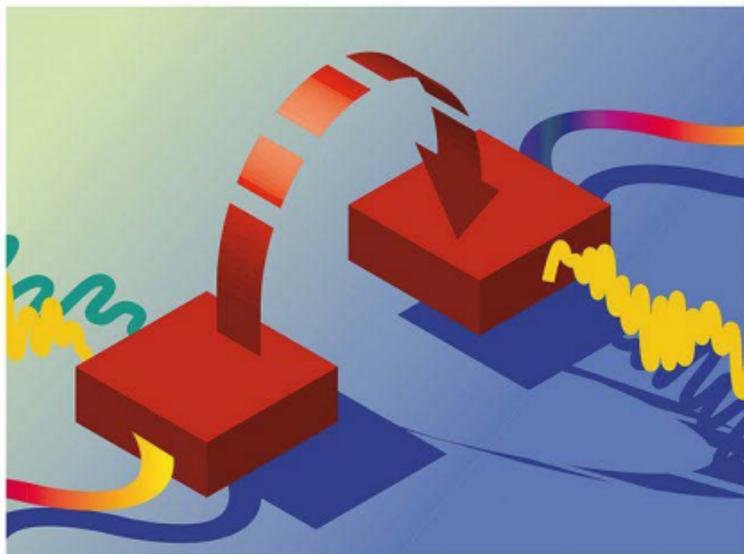


Beuth/Breide/Lüders/Kurz/Hanebuth

Nachrichten- technik

Elektronik 7



Beuth/Breide/Lüders/Kurz/Hanebuth

Nachrichtentechnik

St.-Prof. Klaus Beuth/Prof. Dr.-Ing. Stephan Breide/
Prof. Dr. Christian-Friedrich Lüders/
Dr.-Ing. habil. Günter Kurz/Dipl.-Ing. Richard Hanebuth

Nachrichten- technik

**4., vollständig überarbeitete und
aktualisierte Auflage**

Vogel Business Media

Zur Fachbuchgruppe «Elektronik» gehören die Bände:

Klaus Beuth/Olaf Beuth: Elementare Elektronik

Heinz Meister: Elektrotechnische Grundlagen
(Elektronik 1)

Klaus Beuth: Bauelemente
(Elektronik 2)

Klaus Beuth/Wolfgang Schmusch: Grundsaltungen
(Elektronik 3)

Klaus Beuth: Digitaltechnik
(Elektronik 4)

Helmut Müller/Lothar Walz: Mikroprozessortechnik
(Elektronik 5)

Wolfgang Schmusch: Elektronische Messtechnik
(Elektronik 6)

Klaus Beuth/Stephan Breide/Christian Lüders/Günter Kurz/
Richard Hanebuth: Nachrichtentechnik
(Elektronik 7)

Wolf-Dieter Schmidt: Sensorschaltungstechnik
(Elektronik 8)

Olaf Beuth/Klaus Beuth: Leistungselektronik
(Elektronik 9)

ISBN Print-Ausgabe 978-3-8343-3365-0 ISBN E-Book 978-3-8343-6205-6

4. Auflage. 2016

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten.
Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form
(Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren)
ohne schriftliche Genehmigung des Verlages
reproduziert oder unter Verwendung
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt
oder verbreitet werden. Hiervon sind die in
§§ 53, 54 UrhG ausdrücklich genannten Aus-
nahmefälle nicht berührt.

Printed in Germany

Copyright 1996 by Vogel Business Media GmbH & Co. KG, Würzburg

Vorwort

Die Nachrichtentechnik gehört zu den Fachgebieten mit hohen wirtschaftlichen Zuwachsraten und internationaler Bedeutung. Für die durch hohe Spezialisierung geprägten und immer arbeitsteiligeren Herstellungsprozesse der Industrie hat der Datenaustausch große Bedeutung. Darüber hinaus entwickelte sich das gesellschaftliche Zusammenleben immer stärker in Richtung einer Informationsgesellschaft, in der ein schneller Nachrichten- und Informationsaustausch selbstverständlich geworden ist und an dem immer mehr Menschen teilhaben wollen. Die Optimierung der technischen Kommunikationsprozesse und der damit verbundenen Technik ist daher von großer Wichtigkeit und setzt umfangreiche Kenntnisse voraus.

Die Nachrichtentechnik – häufig auch bezeichnet als Informations- und Kommunikationstechnik – baut auf einer Vielzahl grundlegender Erkenntnisse auf, die oft theoretisch und schwer verständlich dargestellt werden. Die Autoren haben es sich daher zur Aufgabe gemacht, die wesentlichen Grundlagen und ausgewählte Anwendungsgebiete anschaulich vorzustellen und das Hilfsmittel der Mathematik nur dort einzusetzen, wo es unumgänglich ist und der tieferen Erkenntnis dient.

Neben den grundlegenden Theorien werden wichtige Anwendungsbereiche der Nachrichtentechnik praxisgerecht und leicht verständlich dargestellt und an Beispielen erläutert. Dieses ist zum einen der Bereich der Telekommunikation und Vermittlungstechnik mit den Anwendungsgebieten der leitungsgebundenen oder drahtlosen Telefonie und Datenübertragung sowie vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten, andererseits der große Anwendungsbereich von Rundfunk und Fernsehen mit der Technik der Aufnahme, Übertragung, Speicherung und Wiedergabe. Berücksichtigt wird dabei die inzwischen vielfach vollzogene Umstellung der Verbreitungswege von analogen Strecken auf eine digitale Übertragung über Satellit, Kabel und terrestrische Wege sowie die derzeitige Einführung des Hochzeilenfernsehens HDTV. Nicht nur im Heimbereich spielt dabei die Speicherung von Audio- und Videosignalen eine große Rolle. Auf die Verfahren der analogen und digitalen Magnetaufzeichnung wird daher genauso eingegangen wie auf die optischen Speichermedien CD, DVD und BD, so dass sich auch Nichttechniker einen guten Überblick erarbeiten können.

Die vorliegende Neuauflage wurde vollständig neu gegliedert und überarbeitet, wobei grundlegende Teile erhalten blieben. Dabei wurden die langjährigen Erfahrungen der Industrietätigkeit in Forschung und Entwicklung und die Lehrerfahrungen an der Hochschule sowie die Ergebnisse von Projektarbeiten mit Industriefirmen berücksichtigt. Ferner flossen die Erfahrungen aus der Mitarbeit in einschlägigen Industrieverbänden und fachspezifischen Vereinen wie VDE, ITG und FK TG ein, um die Inhalte des Buches zu erweitern und neu zusammenzustellen. Trotz zunehmender Komplexität nachrichtentechnischer Systeme wurde das Konzept der anschaulichen Darstellung beibehalten.

Neu hinzugekommen sind u.a. Verfahren der digitalen Modulation, Multiplextechnik und Übertragungstechnik sowie deren Anwendung im Bereich des digitalen Hör- und Fernsehgrundfunks unter Berücksichtigung der Datenraten-Reduktionsverfahren für Bild- und Tonsignale. Die Technik der magnetischen Aufzeichnung wurde durch digitale Aufzeichnungsverfahren ergänzt und die optischen Speicher-

medien durch Neuentwicklungen mit höherer Speicherkapazität erweitert. Mit der Einführung von HDTV bekommen die Endgeräte eine neue Bedeutung, so dass sich diesem Gebiet auch ein Kapitel widmet. In der Vermittlungstechnik ist aufgrund der großen Bedeutung der Datenkommunikation der Übergang von der leitungsvermittelten zur paketvermittelten Technik zu verzeichnen, dem ebenfalls in einem neuen Kapitel Rechnung getragen wurde. Die Ausführungen werden durch ausgewählte Literaturhinweise für weitergehende Studien ergänzt.

Das Buch ist sowohl als unterrichtsbegleitendes Lernmittel als auch zum Selbststudium geeignet. Lernziel-Tests mit Fragen und Aufgaben am Ende eines jeden Kapitels geben Auskunft über den Lernerfolg und den erreichten Grad des Verstehens.

Studierende elektrotechnischer und verwandter Fachrichtungen, in der Praxis stehende Ingenieure, Techniker und Meister sowie interessierte Nichttechniker können das Buch mit Erfolg für einen praxisbezogenen Einstieg in die modernen Verfahren der Nachrichtentechnik nutzen.

Der Vogel Business Media sei für die gute Zusammenarbeit und die sorgfältige Ausführung des Druckes sowie die große Geduld bei der Erstellung der Neuauflage sehr gedankt. Ein weiterer Dank gilt unseren Familien, die diese Erstellung verkraften mussten.

Hinweise zu den Lösungen der Testaufgaben erhalten Sie ebenso wie ein ausführliches Glossar in unserem Onlineservice **InfoClick**. Fordern Sie für Ihr E-Book den Code unter info@vbm-fachbuch.de an.

Freiburg/Meschede

Klaus Beuth †
Stephan Breide
Christian Lüders

Vorwort zur 4. Auflage

Seit dem Erscheinen der 3. Auflage dieses Buches vor ungefähr sechs Jahren haben sich in der rasch wandelnden Welt der Informations- und Kommunikationstechnik zahlreiche Umbrüche und Neuerungen ergeben. Dieses war ein Anlass, das seit langem bewährte Buch zur «Nachrichtentechnik» stark zu überarbeiten und neue Themen ergänzend aufzunehmen.

Dazu gehören u.a.:

- digitale Filter,
- neue Verstärkertypen,
- Beschallungssysteme,
- neue Entwicklungen zu DVB,
- Abschnitte zum Internet-Protokoll der Version 6 (IPv6) sowie zur Realisierung von Telefonie-Anwendungen über das Internet (Voice over IP),
- Antennentechniken zur Steigerung von Datenraten in Funksystemen wie das MIMO-Verfahren in verschiedenen Ausprägungen (MIMO: Multiple Input Multiple Output),
- neue Mobilfunktechniken und -systeme wie der High Speed Packet Access (HSPA) oder LTE (Long Term Evolution),
- erweiterte DSL-Verfahren,
- eine ausführlichere Darstellung zu Wireless LANs mit einer Erläuterung der neueren Standards wie IEEE 802.11ac und ad.

Eingeflossen sind dabei die zahlreichen Erfahrungen der Autoren aus verschiedenen Lehrveranstaltungen an der Fachhochschule Südwestfalen in Meschede, der Mitarbeit in Fachorganisationen der ITG und der FK TG und der Tätigkeit im Breitbandkompetenzzentrum des Landes NRW (BBCC.NRW).

Neben der Ergänzung von aktuellen Themen wurden Fehler der 3. Auflage korrigiert bzw. Darstellungen angepasst und aktualisiert. Um den Umfang des Buches nicht zu stark anwachsen zu lassen, mussten daher andere Themen, die zwar historisch gesehen sehr interessant sind, aber heutzutage eine eher untergeordnete Bedeutung haben, gestrichen werden. Um dem interessierten Leser dennoch einen Zugang zu diesen Informationen z.B. aus dem Bereich der Magnetbandaufzeichnung oder der analogen Rundfunktechnik zu ermöglichen, werden die zugehörigen Unterkapitel und Abschnitte entsprechend der 3. Auflage auf die Homepage zu diesem Buch gestellt.

Hinweise dazu finden sich an den jeweiligen Stellen in diesem Buch.

Der Dank der Autoren für die Erstellung der 4. Auflage gilt zunächst dem Verlag, der das Fortführen des Werkes ermöglichte und stets unterstützte. Besonders bedanken möchten wir uns bei Herrn Dipl.-Ing. KLAUS SONNENKEMPER für anregende, praxisbezogene Diskussionen und einige Beiträge zu diesem Buch – und natürlich bei unseren Familien, die uns die Zeit für diese Überarbeitung einräumten.

Meschede

Stephan Breide
Christian Lüders

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Vorwort zur 4. Auflage	7
1 Grundlegende Begriffe der Nachrichtentechnik	19
1.1 Einordnung der Nachrichtentechnik	19
1.2 Hierarchische Strukturierung von Kommunikationsabläufen	23
1.2.1 Beispiel für die Gliederung des Kommunikationsprozesses ..	23
1.2.2 Die Aufgaben der OSI-Schichten	24
1.2.3 Dienste, Protokolle und Datenfluss im OSI-Modell	28
1.3 Signale und Systeme	30
1.3.1 Beschreibung von Signalen	30
1.3.2 Rauschleistung	37
1.3.3 Allgemeine Eigenschaften von Übertragungssystemen	38
1.3.4 Pegel und Dezibel-Rechnung	43
1.4 Lernziel-Test	47
2 Elektronische Netzwerke	49
2.1 Netzwerke als Bestandteil von Nachrichtensystemen	49
2.2 Zweipole	50
2.3 Vierpole	53
2.3.1 Vierpolersatzdarstellungen	54
2.3.2 Betriebsparameter	56
2.3.3 Übertragungsfunktion	57
2.4 Filterschaltungen	58
2.4.1 Filterarten und -kenngrößen	59
2.4.2 RC-Filter	63
2.4.3 LC-Filter	65
2.4.4 Mechanische Filter	68
2.4.5 Oberflächenwellen-Filter	71
2.4.6 Abtastfilter	72
2.4.7 Digitale Filter	73
2.5 Mehrtore	80
2.6 Lernziel-Test	81
3 Verstärkung und Schwingungserzeugung	83
3.1 Operationsverstärker	84
3.1.1 Anforderungen an einen universellen Verstärker	84
3.1.2 Aufbau eines Operationsverstärkers	84
3.1.3 Eigenschaften von Operationsverstärkern	86
3.1.4 Beschaltung von Operationsverstärkern	89
3.2 Leistungsverstärker	91
3.2.1 Arbeitspunkt bei Leistungsverstärkern	91
3.2.2 Eintaktschaltungen	91
3.2.3 Gegentaktschaltungen	93

3.2.4	Sendeverstärker	94
3.2.5	Schaltverstärker der Klasse D	95
3.3	Rückkopplung	97
3.3.1	Prinzip	97
3.3.2	Gegenkopplungsschaltungen	99
3.3.3	Eigenschaften gegengekoppelter Schaltungen	101
3.4	Spezielle Schaltungen der Nachrichtentechnik	104
3.5	Schwingungserzeugung	107
3.5.1	Grundlagen	107
3.5.2	Oszillatorgrundschaltungen	109
3.5.3	Oszillatoreigenschaften	114
3.5.4	Funktionsgeneratoren	116
3.5.5	Digitale Oszillatoren	118
3.6	Lernziel-Test	122
4	Leitungen für die Nachrichtenübertragung	123
4.1	Wellen auf leitfähigen Kabeln	123
4.2	Wellenkenngrößen der Leitung	127
4.2.1	Allgemeine Zusammenhänge	127
4.2.2	Wellenkenngrößen von verlustfreien Leitungen	128
4.2.3	Wellenkenngrößen von Leitungen mit geringen Verlusten ..	129
4.3	Leitungsabschluss und Reflexionen	131
4.4	Leitungen als Bauelemente der Hochfrequenztechnik	135
4.5	Wellenleiter	136
4.6	Lichtwellenleiter	137
4.6.1	LWL-Übertragungskanal	138
4.6.2	Optische Eigenschaften von Glasfasern	138
4.6.3	Aufbau von Lichtwellenleitern	140
4.7	Kabelsysteme in der Kommunikationstechnik	142
4.7.1	Kabel mit symmetrischen Leitungen	143
4.7.2	Koaxialkabel	148
4.7.3	Glasfaserkabel	150
4.8	Lernziel-Test	154
5	Elektroakustik	155
5.1	Allgemeines	155
5.2	Messgrößen des Schalls	156
5.3	Schallempfindung durch das Ohr	158
5.4	Raumakustik	163
5.4.1	Reflexion und Absorption	163
5.4.2	Anhall und Nachhall	163
5.5	Technik der Schallübertragung	165
5.5.1	Allgemeine Anforderungen	165
5.5.2	Audio-Übertragungssysteme	166
5.6	Elektroakustische Wandler	168
5.6.1	Schallaufnehmer, Mikrofone	168
5.6.2	Schallstrahler	174
5.6.3	Erregersysteme für Lautsprecher und Kopfhörer	176

5.6.4	Schallführung	177
5.6.5	Lautsprecherkombinationen	179
5.6.6	Beschallungssysteme	180
5.6.7	Kopfhörer	183
5.7	Lernziel-Test	184
6	Elektromagnetische Wellen	185
6.1	Kenngrößen	186
6.1.1	Frequenzen und Wellenlängen	186
6.1.2	Polarisation	186
6.1.3	Ausbreitungsgeschwindigkeit	188
6.1.4	Frequenzbereiche	189
6.1.5	Wellenwiderstand	191
6.1.6	Überlagerung von Wellen – Interferenz	192
6.1.7	Intensität	193
6.2	Antennen	194
6.2.1	Erzeugung und Abstrahlung elektromagnetischer Wellen ...	194
6.2.2	Antennenkenngrößen	198
6.2.3	Lineare Antennen	202
6.2.4	Gruppenantennen	205
6.2.5	Hornantennen	210
6.2.6	Reflektorantennen	210
6.2.7	Weitere Antennenformen	213
6.3	Physikalische Effekte der Wellenausbreitung	216
6.3.1	Freiraumausbreitung	217
6.3.2	Reflexion und Durchdringung	219
6.3.3	Dämpfung durch Regen und Nebel	221
6.3.4	Beugung	222
6.3.5	Bodenwellenausbreitung	223
6.3.6	Raumwellenausbreitung	224
6.4	Funkausbreitungsmodelle	226
6.5	Lernziel-Test	227
7	Analoge Modulationsverfahren	229
7.1	Übersicht	229
7.2	Amplitudenmodulation (AM)	231
7.2.1	Grundlagen der Amplitudenmodulation	231
7.2.2	Zweiseitenbandmodulation – ZSB-AM	233
7.2.3	Einseitenbandmodulation – ESB-AM	236
7.3	Winkelmodulationsverfahren	237
7.3.1	Grundlagen der Winkelmodulation	237
7.3.2	Frequenzmodulationsverfahren	241
7.3.3	Phasenmodulationsverfahren	243
7.3.4	Demodulation winkelmodulierter Signale	244
7.4	Lernziel-Test	247
8	Digitale Übertragungsverfahren	249
8.1	Grundlagen	249

8.2	Digitale Übertragung im Basisband	253
8.2.1	High-Density-Bipolar-n-Leitungscode – HDBn-Code	255
8.2.2	Modified Monitoring State Code MMS43 – Leitungscode...	256
8.3	Digitale Modulationsverfahren	257
8.3.1	Allgemeines	257
8.3.2	Digitale Frequenzmodulation	259
8.3.3	Digitale Phasen- und Amplitudenmodulation	260
8.3.4	Spreiztechnik	264
8.3.5	Frequency Hopping	268
8.3.6	Orthogonal Frequency Division Multiplex – OFDM	268
8.4	Fehlerschutzverfahren für die digitale Übertragung	272
8.4.1	Grundlagen des Fehlerschutzes	272
8.4.2	Block Codes	274
8.4.3	Faltungscodes	279
8.4.4	Interleaving	280
8.5	Dynamische Auswahl des Übertragungsverfahrens	281
8.6	ARQ-Verfahren	283
8.6.1	Send-and-Wait-Protokoll	283
8.6.2	Selektives ARQ-Verfahren	285
8.6.3	Fensterverfahren	286
8.6.4	Hybride ARQ-Verfahren	287
8.7	Lernziel-Test	289
9	Multiplexverfahren in der Übertragungstechnik	291
9.1	Übersicht zu den Multiplexverfahren	291
9.2	Raummultiplex	291
9.3	Frequenzmultiplex	293
9.4	Wellenlängenmultiplex	295
9.5	Orthogonales Frequenzmultiplex	297
9.6	Zeitmultiplex	297
9.6.1	Synchrones Zeitmultiplex-Verfahren	297
9.6.2	Asynchrones Zeitmultiplex-Verfahren	300
9.7	Codemultiplex	301
9.8	Polarisationsmultiplex	305
9.9	Multiple Input Multiple Output (MIMO)	306
9.10	Kombination von Multiplexverfahren	312
9.11	Duplex-Verfahren	313
9.12	Lernziel-Test	314
10	Analoger Hör- und Fernschrundfunk	317
10.1	Analoger terrestrischer Hörrundfunk	317
10.1.1	Hörrundfunkempfänger	318
10.1.2	Stereo-Hörrundfunk	324
10.1.3	Übertragung von Zusatzinformationen	326
10.2	Zusammenfassung	330
10.3	Analoge Fernsehsystemtechnik	330
10.3.1	Grundlagen	331
10.3.2	Normen für Schwarzweiß-Fernsehsignale	334

10.3.3	Signaldarstellung im Basisband	335
10.3.4	Synchronisationssignale	339
10.3.5	Grundlagen der Farbfernsehtechnik	342
10.3.6	Farbfernsehsysteme	347
10.4	Übertragung von Zusatzinformationen	351
10.4.1	Prüfzeilensignale	351
10.4.2	Videotextinformation	352
10.4.3	Datenübertragung	353
10.5	Analoge TV-Übertragungssysteme	354
10.6	Zusammenfassung	355
10.7	Lernziel-Test	356
11	Digitalisierung von Ton- und Bildsignalen	357
11.1	Grundlagen	357
11.2	Parameter für die A/D-Umsetzung von Sprachsignalen nach ITU-T G 711	364
11.2.1	Abtastfrequenz im Sprachbereich	364
11.2.2	Quantisierung im Sprachbereich	365
11.2.3	Codierung digitaler Sprachsignale	367
11.2.4	Datenrate codierter Sprachsignale	369
11.3	Parameter für die A/D-Umsetzung von Audiosignalen	369
11.3.1	Abtastfrequenzen für Audiosignale	370
11.3.2	Quantisierung von Audiosignalen	370
11.3.3	Datenrate von Audiosignalen	372
11.3.4	AES/EBU-Signalformat	372
11.4	Parameter für die A/D-Umsetzung von Standardvideosignalen – SDTV	373
11.4.1	Abtastfrequenzen für SDTV	374
11.4.2	Quantisierung von SDTV	378
11.4.3	Datenrate von SDTV	379
11.5	Parameter für HDTV (High Definition Television) und UHDTV (Ultra-high Definition Television)	380
11.5.1	HDTV – High Definition Television	380
11.5.2	UHDTV – Ultra-high Definition Television	384
11.6	Schnittstellen für die Basisbandübertragung digitaler TV-Signale	385
11.7	Zusammenfassung	387
11.8	Lernziel-Test	388
12	Datenratenreduktion für Ton- und Bildsignale	389
12.1	Auswahlkriterien für Datenraten-Reduktionsverfahren	389
12.2	Grundlegende Prinzipien der Datenratenreduktion	392
12.3	Standardisierung von Ton- und Bildraten-Reduktionsverfahren	393
12.4	Datenratenreduktion für Audiosignale	395
12.4.1	Verlustlose Audiodatenraten-Reduktion	395
12.4.2	Verlustbehaftete Audiodatenraten-Reduktion	395
12.4.3	Beispiel MPEG-Audiocodierung	397
12.5	Datenratenreduktion für Bildsignale	399

12.5.1	Grundlagen der Datenratenreduktion für Bildsignale	399
12.5.2	Standbildcodierung nach JPEG	401
12.5.3	Standbildcodierung nach JPEG 2000	405
12.5.4	Bewegtbildcodierung nach MPEG	407
12.5.5	Bewegtbildcodierung für HDTV	412
12.5.6	Bewegtbildcodierung nach H.265 (HEVC)	415
12.6	Zusammenfassung	419
12.7	Lernziel-Test	420
13	Übertragungssysteme für den digitalen Hör- und Fernsehroundfunk	421
13.1	ADR – Astra Digital Radio	422
13.2	DAB-System	423
13.2.1	DAB – Digital Audio Broadcasting	423
13.2.2	DAB+	428
13.2.3	DMB – Digital Multimedia Broadcasting	428
13.3	DRM – Digital Radio Mondial	428
13.4	DVB-System der 1. Generation	431
13.4.1	DVB-S-Satellitenübertragung nach DVB	434
13.4.2	DVB-C – Kabel-TV-Übertragung nach DVB	437
13.4.3	DVB-T – Terrestrische Übertragung nach DVB	440
13.4.4	DVB-H – Terrestrische Übertragung nach DVB auf mobile Endgeräte	441
13.5	DVB-System der 2. Generation	443
13.5.1	DVB-S2 und DVB-S2X – Satellitenübertragung nach DVB ..	443
13.5.2	DVB-C2 – Kabel-TV-Übertragung nach DVB	447
13.5.3	DVB-T2 – Terrestrische Übertragung nach DVB	449
13.6	Zusammenfassung	452
13.7	Lernziel-Test	453
14	Aufzeichnungstechnik für Ton-, Bild- und Datensignale	455
14.1	Grundlagen der magnetischen Aufzeichnung	455
14.2	Analoge magnetische Audio- und Videoaufzeichnung	456
14.3	Digitale Magnetaufzeichnung	457
14.3.1	Digitale magnetische Audioaufzeichnung	458
14.3.2	Digitale magnetische Videoaufzeichnung	460
14.3.3	Magnetische Aufzeichnung von Datensignalen	468
14.4	Bandlose Aufzeichnungstechniken für Audio- und Videosignale	468
14.5	Zusammenfassung	470
14.6	Lernziel-Test	471
15	Multimediale Speichersysteme	473
15.1	Compact-Disc-System	473
15.1.1	Mechanischer Aufbau der CD	473
15.1.2	Datenorganisation und Codierung	475
15.1.3	CD-Standards	479
15.1.4	Compact-Disc-Wiedergabegeräte	481
15.1.5	Herstellung der CD	487
15.2	DVD-Systemfamilie	490

15.2.1	DVD-Basistypen	491
15.2.2	DVD – Datenorganisation und Codierung	494
15.2.3	DVD-Anwendungen – DVD-Video, DVD-Audio und DVD-ROM	495
15.2.4	Herstellung der DVD und SACD	502
15.3	BD (Blu-ray) und HD-DVD	504
15.4	Speicherkarten	507
15.5	Zusammenfassung	510
15.6	Lernziel-Test	511
16	Wiedergabe- und Empfängertechnik	513
16.1	Wiedergabetechniken	513
16.1.1	Katodenstrahlröhren – CRT (Cathode Ray Tube)	514
16.1.2	Rasterorientierte Flachbildschirme	515
16.1.3	Plasmabildschirme	516
16.1.4	Flüssigkeitskristallanzeige – LCD (Liquid Crystal Display)	517
16.1.5	Mikrospiegeltechnik – DLP (Digital Light Processing)	518
16.1.6	LED- und OLED-Bildschirme	520
16.2	Analoge Empfängertechnik	522
16.3	Digitale Signalverarbeitung im Empfänger	523
16.3.1	Qualitätsverbesserung im TV-Empfänger	523
16.3.2	Digitale Empfangstechnik	524
16.4	Analoge und digitale Schnittstellen für SDTV und HDTV	527
16.4.1	Analoge Schnittstellen	527
16.4.2	Digitale Schnittstellen	528
16.4.3	Endgerätebezeichnungen im HDTV-Umfeld	531
16.5	Zusammenfassung	533
16.6	Lernziel-Test	533
17	Leitungsvermittelte Kommunikationsnetze	535
17.1	Entwicklung und Vorbetrachtung	535
17.2	Analoger Fernsprechkanal	537
17.2.1	Grundlagen der Fernsprechtechnik	537
17.2.2	Kenngrößen des analogen Fernsprechkanales	537
17.3	Analoge Fernsprechübertragungstechnik	540
17.3.1	Grundlegender Aufbau	540
17.3.2	Übertragung im Basisband	541
17.3.3	Trägerfrequente Übertragung der Fernsprechsignale	542
17.4	Digitale Fernsprechübertragungssysteme	546
17.4.1	Übertragungsverfahren im ISDN	546
17.4.2	Übertragungsverfahren auf der S_0 -Schnittstelle	546
17.4.3	Übertragungsverfahren auf der U_{K0} -Schnittstelle	550
17.4.4	Übertragungsverfahren bei Primärmultiplexanschlüssen ..	550
17.5	Grundlagen der Vermittlungstechnik	551
17.5.1	Vorbetrachtung	551
17.5.2	Geografische Zuordnung der Teilnehmer zu einer Vermittlungseinheit	552

17.5.3	Identifikation der Teilnehmer	553
17.5.4	Konzentration, Richtungsauswahl und Expansion	556
17.5.5	Die Steuerung des Verbindungsaufbaus	558
17.5.6	Wahlverfahren zum Verbindungsaufbau	560
17.6	Elektromechanische Vermittlungssysteme	563
17.7	Digitale Vermittlungssysteme	565
17.7.1	Grundprinzip digitaler Vermittlung	566
17.7.2	Funktionsprinzip einer digitalen Raumstufe	567
17.7.3	Funktionsprinzip einer digitalen Zeitstufe	569
17.7.4	Baugruppen einer digitalen Vermittlung	572
17.7.5	Verbindungsaufbau über eine digitale Vermittlungseinheit	576
17.8	Struktur der nationalen Vermittlungstechnik	578
17.9	Mehrfachausnutzung der Teilnehmeranschlussleitung	584
17.9.1	Grundlagen der 2-Draht-DSL-Technik	585
17.9.2	2-Draht-DSL-Systeme	587
17.10	Zusammenfassung	591
17.11	Lernziel-Test	592
18	Paketvermittelte Kommunikationssysteme und Computernetzwerke	595
18.1	Allgemeine Grundlagen	595
18.2	Zugriffsverfahren	597
18.2.1	ALOHA-Verfahren	598
18.2.2	Carrier Sense Multiple Access – CSMA	600
18.2.3	Token Passing	603
18.2.4	Polling	604
18.2.5	Reservierungsverfahren	605
18.3	Standards für lokale Computernetze	605
18.3.1	Überblick über die Standards der Familie IEEE 802	605
18.3.2	IEEE 802.3 – Ethernet	606
18.3.3	IEEE 802.4 – Token Bus	614
18.3.4	IEEE 802.5 – Token Ring	616
18.4	Paketorientierte Übertragung im Weitverkehr	618
18.4.1	Grundlagen der Paketvermittlung	619
18.4.2	Wegefindung im Netz – Paket-Routing	622
18.5	Kommunikation im Internet	623
18.5.1	Historische Entwicklung	623
18.5.2	TCP/IP-Kommunikationsmodell	625
18.5.3	Aufgaben und Protokolle der Internet-Schicht	626
18.5.4	Aufgaben und Protokolle der Transportschicht	637
18.5.5	Aufgaben und Protokolle der TCP/IP-Anwendungsschicht	642
18.5.6	Sprachübertragung über die Internet-Protokolle: Voice over IP	646
18.6	Zusammenfassung	652
18.7	Lernziel-Test	653

19 Mobilfunksysteme	655
19.1 Allgemeine Übersicht	655
19.1.1 Entwicklung des Mobilfunkmarktes	655
19.1.2 Überblick über bedeutende Mobilfunksysteme	657
19.1.3 Die besonderen Herausforderungen bei Mobilfunksystemen	658
19.1.4 Das zellulare Prinzip und die Wiederverwendung von Frequenzen	660
19.1.5 Versorgungsplanung – Größe von Funkzellen	662
19.2 Das GSM-System	665
19.2.1 Dienste und Anwendungen	665
19.2.2 Funkkanäle im GSM-System	666
19.2.3 Steuerungskanäle bei GSM	670
19.2.4 Systemarchitektur	672
19.2.5 Prozeduren vor dem Verbindungsaufbau	676
19.2.6 Verbindungsaufbau	678
19.2.7 Prozeduren zur Verbindungssteuerung	680
19.3 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)	681
19.3.1 Frequenzbereiche und Frequenzplanung	682
19.3.2 UMTS-Systemarchitektur	683
19.3.3 Codemultiplex, Übertragungsverfahren und Datenraten bei UMTS	684
19.3.4 Schnelle Leistungsregelung und Soft Handover	689
19.3.5 High Speed Packet Access	690
19.4 Long Term Evolution – LTE	693
19.4.1 Systemarchitektur	694
19.4.2 Frequenzbereiche	695
19.4.3 Übertragungstechnik	696
19.4.4 Funkreichweite und Netzkapazität	699
19.4.5 LTE Advanced	701
19.5 Wireless Local Area Networks (WLAN)	702
19.5.1 Anwendungen und Netzstrukturen	702
19.5.2 Übersicht über den Standard	703
19.5.3 Zugriffsverfahren	704
19.5.4 Übertragungsverfahren bei Wireless LANs	707
19.6 Bluetooth	711
19.6.1 Überblick über den Bluetooth-Standard und seine Anwendungen	711
19.6.2 Übertragungstechnik	712
19.6.3 Netzstrukturen	714
19.7 ZigBee	716
19.8 Lernziel-Test	718
Literaturverzeichnis	721
Stichwortverzeichnis	724

1 Grundlegende Begriffe der Nachrichtentechnik

1.1 Einordnung der Nachrichtentechnik

Die Nachrichtentechnik ist ein Teilgebiet der Elektrotechnik und befasst sich mit der

- Aufzeichnung,
- Speicherung,
- Verarbeitung,
- Übertragung und
- Wiedergabe

von Nachrichten bzw. Informationen. Dabei kann es sich um Sprach- oder Textmitteilungen zwischen Personen, Fotos oder Filme, die von Menschen wahrgenommen werden, aber auch um Mess- und Steuerungsdaten handeln, die von Maschinen aufgezeichnet bzw. ausgetauscht werden.

Die Bezeichnung «Nachrichtentechnik» entstand Anfang des 20. Jahrhunderts. Mit der zunehmenden Digitalisierung und dem Zusammenwachsen der Telekommunikations- und der Computerbranche setzte sich weitgehend die Bezeichnung «Informations- und Kommunikationstechnik (IKT)» durch. Wie in Bild 1.1 illustriert, werden in der Informations- und Kommunikationstechnik die Bereiche Telekommunikation, Informationsverarbeitung und Computertechnik, Medientechnik und Elektronik integriert, wobei auch Aspekte der Optik und Akustik eine gewisse Rolle spielen. Diese Integration zeigt sich am augenfälligsten an einem weit verbreiteten Produkt der IKT-Branche – dem «Handy». Mit ihm kann man telefonieren (Telekommunikation), es hat heutzutage die Bedienoberfläche sowie viele Funktionen eines Computers, man kann mit ihm fotografieren, Filme anschauen und Radio hören (Medientechnik) und es besteht aus komplexen elektronischen Bauelementen. Im Bereich der Kommunikationsnetze hat diese Integration in den 1980er-Jahren mit der Entwicklung und Einführung des ISDN (Integrated Services Digital Network) begonnen. Sie setzt sich heutzutage mit den breitbandigen Netzen fort, die sowohl Telefonie, Internetzugang als auch Fernsehen und Radio liefern.

Bei der IKT handelt es sich um eine Schlüsseltechnologie, die die Grundlage für eine Vielzahl von Innovationen bildet. Als Querschnittstechnologie spielt sie in verschiedenen Bereichen, wie dem Maschinen- und Anlagenbau, in der chemischen Industrie und im Automobilsektor eine große Rolle. In Deutschland beträgt die Bruttowertschöpfung der IKT-Branche etwa 90 Milliarden Euro. Sie liegt damit noch vor dem Maschinenbau und der Automobilbranche. Mehr als 50% der Industrieproduktion und mehr als 80% der Exporte Deutschlands hängen von der IKT ab. Im Automobilbereich beruhen fast 90% der Innovationen auf der Informationstechnik und der Elektronik.

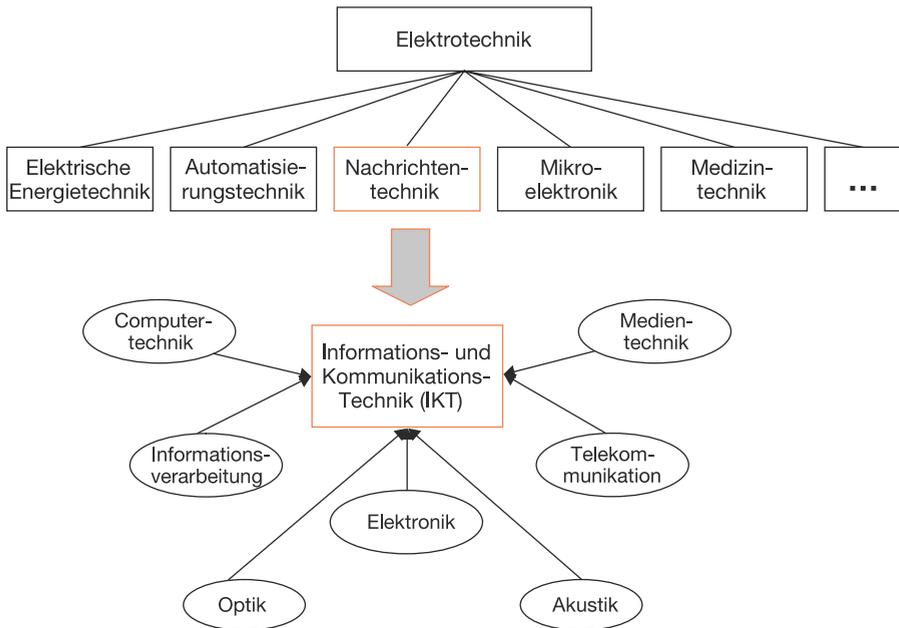


Bild 1.1 Einordnung der Nachrichtentechnik

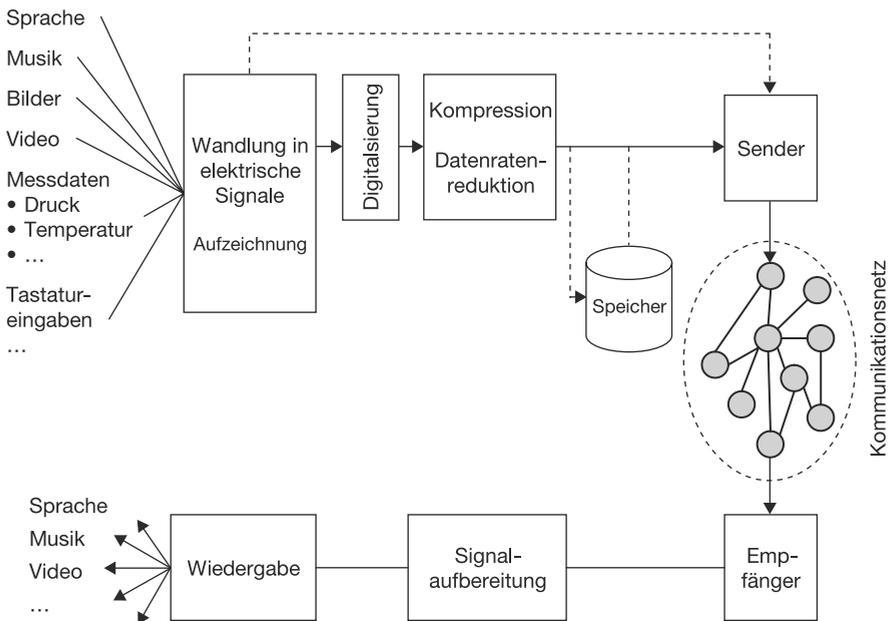


Bild 1.2 Nachrichtentechnisches System im Überblick

Das vorliegende Buch erläutert verschiedene zentrale Themenbereiche der Nachrichtentechnik bzw. der Informations- und Kommunikationstechnik. Diese sind anhand von Bild 1.2 illustriert, das den groben Aufbau eines nachrichtentechnischen Systems zeigt. Behandelt werden also

- ❑ die Wandlung in elektrische Signale:
 - elektroakustische Wandler (Abschnitt 5.6),
 - Wandlung von Bewegtbildern (Kapitel 10 und 11);
- ❑ die Digitalisierung von Signalen (Kapitel 11);
- ❑ die Datenratenreduktion (Kapitel 12);
- ❑ Speichermedien:
 - Aufzeichnungstechnik für Ton-, Bild- und Datensignale (Kapitel 14),
 - Multimediale Speichermedien (Kapitel 15);
- ❑ die Signalaufbereitung und Wiedergabe:
 - elektroakustische Wandler (Abschnitt 5.6),
 - optoelektrische Wandler, wie Liquid Crystal Displays und Plasma-Bildschirme (Kapitel 16);
- ❑ die Nachrichtenübertragung von einem Sender zu einem Empfänger (Bild 1.3):
 - Modulation (Kapitel 7 und 8),
 - Verfahren zum Fehlerschutz, Kanalcodierung (Kapitel 8),
 - die Schwingungserzeugung und Verstärkung von Signalen (Kapitel 3),
 - Übertragungskanäle (Leitungen in Kapitel 4, elektromagnetische Wellen in Kapitel 6),
 - Multiplex-Verfahren (Kapitel 9),
- ❑ Kommunikationssysteme.

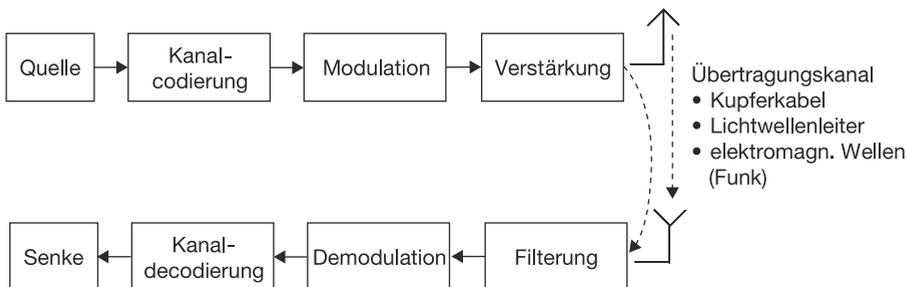


Bild 1.3 Nachrichtenübertragung zwischen Sender und Empfänger

Bei den Kommunikationssystemen werden Systeme für die Verteilkommunikation (*Broadcast*) und für die Individualkommunikation behandelt, wobei sowohl leitungsgebundene Netze als auch Funknetze zur Sprache kommen. Da es i.Allg. weder realisierbar noch wirtschaftlich ist, zwei (oder mehr) Kommunikationspartner direkt und dauerhaft miteinander zu verbinden, werden diese über ein Netz von mehreren Vermittlungseinrichtungen miteinander nach Bedarf verknüpft. Die Vermittlungseinrichtungen müssen also einen geeigneten Übertragungsweg durch das Netz suchen und schalten. Je nachdem, ob dieser Weg für die gesamte Verbindung bestehen bleibt oder für jedes Datenpaket individuell gesucht wird, unterscheidet man zwischen der Leitungsvermittlung, die z.B. beim ISDN zu finden ist, und der Paketvermittlung, die im Bereich der Computernetze dominiert. Konkret werden die folgenden Systeme behandelt:

Verteilkommunikation

- ❑ Analoges Ton- und Fernsehrundfunk
- ❑ Digitaler Fernsehrundfunk (Digital Video Broadcast, DVB)
 - über Kabel (DVB-C), über Satellit (DVB-S), über terrestrischen Funk (DVB-T)

- ❑ Digitaler Tonrundfunk
 - Digital Audio Broadcast (DAB)
 - Digital Radio Mondial (DRM)

Individualkommunikation (leitungsgebunden)

- ❑ Integrated Services Digital Networks (ISDN)
- ❑ lokale Computernetze (Local Area Networks, LANs) nach den Standards IEEE 802.3, IEEE 802.4, IEEE 802.5
- ❑ Weitverkehrscomputernetze (Wide Area Networks, WANs) und das Internet

Individualkommunikation (Funk)

- ❑ Weitverkehrsnetze
 - Global System for Mobile Communications (GSM)
 - Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)
 - Long Term Evolution (LTE)
- ❑ Städtetnetze (drahtloser Teilnehmeranschluss)
 - Worldwide Microwave Acces (WiMAX)
- ❑ lokale Funknetze
 - lokale Computernetze (Wireless LANs nach dem Standard IEEE 802.11)
 - schnurlose Telefonsysteme (Digital Enhanced Cordeless Telecommunications, DECT)
 - Bluetooth für die Anbindung von Endgeräten über kurze Entfernungen
 - ZigBee als Funksysteme für die Automatisierung
 - UltraWideBand-Systeme (UWB) für Multimedia-Anwendungen

Die Aufgabe eines Kommunikationssystems lässt sich relativ leicht zusammenfassen:



Merksatz

Ein Kommunikationssystem ermöglicht einen Datenaustausch zwischen verschiedenen Geräten. Die Daten müssen dabei fehlerfrei und zuverlässig an das richtige Ziel geleitet werden, ohne dass Unbefugte in das Netz eindringen oder die übertragenen Daten abhören.

In der konkreten Umsetzung handelt es sich bei dem Datenaustausch i.Allg. um einen sehr komplexen Prozess, der in viele Teilaspekte zerfällt. Um ihn übersichtlich, verständlich und präzise beschreiben zu können, muss man ihn gut gliedern und strukturieren. Dies ist besonders dann wichtig, wenn in einem Kommunikationssystem Geräte von vielen verschiedenen Herstellern zusammenspielen müssen. In einem solchen Fall ist eine Standardisierung mit einer detaillierten Beschreibung des Systems, die mehrere tausend Seiten an Spezifikationsdokumenten umfassen kann, unerlässlich. Der folgende Abschnitt erläutert die prinzipiellen Methoden zur strukturierten Beschreibung der Kommunikationsabläufe. Weitere Details findet man in [24; 25].

1.2 Hierarchische Strukturierung von Kommunikationsabläufen

Merksatz



Um den Kommunikationsprozess zu gliedern, zerlegt man ihn in mehrere so genannte Schichten (Layer). Dabei nutzt jede Schicht gewissermaßen Hilfsfunktionen oder Dienste aus der jeweils darunter liegenden Schicht, um ihre Aufgaben zu erfüllen.

Zieht man einen Vergleich zu einem gut strukturierten Computerprogramm, so bildet die obere Schicht das Hauptprogramm, das Unterprogramme aufruft, wobei die Unterprogramme wiederum auf «Unter-Unterprogramme» zurückgreifen.

Bevor das von der International Organization of Standards (ISO) in den 1980er-Jahren entwickelte OSI-Referenzmodell beschrieben wird, soll zunächst ein Beispiel behandelt werden. OSI ist dabei die Abkürzung für Open System Interconnection und deutet das zentrale Anliegen an: ein Modell für die standardisierte Beschreibung von offenen (d.h. nicht herstellerepezifischen) Kommunikationssystemen.

1.2.1 Beispiel für die Gliederung des Kommunikationsprozesses

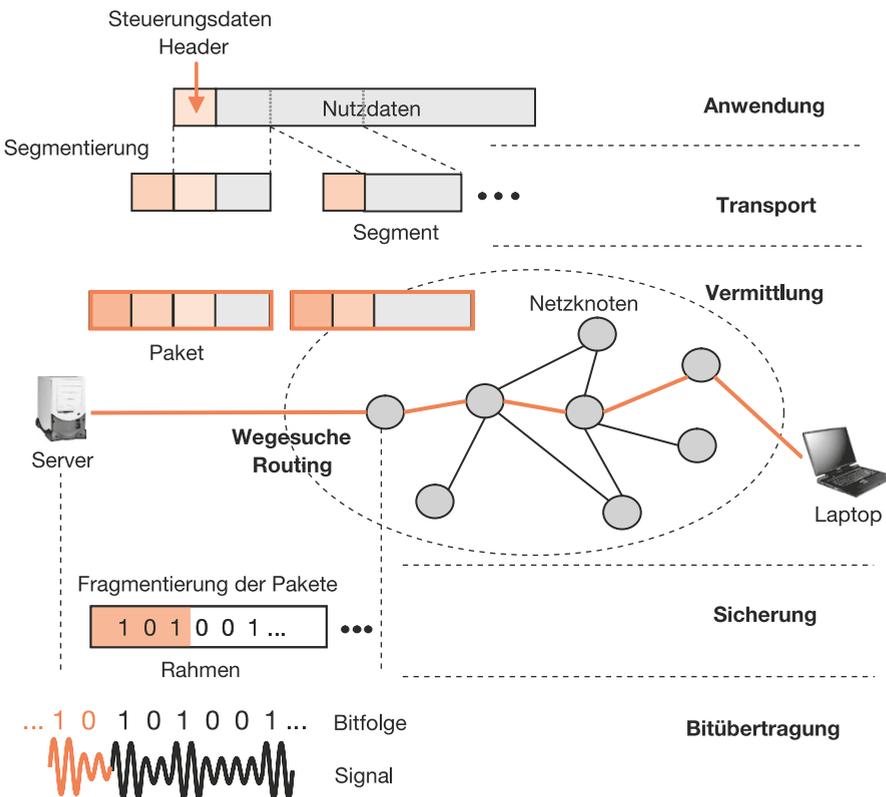


Bild 1.4 Beispiel für die Gliederung des Kommunikationsprozesses

Betrachtet man beispielsweise eine Internetseite, die über einen Laptop von einem Server abgerufen wird, so werden die zugehörigen Nutzdaten zunächst mit Steuerungsdaten versehen (Bild 1.4). Dazu gehören Informationen über den Server, das Datum der letzten Änderung der Seite, die Anzahl zu übertragender Nutzbytes und der Typ der Daten (Text, Bild, ...). Internetseiten mit vielen Bildern umfassen häufig ein Datenvolumen von mehreren Megabytes. Würde man diese Daten als Ganzes übertragen, so ist das Risiko groß, dass eines der Bytes fehlerhaft ist, und die ganze Datei müsste erneut übertragen werden. Um dies zu verhindern, zerlegt man die Datei in mehrere kleinere Dateneinheiten mit einer Größe von typischerweise 500...1500 Bytes. Den Prozess der Zerlegung nennt man *Segmentierung*, die einzelnen Dateneinheiten dementsprechend Segmente. Auch die Segmente werden mit Zusatz- bzw. Steuerungsdaten versehen; dazu gehören

- eine Nummerierung, um sie am Empfänger in der richtigen Reihenfolge zusammenzusetzen;
- die Art der transportierten Nutzdaten (Internetseite, E-Mail, Datei);
- eine Prüfsumme zur Fehlererkennung am Empfänger.

Die so «verpackten» Segmente werden im nächsten Schritt mit weiteren Steuerungsdaten wie z.B. der Adresse des Absenders und des Empfängers versehen. In dem betrachteten Beispiel handelt es sich um die Internetadressen der beteiligten Geräte. Auf Basis dieser Angabe und weiterer Steuerungsinformationen suchen die Vermittlungsstellen bzw. Router einen geeigneten Weg vom Server durch das Kommunikationsnetz bis zum Laptop.

Da einzelne Streckenabschnitte – z.B. eine Funkstrecke – sehr fehlerbehaftet sein können, nimmt auf den einzelnen Teilstrecken gesonderte Sicherungen vor. Die Datenpakete werden dazu verschiedentlich in noch kleinere Einheiten – die Datenrahmen (engl.: *frames*) zerlegt. Auch diese Rahmen erhalten Steuerungsdaten, die denen der Segmente ähneln. Die Sicherung erfolgt hier jedoch nicht über die gesamte Kommunikationsstrecke, sondern nur über einen einzelnen Streckenabschnitt. D.h., der direkte Empfänger prüft den Datenrahmen auf Korrektheit und fordert ihn im Fehlerfall vom vorangehenden Sender an.



Definition

Um die einzelnen Bits der Datenrahmen überhaupt übertragen zu können, muss man sie physikalischen Signalen, z.B. elektromagnetischen Wellen, aufprägen. Diesen Vorgang nennt man *Modulation*.

1.2.2 Die Aufgaben der OSI-Schichten

Bei dem Beispiel aus Bild 1.4 wurde der Kommunikationsprozess in fünf Schichten zerlegt. Für das OSI-Referenzmodell [24; 25] wurden 7 Schichten festgelegt, deren Aufgaben in diesem Abschnitt beschrieben werden sollen (Bild 1.5). Zu betonen ist, dass das OSI-Referenzmodell nur den Rahmen für die Standardisierung von Kommunikationssystemen bildet. In konkreten Kommunikationssystemen (siehe Kapitel

17 und 18) können die Schichten etwas anders festgelegt sein, es können Schichten fehlen, zusätzliche ergänzt werden oder eine Schicht ist in mehrere Teilschichten zerlegt. So hat sich z.B. im Bereich der Computernetze (siehe Kapitel 18) das 5-schichtige Modell durchgesetzt, bei dem die Sicherungsschicht in zwei Teilschichten untergliedert ist. Die Schichten 5 und 6 entfallen dabei bzw. werden in die Schichten 4 und 7 integriert (Bild 1.6).

Anwendungsschicht application layer	Anwendungsspezifische Funktionen einer Kommunikation (Bsp.: file-transfer, e-mail, remote-login)
Darstellungsschicht presentation layer	Festlegungen der Datenstrukturen für den Datenaustausch (Bsp.: ASCII, Unicode, Zahlendarstellungen)
Sitzungsschicht session layer	Aufbau / Steuerung von Kommunikationsverbindungen (Bsp.: Halb-Duplex)
Transportschicht transport layer	Übernahme der Daten, Weitergabe in ggf. kleineren Einheiten, Bestimmung der Art des Dienstes (Broadcast, Punkt zu Punkt)
Vermittlungsschicht network layer	Aufbau / Steuerung von Kommunikationsverbindungen Wegsteuerung der Datenflüsse im Netz
Sicherungsschicht data link layer	Sicherung gegen Übertragungsfehler Lösung des Mehrfachzugriffs
Bitübertragungsschicht physical layer	Festlegung der physikalischen Eigenschaften (Bsp.: Sendeleistung, Stecker, Kabel, Frequenz, Modulation)

Bild 1.5 Die Schichten des OSI-Referenzmodells

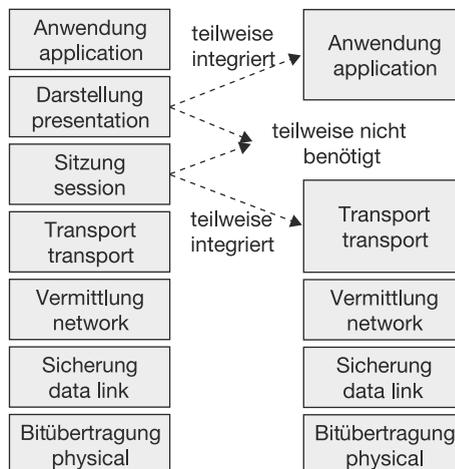


Bild 1.6 Vergleich zwischen einem 7- und einem 5-schichtigen Modell

An oberster Stelle (Schicht 7) steht wie im zuvor geschilderten Beispiel die Anwendungsschicht (*application layer*).

Anwendungsschicht – Application Layer

Diese Schicht liefert eine genaue Beschreibung des eigentlichen Telekommunikationsdienstes und seiner Nutzungsmöglichkeiten für den Teilnehmer. Es werden Konventionen für den Datenaustausch festgelegt, Anpassungen an unterschiedliche Typen von Endgeräten vorgenommen und verschiedentlich auch Verfahren für den Datenschutz bereitgestellt.

Typische Anwendungen sind:

- E-Mail (SMTP – simple mail transfer protocol)
- WWW (HTTP – HyperText transfer protocol)
- Filetransfer (FTP – File transfer protocol)
- Newsgroups
- Chats – chatrooms
- Remote access support

Darstellungsschicht – Presentation Layer

Die Darstellungsschicht befasst sich – wie der Name bereits andeutet – mit der Frage der Darstellung von Informationen, also z.B.

- Wie werden einzelne Zeichen codiert?
- Wie werden Sprache, Bilder oder Videos codiert?
- Welches Datei-Format wird verwendet?
- Welche Art der Datenkompression wird verwendet?

Sitzungsschicht – Session Layer

Die Sitzungsschicht steuert und überwacht die Kommunikation zwischen zwei Endgeräten. Eine Sitzung ist dabei die Phase vom Beginn des Kommunikationsprozesses bis zur Beendigung durch eines der beiden Endgeräte.

Transportschicht – Transport Layer

Die Transportschicht soll die zuverlässige Übertragung der Nutzdaten zwischen den beiden Endgeräten gewährleisten.

Wie bereits im vorangehenden Beispiel erwähnt, zerlegt sie dazu die Anwendungsdaten (Dateien) in kleinere Einheiten – die Segmente. Die Transportschicht überwacht mittels so genannter Prüfbits, ob ein Segment korrekt beim Empfänger eingetroffen ist. Ist dies nicht der Fall, so fordert der Empfänger das Segment erneut an. Der Sender wird also automatisch aufgefordert, ein Datenpaket zu wiederholen; man spricht daher von einem *ARQ-Verfahren*, wobei ARQ das Kürzel für *Automatic Repeat Request* ist.

Da die Segmente nummeriert sind, kann sie der Empfänger in der richtigen Reihenfolge wieder zu der ursprünglichen Datei zusammensetzen. Insgesamt muss die Transportschicht eine ausgehandelte Dienstqualität garantieren und dabei auf Fehler im Netz oder auf eine Netzüberlast reagieren (*congestion control*).

Vermittlungsschicht – Network Layer

Häufig sind die kommunizierenden Geräte nicht direkt miteinander verbunden, sondern die Kommunikation erfolgt indirekt über mehrere dazwischen liegende Stationen. In diesem Fall muss das Netz einen geeigneten Weg von der Ursprungs-

zur Zielstation suchen. Diese Wegesuche – auch *Routing* genannt – ist die Hauptaufgabe der Vermittlungsschicht.

Die weiterleitenden Stationen – die **Router** – müssen dazu die Adressen der umliegenden Stationen kennen und Informationen zum Auslastungsgrad der anderen Router bzw. der Verbindungsstrecken kennen. Prinzipiell können die einzelnen Segmente einer Datei unterschiedliche Wege nehmen. Insbesondere kann in einem Funksystem eine Neuwahl des Weges erforderlich sein, wenn sich die Stationen bewegen. Die Vermittlungsschicht befasst sich also mit folgenden Fragestellungen:

- Wie kann ein zuverlässiger Transport der Pakete von A nach B garantiert werden?
- Welches ist die effektivste Route durch das Netzwerk?
- Wie können Überlastungen in Netzteilen vermieden werden?
- Wie können Verkehrsstauungen aufgelöst werden?
- Wie müssen Abrechnungsfunktionen im Netz realisiert werden?

Sicherungsschicht – Data Link Layer, DLL

In der Sicherungsschicht werden folgende Fragestellungen behandelt und geklärt:

- Welcher Teilnehmer darf zu welcher Zeit wie lange übertragen?
- Wie kann die Übertragung gegen technische Fehler geschützt werden?
- Was macht man, wenn Fehler auftreten?
- Wie viele Bits gehören zu einem Rahmen und wo sind Ende und Anfang?
- Wie erfolgt die Flusssteuerung bei der Datenkommunikation, d.h., was geschieht, wenn der Empfänger überlastet ist?

Die erste Frage ist insofern wichtig, als dass z.B. bei Funksystemen oder Computernetzen mehrere Stationen ihre Daten über das gleiche Übertragungsmedium senden. Daher muss es Regeln geben, um Kollisionen weitgehend zu vermeiden.

In der Sicherungsschicht werden die Pakete der Vermittlungsschicht eventuell in kleinere Teile zerlegt, die man *Fragmente* nennt. Die Übertragung dieser Datenrahmen wird mittels eines ARQ-Verfahrens überwacht und gesteuert. Damit ergibt sich eine ähnliche Aufgabe wie in der Transportschicht. Während jedoch die Transportschicht für die Kontrolle der gesamten Strecke von der Ursprungs- zur Zielstation zuständig ist, überwacht die Sicherungsschicht nur jeweils eine Teilstrecke zwischen zwei benachbarten Stationen.

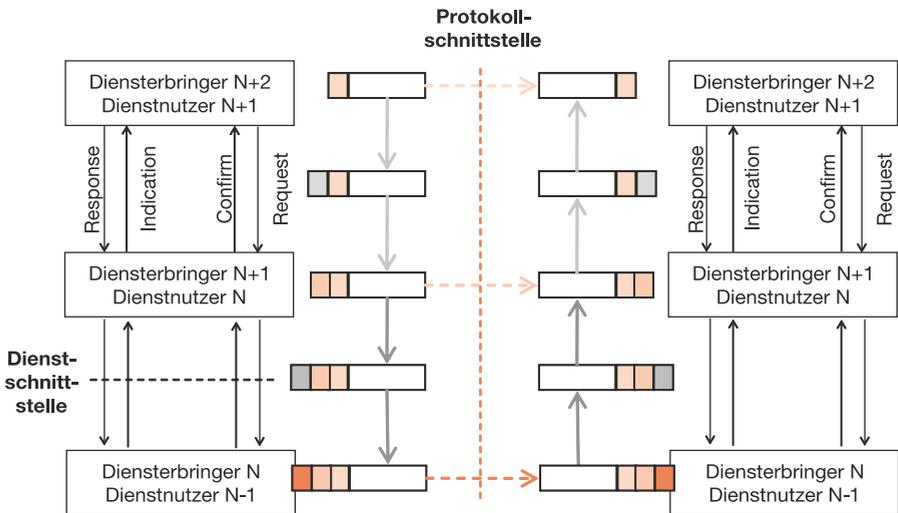
Bitübertragungsschicht – Physical Layer, PHY

In der Bitübertragungsschicht ist festgelegt, wie die einzelnen Bits eines Datenrahmens auf physikalische (elektrische, optische, ...) Signale abgebildet werden. Folgende Aspekte sind dabei zu spezifizieren:

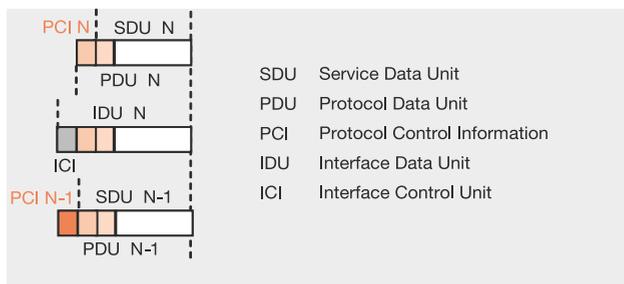
- Welches Übertragungsmedium soll genutzt werden (Kupferkabel, Glasfaser, Funk, ...)?
- Welcher Frequenzbereich wird verwendet?
- Welche Anschlussstecker werden genutzt?
- Mit welcher Sendeleistung wird gearbeitet?
- Wie werden die Bits auf Signale abgebildet (Modulationsverfahren)?
- Welche Datenrate liefert das Netzwerk («Wie lange dauert ein Bit»)?

1.2.3 Dienste, Protokolle und Datenfluss im OSI-Modell

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, hat jede Schicht ihre eindeutig festgelegten Aufgaben. Sie kann damit der darüber liegenden Schicht Dienste zur Verfügung stellen. Dieser Aspekt ist in Bild 1.7 illustriert. Die Schicht N ist der Dienstbringer für die Schicht N + 1 und die Schicht N + 1 der Dienstanwender von Schicht N. Der Dienstanwender fordert über eine Request-Meldung einen Dienst vom Dienstbringer an. So kann z.B. die Vermittlungsschicht die Sicherungsschicht auffordern, ein Datenpaket sicher zu übertragen. Das Datenpaket stellt die Service Data Unit dar. Diese wird zusammen mit Steuerungsinformationen (*Interface Control Information*) an die Sicherungsschicht übergeben. Diese weiß nun, wie sie zu handeln hat, entfernt das ICI-Feld und fügt ein neues Steuerungsfeld (*Protocol Control Information, PCI*) für die Partnerinstanz auf der Empfängerseite hinzu. SDU und PCI zusammen stellen die so genannte *Protocol Data Unit* dar. Die erfolgreiche Abwicklung des Dienstes quittiert die Schicht N mit einer Confirm-Meldung.



Request: (N+1)-Instanz fordert Dienst von N-Instanz an
 Confirm: N-Instanz bestätigt (N-1)-Instanz den erbrachten Dienst
 Indication: N-Instanz informiert (N+1)-Instanz über ein Ereignis
 Response: (N+1)-Instanz reagiert auf Indication von N-Instanz



SDU Service Data Unit
 PDU Protocol Data Unit
 PCI Protocol Control Information
 IDU Interface Data Unit
 ICI Interface Control Unit

Bild 1.7 Schnittstellen und Dateneinheiten im OSI-Modell

Dieser Prozess der Dienstanforderung setzt sich fort, bis er zur untersten Schicht – der Bitübertragungsschicht – angekommen ist, von der aus die Daten physikalisch an den Empfänger übertragen werden. Am Empfänger angekommen, läuft der Prozess in umgekehrter Reihenfolge: Steuerungsdaten werden Schicht für Schicht entfernt, und mit einer Indication-Meldung werden die jeweils verbleibenden Daten an die höhere Schicht übergeben. Eine andere Art einer Indication-Meldung ist z.B. ein Hinweis von der Sicherungsschicht an die Vermittlungsschicht, dass auf der Verbindungsstrecke viele Fehler aufgetreten sind, so dass die Vermittlungsschicht einen neuen Weg suchen kann.

Definition



Wie zwei benachbarte Schichten miteinander kommunizieren, wie Dienste abgerufen oder Ereignisse angezeigt werden, beschreibt die *Diensteschnittstelle*.

Datenfluss

Rein physikalisch erfolgt der Datenfluss in der Weise, wie er durch die roten Pfeile in Bild 1.8 angedeutet ist. Auf der Sendeseite versieht jede Schicht die ihr übergebenen Datenpakete mit Steuerungsinformationen (Adressen, Nummern, Prüfbits u.a.) und reicht sie an die darunter liegende Schicht weiter, die ihrerseits weitere Steuerungsinformationen hinzufügt. Auf der untersten Ebene angekommen, werden dann die einzelnen Bits über Funk (oder Kabel) an den Empfänger übertragen, der sie demoduliert und wieder zu den Fragmenten der Sicherungsschicht zusammensetzt. Am Empfänger interpretiert jede Schicht ihre Steuerungsdaten, veranlasst die entsprechenden Aktionen (z.B. Wiederholung von Fragmenten) und reicht die eigentlichen Daten an die nächsthöhere Schicht weiter. Um die Dateneinheiten in den einzelnen Schichten zu unterscheiden, spricht man von *Segmenten*, *Paketen*, *Frames* (*Rahmen*) bzw. *Bits*.

Physikalisch erfolgt zwar die Kommunikation zwischen benachbarten Schichten, logisch gesehen innerhalb einer Schicht, wie die gestrichelten Pfeile in Bild 1.8 andeuten. Vergleicht man den Prozess mit dem Austausch von Briefen, so kommuniziert der Empfänger des Briefes physikalisch mit dem Postboten (Diensterbringer), logisch jedoch mit dem Verfasser des Briefes.

Definition



Die Regeln, nach denen die Kommunikation innerhalb einer Schicht abläuft, nennt man ein *Protokoll*.

Ein Kommunikationsprotokoll legt fest:

- welche Arten von Meldungen (Datenpaketen) es gibt,
- wie deren Format ist
- und wie der Empfänger auf bestimmte Meldungen zu reagieren hat.

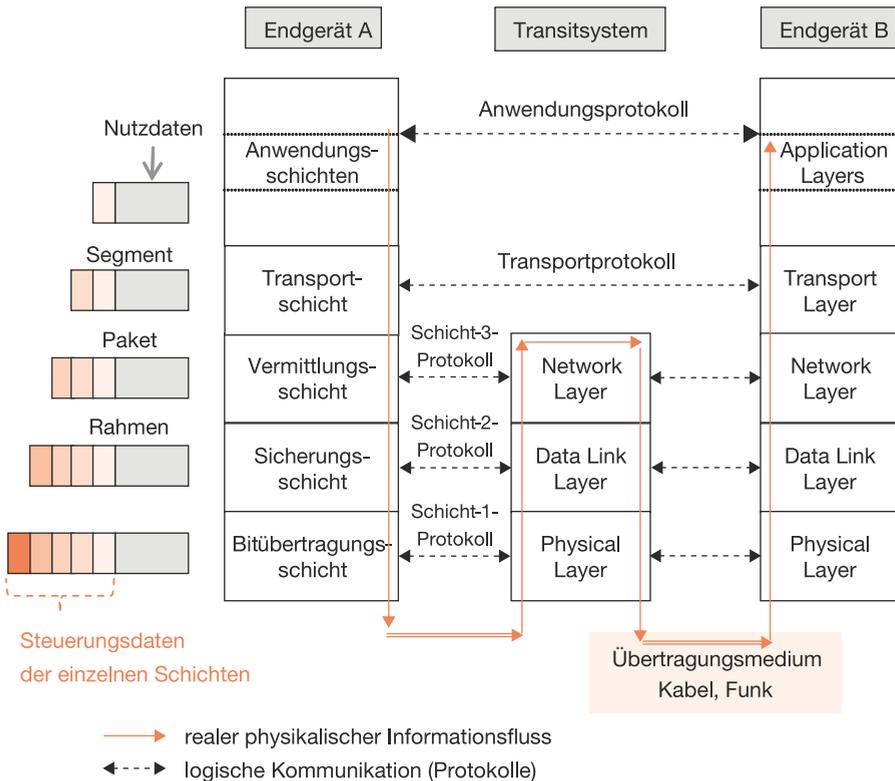


Bild 1.8 Datenfluss und Protokolle

Zu beachten ist, dass in den Transitsystemen – wie z.B. in den Vermittlungsstellen oder den Basisstationen bei Funksystemen – nur die untersten drei Schichten realisiert sind. Sie müssen keine anwendungsbezogenen Aufgabe erfüllen, so wie ein Briefträger auch nur die Adressen lesen muss (Vermittlungsschicht), aber nicht den Brief selbst (Anwendungsschicht).

1.3 Signale und Systeme

1.3.1 Beschreibung von Signalen

Wie zuvor beschrieben, werden die Nachrichten bzw. Informationen auf der untersten Schicht durch ein physikalisches Signal dargestellt.



Definition

Die physikalische Repräsentation einer Nachricht (oder ganz allgemein einer Information) ist das *Signal*. Das Signal selbst ist in der elektrischen Nachrichtentechnik ein zeitabhängiger Strom- oder Spannungsverlauf bzw. ein elektromagnetisches Feld.