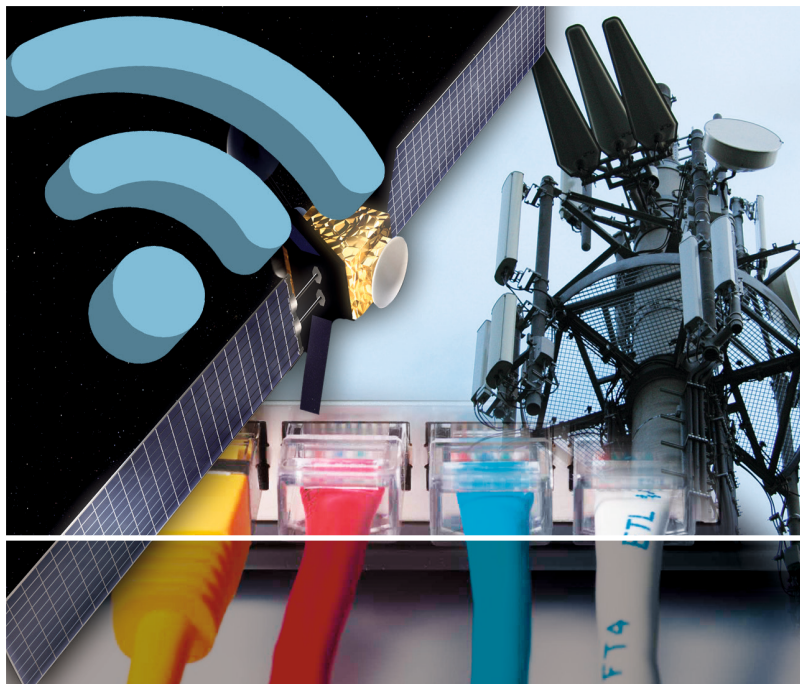


Ulrich Freyer

Nachrichten- Übertragungstechnik

Grundlagen, Komponenten, Verfahren und Anwendungen
der Informations-, Kommunikations- und Medientechnik



7., neu bearbeitete Auflage

HANSER



Blieben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Lernbücher der Technik

herausgegeben von Dipl.-Gewerbelehrer Manfred Mettke,
Oberstudiendirektor a. D.

Bisher liegen vor:

Bauckholt, Grundlagen und Bauelemente der Elektrotechnik, 7. Auflage

Felderhoff/Busch, Leistungselektronik, 4. Auflage

Felderhoff/Freyer, Elektrische und elektronische Messtechnik, 8. Auflage

Fischer/Hofmann/Spindler, Werkstoffe in der Elektrotechnik, 7. Auflage

Freyer, Nachrichten-Übertragungstechnik, 7. Auflage

Heiderich/Meyer, Probleme lösen mit C/C++, 3. Auflage

Knies/Schierack, Elektrische Anlagentechnik, 6. Auflage

Schaaf, Mikrocomputertechnik, 6. Auflage

Seidel, Werkstofftechnik, 10. Auflage

HANSER

Ulrich Freyer

Nachrichten- Übertragungstechnik

Grundlagen, Komponenten, Verfahren und Anwendungen
der Informations-, Kommunikations- und Medientechnik

7., neu bearbeitete Auflage

Mit 495 Bildern sowie zahlreichen Beispielen, Übungen und Testaufgaben

HANSER

Dipl.-Ing. Ulrich Freyer
Analyst für Medientechnik



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-446-44211-5
E-Book-ISBN: 978-3-446-44427-0

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2017 Carl Hanser Verlag München
Internet: <http://www.hanser-fachbuch.de>

Lektorat: Franziska Jacob, M.A.
Herstellung: Dipl.-Ing. (FH) Franziska Kaufmann
Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell
Coverconcept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München
Coverrealisierung: Stephan Rönigk
Druck und Bindung: Pustet, Regensburg
Printed in Germany

Vorwort des Herausgebers

■ Was können Sie mit diesem Buch lernen?

Wenn Sie mit diesem Buch lernen, dann erwerben Sie umfassende Kenntnisse, Fähigkeiten und Einsichten in Gebiete der Telekommunikationstechnik, die Sie bei der Entwicklung von Projekten und der Lösung von produktionstechnischen Aufgaben benötigen.

Dabei steht die Digitalisierung der Anlagen angemessen im Vordergrund!

Der Umfang dessen, was wir Ihnen anbieten, orientiert sich an

- den Studienplänen der Fachhochschulen für Technik,
- den Lehrplänen der Fachhochschulen für Technik in den Bundesländern.

Sie werden anwendungsorientiert mit Grundlagen, Komponenten, Verfahren und Systemen der Telekommunikationstechnik vertraut gemacht.

Das heißt, Sie können dabei folgenden Fragen nachgehen:

- Welche Grundbegriffe und Grundgesetze gelten?
- Welche Funktionsprinzipien werden wirksam?
- Welche Verfahren, Netze und Dienste sind auszuwählen?
- Wie lassen sich Probleme schaltungstechnisch, messtechnisch und/oder technologisch realisieren?

■ Wer kann mit diesem Buch lernen?

Jeder, der

- sich weiterbilden möchte,
- elementare Kenntnisse in der Mathematik und den Naturwissenschaften besitzt,
- grundlegende Kenntnisse in der Elektrotechnik, der Informatik, der Elektronik und der Messtechnik erworben hat.

Das können sein:

- Studenten an Fachhochschulen, Studenten an Berufsakademien und Ingenieure,
- Studenten an Fachschulen für Technik und Techniker,
- Schüler an Berufsfachschulen und Technische Assistenten,

- Schüler an beruflichen Gymnasien und Berufsoberschulen,
- Facharbeiter, Gesellen und Meister während und nach der Ausbildung,
- Umschüler und Rehabilitanden,
- Teilnehmer an Fort- und Weiterbildungskursen,
- Autodidakten

vor allem der Informationstechnik und der Telekommunikationstechnik.

■ Wie können Sie mit diesem Buch lernen?

Ganz gleich, ob Sie mit diesem Buch in Hochschule, Schule, Betrieb, Lehrgang oder zu Hause im „stillen Kämmerlein“ lernen, es wird Ihnen Freude machen.

Warum?

Ganz einfach, weil Ihnen hier ein Buch vorgelegt wird, das in seiner Gestaltung die Grundgesetze des menschlichen Lernens umsetzt.

Deshalb werden Sie am Anfang jedes Kapitels in einer Einführung mit dem bekannt gemacht, was Sie am Ende gelernt haben sollen.

-Ein Lernbuch also!-

Danach beginnen Sie sich mit den Lehr- und Lerninhalten auseinanderzusetzen! Schrittweise dargestellt, ausführlich beschrieben in der linken Spalte der Buchseite und umgesetzt in die technisch-fachsprachliche Darstellung in der rechten Spalte der Buchseite. Die eindeutige Zuordnung des behandelten Stoffes in beiden Spalten macht das Lernen viel leichter, Umblättern ist nicht mehr nötig.

Zur Vertiefung stellt Ihnen der Autor Beispiele vor.

-Ein unterrichtsbegleitendes Lehr- und Lernbuch.-

Jetzt können und sollten Sie sofort die Übungsaufgaben durcharbeiten, um das Gelernte zu festigen. Den wesentlichen Lösungsvorgang und das Ergebnis jeder Übung hat der Autor am Ende des Buches für Sie aufgeschrieben.

-Also auch ein Arbeitsbuch mit Lösungen.-

Sie wollen sicher sein, dass Sie richtig und vollständig gelernt haben. Deshalb bietet Ihnen der Autor Lernerfolgskontrollen an. Ob Sie richtig geantwortet haben, können Sie aus den Lösungen am Ende des Buches ersehen.

-Lernerfolgskontrollen mit Lösungen.-

Trotz intensiven Lernens durch Beispiele, Übungen und Lernerfolgskontrollen verliert sich ein Teil des Wissens und Könnens wieder, wenn Sie nicht bereit sind, regelmäßig und bei Bedarf zu wiederholen!

Das will Ihnen der Autor erleichtern.

Er hat die jeweils rechten Spalten der Buchseiten so geschrieben, dass hier die Kerninhalte als stichwortartiger Satz, als Formel oder als Skizze zusammengefasst sind. Sie brauchen deshalb beim Wiederholen und auch Nachschlagen meistens nur die rechten Spalten lesen.

-Schließlich noch ein Repetitorium!-

Für das Aufsuchen entsprechender Kapitel verwenden Sie bitte das Inhaltsverzeichnis am Anfang des Buches, für die Suche bestimmter Begriffe steht das Sachwortregister am Ende des Buches zur Verfügung.

-Selbstverständlich mit Inhaltsverzeichnis und Sachwortregister.-

Sicherlich werden Sie durch die intensive Arbeit mit dem Buch auch Ihre „Bemerkungen zur Sache“ in diesem Buch unterbringen wollen, um es so zum individuellen Arbeitsmittel zu machen, das Sie auch später gerne benutzen. Deshalb haben wir für Ihre Notizen auf den Seiten Platz gelassen.

-Am Ende ist „Ihr“ Buch entstanden.-

Möglich wurde dieses Lernbuch für Sie durch die Bereitschaft des Autors und die intensive Unterstützung des Verlages mit seinen Mitarbeitern. Ihnen sollten wir herzlich danken. Beim Lernen wünsche ich Ihnen viel Freude und Erfolg.

Manfred Mettke

Vorwort des Verfassers

Die Informations-, Kommunikations- und Medientechnik hat sich auch in den letzten Jahren rasant weiterentwickelt. Dabei stellen die zahlreichen neuen oder verbesserten Möglichkeiten für die Nutzer keine Revolution dar, sondern eine systematische Evolution der Technologien und der Hardware, aber ebenso der Software.

Alle neuen Konzepte und Verfahren stützen sich auf digitale Signalübertragung und -verarbeitung, das Schlagwort lautet deshalb auf allen Ebenen „Digitalisierung“. Die analoge Welt ist, von spezifischen Ausnahmen abgesehen, inzwischen „Schnee von gestern“. In dieser neuen Auflage wird sie jedoch nicht vollständig ignoriert, weil einerseits noch analoge Systeme in Betrieb sind und andererseits in zahlreichen Fällen digitale Anwendungen auf denselben physikalischen Effekten basieren wie bei analoger Realisierung. Als ein Beispiel dafür sei das Fernsehen erwähnt, das in beiden Fällen mit den Grundfarben Rot, Grün und Blau arbeitet. Es gibt außerdem auch Bereiche, bei denen die Funktionsweise keinen digitalen Bezug aufweist. Das gilt zum Beispiel für alle Aspekte des Einsatzes von Funkwellen, weil die damit verknüpften Schwingungen systembedingt stets analoge Verläufe aufweisen.

Während in der analogen Welt Hertz (Hz) das Maß aller Dinge war, geht es in der digitalen Welt primär um die Datenübertragungsgeschwindigkeit, was üblicherweise als Bandbreite bezeichnet wird. Es spielen aber auch zunehmend die durch Übertragung und Verarbeitung bedingten Laufzeiten der Signale eine wichtige Rolle, weil sie Verzögerungen bewirken. Das ist besonders bei Echtzeitübertragung [*real time transmission*] relevant. Der Schwerpunkt der Informations-, Kommunikations- und Medientechnik liegt inzwischen beim Internet, wobei über diesen Weg alle Informationen überall und zu jeder Zeit verfügbar sein sollen.

In dieser neuen Auflage der „Nachrichten-Übertragungstechnik“ wurde das seit Jahren bewährte Konzept der Strukturierung des Inhalts beibehalten, jedoch um die aktuellen Entwicklungen der Quellencodierung, der Kanalcodierung, der digitalen Modulationsverfahren, der Übertragungsverfahren, der Verschlüsselung, der Fehlerschutzverfahren, der Schnittstellen und der Protokolle ergänzt. Außerdem wird die wachsende Zahl der verfügbaren oder in der Entwicklung befindlichen Anwendungen aus den Bereichen Informations-, Kommunikations- und Medientechnik behandelt. Die einzelnen Themen betrachten wir dabei aus physikalischer und mathematischer Sicht, außerdem spielen auch die Begriffsbestimmungen eine wichtige Rolle. Bei Schaltungen geht es dabei nicht um die Dimensionierung der Komponenten, sondern um die Funktion. Ergänzend finden Sie auch die in der Informations-, Kommunikations- und Medientechnik üblichen englischen Ausdrücke (angegeben in eckigen Klammern), Kunstworte (Akronyme) und Abkürzungen.

Für die Arbeit mit diesem Buch sind Grundkenntnisse der Physik, Mathematik, Elektrotechnik und Elektronik erforderlich, also gängiges Basiswissen.

Diese neue Auflage der „Nachrichten-Übertragungstechnik“ umfasst alle Aspekte der modernen Informations-, Kommunikations- und Medientechnik. Damit sind Sie als Nutzer des Buches „up to date“ hinsichtlich Ihres fachlichen Wissens. Das Werk ist zum Lesen, Lernen und Nachschlagen bestens geeignet und stellt deshalb eine sinnvolle Investition dar.

Inhalt

1	Ausgangssituation	19
1.1	Einführung	19
1.2	Information, Signal, Kommunikation	19
1.3	Übertragung und Speicherung	21
1.4	Übungen zu Kapitel 1	24
1.5	Lernerfolgskontrolle zu Kapitel 1	24
2	Grundlagen	25
2.1	Pegel	25
2.1.1	Einführung	25
2.1.2	Pegelarten	25
2.1.3	Abstand und Maß	31
2.1.4	Pegelplan	32
2.2	Übungen zu Abschnitt 2.1	33
2.3	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 2.1	34
2.4	Signale	34
2.4.1	Einführung	34
2.4.2	Zeitfunktion und Frequenzfunktion	34
2.4.3	Analoge und digitale Signale	40
2.4.4	Nutzsignale und Störsignale	44
2.4.5	Analyse und Synthese	51
2.4.6	Dämpfung und Verstärkung	56
2.4.7	Kopplungsarten	58
2.5	Übungen zu Abschnitt 2.4	59
2.6	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 2.4	60
2.7	Eintore und Mehr Tore	62
2.7.1	Einführung	62
2.7.2	Funktionseinheiten	62
2.7.3	Übersichtsschaltpläne	62

2.7.4	Arten der Tore	62
2.7.5	Kenngrößen	64
2.7.6	Belastete Ein- und Mehrtore	65
2.8	Übungen zu Abschnitt 2.7	66
2.9	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 2.7	66
2.10	Anpassung und Fehlanpassung	66
2.10.1	Einführung	66
2.10.2	Voraussetzungen und Auswirkungen	66
2.10.3	Bewertungsgrößen	68
2.10.4	Rauschanpassung	70
2.11	Übungen zu Abschnitt 2.10	70
2.12	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 2.10	70
2.13	Elektromagnetische Wellen	71
2.13.1	Einführung	71
2.13.2	Schwingung und Welle	71
2.13.3	Elektromagnetisches Feld	75
2.13.4	Frequenz- und Wellenbereiche	81
2.13.5	Wellenausbreitung	83
2.14	Übungen zu Abschnitt 2.13	90
2.15	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 2.13	91
2.16	Kommunikation	92
2.16.1	Einführung	92
2.16.2	Arten	92
2.16.3	Verteilung und Vermittlung	94
2.16.4	Übertragungsmodi	94
2.17	Übungen zu Abschnitt 2.16	95
2.18	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 2.16	96
2.19	Referenzmodell für offene Kommunikationssysteme	96
2.19.1	Einführung	96
2.19.2	Konzept	96
2.19.3	Schichtenstruktur	98
2.19.4	Kommunikationsstruktur	100
2.20	Übungen zu Abschnitt 2.19	102
2.21	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 2.19	102
2.22	Signalübertragung	102
2.22.1	Einführung	102
2.22.2	Übertragungssystem	103
2.22.3	Übertragungskonzept	103
2.22.4	Übertragungskanal	104
2.22.5	Übertragungsparameter	105

2.23	Übungen zu Abschnitt 2.22	106
2.24	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 2.22	107
2.25	Speicherspeicherung	107
2.25.1	Einführung	107
2.25.2	Speicherkonzepte	107
2.25.3	Speicherspezifikationen	109
2.26	Übungen zu Abschnitt 2.25	110
2.27	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 2.25	110
2.28	Schnittstellen und Protokolle	111
2.28.1	Einführung	111
2.28.2	Begriffsbestimmungen	111
2.28.3	Hardware-Schnittstellen	112
2.28.4	Software-Schnittstellen	114
2.28.5	Protokolle	114
2.29	Übungen zu Abschnitt 2.28	115
2.30	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 2.28	116
2.31	Netze und Dienste	116
2.31.1	Einführung	116
2.31.2	Begriffsbestimmungen	116
2.31.3	Netze	117
2.31.3.1	Einführung	117
2.31.3.2	Netzbetrieb	117
2.31.3.3	Netzkonzepte	121
2.31.3.4	Netzinfrastruktur	122
2.31.4	Dienste	126
2.32	Übungen zu Abschnitt 2.31	127
2.33	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 2.31	128
2.34	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	128
2.34.1	Einführung	128
2.34.2	Grundlagen	129
2.34.3	Störstrahlung	130
2.34.4	Störfestigkeit	131
2.35	Übungen zu Abschnitt 2.34	133
2.36	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 2.34	133
2.37	Standardisierung	134
2.37.1	Einführung	134
2.37.2	Grundlagen	134
2.37.3	Offizielle Standards	135
2.37.4	Verbands- und Industriestandards	138
2.38	Übungen zu Abschnitt 2.37	140

2.39	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 2.37	140
2.40	Messtechnik	140
2.40.1	Einführung	140
2.40.2	Grundlagen	141
2.40.3	Elektrische Messtechnik	141
2.40.4	Optische Messtechnik	145
2.41	Übungen zu Abschnitt 2.40	146
2.42	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 2.40	146
3	Komponenten	147
3.1	Verstärker	147
3.1.1	Einführung	147
3.1.2	Kenngrößen	147
3.1.3	Arten	149
3.2	Übungen zu Abschnitt 3.1	150
3.3	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 3.1	150
3.4	Sender und Empfänger	150
3.4.1	Einführung	150
3.4.2	Kenngrößen	150
3.4.3	Arten	151
3.5	Übungen zu Abschnitt 3.4	152
3.6	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 3.4	152
3.7	Antennen	152
3.7.1	Einführung	152
3.7.2	Grundlagen	152
3.7.3	Kenngrößen	153
3.7.4	Ausführungsformen	158
3.8	Übungen zu Abschnitt 3.7	164
3.9	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 3.7	164
3.10	Elektrische Leitungen	165
3.10.1	Einführung	165
3.10.2	Grundlagen	165
3.10.3	Kenngrößen	167
3.10.4	Ausführungsformen	168
3.10.5	Leitung als Übertragungskanal	172
3.10.6	Leitung als Bauelement	173
3.11	Übungen zu Abschnitt 3.10	176
3.12	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 3.10	176
3.13	Optische Leitungen	177
3.13.1	Einführung	177

3.13.2 Grundlagen	177
3.13.3 Kenngrößen	180
3.13.4 Ausführungsformen	181
3.14 Übungen zu Abschnitt 3.13	184
3.15 Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 3.13	184
3.16 Wandler und Umsetzer	184
3.16.1 Einführung	184
3.16.2 Elektroakustische Wandler	185
3.16.2.1 Einführung	185
3.16.2.2 Grundlagen	185
3.16.2.3 Mikrofone	188
3.16.2.4 Lautsprecher und Hörer	192
3.16.3 Elektrooptische Wandler	195
3.16.3.1 Einführung	195
3.16.3.2 Grundlagen	195
3.16.3.3 Aufnahme-Komponenten	196
3.16.3.4 Wiedergabe-Komponenten	199
3.16.4 Analog-Digital-Umsetzer	202
3.16.5 Digital-Analog-Umsetzer	205
3.16.6 Frequenzumsetzer	207
3.16.7 Umsetzer für LWL-Systeme	207
3.17 Übungen zu Abschnitt 3.16	208
3.18 Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 3.16	210
3.19 Filter und Weichen	211
3.19.1 Einführung	211
3.19.2 Filterarten	211
3.19.3 Kenngrößen von Filtern	212
3.19.4 Weichen	213
3.19.5 Kenngrößen von Weichen	213
3.20 Übungen zu Abschnitt 3.19	214
3.21 Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 3.19	214
3.22 Datennetzkomponenten	214
3.22.1 Einführung	214
3.22.2 Switch	215
3.22.3 Repeater	215
3.22.4 Bridge	215
3.22.5 Router	216
3.22.6 Gateway	216
3.22.7 Hub	216
3.22.8 Server	217
3.23 Übungen zu Abschnitt 3.22	217
3.24 Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 3.22	217

3.25	Koppler	217
3.25.1	Einführung	217
3.25.2	Elektrische Koppler	218
3.25.3	Optokoppler	219
3.26	Übungen zu Abschnitt 3.25	220
3.27	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 3.25	220
4	Verfahren	221
4.1	Modulation und Demodulation	221
4.1.1	Einführung	221
4.1.2	Analoges Trägersignal/Analoges Modulationssignal	223
4.1.2.1	Einführung	223
4.1.2.2	Amplitudenmodulation (AM)	224
4.1.2.3	Frequenzmodulation (FM)	234
4.1.2.4	Phasenmodulation (PM)	239
4.1.3	Analoges Trägersignal/Digitales Modulationssignal	240
4.1.3.1	Einführung	240
4.1.3.2	Amplitudenumtastung (ASK)	242
4.1.3.3	Frequenzumtastung (FSK)	243
4.1.3.4	Phasenumtastung (PSK)	243
4.1.3.5	Amplituden-Phasen-Umtastung (QAM)	245
4.1.4	Digitales Trägersignal/Analoges Modulationssignal	246
4.1.4.1	Einführung	246
4.1.4.2	Pulsamplitudenmodulation (PAM)	247
4.1.4.3	Pulsfrequenzmodulation (PFM)	248
4.1.4.4	Pulsphasenmodulation (PPM)	248
4.1.4.5	Pulsdauermodulation (PDM)	249
4.1.5	Digitale Modulation und Demodulation im Basisband	249
4.1.5.1	Einführung	249
4.1.5.2	Pulsmodulation (PCM)	250
4.1.5.3	Varianten	252
4.1.6	Mehr-Träger-Verfahren	254
4.1.7	Mehrfachmodulation	258
4.2	Übungen zu Abschnitt 4.1	259
4.3	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 4.1	261
4.4	Codierung und Decodierung	262
4.4.1	Einführung	262
4.4.2	Grundlagen	263
4.4.3	Arten	265
4.4.3.1	Einführung	265
4.4.3.2	Leitungscodierung	266
4.4.3.3	Quellencodierung	268
4.4.3.4	Kanalcodierung	277

4.5	Übungen zu Abschnitt 4.4	282
4.6	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 4.4	283
4.7	Multiplexierung und Demultiplexierung	284
4.7.1	Einführung	284
4.7.2	Zeitmultiplex (TDM)	285
4.7.3	Frequenzmultiplex (FDM)	287
4.7.4	Codemultiplex (CDM)	290
4.7.5	Raummultiplex (SDM)	291
4.7.6	Polarisationsmultiplex (PDM)	292
4.8	Übungen zu Abschnitt 4.7	292
4.9	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 4.7	293
4.10	Zugriffsverfahren	293
4.10.1	Einführung	293
4.10.2	Einzelzugriff	293
4.10.3	Vielfachzugriff	294
4.11	Übungen zu Abschnitt 4.10	297
4.12	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 4.10	298
4.13	Signalübertragung	298
4.13.1	Einführung	298
4.13.2	Übertragungskonzept	298
4.13.3	Übertragungsfehler	300
4.13.4	Übertragungsvarianten	301
4.14	Übungen zu Abschnitt 4.13	303
4.15	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 4.13	303
4.16	Speicherungsverfahren	304
4.16.1	Einführung	304
4.16.2	Magnetische Verfahren	305
4.16.3	Optische Verfahren	308
4.16.4	Elektrische Verfahren	312
4.17	Übungen zu Abschnitt 4.16	313
4.18	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 4.16	313
4.19	Mehr-Antennen-Systeme	314
4.19.1	Einführung	314
4.19.2	Konzept MIMO	314
4.19.3	Varianten	316
4.20	Übungen zu Abschnitt 4.19	318
4.21	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 4.19	318
4.22	Zugangsberechtigungssysteme	318
4.22.1	Einführung	318
4.22.2	Grundlagen	319

4.22.3 Lösungsvarianten	320
4.23 Übungen zu Abschnitt 4.22	323
4.24 Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 4.22	324
5 Anwendungen	325
5.1 Hörfunk (Radio)	325
5.1.1 Einführung	325
5.1.2 Analoges Hörfunk	326
5.1.3 Digitaler Hörfunk	340
5.2 Übungen zu Abschnitt 5.1	347
5.3 Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 5.1	348
5.4 Fernsehen (TV)	349
5.4.1 Einführung	349
5.4.2 Analoges Fernsehen	350
5.4.3 Digitales Fernsehen (DVB)	367
5.4.4 Internetfernsehen (IPTV und OTT)	380
5.4.5 Hybrides Fernsehen (Smart-TV)	381
5.4.6 Dreidimensionales Fernsehen (3D-TV)	386
5.5 Übungen zu Abschnitt 5.4	390
5.6 Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 5.4	392
5.7 Schmalbandige Telekommunikation	392
5.7.1 Einführung	392
5.7.2 Dienste	393
5.7.3 Netze	400
5.7.3.1 Einführung	400
5.7.3.2 Festnetze	405
5.7.3.3 Mobilnetze	416
5.8 Übungen zu Abschnitt 5.7	424
5.9 Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 5.7	426
5.10 Datennetze	427
5.10.1 Einführung	427
5.10.2 Grundlagen	427
5.10.3 Arten und Kenngrößen	428
5.11 Übungen zu Abschnitt 5.10	435
5.12 Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 5.10	435
5.13 Internet	436
5.13.1 Einführung	436
5.13.2 Funktionsprinzip	436
5.13.3 Betriebsorganisation	439
5.13.4 Dienste und Anwendungen	440

5.14	Übungen zu Abschnitt 5.13	443
5.15	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 5.13	443
5.16	Stationäre Breitbandkommunikation	443
5.16.1	Einführung	443
5.16.2	DSL-Netze	444
5.16.3	Kabelnetze	446
5.17	Übungen zu Abschnitt 5.16	454
5.18	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 5.16	455
5.19	Mobile Breitbandkommunikation	455
5.19.1	Einführung	455
5.19.2	GSM/DSC	455
5.19.3	UMTS	456
5.19.4	LTE	456
5.20	Übungen zu Abschnitt 5.19	457
5.21	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 5.19	457
5.22	Heimvernetzung	457
5.22.1	Einführung	457
5.22.2	Funktionskonzept	458
5.22.3	Netze	460
5.22.4	Anwendungen	463
5.23	Übungen zu Abschnitt 5.22	467
5.24	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 5.22	467
5.25	Triple Play	468
5.25.1	Einführung	468
5.25.2	Konzept	468
5.25.3	Triple Play über DSL	468
5.25.4	Triple Play über das Kabelnetz	472
5.25.5	Triple Play über Satellit	474
5.26	Übungen zu Abschnitt 5.25	477
5.27	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 5.25	477
5.28	Satellitenkommunikation	477
5.28.1	Einführung	477
5.28.2	Funktionsprinzip	478
5.28.3	Systeme und Kenngrößen	483
5.29	Übungen zu Abschnitt 5.28	488
5.30	Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 5.28	488
5.31	Ortung und Navigation	489
5.31.1	Einführung	489
5.31.2	Varianten	489
5.31.3	Systeme und Kenngrößen	491

5.32 Übungen zu Abschnitt 5.31	497
5.33 Lernerfolgskontrolle zu Abschnitt 5.31	498
6 Perspektiven	499
Lösungen der Übungen und Lernerfolgskontrollen	501
Literaturverzeichnis	545
Index	547

1

Ausgangssituation

■ 1.1 Einführung

Nach Durcharbeiten des Kapitels können Sie den Begriff Kommunikation erklären, die Zusammenhänge zwischen Nachricht, Information und Signal aufzeigen, NutzsSignale und Störsignale unterscheiden und die grundsätzlichen Arten der Übertragung beschreiben und die Aspekte der Speicherung darstellen.

■ 1.2 Information, Signal, Kommunikation

Allgemein wird unter einer Nachricht eine beliebige Mitteilung verstanden, die eine oder mehrere Informationen beinhaltet. Eine Information beschreibt somit den Inhalt der Nachricht. Die Übertragung von Nachrichten zwischen räumlich entfernten Stellen erfolgt mit Hilfe physikalischer Größen. Bei einer gesprochenen Nachricht handelt es sich dabei um Schalldruck. In diesem Fall ist die Reichweite verständlicherweise begrenzt. Für die Überbrückung größerer Entfernungen kommen deshalb elektrische, magnetische oder optische Größen zum Einsatz. Deren Verläufe bezeichnen wir als Signale, die als technische Repräsentation der Informationen zu verstehen sind.

Beispiel

Es sei folgender einfacher Fall für die Beziehung zwischen Nachricht, Information und Signal aufgezeigt: Bei Verkehrsampeln wird durch das grüne Licht (Signal) eine Nachricht übertragen, die darüber informiert, dass die Fahrzeuge freie Fahrt haben.

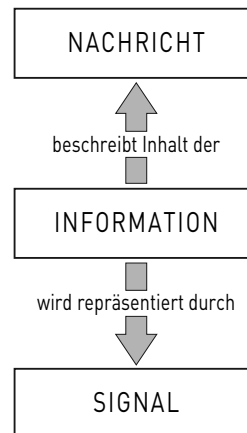


Bild 1.1 Beziehung zwischen Nachricht, Signal und Information

Für den Austausch von Informationen gilt die Bezeichnung Kommunikation.

In der Regel sollen Informationen über größere bis sehr große Entfernungen übertragen werden. Deshalb wird auch die Bezeichnung Telekommunikation (TK) verwendet, wobei die Vorsilbe „tele“ für den Begriff „fern“ steht. Bei Telekommunikation handelt es sich somit um Kommunikation über beliebige Entfernungen.

Aus den aufgezeigten Zusammenhängen lässt sich auch erklären, dass zwischen den Begriffen Kommunikationstechnik, Nachrichtentechnik und Informationstechnik eine klare Abgrenzung nur bedingt möglich ist.

Für Informationen sind verschiedene Formen möglich. Betrachten wir die Wahrnehmbarkeit, dann lassen sich die Gruppen Audio, Video und Daten unterscheiden.

Bei der Gruppe Audio [audio] (häufig auch nur als Ton bezeichnet) handelt es sich um akustische Signale, also alle mit dem menschlichen Ohr erfassbaren Informationen. Dazu gehören Sprache, Musik, Geräusche und alle sonstigen akustischen Eindrücke.

Die Gruppe Video [video] (häufig auch nur als Bild bezeichnet) umfasst alle optischen Signale, also mit dem menschlichen Auge erfassbaren Informationen. Dazu gehören Bilder, Grafiken, Texte und alle sonstigen optischen Eindrücke. Die Bilder können feststehend oder bewegt sein, wobei schwarzweiße oder farbige Darstellung möglich ist.

Zur Gruppe Daten [data] gehören alle Informationen, die nicht unmittelbar mit Auge oder Ohr wahrnehmbar sind. Für ihre Verarbeitung bedarf es deshalb stets technischer Einrichtungen. Für unsere weiteren Betrachtungen ist also jeweils zu beachten, ob es sich um Audiosignale, Videosignale oder Datensignale handelt.

Jede Kommunikation hat folgendes Ziel:

Die von der einen Stelle stammenden Signale sollen unverändert zu der räumlich entfernten anderen Stelle gelangen.

Diese Idealvorstellung der Kommunikation ist allerdings nicht erreichbar. Neben den Nutzsignalen, welche die eigentlich zu übertragende Information repräsentieren, treten stets auch Störsignale auf. Diese beeinflussen die Nutzsignale unerwünscht und dürfen deshalb bestimmte Größenordnungen nicht über-

Kommunikation = Austausch von Informationen

Telekommunikation = Kommunikation über beliebige Entfernungen

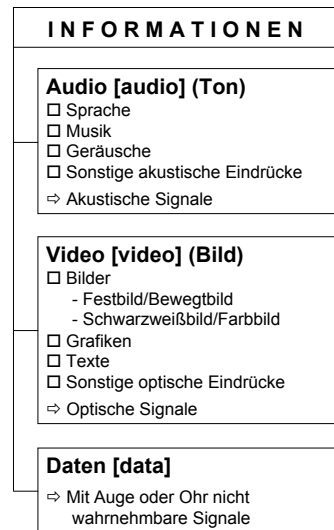


Bild 1.2 Arten der Information



Bild 1.3 Arten der Signale

schreiten, damit die vorgesehene Kommunikation bestimmungsgemäß erfolgen kann.

Es wird deshalb in der Praxis angestrebt, dass sich der Verlauf des zu übertragenden Signals möglichst wenig verändert.

An jeder Kommunikation sind Menschen und/oder technische Einrichtungen beteiligt, wobei die Menschen als **Nutzer** [*user*] oder **Teilnehmer** (Tln) bezeichnet werden. Für technische Einrichtungen in einem Kommunikationssystem hat sich der Begriff **Maschine** [*machine*] etabliert.

Kommunikation kann zwischen Menschen (Nutzern), zwischen Menschen (Nutzern) und Maschinen oder unmittelbar zwischen Maschinen erfolgen. Im zweiten Fall wird auch von Mensch-Maschine-Kommunikation gesprochen, während für die Maschine-Maschine-Kommunikation die Kurzbezeichnung M2M gängig ist.

Bei den aufgezeigten Varianten erfolgt die Informationsübertragung entweder **einseitig gerichtet** (also nur von der einen Stelle zu der anderen Stelle) oder **wechselseitig gerichtet** (also in beide Richtungen zwischen den Stellen).

Beispiel

Es sollen Anwendungen für vorstehende Kommunikationsvarianten aufgezeigt werden.

Das Telefon ermöglicht eine wechselseitige Kommunikation zwischen Menschen, die Recherche im Internet ist dagegen eine wechselseitig gerichtete Mensch-Maschine-Kommunikation. Erfolgt ein Datenaustausch zwischen zwei Servern, dann liegt Maschine-Maschine-Kommunikation vor.

Bei der Übertragung von Daten hat sich auch die Verwendung der Begriffe **Server** und **Client** eingebürgert. Der Server ist dabei eine technische Dienstleistungs-Einrichtung, die Informationen bereitstellt, während der Client (= Nutzer) als technische Einrichtung die von einem Server bereitgestellten Information aufnimmt und nutzt.

Das Signal bleibt bei der Übertragung im Idealfall unverändert.

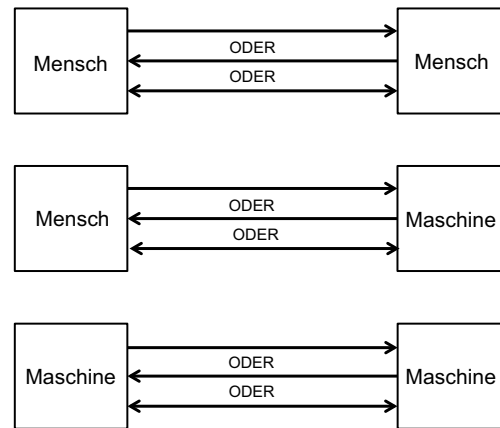


Bild 1.4 Varianten der Kommunikation

Server stellt dem Client Informationen bereit.

Client nutzt vom Server bereitgestellte Informationen.

■ 1.3 Übertragung und Speicherung

Bei der technischen Kommunikation sind zwei Verfahren zu unterscheiden, nämlich die **Übertragung** [*transmission*] und die **Speicherung** [*storage*]. Übertragung bedeutet den unmittelbaren Signaltransport von einer Stelle zu einer räumlich entfernten Stelle,

Übertragung [*transmission*] = Signal wird von einer Stelle zu einer räumlich entfernten Stelle transportiert.

Speicherung [*storage*] = Signal wird in einem Speichermedium abgelegt, auf das wahlfrei zugegriffen werden kann.

während bei der Speicherung von Signalen stets ein Speichermedium als „Zwischenablage“ zum Einsatz kommt, auf die jederzeit der Zugriff möglich ist. Dadurch kann einerseits eine Übertragung zu beliebigen Zeiten erfolgen, andererseits ist aber auch die Wiedergabe oder weitere Verarbeitung unabhängig von einer Übertragung möglich. Es ist deshalb zwischen Übertragungssystemen [*transmission system*] und Speichersystemen [*storage system*] zu unterscheiden.

In beiden Fällen wird dabei in einer Quelle [*source*] das zu übertragende bzw. zu speichernde Signal erzeugt, zum Beispiel durch ein Mikrophon. Um die Information am Ausgang des Systems nutzen zu können, wird dort eine Senke [*drain*] benötigt, zum Beispiel ein Lautsprecher für die Tonwiedergabe.

Während bei einem Übertragungssystem eine unmittelbare Verbindung zwischen Quelle und Senke besteht, ist mit Speichersystemen eine zeitversetzte Übertragung realisierbar. Daraus folgt:

Jedes Übertragungssystem [*transmission system*] weist stets folgende Funktionseinheiten auf: Sender [*sender* oder *transmitter*], Übertragungskanal [*transmission channel*] (häufig auch nur als Kanal [*channel*]) bezeichnet und Empfänger [*receiver*].

Das von der Quelle stammende Signal setzt der Sender in eine für den Transport im Übertragungskanal geeignete Form um. Dies ist erforderlich, weil jeder Übertragungskanal – vergleichbar einem Kanal für die Schifffahrt – eine bestimmte technische Dimensionierung aufweist, welche als Begrenzung berücksichtigt werden, meist um Beeinträchtigungen der Signalübertragung zu vermeiden. Den Abschluss des Übertragungssystems bildet der Empfänger. Er passt das übertragene Signal den Erfordernissen der Senke an.

Beispiel

Es soll ein für den Alltag typisches Kommunikationssystem beschrieben werden.

Dafür bietet sich das Fernsehen an. Bei einer Live-Übertragung stellt die Fernsehkamera die Quelle für die Bildinformation dar. Sie erzeugt aus den aufgenommenen Bildern die zu übertragenden Signale. Diese werden dann in einem Sender dem Übertragungskanal (z. B. Satellit) angepasst. Beim Nutzer bereitet ein Empfänger die übertragenen Signale für die Wiedergabe auf. Als Senke dient der Bildschirm des Fernsehgeräts, auf dem die übertragenen Bildinhalte für den Betrachter dargestellt werden.

Quelle erzeugt das zu übertragende bzw. zu speichernde Signal.

Senke nutzt das übertragene bzw. gespeicherte Signal für gewünschte Anwendung.

- Übertragung bedeutet Online-Betrieb
- Speicherung ermöglicht Offline-Betrieb

Übertragungssystem [*transmission system*]

- Sender [*sender* oder *transmitter*]
- Übertragungskanal [*transmission channel*] oder Kanal [*channel*]
- Empfänger [*receiver*]

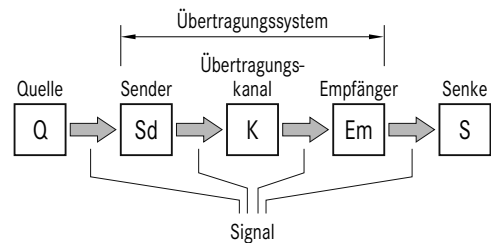


Bild 1.5 Grundstruktur für Übertragungssysteme

Bisher sind wir ausschließlich von **Nutzsignalen** ausgegangen. In der Praxis können jedoch beim Sender, Übertragungskanal und Empfänger zusätzlich auch **Störsignale** einwirken. Am Ausgang des Übertragungssystems tritt dann ein aus Nutz- und Stör-signal bestehendes resultierendes Signal auf. Die Qualität eines Kommunikationssystems hängt von dem Verhältnis zwischen Nutzsignal und Stör-signal ab. Zwischen den Werten beider Signalarten muss stets ein Mindestabstand gewährleistet sein.

Übertragungssysteme lassen sich auf unterschiedliche Weise realisieren.

Bei **geführter Übertragung** besteht der Übertragungskanal aus einer elektrischen Leitung (Kupferleitung) oder einer optischen Leitung (Lichtwellenleitung (LWL)). Bei elektrischen Leitungen werden Spannungsverläufe vom Sender zum Empfänger übertragen. Im einfachsten Fall handelt es sich dabei um Verstärker, in der Praxis sind es jedoch häufig Kombinationen mit Modulatoren/Demodulatoren, Codierern/Decodierern oder Multiplexern/Demultiplexern.

Bei optischen Leitungen werden optische Signale mit Wellenlängen im Nanometer-Bereich übertragen. Als Sender kommen elektrooptische Wandler zum Einsatz, bei den Empfängern handelt es sich um optoelektrische Wandler. Die optischen Leitungen sind vorrangig Glasfaserleitungen. Es kommen aber auch Leitungen mit Kunststofffasern [*polymer optical fibre (POF)*] zum Einsatz.

Bei **ungeführter Übertragung** kommen elektromagnetische Wellen mit Frequenzen zwischen 9 kHz und 300 GHz zum Einsatz. Sie werden von Funksendern über Antennen in den als Übertragungskanal fungierenden freien Raum abgestrahlt und mit Funkempfängern über Antennen aufgenommen. Für diese Methode gilt die Bezeichnung Funkübertragung.

Bei **Speichersystemen** werden die Signale der Quelle in eine Speichereinheit eingegeben. Die Ausgabe der gespeicherten Signale kann zeitlich wahlfrei zur unmittelbaren Wiedergabe über eine Senke oder zur zeitversetzten Übertragung erfolgen. Jede Speichereinheit muss funktionsbedingt für Signaleingabe und Signalausgabe ausgelegt sein.

Werden von einer Quelle Signale in eine Speichereinheit (z. B. DVD oder USB-Stick) eingegeben und diese dann an eine räumlich entfernte Stelle verbracht, um dort die Signalausgabe durchzuführen, dann können wir dieses Verfahren als **materielle Übertragung** betrachten.

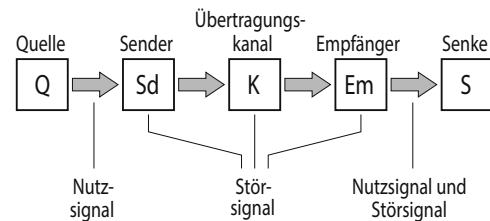


Bild 1.6 Nutzsignal und Stör-signal beim Übertragungssystem

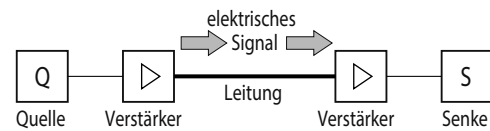


Bild 1.7 Geführte Übertragung mit elektrischen Leitungen

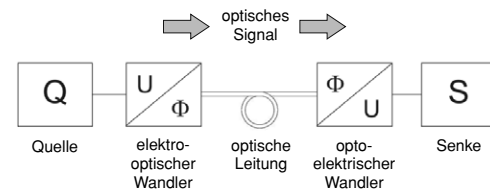


Bild 1.8 Geführte Übertragung mit optischen Leitungen

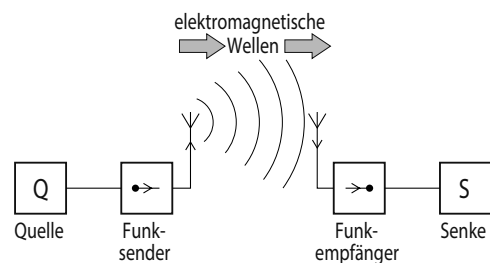


Bild 1.9 Ungeführte Übertragung (Funkübertragung)

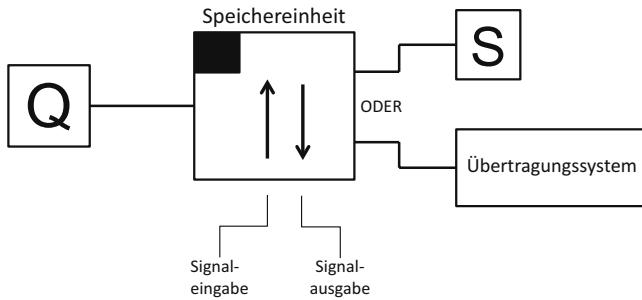


Bild 1.10 Speichersystem (Konzept)

■ 1.4 Übungen zu Kapitel 1

Übung 1.1

Nach welchem Kriterium unterscheiden sich die Arten der Information?

Übung 1.2

Wie lässt sich bei einem Signal erkennen, ob es ein Nutzsignal oder ein Störsignal ist?

Übung 1.3

Welche Wirkungen hat ein Störsignal in einem Kommunikationssystem?

■ 1.5 Lernerfolgskontrolle zu Kapitel 1

1. Formulieren Sie das Funktionsprinzip der Kommunikationstechnik.
2. Welche Aufgabe hat das Signal in der Kommunikationstechnik?
3. Warum wird bei jedem Übertragungssystem ein Sender benötigt?
4. Welches Verhältnis zwischen Nutzsignal und Störsignal ist für eine möglichst hohe Übertragungsqualität anzustreben?
5. Warum ermöglichen Speichersysteme zeitversetzte Übertragung?
6. Worin besteht der grundsätzliche Unterschied zwischen geführter und ungeführter Übertragung?

2

Grundlagen

■ 2.1 Pegel

2.1.1 Einführung

Nach Durcharbeiten dieses Kapitels können Sie den Begriff Pegel erklären, die Zweckmäßigkeit der Pseudoeinheit Dezibel aufzeigen, Pegelarten unterscheiden, mit relativen Pegeln rechnen, absolute Pegel nutzen, die Begriffe Abstand und Maß beschreiben sowie Pegelpläne erstellen.

2.1.2 Pegelarten

Signale sind bekanntlich Verläufe physikalischer Größen. In der Informations- und Kommunikationstechnik spielen dabei die elektrische Spannung U und die elektrische Wirkleistung P eine wesentliche Rolle. Die Angabe eines Spannungswertes erfolgt als Vielfaches der Einheit Volt (V), beim Leistungswert ist es die Einheit Watt (W). Dabei kann es sich um ganze Zahlen, aber auch um beliebig gebrochene Zahlen handeln. Bei der Spannung ist zur Angabe der Polarität zusätzlich auch das Minuszeichen möglich.

Sind andere physikalische Größen der elektrischen Wirkleistung proportional, dann handelt es sich um Leistungsgrößen. Dazu gehören:

- Energie, Arbeit P (Einheit: J)
- Leistungs(fluss)dichte P/A (Einheit: W/m^2)
- Energiedichte W/A (Einheit: J/m^2)

Verhalten sich dagegen physikalische Größen proportional zur Quadratwurzel der elektrischen Wirkleistung, dann sprechen wir von Feldgrößen. Dazu gehören:

Wesentliche physikalische Größen in der Kommunikationstechnik:

- **Elektrische Spannung U**
Einheit: Volt (V)
- **Elektrische Wirkleistung P**
Einheit: Watt (W)

Leistungsgrößen weisen Proportionalität zur elektrischen Wirkleistung P auf

Feldgrößen weisen Proportionalität zur Quadratwurzel der elektrischen Wirkleistung P auf

- Elektrische Spannung U (Einheit: V)
- Elektrische Stromstärke I (Einheit: A)
- Elektrische Feldstärke E (Einheit: V/m)
- Magnetische Feldstärke H (Einheit: A/m)
- Kraft F (Einheit: N)
- Schalldruck p (Einheit: Pa)

In der Informations- und Kommunikationstechnik ist allerdings häufig nicht der absolute Wert einer Größe von Interesse, sondern das Verhältnis von zwei gleichartigen Größen, also zum Beispiel Eingangs- und Ausgangsspannung einer technischen Funktionseinheit. Es ergibt sich dadurch ein Bruch, dessen Zähler und Nenner gleiche Dimensionen aufweisen, was zu einem dimensionslosen Ausdruck führt. Bezogen auf die beliebigen Stellen a und b in einem System ergibt sich für Leistung und Spannung:

$$x_p = \frac{P_a}{P_b} \quad \text{bzw.} \quad x_U = \frac{U_a}{U_b} \quad (2.1)$$

Die Beschreibung dieser Größenverhältnisse durch den dekadischen Logarithmus führt zu folgender Form:

$$y_p = \lg \frac{P_a}{P_b} \quad \text{bzw.} \quad y_U = \lg \frac{U_a}{U_b} \quad (2.2)$$

Das logarithmierte Verhältnis von Leistungsgrößen und Feldgrößen wird als **Pegel** [*level*] bezeichnet und der Großbuchstabe L als Formelzeichen verwendet.

Durch einen Index lässt sich die Art des Pegels gekennzeichnen, also zum Beispiel L_p für Leistungspegel und L_U für Spannungspegel.

Da Pegelangaben eigentlich dimensionslos sind, wurde die Pseudoeinheit „Bel“ (B) als Kennzeichnung festgelegt. In der Praxis hat sich allerdings das Dezibel (dB) durchgesetzt, also das Zehntel-Bel. Damit werden die Pegelwerte überschaubarer.

Mit Hilfe der Leistungsformel ist der Übergang vom Leistungspegel zum Spannungspegel möglich. Es ergibt sich:

$$L_p = 10 \cdot \lg \frac{P_a}{P_b} \text{ dB} = 10 \cdot \lg \frac{\frac{U_a^2}{R_a}}{\frac{U_b^2}{R_b}} \text{ dB}$$

Unter der Voraussetzung, dass sich beide Leistungen auf den gleichen Widerstand beziehen, gilt:

Das Verhältnis zweier gleichartiger Größen ergibt dimensionslosen Ausdruck.

Das logarithmierte Verhältnis von Leistungs- und Feldgrößen heißt Pegel L .

$L_p \Rightarrow$ Leistungspegel

$L_U \Rightarrow$ Spannungspegel

$$1 \text{ dB} = \frac{1}{10} \text{ B} \Leftrightarrow 1 \text{ B} = 10 \text{ dB} \quad (2.3)$$

Für den Leistungspegel folgt daraus:

$$L_p = 10 \cdot \lg \frac{P_a}{P_b} \text{ dB} \quad (2.4)$$

$$\text{Voraussetzung: } R_a = R_b = R \quad (2.5)$$

Für den Spannungspegel folgt daraus:

$$L_U = 10 \cdot \lg \left(\frac{U_a}{U_b} \right)^2 \text{ dB} = 10 \cdot 2 \cdot \lg \frac{U_a}{U_b} \text{ dB}$$

Ist ein Pegelwert bekannt, dann können wir durch Entlogarithmieren das Verhältnis der Leistungen bzw. Spannungen einfach ermitteln.

$$L_U = 20 \cdot \lg \frac{U_a}{U_b} \text{ dB} \quad (2.6)$$

Entlogarithmieren

$$y = \lg x \Leftrightarrow x = 10^y \quad (2.7)$$

Es ergibt sich:

$$\frac{P_a}{P_b} = 10^{\frac{L_P}{10 \text{ dB}}} \quad \frac{U_a}{U_b} = 10^{\frac{L_U}{20 \text{ dB}}} \quad (2.8/9)$$

Die bisherigen Betrachtungen der Leistungen und Spannungen bezogen sich auf zwei beliebige Stellen a und b in einem System. Das bedeutet Ortsunabhängigkeit. Der Bezug kann auch auf die Leistung oder Spannung an einer definierten Stelle erfolgen. Wir sprechen dann von relativen Pegeln.

In der Praxis ist jedoch häufig das Verhältnis zwischen Eingangs- und Ausgangsgröße einer Baugruppe oder eines Gerätes von Bedeutung. Der Eingang wird dabei durch Index 1 und der Ausgang durch den Index 2 gekennzeichnet. Als relative Pegel sind zwei Angaben möglich, und zwar abhängig davon, ob auf den Wert am Eingang (Index 1) oder den am Ausgang (Index 2) bezogen wird. Es sind somit folgende Angaben für den Leistungspegel möglich:

$$L_{P(1/2)} = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2} \text{ dB} \quad (2.10)$$

$$L_{P(2/1)} = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} \text{ dB} \quad (2.11)$$

Beide Pegel basieren auf den Kehrwerten der Leistungsverhältnisse. Sie weisen deshalb gleiche Zahlenwerte, jedoch unterschiedliche Vorzeichen auf.

Bei Informations und Kommunikationssystemen ist die Wirkungsrichtung bei Baugruppen und Geräten jeweils vom Eingang zum Ausgang.

Sind die Werte von Leistung oder Spannung am Ausgang größer als die am Eingang, dann liegt Verstärkung [*gain*] vor und es ergibt sich ein positiver Wert für den Pegel. Im umgekehrten Fall, also kleineren Werten am Ausgang gegenüber dem Eingang, handelt es sich um Dämpfung [*attenuation*]. Das führt zu negativen Werten für den Pegel. Es gelten nachfolgende Zusammenhänge:

Die Indices a und b gelten für beliebige Stellen.

Bei **relativen Pegeln** erfolgt der Bezug auf Werte an definierten Stellen im System.

Eingangsgrößen: Index 1

Ausgangsgrößen: Index 2

$$L_{P(1/2)} = -L_{P(2/1)} \text{ bzw. } L_{P(2/1)} = -L_{P(1/2)} \quad (2.12)$$

Wirkungsrichtung:

Eingang \Rightarrow Ausgang

Ausgangsgröße > Eingangsgröße

\Rightarrow Verstärkung [*gain*]

Ausgangsgröße < Eingangsgröße

\Rightarrow Dämpfung [*attenuation*]

$$\begin{aligned} \text{Verstärkung: } P_2 > P_1 &\Rightarrow \frac{P_2}{P_1} > 1 \Rightarrow \lg \frac{P_2}{P_1} > 0 \\ &\Rightarrow L_p = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} \text{ dB} > 0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} \text{Dämpfung: } P_2 < P_1 &\Rightarrow \frac{P_2}{P_1} < 1 \Rightarrow \lg \frac{P_2}{P_1} < 0 \\ &\Rightarrow L_p = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} \text{ dB} < 0 \end{aligned} \quad (2.14)$$

Vorstehende Aussagen gelten in gleicher Weise auch für die Spannung.

Durch das Vorzeichen ist also bei jedem Pegelwert eindeutig erkennbar, ob es sich um Verstärkung oder Dämpfung handelt, wenn sich die Angaben auf dieselbe Wirkungsrichtung beziehen. In der Fachliteratur wird dies allerdings nicht immer konsequent beachtet. So muss bei der Aussage, dass die Dämpfung 12 dB beträgt, in Berechnungen dies als -12 dB berücksichtigt werden.

Das Verhältnis der Leistungs- bzw. Spannungswerte wird als Verstärkungsfaktor oder Dämpfungsfaktor bezeichnet, bei den logarithmierten Verhältnissen gelten die Bezeichnungen Verstärkungspegel oder Dämpfungspegel. In Tabelle 2.1 sind die möglichen Varianten zusammengestellt.

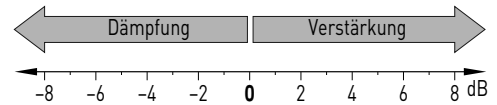


Bild 2.1 Verstärkungs- und Dämpfungspegel

Faktor = Lineares Verhältnis der Werte für P bzw. U

Pegel = Logarithmiertes Verhältnis der Werte für P bzw. U

Tabelle 2.1 Faktoren und Pegel für Leistung und Spannung

$P_2 > P_1$	Leistungsverstärkungsfaktor $V_p = \frac{P_2}{P_1}$	Leistungsverstärkungspegel $L_{p(G)} = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} \text{ dB}$
$U_2 > U_1$	Spannungsverstärkungsfaktor $V_U = \frac{U_2}{U_1}$	Spannungsverstärkungspegel $L_{u(G)} = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1} \text{ dB}$
$P_2 < P_1$	Leistungsdämpfungsfaktor $D_p = \frac{P_2}{P_1}$	Leistungsdämpfungspegel $L_{p(A)} = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} \text{ dB}$
$U_2 < U_1$	Spannungsdämpfungsfaktor $D_U = \frac{U_2}{U_1}$	Spannungsdämpfungspegel $L_{u(A)} = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1} \text{ dB}$

Durch Pegelangaben in Dezibel (dB) können auch große Werteverhältnisse mit überschaubaren Zahlen angegeben werden (Bild 2.2). Die Umrechnung zwischen Pegel und Zahlenverhältnis der physikalischen Größen ist durch die bereits angeführten Gleichungen möglich.

Angaben in Dezibel (dB) ermöglichen die Erfassung beliebiger Werteverhältnisse physikalischer Größen mit überschaubaren Zahlen.

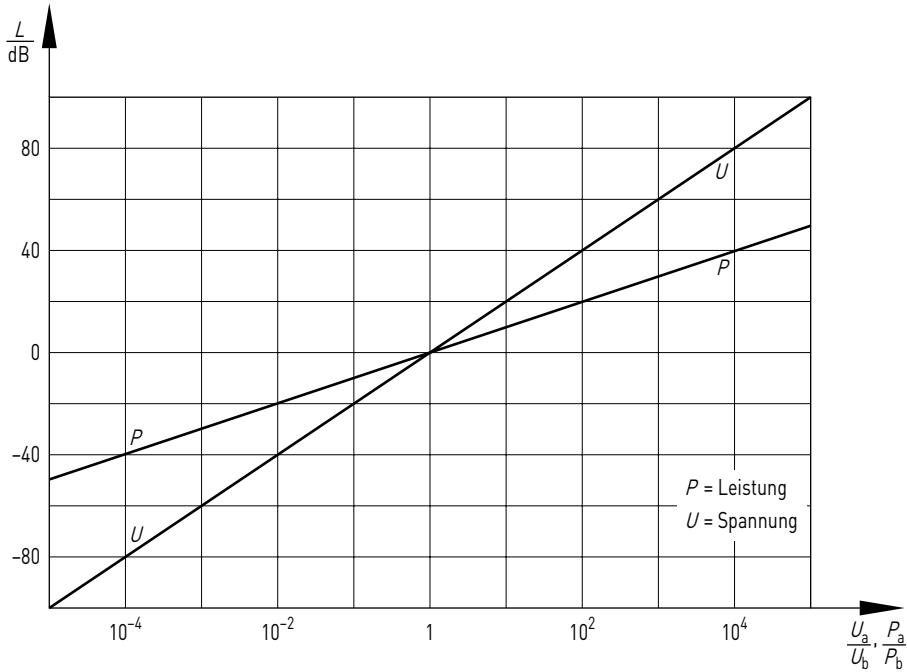


Bild 2.2 Relative Pegel für Leistung und Spannung

Bei den bisherigen Betrachtungen haben wir für die Pegelangaben stets den gleichen Widerstand R vorausgesetzt. In der Praxis ist dies allerdings nicht immer gegeben.

Wenn wir für U_1 den Widerstand R_1 und für U_2 den Widerstand R_2 annehmen, dann lässt sich die Auswirkung der unterschiedlichen Widerstände berechnen.

Weisen R_1 und R_2 gleiche Werte auf, dann ist der Leistungspegel gleich dem Spannungspegel.

Verwenden wir bei Pegelangaben festgelegte Werte als Bezugsgröße, dann handelt es sich um absolute Pegel. Als Information über den Referenzwert wird das dB-Zeichen durch einen Zusatz ergänzt, wobei es sich um die Einheit der verwendeten Größe handelt. Genormt ist die Angabe in Klammern hinter dem dB-Zeichen.

Grundsätzlich kann jeder Wert als Referenz verwendet werden. In der Praxis haben sich jedoch nur bestimmte Größen durchgesetzt und folgende direkte Anhängsel an das dB-Zeichen eingebürgert:

Bisher wurde gleicher Widerstandswert an allen Stellen im System vorausgesetzt.

Es ergibt sich:

$$L_p = L_U + 10 \cdot \lg \frac{R_2}{R_1} \text{ dB} \quad (2.15)$$

Wenn $R_1 = R_2$, dann $L_p = L_U$

Beim **absoluten Pegel** erfolgt der Bezug auf einen **Referenzwert**.

dB(mW) \Rightarrow auf 1 mW bezogener Leistungspegel