

Gerhard Schnell (Hrsg.)
Bernhard Wiedemann (Hrsg.)

**Bussysteme in der
Automatisierungs-
und Prozesstechnik**

Gerhard Schnell (Hrsg.)
Bernhard Wiedemann (Hrsg.)

Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik

**Grundlagen, Systeme und Trends
der industriellen Kommunikation**

Mit 252 Abbildungen

6., überarbeitete und aktualisierte Auflage

Vieweg Praxiswissen



Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Verzeichnis der Autoren

Dr. rer. nat. Michael Lupik,	Pepperl+Fuchs, Mannheim
Dipl. Ing. Roland Bent,	PHOENIX CONTACT, Blomberg
Dipl. Ing. Manfred Brill,	Schneider Automation, Seligenstadt
Prof. Dr. Ing. Jörg Böttcher,	b-plus, Deggendorf
Dipl. Ing. Sven Achatz,	b-plus, Deggendorf
Dipl. Ing. Thomas Limbrunner,	b-plus, Deggendorf
Dipl.-Phys. Marc Goosens,	EIB Association, Brüssel
Dr. Ing. Thilo Heimbold,	Hochschule für Technik, Wirtschaft, Kultur, Leipzig
Dipl. Ing. Michael Kessler,	Pepperl+Fuchs, Mannheim
Dipl. Ing. Thomas Klatt,	P+F Kolleg, Mannheim
Prof. Dr. habil. Werner Kriesel,	Hochschule für Technik, Wirtschaft, Kultur, Leipzig
Dipl. Ing. Wolfgang Grote,	Fachhochschule Frankfurt am Main
Prof. Dr. Andreas Pech,	Fachhochschule Frankfurt am Main
Dipl. Ing. Alexander Stamm,	Fraunhofer IPA, Stuttgart
Dipl. Ing. Martin Buchwitz,	Jetter AG, Ludwigsburg
Dr. A. Schimmele,	Stahl, Künzelsau
Prof. Dr. Ing. Gerhard Schnell,	Fachhochschule Frankfurt am Main
Dr. Ing. Raimund Sommer,	Siemens, Karlsruhe
Dipl. Ing. Norbert Heinlein	Fachhochschule Frankfurt am Main
Prof. Dr. Ing. Jürgen Beuschel,	Fachhochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin
Dipl. Ing. Reinhard Simon,	Rockwell Automation, Haan-Grutten
Dipl. Ing. Anton Meindl,	B&R-Industrie-Elektronik, Eggelsberg (A)
Dr. Ing. Hans Endl,	Softing, Haar bei München
Dipl. Ing. Bernhard Wiedemann	Fa. Bihl + Wiedemann GmbH, Mannheim

1. Auflage 1994
- 2., überarbeitete und verbesserte Auflage 1996
- 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage 1999
- 4., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage 2000
- 5., überarbeitete und erweiterte Auflage Januar 2003
- 6., überarbeitete und aktualisierte Auflage Februar 2006

Alle Rechte vorbehalten

© Friedr. Vieweg & Sohn Verlag | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2006

Lektorat: Reinhard Dapper

Der Vieweg Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.

www.vieweg.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Umschlaggestaltung: Ulrike Weigel, www.CorporateDesignGroup.de

Technische Redaktion: Hartmut Kühn von Burgsdorff

Druck und buchbinderische Verarbeitung: MercedesDruck, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Germany

ISBN 3-8348-0045-7

Vorwort

Es kann kein Zweifel darüber bestehen, daß Bussysteme im allgemeinen und speziell in der Automatisierungstechnik ein aktuelles Thema sind, mit dem sich jeder dort Tätige und Verantwortliche beschäftigen muß. Dabei ergibt sich zwangsläufig eine Fülle von Fragen, die wir mit diesem Lehrbuch hoffen, ausführlich und erschöpfend beantworten zu können.

Der Leser möge sich anhand des Inhaltsverzeichnisses eine Übersicht über das Gebotene verschaffen.

Das Buch stammt aus der Feder verschiedener Autoren, was den Vorteil bietet, daß für jedes Teilgebiet Experten zu Worte kommen. Der Herausgeber hofft, daß der Leser daraus resultierende gelegentliche Überschneidungen toleriert oder sogar begrüßt, da das Buch vermutlich oft im „Seiteneinstieg“ gelesen wird und daß er die verschiedenen Darstellungsstile als anregend empfindet.

Den Autoren dankt der Herausgeber für ihre neben der täglichen Arbeit erbrachte Zusatzleistung und die Geduld, mit der sie den der homogenen Darstellung dienenden Änderungswünschen nachgekommen sind. Manches wurde auch bewußt stehen gelassen, wie z.B. der Begriff „Aktuator“, obwohl dieser wörtlich übersetzte Zungenbrecher zu seinem Gegenstück Sensor viel schlechter paßt wie das Wort „Aktor“.

Schließlich ist es dem Herausgeber eine angenehme Pflicht, den nachfolgenden Personen seinen Dank auszusprechen:

- Der Geschäftsleitung des Hauses Pepperl + Fuchs, deren Herrn Dipl. Ing. D. Bihl, Dipl. Kaufmann M. Fuchs und C. Michael für die generelle Unterstützung des Buches,
- Herrn Dipl. Ing. W. Dose, Geschäftsführer der P+F Kolleg GmbH, für die Unterstützung durch seine Organisation bei der Zusammenführung von Texten und Bildern,
- Frau L. Gaumert für ebendiese Arbeit,
- Herrn E. Klementz vom Verlag Vieweg für die langjährige und erfolgreiche Zusammenarbeit,
- Frau H. Schnell, der auch bei diesem Buch die Geduld nicht ausgegangen ist.

Möge das Buch in Industrie und Hochschule allen Lesern eine ergiebige und zuverlässig sprudelnde Informationsquelle sein.

Vorwort zur 3. Auflage

Diese Auflage wurde nicht nur aktualisiert, wie dies die Dynamik der industriellen Kommunikation erfordert, sondern auch um einige Beiträge erweitert. Auch wurde an manchen Stellen nochmals an der Darstellung gefeilt. So legt der Herausgeber die dritte Auflage der Fachwelt vor in der Hoffnung, es möge sich auch weiterhin als nützliche und zuverlässige Informationsquelle im Bereich der Grundlagen und Anwendungen erweisen. Den Fachautoren aus der Industrie dankt der Herausgeber für ihre neben der Tagesarbeit

erbrachte schriftstellerische Zusatzarbeit und Lektorat und Herstellung für die Mühe und Sorgfalt bei der Realisierung der vielen Änderungswünsche.

Frankfurt am Main, im Oktober 1998

Prof. Dr. *G. Schnell*

Vorwort zur 4. Auflage

Reges Leserinteresse und fortdauernder Wandel in der industriellen Kommunikationstechnik erforderten in relativ kurzer Zeit die vorliegende, aktualisierte 4. Auflage. Verschiedene Kapitel wurden vollkommen neu gefasst (z.B. AS-I, Profibus, Normen, Foundation Field Bus), neue Kapitel kamen hinzu (z.B. FISCO, JetWeb, Anwendungsbeispiele).

Ich danke allen Koautoren für ihre Mitarbeit, die sie neben ihrer beruflichen Arbeit erbrachten, allen Lesern, die mir Zustimmung und Vorschläge zukommen liessen, für diese und Herrn H. Kühn von Burgsdorff vom Verlag für seine Geduld und Sorgfalt, mit der er alle Korrekturen, Erweiterungen und Änderungen integriert hat.

Frankfurt am Main, im Oktober 2000

Prof. Dr. *G. Schnell*

Vorwort zur 5. Auflage

Die rege Nachfrage der Leser und auch der nicht enden wollende Wandel in der industriellen Kommunikationstechnik erforderten diese 5. Auflage. Das Buch wurde aktualisiert in den Kapiteln LON (völlig neu verfasst), Schneider Automation Bussysteme (völlig neu verfasst) und JetWeb (ersetzt durch IDA: Ethernet, Web und verteilte Intelligenz).

Neu hinzu kamen die Abschnitte über Rockwell-Bussysteme, Ethernet in der Automatisierung und Echtzeit-Ethernet. Erfreulicherweise haben sich wieder Fachleute der vordersten Front zur Mitarbeit bereit erklärt, wofür ihnen der Herausgeber an dieser Stelle seinen grossen Dank ausspricht. Dass daraus sich manchmal die doppelte Behandlung eines Aspektes ergibt, möge der Leser als nützliche Redundanz tolerieren.

Dank gebührt auch Herrn Kühn von Burgsdorff im Vieweg Verlag, der mit großer Geduld wieder ein im Layout ansprechendes Buch geschaffen hat.

Frankfurt am Main, im Herbst 2002

Prof. Dr. Ing. *Gerhard Schnell*

Vorwort zur 6. Auflage

Diese 6. Auflage wurde auf Wunsch vieler Leser um ein Kapitel „PC-Busse“ (USB und Firewire) ergänzt. Daneben wurden einige Aktualisierungen von Herrn Dipl. Ing. B. Wiedemann vorgenommen, der, mitten im aktuellen Bus-Geschäft stehend, sich dankenswerterweise bereit gefunden hat, ab dieser Auflage als Mitherausgeber zu fungieren.

Allen Lesern, die mitgeholfen haben, durch Eliminierung der letzten Druckfehler und sonstige Verbesserungsvorschläge dieses Buch noch informativer zu machen, sei herzlich gedankt.

Stuttgart, im Herbst 2005

Prof. Dr. Ing. *Gerhard Schnell*

Inhaltsverzeichnis

1 Technische Grundlagen	1
1.1 Netzwerktopologien	1
1.1.1 Zweipunktverbindungen	1
1.1.2 Zweipunktverbindungen mit Multiplexer	2
1.1.3 Bus-Struktur	3
1.1.4 Baumstruktur	5
1.1.5 Ringstruktur	6
1.1.6 Sternstruktur	7
1.2 Kommunikationsmodelle	8
1.2.1 Das ISO/OSI-Referenzmodell	8
1.2.1.1 Allgemeines	8
1.2.1.2 Die physikalische Schicht oder Bitübertragungsschicht	9
1.2.1.3 Die Sicherungsschicht	9
1.2.1.4 Die Netzwerkschicht	11
1.2.1.5 Die Transportschicht	12
1.2.1.6 Die Sitzungsschicht	13
1.2.1.7 Die Darstellungsschicht	13
1.2.1.8 Die Anwendungsschicht	14
1.2.1.9 Dienste für die Kommunikation zwischen den Schichten	14
1.2.1.10 Beispiel: Ablauf einer Kommunikation im OSI-Modell	15
1.2.2 Das TCP/IP-Protokoll	16
1.3 Buszugriffsverfahren	19
1.3.1 Master/Slave-Verfahren	19
1.3.2 Token-Prinzip	22
1.3.3 Token-Passing	24
1.3.4 CSMA	25
1.3.5 CSMA/CA	27
1.3.6 Busarbitration	28
1.4 Datensicherung	30
1.4.1 Einleitung	30
1.4.2 Fehlerarten	30
1.4.3 Einige grundlegende Beziehungen	31
1.4.3.1 Bitfehlerrate	31
1.4.3.2 Wiederholung einer Übertragung	31
1.4.3.3 Restfehlerrate	32
1.4.3.4 Hamming-Distanz	32
1.4.3.5 Telegrammübertragungseffizienz	33
1.4.4 Einige Strategien der Fehlererkennung	34
1.4.4.1 Paritätsbit	34

1.4.4.2	Blocksicherung.....	35
1.4.4.3	CRC.....	36
1.4.5	Datenintegritätsklassen	39
1.4.6	Telegrammformate.....	40
1.4.6.1	Telegramm mit Paritätsbit.....	40
1.4.6.2	Telegramm mit CRC	41
1.5	Telegrammformate	43
1.5.1	Das HDLC-Protokoll	43
1.5.2	UART	46
1.5.3	PROFIBUS-Norm EN 50 170 Teil 2	47
1.5.4	HART-Protokoll	48
1.5.5	Token-Telegramm.....	51
1.6	Binäre Informationsdarstellung.....	52
1.6.1	NRZ, RZ	52
1.6.2	Bipolar-Kodierung, HDB _n -Kodierung.....	53
1.6.3	NRZI.....	54
1.6.4	AFP.....	54
1.6.5	Manchester-II-Kodierung	55
1.6.6	FSK, ASK, PSK.....	56
1.7	Übertragungsstandards.....	57
1.7.1	RS 232-, V.24-Schnittstelle	57
1.7.2	RS 422-Schnittstelle	59
1.7.3	RS 485-Schnittstelle	59
1.7.4	20 mA-Stromschleife.....	62
1.7.5	IEC 61158-2, FISCO-Modell	63
1.8	Leitungen und Übertragungsarten.....	69
1.8.1	Übersicht über die Leitungsarten	69
1.8.2	Paralleldrahtleitung	69
1.8.3	Koaxialleitung.....	73
1.8.4	Lichtwellenleiter (LWL).....	76
1.8.5	Übertragungsarten.....	77
1.8.5.1	Basisbandübertragung	77
1.8.5.2	Trägerfrequenzübertragung.....	77
1.8.5.3	Breitbandübertragung.....	78
1.9	Verbindung von Netzen	79
1.9.1	Repeater	79
1.9.2	Bridges.....	80
1.9.3	Router	82
1.9.4	Gateways.....	84
1.10	Feldbusankopplung an Host-Systeme	86
1.10.1	Grundlagen	86
1.10.2	SPS-Ankopplung	86
1.10.2.1	Feldbusfunktionen auf Kommunikations-Baugruppen	86
1.10.2.2	Software-Schnittstelle	87
1.10.2.3	Einheitliche Programmierung mit IEC 1131.....	88
1.10.3	PC-Ankopplung	89

1.10.3.1	Hardware-Aspekte.....	89
1.10.3.2	Techniken des Anwenderzugriffs	90
1.10.4	Controller-Ankopplung	93
1.10.5	Ankopplung an höhere Netze über Gateways.....	94
1.10.6	Host-Zugriffe unter MMS.....	94
1.11	Buszykluszeiten.....	97
1.11.1	Deterministische Bussysteme.....	97
1.11.2	Nichtdeterministische Bussysteme.....	99
2	Netzwerkhierarchien in der Fabrik- und Prozessautomatisierung	101
2.1	Übersicht und Spezifik der Kommunikation in der Automatisierung.....	101
2.2	Managementebene.....	109
2.3	Prozesselebene	111
2.3.1	ETHERNET für den Industrieinsatz	113
2.3.2	Aufgaben von TCP/IP sowie Echtzeitfähigkeit	114
2.3.3	Anwendungsschicht ALI/ API.....	118
2.3.4	ETHERNET-Anwendung in der Feldbustechnologie.....	119
2.4	Feldebene (Feldgerät – SPS).....	120
2.4.1	Anforderungen an einen Feldbus auf der Systemebene.....	120
2.4.2	Schlussfolgerungen	122
2.4.3	Stand und Entwicklungstendenzen	123
2.4.4	Datenübertragung mit Lichtwellenleitern	124
2.4.5	Feldbussystem in Doppelringstruktur	128
2.5	Sensor-Aktor-Ebene.....	132
2.5.1	Anforderungen im Sensor-Aktor-Bereich.....	132
2.5.2	Industrielösungen für Sensor-Aktor-Bussysteme:	135
3	Feldbusnormung	141
3.1	Internationale Normungsarbeit.....	141
3.1.1	IEC-Feldbus	143
3.2	Europäische Normungsarbeit	145
4	Beispiele ausgeführter Bussysteme	151
4.1	Sensor/Aktor-Busse.....	151
4.1.1	AS-Interface – Aktuator/Sensor-Interface	151
4.1.2	Das EIB-System für die Heim- und Gebäudeelektronik.....	166
4.2	Feldbusse.....	177
4.2.1	Der Bitbus	177
4.2.2	PROFIBUS	182
4.2.2.1	Das PROFIBUS-Konzept.....	182
4.2.2.2	Schicht 1 – Übertragungstechnik	184
4.2.2.3	Schicht 2 – Datenübertragungsschicht	185
4.2.2.4	PROFIBUS-FMS	189
4.2.2.5	PROFIBUS-DP	194
4.2.2.6	PROFIBUS Konfiguration	196
4.2.2.7	PROFIBUS Profile.....	197

4.2.2.8	PROFIBUS PA – Feldbus für die Prozessautomation	198
4.2.2.9	Das PROFISafe-Profil.....	205
4.2.2.10	Anwendung von PROFIBUS als Remote I/O in der Prozessautomation.....	205
4.2.3	Interbus	209
4.2.4	IDA: Ethernet, Web und verteilte Intelligenz	218
4.2.4.1	IDA-Architektur – das Objektmodell.....	219
4.2.4.2	Das IDA-Kommunikationsmodell	220
4.2.4.3	Kommunikation in Echtzeit	220
4.2.4.4	Safety Integrated	221
4.2.4.5	IDA und Modbus TCP/IP	224
4.2.4.6	Web-Technologien bei IDA.....	224
4.2.5	Industrielle Kommunikation von Schneider Electric.....	226
4.2.5.1	Serieller Feldbus (SFB).....	228
4.2.5.2	Modbus Plus.....	229
4.2.5.3	Transparent Ready™	231
4.2.6	SIMATIC NET – Industrielle Kommunikation von Siemens.....	235
4.2.6.1	Industrial Ethernet – Das Netz für Produktion und Büro.....	237
4.2.6.2	PROFIBUS – der Feld- und Zellenbus bei SIMATIC NET	242
4.2.6.3	AS-Interface – der Aktor-Sensor-Bus bei SIMATIC NET..	246
4.2.7	LON	248
4.2.7.1	LON-Gerät	249
4.2.7.2	LonWorks-Protokoll	252
4.2.7.3	Funktionsprofile für LON-Geräte	262
4.2.7.4	LON-übergreifende Kommunikation.....	262
4.2.7.5	Netzwerk-Management und Tools.....	263
4.2.8	WorldFIP	264
4.2.8.1	Physikalische Ebene.....	264
4.2.8.2	Übertragungsschicht.....	265
4.2.8.3	Telegrammaufbau	268
4.2.8.4	Anwendungsschicht	269
4.2.9	P-NET	270
4.2.10	CAN	279
4.2.11	Foundation Fieldbus	288
4.2.12	CIP-basierende Industrienetzwerke	294
4.2.12.1	DeviceNet.....	295
4.2.12.2	ControlNet.....	302
4.3	Industrial Ethernet.....	308
4.3.1	Industrial Ethernet – was ist das eigentlich?.....	308
4.3.2	Grundlegende Informationen zu Ethernet.....	308
4.3.3	Ethernet im Vergleich zu modernen Feldbussystemen	313
4.3.4	Die wichtigsten Realisierungen	318
4.3.4.1	FOUNDATION™ Fieldbus High Speed Ethernet.....	318
4.3.4.2	PROFINet	321
4.3.4.3	Ethernet/IP	325
4.3.4.4	Ein „hartes“ Echtzeit-Ethernet: Powerlink.....	329

4.4	Peripheriebusse am PC.....	339
4.4.1	Vergleich USB – Firewire	339
4.4.2	USB.....	341
5	Weitverkehrsnetze	345
5.1	ISDN	345
5.2	DATEX-L	349
5.3	DATEX-P.....	350
5.4	TEMEX.....	354
6	Installationsbeispiele aus der Bus-Praxis	357
6.1	Verbindung von Feldgeräten über PROFIBUS und OPC mit Anwendersoftware	357
6.1.1	Kurze Einführung in OPC.....	357
6.1.2	Die Aufgabe: PROFIBUS an Visualisierungssoftware.....	358
6.1.3	Konfiguration des PROFIBUS	359
6.1.4	Konfiguration des OPC-Servers	359
6.1.5	SCADA-Projekt und OPC-Konfiguration	361
6.2	Prozesssteuerung über das Internet-Netzwerk	364
6.2.1	Das Problem.....	364
6.2.2	Erstellung der LabView-Applikation.....	365
6.2.3	Internetanbindung	367
6.2.4	Die Konfiguration des HTTP-Servers.....	370
6.3	Konfiguration ASI/Interbus-Gateway an Interbus	371
6.3.1	Aufbau der Bus-Systeme	371
6.3.2	Konfiguration des AS-I.....	373
6.3.3	Kommunikation des AS-I/Interbus-Gateway mit dem Interbus.....	373
6.3.3.1	Interbustelegramm des Gateways.....	374
6.3.3.2	Nutzdaten des Gateways	374
6.3.3.3	Funktion und Bedeutung von Steuer- und Statuswort	375
6.3.4	Die sw-Verknüpfung Interbus/AS-I.....	376
6.3.4.1	Konfiguration der Modicon SPS	376
6.3.4.2	Variablendeklaration	377
6.3.4.3	Kommunikationsablauf	378
6.4	Die Verbindung einer SPS mit dem PROFIBUS DP	380
6.4.1	S7-Projekt	380
6.4.2	Konfiguration der S7-Station.....	381
6.4.3	Kommunikation zwischen CPU und CP	384
6.4.4	Programmbeispiel	385
7	Datenblätter	387
7.1	AS-I (Aktuator/Sensor-Interface)	387
7.2	EIB (European Installation Bus)	388
7.3	Bitbus	389
7.4	PROFIBUS.....	390
7.4.1	PROFIBUS-FMS	390

7.4.2 PROFIBUS-DP	391
7.4.3 PROFIBUS-PA	392
7.5 Interbus	393
7.6 Schneider Automation Bussysteme	394
7.6.1 SFB (Systemfeldbus)	394
7.6.2 Modbus Plus	394
7.6.3 Transparent Ready	395
7.7 SIMATIC NET	396
7.7.1 AS-Interface	396
7.7.2 PROFIBUS	396
7.7.3 Industrial Ethernet	396
7.8 LON (Local Operating Network)	397
7.9 Flux Information Processus (FIP)	398
7.10 P-Net	399
7.11 CAN (Controller Area Network)	400
7.12 Foundation Field Bus	401
7.13 ARCNET	402
7.14 Gigabit Ethernet	403
7.15 ATM (Asynchronous Transfer Mode)	404
7.16 Eigensichere Feldbusse	405
7.16.1 PROFIBUS PA (siehe 7.4.2)	405
7.16.2 ICS MUX (RS 485)	405
7.16.3 PROFIBUS (DP) Ex-i	406
7.17 Rockwell Automation Bussysteme	407
7.17.1 DeviceNet	407
7.17.2 ControlNet	408
7.17.3 EtherNet/IP	409
Sachwortverzeichnis	411

1 Technische Grundlagen

1.1 Netzwerktopologien

Um beliebige Prozesse effektiver gestalten zu können, ist es notwendig, dass die Einheiten, die den Prozess überwachen bzw. steuern, untereinander Informationen austauschen. Dabei ist es unerheblich, ob es sich bei den Überwachungseinrichtungen um technische Geräte wie z.B. Rechner oder SPS-Geräte oder um Menschen handelt.

Verknüpft man Rechner, SPS-Geräte etc. derart miteinander, dass über die entstehenden Verbindungsleitungen Informationen übertragen werden können, entsteht ein Netzwerk. Unter dem Begriff Netzwerktopologie versteht man zum einen die geometrische Anordnung der Teilnehmer im Netzwerk und zum anderen die logische Anordnung der Teilnehmer, unabhängig von der Geometrie.

Im folgenden soll auf die unterschiedlichen geometrischen Anordnungsmöglichkeiten eingegangen werden.

1.1.1 Zweipunktverbindungen

Die einfachste Möglichkeit, Daten auszutauschen besteht darin, genau zwei Kommunikationspartner über eine Leitung miteinander zu verbinden, wie z.B. bei einer Gegenprechanlage, einem Modem oder der Verbindung zwischen PC und Drucker. Die notwendige Steuerung eines Kommunikationsprozesses ist einfach über Steuer-, Melde- und Taktleitungen zu realisieren (Handshake-Betrieb).

Werden mehrere Teilnehmer mit Zweipunktverbindungen verknüpft, entsteht ein vermaschtes Netz nach **Bild 1.1**.

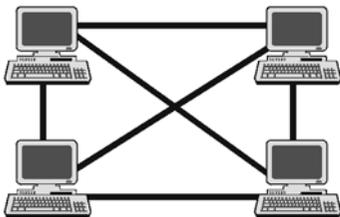


Bild 1.1
Prozesskommunikation/Vermaschtes Netz

Bei dieser Topologie besteht zwischen zwei kommunizierenden Teilnehmern eine Zweipunktverbindung. Dabei werden bei n Teilnehmern $(n-1)$ Schnittstellen pro Teilnehmer und $\binom{n}{2}$ Verbindungsleitungen benötigt. Daraus resultiert, dass die Kosten einer solchen Topologie sehr hoch sind.

Im Falle eines Fehlers würde entweder nur ein Teilnehmer oder nur ein Kommunikationskanal ausfallen, und die Diagnose wäre sehr einfach.

1.1.2 Zweipunktverbindungen mit Multiplexer

Soll eine Zweipunktverbindung von mehr als zwei Teilnehmern benutzt werden, müssen Maßnahmen getroffen werden, die eine gegenseitige Signalbeeinflussung und damit eine Zerstörung der Signale verhindern. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, stellt das Zeitmultiplex-Verfahren, eine andere Möglichkeit das Frequenzmultiplexverfahren dar. Wird das Zeitmultiplex-Verfahren angewendet, spricht man von einer Basisbandübertragung, da hier das unmodulierte Signal im Frequenzband von 0 Hz bis zur Grenzfrequenz des Trägermediums zur Verfügung steht.

Bei Verwendung des Frequenzmultiplex-Verfahrens wird ein moduliertes Signal mit einer definierten Bandbreite übertragen.

Das Prinzip des Zeitmultiplexverfahrens ist in **Bild 1.2** dargestellt.

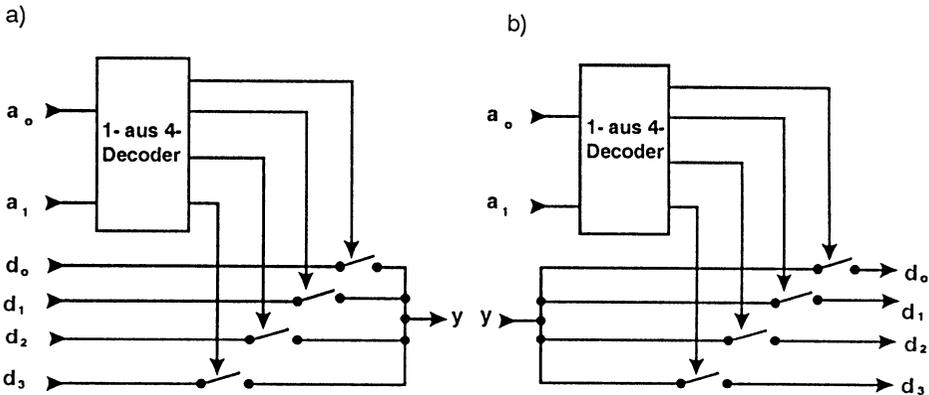


Bild 1.2 Prinzipielle Funktionsweise eines a) Multiplexers, b) Demultiplexers

Im Multiplexer (MUX) werden mit Hilfe der Steuersignale a_0 und a_1 die Daten $d_0... d_3$ nacheinander auf die Übertragungsleitung y geschaltet. Damit wird jedem der vier Teilnehmer ein Zeitschlitz zugeteilt, in dem er seine Übertragung vornehmen kann. Der Demultiplexer (DEMUX) sorgt mit Hilfe der selbsterzeugten Steuersignale a_0 und a_1 dafür, dass die seriell empfangenen Daten wieder auf die Datenleitungen $d_0... d_3$ geschaltet werden. Um dies problemlos realisieren zu können, müssen beide 1- aus 4-Decoder synchron laufen. Dies wird dadurch erreicht, dass zu Beginn jeder Übertragungsperiode ein Synchronisationssignal über die Datenleitung gesendet wird.

In der oben gewählten Darstellung ist die Anordnung nur für den sog. Simplexbetrieb geeignet. Darunter versteht man die Nachrichtenübertragung ausschließlich in eine Richtung.

Der Multiplexer und der Demultiplexer unterscheiden sich vom Funktionsprinzip her nicht. Um einen bidirektionalen Datenaustausch zu ermöglichen benötigt man nur eine

MUX/DEMUX Einrichtung, bei der zwischen „kommender“ und „gehender“ unterscheiden kann. Eine solche Einrichtung ist dann Halbduplex-fähig, dass heißt, dass Daten nacheinander in beide Richtungen übertragen werden können. In der industriellen Praxis wird das Multiplexverfahren sehr häufig in Verbindung mit dem HART-Protokoll (siehe Kap. 1.5.4) in Form von sog. HART-Multiplexern eingesetzt. Diese sorgen dafür, dass eine Punkt-zu-Punkt Verbindung zwischen einer Anzeige und Bedienkomponente und einem HART-fähigen Feldgerät hergestellt wird. Über Hart-Multiplexer können bis zu 7936 Verbindungsmöglichkeiten verwaltet werden.

Beim Frequenzmultiplex-Verfahren wird der Übertragungskanal in voneinander unabhängige Frequenzbänder mit definierter Bandbreite eingeteilt. Damit besteht die Möglichkeit, mehrere Signale gleichzeitig bidirektional zu übertragen. Diese Vorgehensweise eignet sich zur Vollduplex-Übertragung.

Als Modulationsarten eignen sich Amplituden-, Frequenz- und Phasenmodulation. Der Vorteil liegt in der optimalen Nutzung des Übertragungsmediums. Da die zur Modulation benötigten Baugruppen relativ teuer sind, findet diese Breitbandübertragung ihre Anwendung hauptsächlich in sog. Weitverkehrsnetzen (*Wide Area Networks, WAN*).

1.1.3 Bus-Struktur

Bei der Bus-Struktur, auch Linienstruktur genannt, kommunizieren alle Teilnehmer über eine gemeinsame Leitung (**Bild 1.3**).

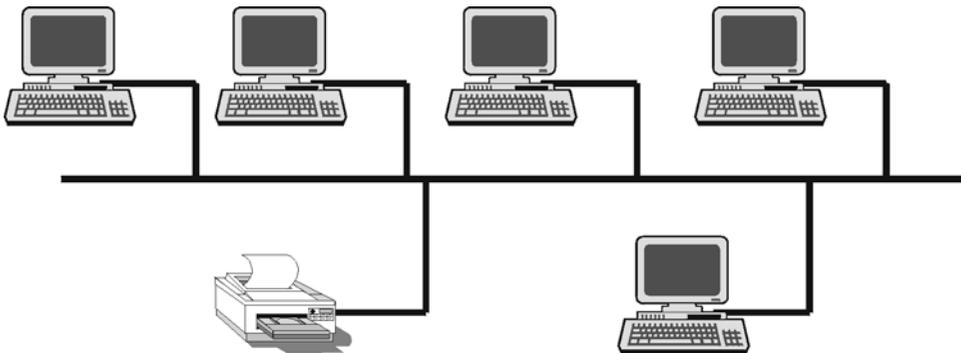


Bild 1.3 Linienstruktur

Die Anbindung der Teilnehmer an das Buskabel geschieht über kurze Stichleitungen (Droptaste). Dadurch wird der Kabelaufwand, verglichen mit dem vermaschten Netz, erheblich reduziert. Jeder Teilnehmer benötigt hier nur noch eine Schnittstelle, um mit einem beliebigen, an den Bus angeschlossenen Teilnehmer kommunizieren zu können. Hier entsteht allerdings das Problem, dass immer nur ein Teilnehmer zu einem bestimmten Zeitpunkt senden darf. Damit werden Regeln notwendig, die das Zugriffsrecht auf den Bus festlegen, sog. Buszugriffsverfahren.

Bei Verwendung der Bus-Struktur treten folgende Probleme auf.

1. Da ein beliebiger Datenverkehr gefordert ist, müssen alle Teilnehmer jede Sendung „mithören“. Dadurch wird bei steigender Teilnehmerzahl der Sender immer stärker belastet, da die Empfänger parallel geschaltet sind.
2. Die Übertragungsstrecken für Feldbussysteme liegen häufig in einem Bereich von wenigen hundert Metern, in der Prozessautomatisierung manchmal auch im Kilometerbereich. Damit ist die Leitungslänge nicht mehr vernachlässigbar klein gegenüber der zu übertragenden Wellenlänge. Damit muss die Busleitung an beiden Enden mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossen werden, um Reflexionen auf der Leitung zu vermeiden, die die Signalqualität erheblich beeinflussen könnten. Dieser Abschlusswiderstand belastet ebenfalls den Sender.

Die hier angeführten Gründe haben zur Folge, dass die Teilnehmerzahl an einer Busleitung begrenzt ist. In der Regel sind dies 32 Teilnehmer pro Bussegment. Manche Feldbussysteme verzichten bewusst auf Abschlusswiderstände (z.B. AS-Interface). Dies hat zur Folge, dass Reflexionen an den Leitungsenden auftreten. Um einen negativen Einfluss auf die Signalqualität zu vermeiden, wird die max. Leitungslänge, wie im Falle AS-Interface, begrenzt. In einem solchen Fall gilt:

$$l \leq \lambda_{\max} \div 10$$

mit l = maximale Leitungslänge, λ maximal auftretende Wellenlänge.

Ein weiteres Problem soll mit **Bild 1.4** verdeutlicht werden.

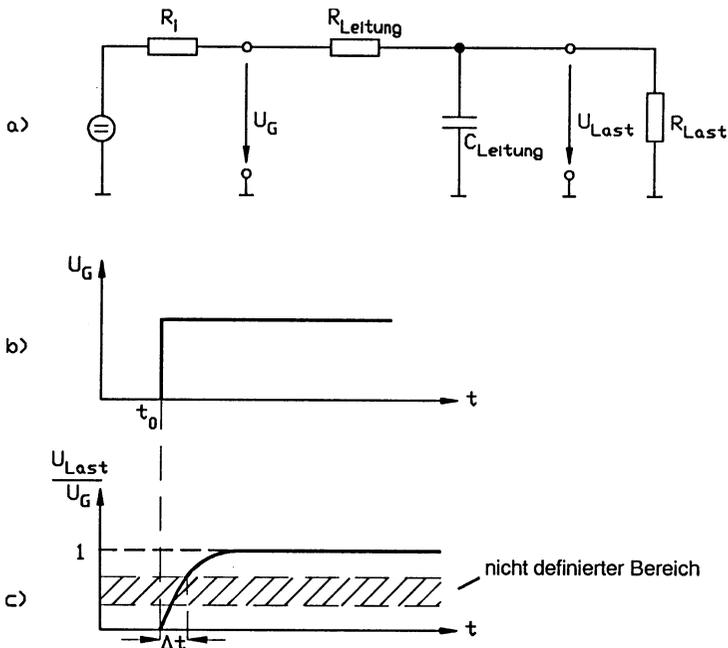


Bild 1.4 Impulsverzerrung auf einer Leitung: a) Ersatzschaltbild der Anordnung b) Ausgangsspannung des Generators c) Empfängerspannung

Ausgehend von einer Leitung mit vernachlässigbarem Induktivitäts- und Leitwertbeleg, stellt diese ein einfaches RC-Glied dar. Dabei sind der Leitungswiderstand R_{Leitung} und die Leitungskapazität C_{Leitung} von der Leitungslänge abhängig.

Erzeugt der Sender zum Zeitpunkt t_0 einen Spannungssprung, so hat die Spannung U_{Last} einen exponentiellen Verlauf. Die Zeitkonstante und damit die Steigung der Funktion zum Zeitpunkt t_0 wird durch R_{Last} , R_{Leitung} , R_i und C_{Leitung} bestimmt. Damit der Empfänger eine Änderung des logischen Zustandes akzeptiert, muss die Spannung U_{Last} den nichtdefinierten Bereich komplett durchlaufen. Dazu wird die Zeit Δt benötigt, die von den Kabelkennwerten abhängig ist. Wird die Leitung verlängert, steigen der Widerstands und Kapazitätswert der Leitung, was zur Folge hat, dass auch Δt größer wird. Ist nun die maximal auftretende Frequenz

$$f_{\text{max}} \geq 1/\Delta t,$$

hat dies zur Folge, dass die Spannung U_{Last} den nichtdefinierten Bereich nicht mehr komplett durchlaufen kann. Damit kann der Empfänger den Wechsel des logischen Zustandes nicht mehr registrieren.

In der Praxis hat dies zur Konsequenz, dass die maximale Übertragungsrate und die maximale Leitungslänge miteinander verknüpft sind. So lässt z.B. der PROFIBUS bei einer Übertragungsrate von 93,75 Kbd eine Leitungslänge von 1200 m zu, während bei einer Übertragungsrate von 500 Kbd nur noch 400 m realisierbar sind und bei 12 Mbd beträgt die maximale Leitungslänge noch 100 m.

Höhere Übertragungsraten und Leitungslängen sind bei Verwendung von Lichtwellenleitern (LWL) erreichbar. Jedoch ist in diesem Fall die Ankopplung der Teilnehmer an die Busleitung kompliziert und teuer.

1.1.4 Baumstruktur

Bei der Baumstruktur handelt es sich um eine Weiterentwicklung der Linienstruktur. Mit dieser Topologie sind größere Flächen als bei der Bustopologie vernetzbar (**Bild 1.5**).

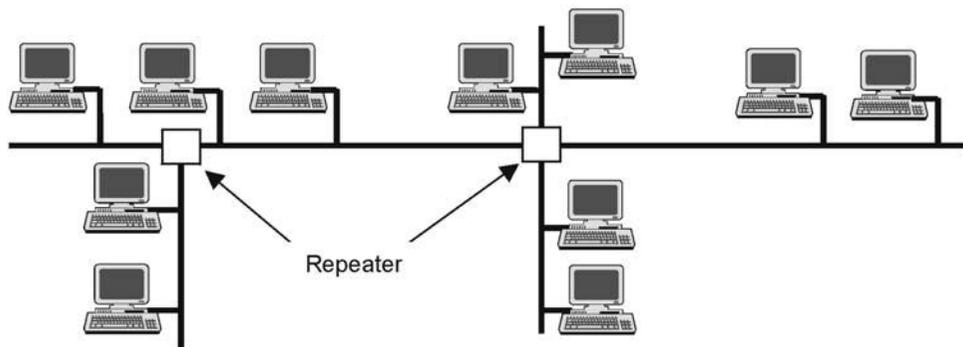


Bild 1.5 Baumstruktur

Die Ausführungen bzgl. der maximalen Leitungslänge, der maximalen Teilnehmerzahl und der maximalen Übertragungsrate gelten wie bei der Busstruktur.

Diese Werte können mit sog. Repeatern vergrößert werden. Bei diesen Elementen handelt es sich um Verstärkerelemente, die bidirektional arbeiten. Bei der Baumstruktur werden sie zur Bildung eines neuen Zweiges verwendet um z.B. die Übertragungsleitung zu verlängern oder um mehr als die üblicherweise 32 Teilnehmer pro Segment anschließen zu können.

Durch die größeren Leitungslängen ist eine galvanische Trennung der Teilnehmer voneinander notwendig. Diese wird in der Regel im Eingang eines jeden Teilnehmers vorgenommen, wobei der Repeater ein Teilnehmer ist, der jedoch keine Adresse benötigt. Durch die galvanische Trennung werden nur Probleme beseitigt, die aufgrund von Potentialunterschieden längs der Busleitung und den daraus resultierenden Ausgleichströmen entstehen.

Verwendet man Sender, die einen differentiellen Spannungsausgang besitzen und Empfänger mit Differenzspannungseingang, kann man Störungen aufgrund elektromagnetischer Einkopplungen weitestgehend unterdrücken (**Bild 1.6**).

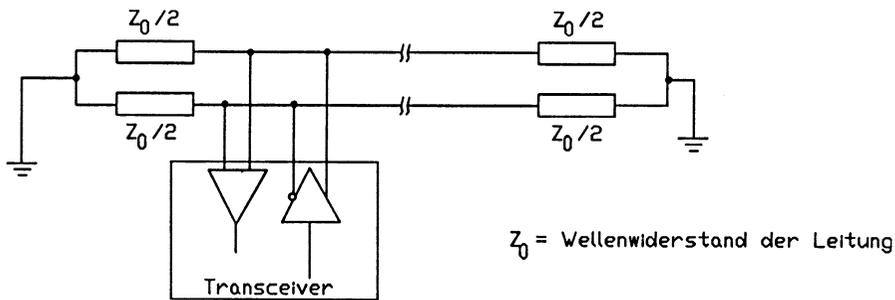


Bild 1.6 Ankopplung mit Differenzspannungs-Signal

Unter der Voraussetzung, dass es sich bei der Leitung um eine verdrehte Zweidrahtleitung handelt, kann man davon ausgehen, dass sich elektromagnetische Einkopplungen auf beide Leitungen gleichmäßig auswirken. Damit wirkt sich dies nicht mehr auf den Eingang bzw. Ausgang des Transceivers (Kunstwort aus Transmitter = Sender und Receiver = Empfänger) aus. Eine weitere Verbesserung wird durch die Schirmung der Zweidrahtleitung erreicht. Sollten diese Schutzmaßnahmen nicht ausreichen kommen Lichtwellenleiter (LWL) zum Einsatz.

1.1.5 Ringstruktur

Mittels mehrerer Zweipunktverbindungen wird bei dieser Struktur ein physikalischer Ring aufgebaut (**Bild 1.7**).

Dabei wird die zu übertragende Information von Teilnehmer zu Teilnehmer weitergeleitet. Auch hier muss durch ein Buszugriffsverfahren sichergestellt sein, dass nur ein Teilnehmer zu einem bestimmten Zeitpunkt sendet.

Dadurch, dass die Ringstruktur aus Zweipunktverbindungen aufgebaut ist und jeder Teilnehmer als Repeater wirken kann, können hier relativ große Entfernungen überbrückt werden. Diese liegen zwischen zwei Teilnehmern bei Verwendung von LWL im Kilometerbereich, bei gleichzeitig sehr hohen Datenraten. Beispielsweise gestattet das Bus-System Industrial Ethernet (Siemens) einen Ringumfang von 100 km bei einer Übertragungsrate von 100 MBaud.

Problematisch ist diese Topologie bei Ausfall eines Teilnehmers bzw. bei Leitungsbruch oder Kurzschluss. Ohne geeignete Gegenmaßnahmen würde dies hier bedeuten, dass das gesamte Netz ausfallen würde.

Wird der Ring redundant ausgelegt, so dass in beide Richtungen übertragen werden kann, können defekte Stellen umgangen werden. Durch geeignete Suchmechanismen können diese lokalisiert und mittels Kurzschlussbrücken aus dem Ring ausgeschlossen werden.

1.1.6 Sternstruktur

Hier ist die Zentralstation mittels Zweipunktverbindung mit jedem anderen Teilnehmer verbunden (**Bild 1.8**).

Es existieren zwei Möglichkeiten, die Zentralstation zu realisieren. Zum einen der sog. Sternkoppler (Hub), dessen Aufgabe es ist, die Signale ausschließlich vom Sender zum richtigen Empfänger weiterzuleiten. Dabei kann der Hub sowohl passiv sein, als auch aktiv, d.h. die empfangenen Signale werden vor der Weiterleitung noch aufbereitet.

Die zweite Möglichkeit ist, in der Zentralstation Intelligenz zu implementieren. Damit könnte diese Station die Steuerung des gesamten Kommunikationsprozesses übernehmen, die im ersten Fall von einem oder allen anderen Teilnehmern vorgenommen werden müsste.

Prinzipiell findet die Kommunikation zwischen zwei Teilnehmern über die Zentralstation statt. Damit stellt diese einen Engpass dar. Ein Ausfall dieser Station hat zur Folge, dass das gesamte Netz ausfällt. Ein klassisches Beispiel für eine Sternstruktur mit aktiver Zentralstation ist der PC. Sämtlicher Datenaustausch zwischen den PC Komponenten wird über die CPU organisiert; Fällt beispielsweise die Maus aus, kann der PC weiterhin verwendet werden, fällt jedoch die CPU aus, ist der PC arbeitsunfähig.

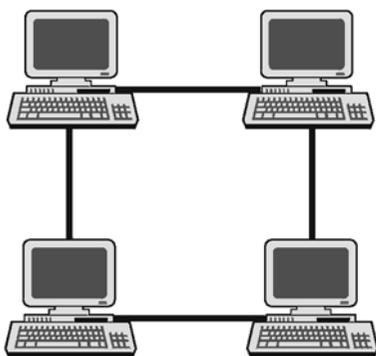


Bild 1.7 Ringstruktur

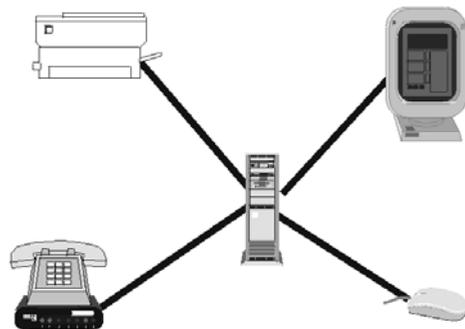


Bild 1.8 Sternstruktur

Literatur

- [1] Bernhard Walke: Datenkommunikation 1, Teil 1: Verteilte Systeme, ISO/OSI Architekturmodell und Bitübertragungsschicht, Hüthig-Verlag, Heidelberg 1987
- [2] Bernhard Walke: Datenkommunikation 1, Teil 2: Sicherungsprotokolle für die Rechner-Rechner-Kommunikation, Lokale Netze und ISDN Nebenstellenanlagen, Hüthig-Verlag, Heidelberg 1987
- [3] Halling (Hrsg): Serielle Busse. Neue Technologien, Standards, Einsatzgebiete, VDE-Verlag GmbH, Offenbach 1987, 1 Technische Grundlagen
- [4] W. Kriesel, T. Heimbold, D. Telschow: Bustechnologien für die Automation, Hüthig GmbH, Heidelberg 1998

1.2 Kommunikationsmodelle

1.2.1 Das ISO/OSI-Referenzmodell

1.2.1.1 Allgemeines

Kommunikation von Rechnern untereinander zum Zwecke des Datenaustausches erfordert vorherige Vereinbarungen darüber, in welcher Art und Weise sie stattfinden soll. Die Betrachtung unterschiedlicher Kommunikationen zeigt, dass die Schemata des Ablaufs sich oftmals ähneln. Die immer stärker wachsende Bedeutung der Kommunikation in der Weltwirtschaft veranlasste in den siebziger Jahren die International Standards Organization (ISO), eine Institution der United Nations Organization (UNO), eine Arbeitsgruppe zu bilden, die sich mit der Standardisierung von Rechnerkommunikationen befasste.

Die Arbeit dieses Komitees führte 1983 zur ISO-Norm 7498 (später auch vom Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique CCITT als X.200 übernommen), einem Referenzmodell für Rechnerkommunikation mit dem Titel „*Basic Reference Model for Open Systems Interconnection (OSI)*“. Sie beschreibt die Kommunikation von offenen System, d.h. von Systemen, die für diese Art der Kommunikation offen sind. Dies ist nicht mit offener Kommunikation gleichzusetzen.

Das OSI-Referenzmodell teilt die Kommunikation abstrakt in sieben Ebenen (Schichten) mit festgelegter Funktionalität, daher wird das Modell auch als OSI-Schichtenmodell bezeichnet. Jeder Schicht kommt die Übernahme einer speziellen, klar definierten Gruppe von Teilaufgaben in der Kommunikation zu. In jedem der beteiligten Kommunikationspartner sind alle sieben Schichten enthalten. Die Schichten kommunizieren untereinander über genau definierte Schnittstellen, was den Austausch einzelner Schichten ohne Eingriff in die Funktionalität des Gesamtsystems erleichtert. An diesen Schnittstellen stellt jede Schicht Dienste bereit, die von den Nachbarschichten in Anspruch genommen werden können.

Das OSI-Schichtenmodell beschreibt die Kommunikation von Partnerprozessen auf einer abstrakten Ebene. Es sind keine Angaben darüber enthalten, wie die einzelnen Schichten letztendlich implementiert werden sollen. Damit ist die Basis für ein offenes System geschaffen, das durch die Definition der Inhalte der einzelnen Schichten und durch die Festlegung der Schnittstellen auch dann genutzt werden kann, wenn ein Gesamtsystem aus Komponenten mehrerer Hersteller zusammengefügt wird. Die Schichteneinteilung dient der Abstraktion der Kommunikationsprozesse.

Die Aufgliederung der Rechnerkommunikation in sieben Ebenen ist in **Bild 1.9** dargestellt und im folgenden Text beschrieben.

Die Beschreibung der Schichten des OSI-Referenzmodells beginnt bei Schicht 1 und endet mit Schicht 7. Innerhalb des Modells ist eine Zweiteilung vorhanden. Die Schichten 1 bis 4 sind für die Datenübertragung zwischen den Endgeräten zuständig, während die Schichten 5 bis 7 bei der Datenübertragung das Zusammenwirken mit dem Anwendungsprogramm und dem Betriebssystem des verwendeten Rechners koordinieren.

Die oberen Schichten (5–7) werden daher auch als Anwendungsschichten, die unteren Schichten (1–4) als Übertragungsschichten oder Transportsystem bezeichnet.

1.2.1.2 Die physikalische Schicht oder Bitübertragungsschicht

Schicht 1 ist die Physikalische Schicht (*Physical Layer*). Sie bestimmt, in welcher Weise die Datenübertragung physikalisch zu erfolgen hat, d.h. die elektrischen und mechanischen Eigenschaften der Übertragung. In Schicht 1 wird vereinbart, wie die Übertragung der einzelnen Bits von statten geht. Dazu gehört die Art der Codierung (*Immediate Return to Zero, No Return to Zero Inverted, No Return to Zero*, Manchester, FSK, etc.), der Spannungspegel für die Übertragung, die vereinbarte Zeitdauer für ein einzelnes Bit, die Wahl der Übertragungsleitung und der Endsystemkopplung (Stecker) und die Zuordnung der Anschlüsse (Pinbelegung) für die Übertragung des Bitstroms.

Die physikalische Schicht ist wie jede andere Schicht im System austauschbar, ohne dass die anderen Schichten davon betroffen sind. Die Kommunikation des Gesamtsystems ist unabhängig von der Ausprägung der einzelnen Schicht. Schicht 1 kann also z.B. eine Glasfaserstrecke betreiben, genauso wie eine elektrische Übertragungsstrecke nach RS232-, RS422- oder RS485-Norm oder jede beliebige andere Übertragungsstrecke. Schicht 1 ist nicht das physikalische Medium selbst, sondern derjenige Teil in der Übertragungsdefinition, der die physikalische Strecke definiert.

1.2.1.3 Die Sicherungsschicht

Schicht 2 ist die Sicherungsschicht der Leitungsebene (*Data Link Layer*). Ihre Aufgabe ist der sichere Transport der Daten von einer Station zu einer anderen Station. Sie dient damit der Datensicherung während der physikalischen Übertragung. Die Daten werden so verpackt, dass Übertragungsfehler von den teilnehmenden Stationen erkannt werden können.

a)

Nr.	Bezeichnung	Erläuterungen
7	Anwendungsschicht (Application Layer)	stellt die auf dem Netzwerk basierenden Dienste für die Programme des Endanwenders bereit (Datenübertragung, elektronische Post usw.)
6	Darstellungsschicht (Presentation Layer)	legt die Anwenderdaten-Strukturen fest und konvertiert die Daten, bevor sie zur Sitzungs- bzw. Anwendungsschicht gegeben werden (Formatierung, Verschlüsselung, Zeichensatz)
5	Sitzungsschicht (Session Layer)	definiert eine Schnittstelle für den Auf- und Abbau von Sitzungen, d. h. zur Benutzung der logischen Kanäle des Transportsystems
4	Transportschicht (Transport Layer)	stellt fehlerfreie logische Kanäle für den Datentransport zwischen den Teilnehmern bereit
3	Netzwerkschicht (Network Layer)	transportiert die Daten von der Quelle zum Ziel und legt die Wege der Daten im Netz fest
2	Datenverbindungsschicht (Data Link Layer)	legt die Datenformate für die Übertragung fest und definiert die Zugriffsart zum Netzwerk. Sie wird in die "Zugriffssteuerung für das Medium" (MAC) und die "Logische Ankopplungs-Steuerung" (LLC) unterteilt
1	Physikalische Schicht (Physical Layer)	definiert die elektrischen und mechanischen Eigenschaften der Leitung, Pegeldefinition

b)

3. Netzwerkschicht	Netzwerkverwaltung und Netz/Netz-Verwaltung	IEEE 802.1		
2. Datenverbindungsschicht	Logische Verknüpfungssteuerung	IEEE 802.2		
	Mediumszugriff-Steuerung	802.3	802.4	802.5
1. Physikalische Schicht	elektronischer und mechanischer Aufbau	CSMA/CD	Token-Bus	Token-Ring

Bild 1.9 OSI-Modell (Open Systems Interconnection) von ISO (International Standardization Organisation)

a) Übersicht

b) Die IEEE-Standards der unteren 3 Schichten

Dazu werden die zu übertragenden Daten in Rahmen (*data frames*) eingeteilt, so dass in jeden Rahmen nur eine maximale Anzahl von Bytes enthalten sind. Rahmengrößen im Bereich von einigen hundert Bytes sind üblich. Die Rahmen enthalten außer den Rohdaten zusätzliche Informationen für die Übertragung, die die Sicherungsschicht ihrerseits zu den bereits vorhandenen Daten hinzufügt. Diese Zusatzinformation enthält z.B. eine Prüfsumme und Anfangs- und Endinformationen für den Rahmen. Außerdem kann die Zusatzinformation zur Quittierung von Telegrammen dienen, die bereits vom Kommunikationspartner übertragen wurden. Mit den hierbei verwendeten Mechanismen soll festgestellt werden, ob Rahmen fehlerhaft übertragen wurden oder ob Rahmen auf dem Übertragungsweg verloren gingen. Werden bereits verloren geglaubte Rahmen zum wiederholten Male gesendet, so ist in der Sicherungsschicht dafür Sorge zu tragen, dass sie beim Empfänger nicht dupliziert werden, d.h. dass dieser nicht annimmt, mehrere Rahmen anstatt mehrfach den gleichen Rahmen empfangen zu haben. Die Sicherungsschicht besitzt keine Kenntnis über den Inhalt der Information.

Die Sicherungsschicht stellt der nächsthöheren Ebene 3 einen logischen Kanal zur Verfügung, der ohne Übertragungsfehler funktioniert. Außerdem gleicht die Ebene 2 unterschiedliche Geschwindigkeiten der Datenverarbeitung (Lesen/Schreiben) bei Sender und Empfänger aus und kontrolliert damit den Datenfluss zwischen den beteiligten Stationen und verhindert ein „Überlaufen“ einer Station, falls eine Station schneller sendet, als die empfangende Station Daten weiterverarbeiten kann.

Die Sicherungsschicht wird in der IEEE 802 Norm in zwei Teilen beschrieben, der *Logical Link Control* (LLC) stellt die Dienste zur Kommunikation mit der Ebene 3 und der *Medium Access Control* (MAC) wird zur Anbindung der Schicht 1 benötigt.

Ein Beispiel für die Realisierung der Sicherungsschicht folgt an anderer Stelle mit der Beschreibung des HDLC-Protokolls.

1.2.1.4 Die Netzwerkschicht

Während in Schicht 2 die Kommunikation zwischen zwei Stationen betrachtet wurde, gilt in der dritten Schicht, der Netzwerkschicht (*Network Layer*), das gesamte Netzwerk als logische Einheit, das in seiner Gesamtheit bearbeitet wird. Die Aufgaben der Netzwerkschicht sind:

- der Transport von Daten von der Quelle bis zum Ziel, eventuell über Zwischenstationen,
- das Bereitstellen von Schnittstellen zwischen Endsystemen,
- *das Routing*, d.h. die Festlegung des Weges der Daten im Netz und die Wegsteuerung, was statisch oder dynamisch erfolgen kann und
- das Packen und Auspacken von Paketen, die von Schicht 2 verarbeitet werden können.

Die Netzwerkschicht hat dafür zu sorgen, dass Stauungen im unterliegenden Netzwerk vermieden werden, d.h. die Anzahl der gerade im Netz befindlichen Datenpakete muss von ihr kontrolliert werden.

Grundsätzlich werden dabei verbindungsorientierte und verbindungslose Dienste unterschieden. Ist der Dienst verbindungsorientiert, so stellt er dem Benutzer einen virtuel-

len Kanal zur Verfügung (*Virtual Circuit Service*). Der zugehörige Kommunikationsablauf besteht aus

- dem Verbindungsaufbau,
- dem Datenaustausch und
- dem Verbindungsabbau.

Solche Kommunikationsformen sind einem Telefongespräch vergleichbar, bei dem der Verbindungsaufbau nach Wahl der Teilnehmernummer hergestellt wird, der Datenaustausch durch Sprechen erfolgt und das Einhängen des Hörers den Abbau der Verbindung zur Folge hat.

Verbindungslose Dienste (*Datagram Service*) stellen keine Verbindung zwischen den Kommunikationspartnern her. Die zu übertragenden Datenpakete werden mit der vollständigen Zieladresse versehen ins Netz gegeben und dort weitertransportiert. Sie sind dem Briefverkehr ähnlich, bei dem ebenfalls Datenpakete (Briefe) mit einer vollständigen Zieladresse versehen an den dafür vorgesehenen Punkten (Briefkästen) ins Netz (Postdienst) gegeben werden und ohne Beeinflussung des Transportweges durch den Benutzer vom Netzwerkservice an der Zieladresse abgeliefert werden.

Eine Realisierung einer Netzwerkschicht zeigt die in einem späteren Kapitel folgende Besprechung von Datex-P.

1.2.1.5 Die Transportschicht

Die 4. Ebene im OSI-Referenzmodell ist die Transportschicht (*Transport Layer*). Sie beschreibt die Kommunikation zwischen Prozessen, wie z.B. Programmen in Host-Rechner A und Host-Rechner B, die Daten miteinander austauschen.

Die Transportschicht hat folgende Einzelaufgaben:

- Namensgebung für die Host-Rechner,
- Adressierung der Teilnehmer,
- Aufbau und Abbau der Verbindung (bezüglich des Transports),
- Fehlerbehandlung und Flusskontrolle,
- *Multiplexing* verschiedener Datenströme auf einem Kanal,
- Synchronisation der Hosts,
- Wiederherstellung einer Verbindung bei Fehler im darunterliegenden Netzwerk.
- *Internetworking*.

Die Transportschicht zerlegt die Daten der nächsthöheren Ebenen in transportierbare Einheiten. Sie baut bei verbindungsorientierten Netzwerken die Verbindung zum Kommunikationspartner auf. Je nach gewünschter Eigenschaft wird für jede Transportverbindung eine eigene Netzverbindung, mehrere Netzverbindungen (bei hohem Datendurchsatz) oder für mehrere Transportverbindungen eine einzige Netzwerkverbindung (Sammelverbindung) bereitgestellt. Sammelverbindungen werden meist aus Kostengründen betrieben. Das Vorhandensein einer solchen Sammelverbindung ist für die höheren Schichten transparent.

Zu den höheren Ebenen bestehen sogenannte *Service Access Points* mit Name und Adresse (SAP).

Je nachdem, welche Dienste der Schicht 4 in Anspruch genommen werden, gibt es unterschiedliche Service-Klassen, die jeweils einen Teil der obengenannten Aufgaben enthalten.

Bei der Aufgabe des Internetworking in einem Gateway-Rechner (Host A an Netz 1 kommuniziert mit Host B an Netz 2 über diesen Gateway-Rechner) ist es Aufgabe der Transportschicht des Gateway-Rechners, die unterschiedlichen Protokolle umzusetzen. Beim Aufbau der Verbindung wird die Art des Transports festgelegt. Es gibt die Möglichkeit einer Punkt-zu-Punkt-Verbindung (*peer to peer*), in der die Daten in der Reihenfolge ihres Eintreffens übertragen werden, ebenso wie die Paketvermittlung, bei der die Daten ins Netz gegeben werden und die Reihenfolge des Eintreffens beim Gegenüber nicht festgelegt ist. Die Übertragungsarten *Broadcast* bzw. *Multicast* dienen dazu, alle bzw. eine bestimmte Anzahl der angeschlossenen Stationen gleichzeitig mit denselben Nachrichten zu versorgen. Die Ebenen 1-4 bilden gemeinsam das Transportsystem im OSI-Referenzmodell.

1.2.1.6 Die Sitzungsschicht

Die Ebene 5 im OSI-Referenzmodell wird als Sitzungsschicht (*Session Layer*) bezeichnet. Unter einer Sitzung versteht man die Benutzung des Transportsystems, d.h. des fehlerfreien logischen Kanals, den die Transportschicht zur Verfügung stellt.

Dazu werden Dienste zum Aufbau und Abbau von Sitzungen bereitgestellt, so dass einer oder mehrere Prozesse auf das Transportsystem zugreifen können. Die Sitzungsschicht ist normalerweise mit dem Betriebssystem des Rechners verbunden. Sie synchronisiert, falls erforderlich, die kommunizierenden Prozesse, um einen korrekten Datenfluss zu ermöglichen.

Abhängig davon, welche Aktivitäten in den höheren Schichten ausgeführt werden sollen, kann unterschiedlicher Funktionsumfang in der Sitzungsschicht implementiert werden. Im OSI-Modell gibt es die Funktionsmengen:

BCS	<i>Basic Combined Subset</i> für Verbindungssteuerung und Datenübertragung,
BAS	<i>Basic Activity Subset</i> für Aktivitätsverwaltung und
BSS	<i>Basic Synchronized Subset</i> zur Synchronisierung.

Die Sitzungsschicht kann symmetrische Partnerkonstellationen ebenso verwalten wie unsymmetrische Verbindungen (Client-Server-Architektur). Ein Prozeduraufruf auf einem fernen Rechner (*Remote Procedure Call*) wird von der Sitzungsschicht gesteuert.

1.2.1.7 Die Darstellungsschicht

Die Darstellungsschicht (*Presentation Layer*), Schicht 6, stellt Dienste zur Darstellung der übertragenen Daten zur Verfügung. Dies beinhaltet Funktionen

- zum verwendeten Zeichensatz,
- zur Codierung zu übertragender Daten und
- zur Darstellung der Daten auf Bildschirm oder Drucker.

Prozesse in einer Kommunikation tauschen Daten miteinander aus, die einer bestimmten Syntax unterworfen sind und einer festgelegten Semantik dienen. Innerhalb dieses Datenaustausches muss vereinbart werden, wie die Informationsdarstellung wäh-

rend der Nachrichtenübertragung sein soll und welche Art der Darstellung die beiden kommunizierenden Prozesse benutzen.

Übertragene Daten können z.B. in verschiedenen Kodierungen bei EBCDIC- oder ASCII-Terminals oder in unterschiedlichen Dateiformaten vorliegen.

Daher liegen die Aufgaben der Darstellungsschicht auch in der Ver- und Entschlüsselung der Daten (*Data Encryption*) und in der Wahrung der Datensicherheit (*Data Security & Privacy*).

Auch die Komprimierung der Daten zum Zwecke der Verkleinerung der Datenmenge und damit der Zeit- und Kostenersparnis wird von der Darstellungsschicht geleistet.

1.2.1.8 Die Anwendungsschicht

Die oberste Schicht des OSI-Referenzmodells ist Schicht 7, die Anwendungsschicht (*Application Layer*). Sie beinhaltet Funktionen, mit denen der Benutzer auf das Kommunikationssystem zugreifen kann. Der Benutzer ist hierbei in aller Regel nicht der Mensch, sondern ein Computerprogramm, wie z.B. FTAM (*File Transfer, Access and Management*), ein Programm für Dateiübertragung und Dateizugriff über Rechnergrenzen hinweg.

Die Anwendungsschicht hat Ortstransparenz zu gewährleisten, beispielsweise bei verteilten Datenbanken, wo logisch zusammengehörende Daten physikalisch auf verschiedenen Rechnern an geographisch unterschiedlichen Orten abgelegt sind. Bei Abfrage über ein Netz darf der Benutzer nichts von den physikalischen Eigenschaften der Datenbank merken.

1.2.1.9 Dienste für die Kommunikation zwischen den Schichten

Jede Instanz einer OSI-Schicht bietet der darüberliegenden Schicht ihre Dienste an. Beim Datenaustausch zwischen der Schicht N und der Schicht N+1 stellt die Schicht N die erforderlichen Dienste zur Verfügung, sie ist der *service provider*. Schicht N+1 benutzt diese Dienste und ist damit der *service user*.

Die Dienste sind an ausgezeichneten Zugangspunkten verfügbar, den sogenannten *service access points* (SAP). Jeder SAP hat eine eindeutige Adresse.

Die Dienste werden in verbindungsunabhängige und verbindungsorientierte Dienste unterschieden (s.o.).

Für die Abhandlung der Dienstaufgaben stehen Dienstprimitive zur Verfügung. Es sind:

- die Anforderung (*request*),
- die Indikation (*indication*),
- die Antwort (*response*) und
- die Bestätigung (*confirmation*).

Bei bestätigten Diensten sind alle vier Dienstprimitive vorhanden, bei unbestätigten Diensten nur die Anforderung und die Indikation.

Ein typischer bestätigter Dienst ist der Verbindungsaufbau (*connect*). In der OSI-Notation wird jeweils der Dienst angegeben und durch einen Punkt getrennt die jeweilige Primitive. Bei einem Verbindungsaufbau zwischen zwei Stationen wird zunächst von demjenigen Partner, der die Verbindung eröffnen möchte, ein *connect.request* gesendet.

Dies löst beim empfangenden Partner eine *connect.indication* aus, d.h. die Anzeige, dass eine Verbindung aufgebaut werden soll. Der angesprochene Partner antwortet *connect.response* ob er die Verbindung aufnehmen will. Diese Antwort löst beim Initiator der Verbindung die Bestätigung *connect.confirmation* aus.

Weitere Dienste sind die Datenübergabe (*data*) und der Verbindungsabbau (*disconnect*). Sie können ebenfalls als bestätigte oder unbestätigte Dienste eingesetzt werden.

1.2.1.10 Beispiel: Ablauf einer Kommunikation im OSI-Modell

Kommunizieren zwei Rechner A und B im OSI-Referenzmodell, so kommunizieren jeweils gleiche Schichten innerhalb der Kommunikationspartner miteinander. Die physikalische Schicht von Station A steht in direkter Verbindung zur physikalischen Schicht von Station B. Die Netzwerkschichten der beiden Stationen tauschen miteinander Daten aus, wobei die darunterliegenden Schichten vollkommen transparent sind für den Datenaustausch von Schicht 3 zu Schicht 3.

Es sind immer alle Schichten des Referenzmodells vorhanden, allerdings können die Schichten auch leer sein, so dass bei einer Kommunikation z.B. nur für die Schichten 1, 2 und 7 Programmcode vorhanden ist, während die Schichten 3 bis 6 leer sind (z.B. Profibus-Definition).

Die Schichten tauschen Daten untereinander über festgelegte, bestätigte oder unbestätigte Dienste aus, wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben.

Der Ablauf einer Kommunikation sei an einem Beispiel dargestellt (**Bild 1.10**). Der Anwender der Station A, im Beispiel ein Programm zur Verarbeitung von Messwerten, möchte einen neuen Messwert bei einer Außenstation, Station B, abfragen. Die Verbindung zwischen den Stationen A und B ist bereits aufgebaut.

Das Anwendungsprogramm weist als erstes die Anwendungsschicht an, einen Messwert von der Station B zu verlangen. Die Anwendungsschicht bearbeitet diese Direktive und leitet sie an die darunterliegenden Schichten als Daten weiter. Die Darstellungsschicht wandelt die Daten in die für die Übertragung vereinbarte Form und reicht sie an die Sitzungsschicht, welche die Information hinzufügt, aus welcher Sitzung die Anforderung stammt.

Die Daten werden in den Transportkanal gegeben und in der Netzwerkschicht auf den richtigen Weg gelenkt (Routing). Die Sicherungsschicht fügt den Daten Sicherungsinformation hinzu und gibt das nun in der Länge vergrößerte Telegramm an die physikalische Schicht zur Bitübertragung weiter.

Über die Datenleitung gelangt das Telegramm zur Station B, wo es in der physikalischen Schicht empfangen wird. Von dort wird es an die Sicherungsschicht weitergereicht. Sie überprüft die Korrektheit der Bitübertragung, entfernt die Sicherungsinformation und gibt die restlichen Daten an die nächsthöhere Schicht weiter. Die Anwendungsschicht erkennt aus den Daten des Telegramms die Aufforderung zum Lesen des Messwertes und reicht sie an das Programm zur Bearbeitung weiter.

Der gelesene Messwert nimmt analog zur obengenannten Vorgehensweise den Weg rückwärts durch alle Schichten, bis die Anwendungsschicht in Station A den gelesenen Messwert an das Programm abgeben kann.

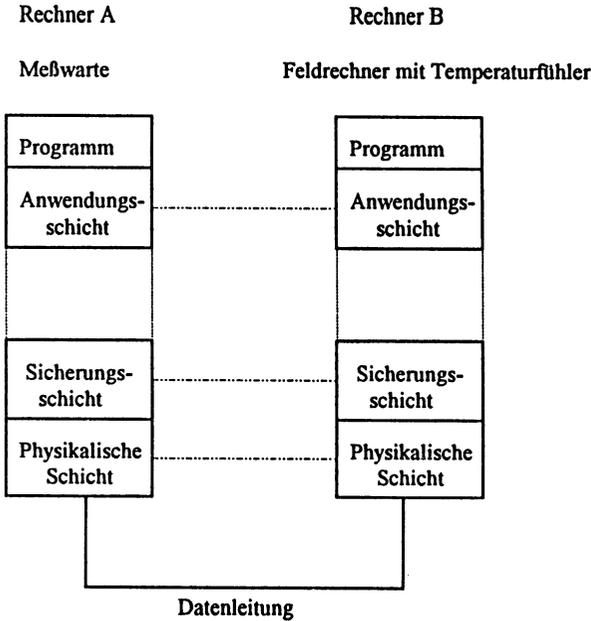


Bild 1.10
Beispiel einer Kommunikation im OSI-Modell

1.2.2 Das TCP/IP-Protokoll

Ein allgemein anerkannter Standard für den Datenaustausch in heterogenen Netzen ist das *Transmission Control Protocol* (TCP) im Zusammenhang mit einer speziellen Ausführung der *Internet suit of protocols* (IP), abgekürzt als TCP/IP. Er entstand aus einer Auftragsentwicklung des amerikanischen Verteidigungsministeriums.

TCP/IP ist Teil einiger UNIX-Betriebssysteme (z.B. Berkeley-UNIX, ULTRIX), so dass ein Großteil der unter UNIX betriebenen Rechner ohne zusätzliche Software an TCP/IP-betriebene Netze angeschaltet werden können.

TCP/IP wird sowohl in lokalen Netzen zur Kommunikation verschiedenartiger Rechner untereinander als auch für den Zugang von LAN (*Local Area Networks*) zu WAN (*Wide Area Networks*) eingesetzt.

Betrachtet man das TCP/IP-Protokoll in der Denkweise des OSI-Modells, so ist das Internet-Protokoll (IP) die Netzwerkschicht. Im Regelfall wird ein TCP/IP-Netz auf einem Ethernet (OSI-Schicht 1) betrieben. Die Anbindung der Netzwerkschicht an die Sicherungsschicht (LLC) erfolgt nach der IEEE 802.2-Norm, die Zugriffskontrolle für das Medium (MAC) nach CSMA/CD (*Carrier Sensing Multiple Access/Collision Detection*, IEEE 802.3).

Die Transportschicht wird entweder von TCP (*Transmission Control Protocol*) als verbindungsorientiertem oder von UDP (*User Datagram Protocol*) als verbindungslosem Dienst gebildet.

Die Einordnung von TCP/IP in OSI kann auf der theoretischen Ebene vorgenommen werden. Vom praktischen Standpunkt her ist jedoch zu erwähnen, dass TCP/IP-Proto-

kolle älter als der OSI-Standard sind und daher nicht nach dem OSI-Standard programmiert wurden.

Ein Vergleich zwischen OSI-basierten Modellen, TCP/IP und anderen gebräuchlichen Nicht-OSI-Modellen wird in **Bild 1.11** gezeigt.

OSI	ISO 7498 CCITT X.200	TCP/IP	Novell	IBM NETBIOS	IBM SNA	DEC DECNET
Anwendungs- schicht	FTAM: ISO 8571 ISO 8572 (File Transport Access and Managment) JTM: ISO 8831 ISO 8832 (Job Transfer and Manipulation) VTP: ISO 8831 ISO 8832 (Virtual Terminal Protocol) CCITT X.400	Networkfile Server (NFS) Telnet File Transfer Protocol (FTP)	Anwender- programm MS-DOS OS/2	Anwender- programm	End User	Anwender- programm
Darstellungs- schicht	ISO 8822 ISO 8823			MS-DOS		
Sitzungs- schicht	ISO 8326 ISO 8327		Shell	MS-NET	Data Flow Control	Sitzung
Transport- schicht	ISO 8072 ISO 8073	TCP / UDP	Internetwork Packet Exchange (IPX)	NETBIOS	Trans- mission Control	Netzwerk und
Netzwerk- schicht	ISO 8473 CCITT X.25 (Schicht 3)	IP			Path Control	Transport
Sicherungs- schicht	CCITT X.25 (LAPB)	IEEE 802.2 / ISO 8802 ----- CSMA/CD (IEEE 802.3)				
Physikalische Schicht	Ethernet / CCITT X.21					

Bild 1.11 Einordnung von TCP/IP in das OSI-Schichtenmodell und Vergleich mit anderen Kommunikationsmodellen

Das TCP/IP-Transportsystem wird von Applikationsprotokollen wie FIP (*File Transfer Protocol*), TELNET (*Telnet Protocol*) und SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol, Electronic Mail*) zur Datenübertragung zwischen Endsystemen benutzt.

Das TCP-Protokoll teilt als verbindungsorientiertes Protokoll die zu übertragenden Daten in Datenblöcke. Beim Start der Übertragung wird die maximale Blockgröße zwischen Sender und Empfänger ausgetauscht.

Von der Netzwerkschicht IP werden diese Datenblöcke mittels eines Datagrammservice versendet, so dass die Reihenfolge der Blöcke im Empfänger durch TCP wiederhergestellt werden muss. Jedem Datenblock geht ein Header voraus, der die Adressen von Quelle und Ziel, die Sequenznummer, Steuerinformationen und eine Checksumme enthält. Die maximale Länge jedes Datagramms beträgt 64 kBytes.

Durch die Vergabe von Portnummern für jeden Übertragungsprozess können mehrere Prozesse parallel über ein TCP-Modul auf das Netz zugreifen, ohne dass Daten vertauscht werden. Die Verbindung zweier Prozesse in verschiedenen Rechnern wird am Netz über den *Socket* identifiziert, einer Kombination aus der Internet-Adresse und der Portnummer. Der Kommunikationspartner muss empfangene Telegramme quittieren. Aus Gründen des Datendurchsatzes werden aber mehrere Telegramme ins Netz gesendet, bevor die Ankunft des ersten Telegrammes bestätigt ist. Um bei unterschiedlichen Schreib/ -Lesegeschwindigkeiten der Teilnehmer den Datenfluss zu kontrollieren, wird die Anzahl der maximal im Netz verschickten unquitierten Telegramme, die ein Rechner bearbeiten kann, im Header als Fenstergröße mit angegeben.

Die fehlerfreie Übertragung von Telegrammen wird bei Verbindungsaufbau, Datenverkehr und Verbindungsabbau über ein Handshake-Verfahren mit Timeout-Überwachung sichergestellt.

Literatur

- [1] L. T. Gorys: TCP/IP, Hüthig, Heidelberg 1991
- [2] ISO International Standard 7809–1984(E): Information processing systems – Data communication – High-level data link control procedures – Consolidation of classes of procedures. First Edition International Organization for Standardization, New York 1984
- [3] ISO International Standard 7809:1984/Add.1:1987(E)/Add.2:1987(E): Information processing systems – Data communication – High-level data link control procedures – Consolidation of classes of procedures, Addendum 1 International Organization for Standardization, New York 1987
- [4] ISO International Standard 4335:1987(E): Information processing systems – Data communication – High-level data link control elements of procedures, Third Edition International Organization for Standardization, New York 1987
- [5] M. T. Rose: The Open Book: A Practical Perspective on OSI+, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990
- [6] F. Furrer: Ethernet TCP/IP für die Industrieautomation, Heidelberg 1998

1.3 Buszugriffsverfahren

Fast alle im Kapitel 1.1 besprochenen Topologien setzen voraus, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt nur ein Sender auf das gemeinsame Trägermedium zugreift. Im folgenden sollen verschiedene Möglichkeiten, diesen Buszugriff zu regeln, vorgestellt werden. Dabei unterscheidet man, wie in der folgenden Abbildung 1.12 dargestellt, zwischen kontrollierten und zufälligen Buszugriffsverfahren.

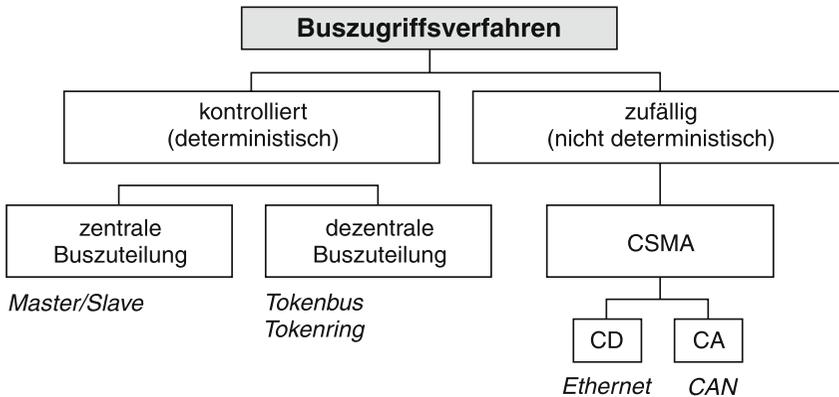


Bild 1.12 Übersicht Buszugriffsverfahren

Bei den kontrollierten Buszugriffsverfahren ist der Sender vor dem Sendebeginn eindeutig bestimmt. Damit ist eine Buszuteilung für den jeweiligen Sender notwendig. Diese kann zentral von einer Leitstation (*Master/Slave-Verfahren*) oder dezentral durch mehrere Steuereinheiten (Tokenbus, Tokenring) vorgenommen werden. Wird der Zeitraum oder die Datenlänge für einen Kommunikationszyklus begrenzt, ist die maximale Zeitdauer, bis die Daten übertragen sind, berechenbar (Zykluszeit). Solche Systeme nennt man echtzeitfähig.

Bei den zufälligen Buszugriffsverfahren greifen die sendewilligen Teilnehmer nur bei Bedarf auf das Übertragungsmedium zu (Carrier Sense, CS). Dabei muss gewährleistet sein, dass das Medium nicht anderweitig von einem anderen Teilnehmer belegt ist. Ist dies der Fall, muss die Sendung auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden (Multiple Access, MA). Damit ist eine Bestimmung des maximalen Zeitraumes, in dem eine Information übertragen wird, nicht mehr möglich. Damit sind zufällige Buszugriffsverfahren i. d. R. nicht echtzeitfähig.

1.3.1 Master/Slave-Verfahren

Bei diesem Verfahren stellt die Bussteuereinheit, der sog. Master, die Verbindung zum passiven Teilnehmer, dem *Slave*, her. Dieser antwortet auf eine Datenanforderung des Masters unmittelbar (*immediate response*) (**Bild 1.13**).

Der Master stellt in der Regel zyklisch die Verbindung zu jedem Slave her (*polling*). Damit ist im Master immer ein aktuelles Abbild des zu steuernden Prozesses abgelegt.