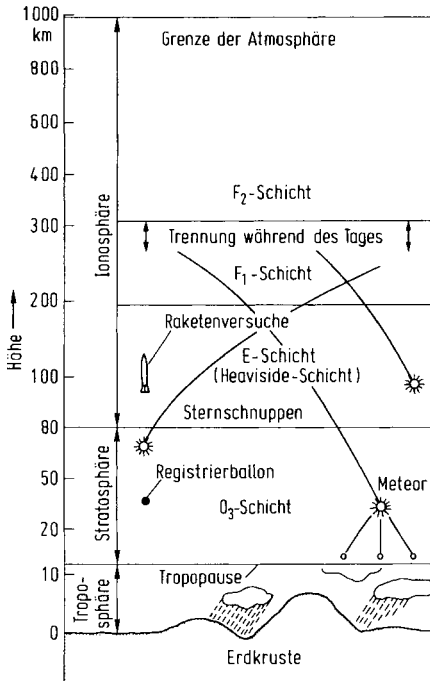
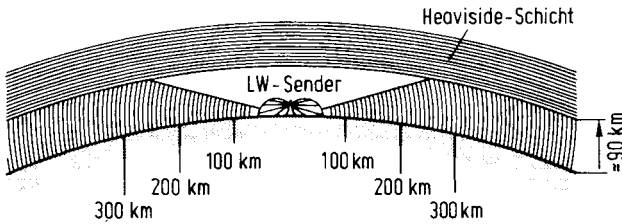


Abb. 2.5: Atmosphärische Schichten





**Abb. 2.6:** Die Ausbreitung der Langwellen (LW) erfolgt im Wesentlichen mit der Bodenwelle.

Die Ionosphäre wirkt also als Spiegel oder Reflektor für die Raumwellen.

Über der E-Schicht breiten sich zwei weitere Schichten aus, die  $F_1$ - und  $F_2$ -Schicht in etwa 200 km bzw. 300 km Höhe. Die Unterteilung erfolgt, da die Reflexionsfähigkeiten sich unterscheiden. Die Gase, aus denen die Schichten bestehen, werden durch das Auftreffen von Sonnenstrahlen ionisiert, d. h. leitfähig gemacht. Dadurch ist die Reflexionsfähigkeit von den Tageszeiten abhängig.

Je kürzer die Wellen sind, je höher also die Frequenz ist, desto geringer ist die Reflexion der Ionisationsschichten. Wellen unter 10 m Länge (UKW, Fernsehen und Richtfunk), also Frequenzen über 30 MHz, werden nicht mehr reflektiert, sondern können nur noch durch direkte Ausbreitung genutzt werden (Richtantennen).

### 2.1.1 Lange Wellen

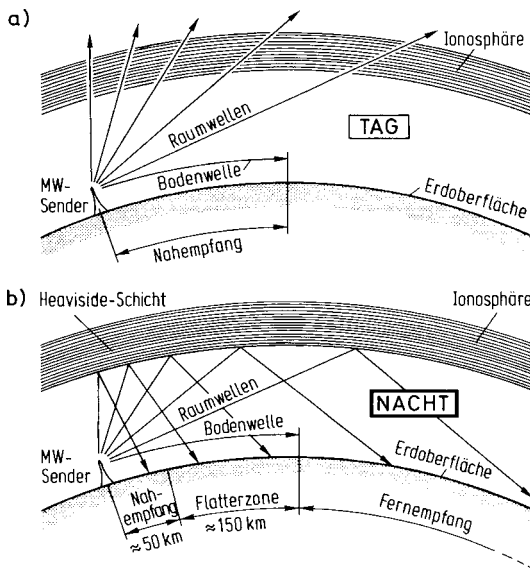
Für Langwellen wirkt die Ionosphäre nicht als reflektierender Spiegel, denn diese Wellen folgen der Erdoberfläche. Bei Tage ist die Reichweite der Bodenwellen geringer als bei Nacht, sodass meist nur Nahempfang möglich ist. Nachts setzt der Fernempfang ein.

### 2.1.2 Mittlere Wellen

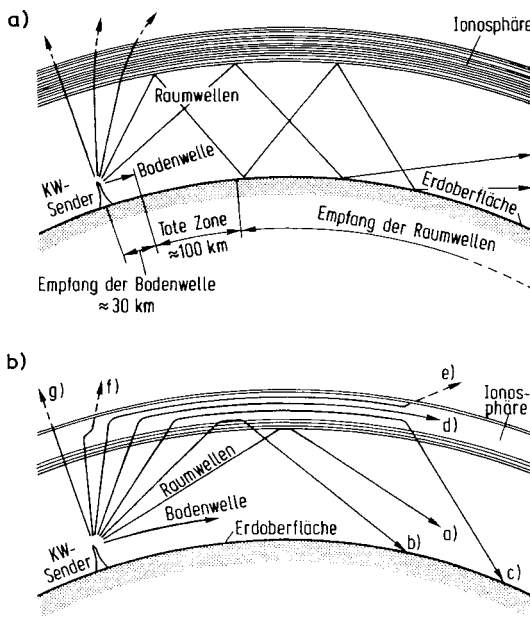
Auch die Mittelwellen sind vor allem Bodenwellen. Nur ein kleiner Teil wird als Raumwelle abgestrahlt (Abb. 2.7 a und Abb. 2.7 b). Der Empfang kann erheblich eingeschränkt sein, wenn Raum- und Bodenwelle sich überlagern (Fading). Weiter kann sich eine sogenannte tote Zone zwischen Ende des Bodenwellenempfangs und Beginn des Raumwellenempfangs ausbilden – hier ist kein Empfang möglich.

### 2.1.3 Kurze Wellen

Kurzwellen sind für den Nahempfang ungeeignet, da sie zum größten Teil als Raumwelle abgestrahlt werden. Trotzdem kann man auch hier ab und an eine tote



**Abb. 2.7:** Ausbreitung der Mittelwellen (MW)  
a) bei Tag  
b) bei Nacht



**Abb. 2.8:** Ausbreitung der Kurzwellen (KW)  
a) tote Zone  
b) Raumwellen

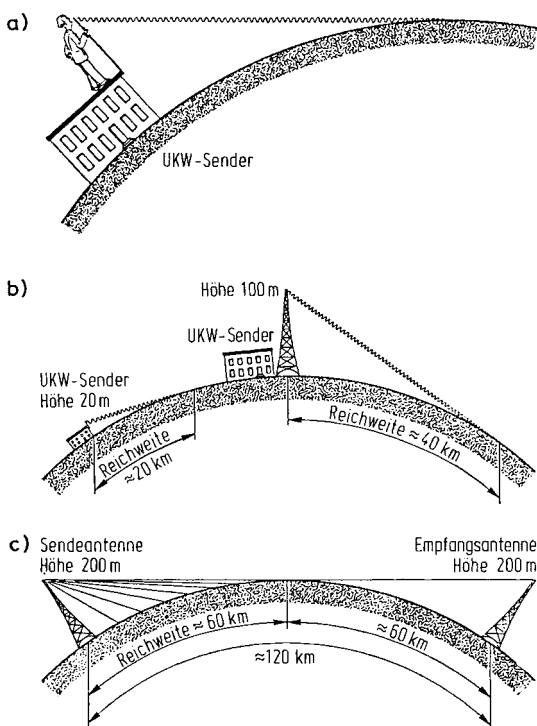
Zone beobachten. In diesem Bereich sind die Bodenwellen nicht mehr empfangbar, und die Raumwellen treten hier noch nicht auf. Die Raumwellen können mehrmals

reflektiert werden (Abb. 2.8 a). In Abb. 2.8 b wird ersichtlich, wie sich Raumwellen mit der gleichen Frequenz bei der Ausstrahlung unter verschiedenen Winkeln verhalten können: a) Reflexion an der E-Schicht, b) Reflexion nach kurzem Eindringen in die E-Schicht, c) und d) Weiterleitung in einem Kanal (Duct) in der E-Schicht.

### 2.1.4 Ultrakurze Wellen

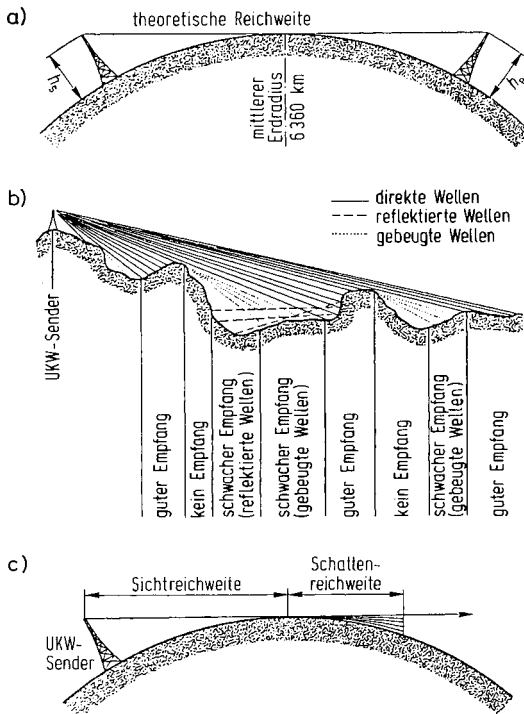
Völlig anders verhalten sich die Ultrakurzwellen (UKW). Hier erfolgt direkte Ausbreitung (direkte Welle). Gelangen UKW-Signale zur Ionosphäre, werden sie von dieser kaum geschwächt, durchstoßen also diese Schicht und gelangen in den Welt-raum. Die Reichweite der ultrakurzen Wellen auf der Erde ist ungefähr so groß wie die ungehinderte Sichtweite bzw. die Reichweite der Lichtstrahlen (Abb. 2.9 a). Je höher die Sendeantennen (Abb. 2.9 b) und die Empfangsantennen (Abb. 2.9 c) sind, um so größer wird daher die Reichweite. Die theoretische Reichweite der direkten Welle lässt sich mit folgender Formel überschlägig berechnen:

Reichweite in km =  $3,6 \cdot (\text{Wurzel aus Sendeantennenhöhe in m} + \text{Wurzel aus Empfangsantennenhöhe in m})$



**Abb. 2.9:** Ausbreitung der Ultrakurzwellen (UKW)

- a) Sichtweite
- b) Reichweite abhängig von der Antennenhöhe
- c) Reichweite bei hoher Sende- und Empfangsantenne



**Abb. 2.10:** Reichweite der Ultrakurzwellen (UKW)

- a) Berechnung der Reichweite  
b) Arten von Ultrakurzwellen  
c) Schattenreichweite

Die Höhen der Sendeantenne bzw. die Höhe der Empfangsantenne wird über dem Meeresspiegel eingesetzt (Abb. 2.10 a).

Ultrakurze Wellen zeigen in stärkerem Maße Beugungserscheinungen als Lichtwellen, d. h., ihre „Schatten“ hinter Hindernissen sind weniger scharf. Die Wellen biegen sich in gewissem Grade z. B. um einen Gebirgskamm herum, sodass die Talbewohner in günstigen Fällen noch etwas von der Strahlung abbekommen (Abb. 2.10 b). Außerdem tritt an der Grenze der Sichtweite auch an der ebenen Erdoberfläche eine Beugung der Wellen ein, durch welche die Reichweite um die sogenannte Schattenreichweite vergrößert wird (Abb. 2.10 c).

## 2.2 Kabel und Glasfaserleitungen

Wie bereits in der Einleitung dieses Kapitels erwähnt, sind das Doppeladerkabel, das Koaxialkabel und das Glasfaserkabel die wichtigsten Übertragungsleitungen in der Übertragung der Nachrichten.

**Dietmar Benda**

# Elektronik ohne Ballast

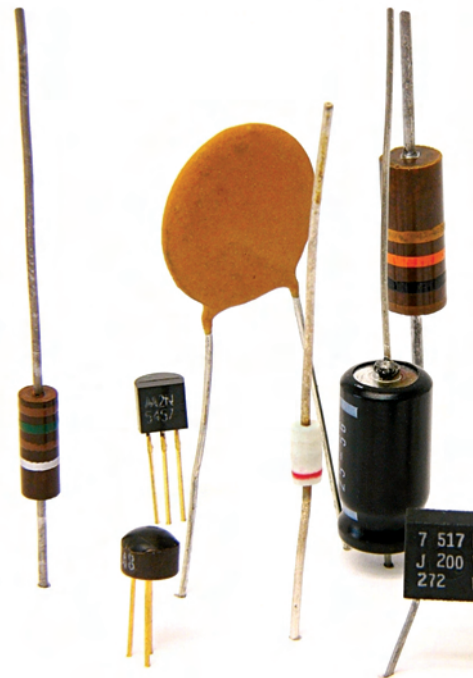
Im ersten Teil des Buchs erfährt der Leser, dass ein tieferer Einstieg in die Elektronik bereits mit wenigen physikalischen Grundkenntnissen möglich ist. An zahlreichen praktischen Beispielen und Vergleichen wird aufgezeigt, dass die Beherrschung dieser Grundregeln das Pauken von „Faustformeln“ und „Eselsbrücken“ überflüssig macht. Eine theoretische, aber praktisch orientierte Minimalausrüstung ist also der Schlüssel für fundiertes Basiswissen. Die Vielzahl der vorgestellten Schaltungen basiert im Wesentlichen auf einigen Rundbauelementen, z. B. Widerständen, Kondensatoren, Dioden und Transistoren. Das Buch zeigt dem Leser die wichtigsten Kennwerte, Leistungs- und Funktionsmerkmale und erklärt anhand praktischer Beispiele die Einsatzmöglichkeiten.

Da es für viele Leser in der Elektronik immer schwieriger wird, aus der vielfältigen Literatur die wesentlichen elektronischen Grundschaltungen herauszufinden und sich als Basiswissen anzueignen, liegt im zweiten Teil dieses Werks der Schwerpunkt auf der Darstellung und der Funktionsklärung repräsentativer Schaltungen. Die einzelnen Funktionen werden dazu unter dem Gesichtspunkt der praxis- und berufstypischen Situation beschrieben und ausgewertet. Wenn es für das Verständnis erforderlich erschien, wurden die Schaltungen auf vereinfachte Funktionsmodelle zurückgeführt.

Der dritte Teil befasst sich mit wichtigen speziellen Ausprägungen der Elektronik. Die fortschreitende Automatisierung durch die Mikroelektronik etwa verlangt auch im elektrischen Energiebereich Schaltungen zur schnelleren und verlustärmeren Umwandlung bzw. Steuerung elektrischer Energie. Dieses Thema soll dem Anwender beispielhaft aufzeigen, auf welche Weise er die am besten geeigneten Schaltungen am zweckmäßigsten in der Energieelektronik einsetzen kann. Daher werden u. a. die gängigsten Bauelemente sowie die Geräte und Anlagen zur Energieversorgung und Antriebstechnik beschrieben. Beschreibungen praktisch angewandeter und aktueller Schaltungen aus den wichtigsten Anwendungsgebieten, z. B. aus der Fotovoltaik, runden das Thema ab.

## Aus dem Inhalt:

- Grundlagen der Elektronik
- Bauelemente
- Messen an Bauelementen und Schaltungen
- Analoge und digitale Schaltungstechnik
- Mikroprozessor/Computer
- Leistungselektronik
- Nachrichtentechnik
- Fehlersuche in Schaltungen



ISBN 978-3-7723-5380-2



Euro 49,95 [D]