

Gerhard Schnell
Bernhard Wiedemann *Hrsg.*

Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik

Grundlagen, Systeme und Anwendungen
der industriellen Kommunikation

9. Auflage

 Springer Vieweg

Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik

Lizenz zum Wissen.

Sichern Sie sich umfassendes Technikwissen mit Sofortzugriff auf tausende Fachbücher und Fachzeitschriften aus den Bereichen: Automobiltechnik, Maschinenbau, Energie + Umwelt, E-Technik, Informatik + IT und Bauwesen.




Exklusiv für Leser von Springer-Fachbüchern: Testen Sie Springer für Professionals 30 Tage unverbindlich. Nutzen Sie dazu im Bestellverlauf Ihren persönlichen Aktionscode **C0005406** auf www.springerprofessional.de/buchaktion/



Jetzt
30 Tage
testen!

Springer für Professionals.

Digitale Fachbibliothek. Themen-Scout. Knowledge-Manager.

-  Zugriff auf tausende von Fachbüchern und Fachzeitschriften
-  Selektion, Komprimierung und Verknüpfung relevanter Themen durch Fachredaktionen
-  Tools zur persönlichen Wissensorganisation und Vernetzung

www.entschieden-intelligenter.de

Springer für Professionals

 Springer

Gerhard Schnell · Bernhard Wiedemann
(Hrsg.)

Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik

Grundlagen, Systeme und Anwendungen
der industriellen Kommunikation

9., aktualisierte und verbesserte Auflage

 Springer Vieweg

Hrsg.

Gerhard Schnell
Stuttgart, Deutschland

Bernhard Wiedemann
Mannheim, Deutschland

ISBN 978-3-658-23687-8

ISBN 978-3-658-23688-5 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-23688-5>

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

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 1994, 1996, 1999, 2000, 2003, 2006, 2008, 2012, 2019

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort zur 9. Auflage

Gegenüber der 8. Auflage wurde das Kapitel EIB (Europäischer Installationsbus) aktualisiert: Er firmiert jetzt unter „KNX-System für die Haus- und Gebäudesystemtechnik“. Ausserdem wurde ein Text über Sercos, den Bus für synchrone Antriebstechnik, neu aufgenommen. Dadurch sind auch neue Autoren hinzugekommen. Bussysteme die unserer Meinung nach keine Marktbedeutung mehr haben, haben wir nicht mehr beschrieben. Da Bussysteme aber langlebige Investitionen sind, haben wir im Teil „Datenblätter“ aus historischen Gründen wenig geändert.

Die Herausgeber danken den neu hinzugekommenen Koautoren für ihre Mithilfe, dieses Standardwerk zu aktualisieren, dem Verlag für seine Mühe bei der Neubearbeitung und hoffen weiterhin auf das Wohlwollen unserer Leser in Hochschulen und Industrie.

Stuttgart/Mannheim
Herbst 2018

Gerhard Schnell
Bernhard Wiedemann

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	6
1.1.5	Ringstruktur	7
1.1.6	Sternstruktur	8
1.2	Kommunikationsmodelle	9
1.2.1	Das ISO/OSI-Referenzmodell	9
1.2.1.1	Allgemeines	9
1.2.1.2	Die physikalische Schicht oder Bitübertragungsschicht	11
1.2.1.3	Die Sicherungsschicht	11
1.2.1.4	Die Netzwerkschicht	12
1.2.1.5	Die Transportschicht	13
1.2.1.6	Die Sitzungsschicht	13
1.2.1.7	Die Darstellungsschicht	14
1.2.1.8	Die Anwendungsschicht	14
1.2.1.9	Dienste für die Kommunikation zwischen den Schichten	15
1.2.1.10	Beispiel: Ablauf einer Kommunikation im OSI-Modell	15
1.2.2	Das TCP/IP-Protokoll	17
1.3	Buszugriffsverfahren	19
1.3.1	Master/Slave-Verfahren	20
1.3.2	Token-Prinzip	22
1.3.3	Token-Passing	24
1.3.4	CSMA	25
1.3.5	CSMA/CA	28
1.3.6	Busarbitration	29
1.4	Datensicherung	30
1.4.1	Einleitung	30
1.4.2	Fehlerarten	31

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	37
1.4.5	Datenintegritätsklassen	40
1.4.6	Telegrammformate	41
1.4.6.1	Telegramm mit Paritätsbit	41
1.4.6.2	Telegramm mit CRC	42
1.5	Telegrammformate	44
1.5.1	Das HDLC-Protokoll	44
1.5.2	UART	47
1.5.3	PROFIBUS-Norm EN 50 170 Teil 2	48
1.5.4	HART-Protokoll	49
1.5.4.1	Smart-Transmitter	50
1.5.4.2	Busaufbau	51
1.5.4.3	Buszeiten	52
1.5.5	Token-Telegramm	53
1.5.6	Ethernet-Telegramm	53
1.5.6.1	Die Felder des Ethernet-Telegramms	53
1.5.6.2	TCP/IP-Protocol	55
1.6	Binäre Informationsdarstellung	55
1.6.1	NRZ, RZ	56
1.6.2	Bipolar-Kodierung, HDB _n -Kodierung	57
1.6.3	NRZI	58
1.6.4	AFP	59
1.6.5	Manchester-II-Kodierung	59
1.6.6	FSK, ASK, PSK	60
1.7	Übertragungsstandards	60
1.7.1	RS 232-, V.24-Schnittstelle	60
1.7.2	RS 422-Schnittstelle	63
1.7.3	RS 485-Schnittstelle	63
1.7.4	20 mA-Stromschleife	66
1.7.5	IEC 61158-2, FISCO-Modell	67
1.7.6	Ethernet-Übertragungsarten	72
1.7.6.1	10 MBd Ethernet	73
1.7.6.2	100 MBd-Ethernet (Fast Ethernet)	75

1.7.6.3	1000Base Ethernet (Gigabit Ethernet)	76
1.7.6.4	10GigaBit Ethernet	78
1.7.6.5	Infrastruktur-Komponenten	78
1.8	Leitungen und Übertragungsarten	79
1.8.1	Übersicht über die Leitungsarten	79
1.8.2	Paralleldrahtleitung	80
1.8.3	Koaxialleitung	84
1.8.4	Lichtwellenleiter (LWL)	86
1.8.5	Übertragungsarten	87
1.8.5.1	Basisbandübertragung	87
1.8.5.2	Trägerfrequenzübertragung	87
1.8.5.3	Breitbandübertragung	88
1.9	Verbindung von Netzen	89
1.9.1	Repeater	89
1.9.2	Bridges	90
1.9.3	Router	92
1.9.4	Gateways	94
1.10	Feldbusankopplung an Host-Systeme	95
1.10.1	Grundlagen	95
1.10.2	SPS-Ankopplung	96
1.10.2.1	Feldbusfunktionen auf Kommunikations-Baugruppen	96
1.10.2.2	Software-Schnittstelle	97
1.10.2.3	Einheitliche Programmierung mit IEC 1131	98
1.10.3	PC-Ankopplung	99
1.10.3.1	Hardware-Aspekte	99
1.10.3.2	Techniken des Anwenderzugriffs	100
1.10.4	Controller-Ankopplung	104
1.10.5	Ankopplung an höhere Netze über Gateways	104
1.10.6	Host-Zugriffe unter MMS	105
1.11	Buszykluszeiten	106
1.11.1	Deterministische Bussysteme	106
1.11.2	Nichtdeterministische Bussysteme	109
1.12	Sicherheitsbussysteme	110
	Literatur	113
2	Netzwerkhierarchien in der Fabrik- und Prozessautomatisierung	117
2.1	Übersicht und Spezifik der Kommunikation in der Automatisierung	117
2.1.1	Fabrikautomatisierung	122
2.1.2	Prozessautomatisierung	123
2.2	Kommunikationsebenen bei Stückgut- und Fließgutprozessen	126
2.2.1	Stückgutprozesse	126
2.2.2	Fließgutprozesse	127

2.3	Managementebene	129
2.4	Prozessleitebene	131
2.4.1	ETHERNET für den Industrieinsatz	131
2.4.2	Lösungsmöglichkeiten mit TCP/IP	134
2.4.3	ETHERNET-Anwendungen in der industriellen Kommunikation	137
2.5	Feldebene	138
2.5.1	Anforderungen an ein Bussystem der Feldebene	138
2.5.2	Industrielösungen für Busse der Feldebene	139
2.6	Sensor-Aktor-Ebene	140
2.6.1	Anforderungen im Sensor-Aktor-Bereich	140
2.6.2	Industrielösungen für Sensor-Aktor-Bussysteme:	142
2.7	Fazit	142
	Literatur	143
3	Feldbusnormung	145
3.1	Internationale Normungsarbeit	145
3.2	Europäische Normungsarbeit	149
	Literatur	150
4	Beispiele ausgeführter Bussysteme	151
4.1	Sensor/Aktor-Busse	151
4.1.1	AS-Interface – Aktor/Sensor-Interface	151
4.1.1.1	Konzept des intelligenten Verkabelungs-Systems	151
4.1.1.2	Der Master	152
4.1.1.3	Netzteil	152
4.1.1.4	Elektromechanik	154
4.1.1.5	Netzwerktopologie	155
4.1.1.6	Slaves	155
4.1.1.7	Bitübertragung	156
4.1.1.8	Buszugriffsverfahren	157
4.1.1.9	A/B- und Single Slaves	158
4.1.1.10	Analogwertübertragung	159
4.1.1.11	Datensicherheit	161
4.1.1.12	Elektromagnetische Verträglichkeit	161
4.1.1.13	AS-Interface im explosionsgefährdeten Bereich	163
4.1.1.14	Neuerungen nach der Spezifikation 3.0	164
4.1.1.15	Safety at work	165
4.1.2	Das KNX-System für die Haus- und Gebäudesystemtechnik	167
4.1.2.1	Einführung	167
4.1.2.2	Netzwerktopologie	168
4.1.2.3	Übertragungsmedien	169
4.1.2.4	KNX OSI Kommunikationsprotokoll	171

4.1.2.5	Netzverwaltung und Adressierung	173
4.1.2.6	Datenformate und Interworking	174
4.1.2.7	Werkzeugsätze und Software Engineering	176
4.1.2.8	Weitere Systemmerkmale	176
4.1.2.9	Spektrum verfügbarer Produkte	177
4.2	Feldbusse	178
4.2.1	Sercos	178
4.2.1.1	Einleitung	178
4.2.1.2	Topologie	179
4.2.1.3	Übertragungsverfahren, Synchronisation und Protokollstruktur	181
4.2.1.4	Implementierung	185
4.2.2	PROFIBUS	186
4.2.2.1	PROFIBUS als „System-Baukasten“	186
4.2.2.2	Übertragungstechnik	189
4.2.2.3	Kommunikation	191
4.2.2.4	Allgemeine Applikationsprofile	197
4.2.2.5	Spezifische Applikationsprofile	199
4.2.2.6	Gerätemanagement	202
4.2.2.7	PROFIBUS Implementierung	202
4.2.2.8	Qualitätssicherung und Zertifizierung	203
4.2.3	Interbus	203
4.2.3.1	Topologie	203
4.2.3.2	Interbus-Protokoll	206
4.2.3.3	Protokollrealisierung	208
4.2.3.4	Anwendungsschnittstelle	211
4.2.4	Modbus-RTU und Modbus-ASCII	212
4.2.5	LON	214
4.2.5.1	LON-Gerät	214
4.2.5.2	LonWorks-Protokoll	218
4.2.5.3	Funktionsprofile für LON-Geräte	226
4.2.5.4	LON-übergreifende Kommunikation	228
4.2.5.5	Netzwerk-Management und Tools	228
4.2.6	CAN-basierende Netzwerke	229
4.2.6.1	Grundlagen	229
4.2.6.2	Physikalische Übertragung	230
4.2.6.3	CAN-Protokoll	231
4.2.6.4	CANopen	234
4.2.6.5	Devicenet	248
4.2.7	FOUNDATION Fieldbus H1	254
4.2.7.1	Übersicht	254

4.2.7.2	Die Feldbusphysik	255
4.2.7.3	Die Kommunikation	260
4.2.8	ControlNet	264
4.2.8.1	Zielanwendungen	266
4.2.8.2	Das ControlNet-Protokoll	266
4.3	Ethernetbasierte Feldbusse	270
4.3.1	Industrial Ethernet – Was ist das eigentlich?	270
4.3.2	Grundlagen des Ethernet	271
4.3.3	Ethernet im Vergleich zu modernen Feldbussystemen	275
4.3.4	PROFINET	281
4.3.4.1	PROFINET im Überblick	283
4.3.4.2	Grundlagen von PROFINET IO	284
4.3.4.3	IRT-Kommunikation bei PROFINET IO	291
4.3.4.4	PROFINET IO-Controller und -Devices	293
4.3.4.5	Conformance Classes (CC)	294
4.3.4.6	Applikationsprofile für PROFINET IO	294
4.3.4.7	Integration von Feldbus-Systemen	296
4.3.4.8	Netzwerkinstallation	296
4.3.4.9	PROFINET IO-Zertifizierung	300
4.3.5	Ethernet/IP	301
4.3.6	Echtzeit-Ethernet: Powerlink	305
4.3.7	Modbus-TCP	314
4.3.8	Echtzeit Ethernet EtherCAT	316
4.4	Peripheriebusse am PC	327
4.4.1	Vergleich USB – Firewire	327
4.4.2	USB	329
4.4.3	Bluetooth	333
	Literatur	335
5	Weitverkehrsnetze	339
5.1	ISDN	339
5.2	DSL – Öffentliches Breitbandnetz	343
	Literatur	349
6	Installationsbeispiele aus der Bus-Praxis	351
6.1	Verbindung von Feldgeräten über PROFIBUS und OPC mit Anwendersoftware	351
6.1.1	Kurze Einführung in OPC	351
6.1.2	Die Aufgabe: PROFIBUS an Visualisierungssoftware	352
6.1.3	Konfiguration des PROFIBUS	353
6.1.4	Konfiguration des OPC-Servers	354
6.1.5	SCADA-Projekt und OPC-Konfiguration	354

6.2	Prozesssteuerung über das Internet-Netzwerk	358
6.2.1	Die Aufgabe	358
6.2.2	Erstellung der LabView-Applikation	359
6.2.3	Internetanbindung	360
6.2.4	Die Konfiguration des HTTP-Servers	364
6.3	Konfiguration AS-i/Interbus-Gateway an Interbus	365
6.3.1	Aufbau der Bus-Systeme	365
6.3.2	Konfiguration des AS-i	367
6.3.3	Kommunikation des AS-i/Interbus-Gateway mit dem Interbus	367
6.3.4	Die sw-Verknüpfung Interbus/AS-i	369
6.4	Die Verbindung einer SPS mit dem PROFIBUS DP	371
6.4.1	S7-Projekt	373
6.4.2	Konfiguration der S7-Station	373
6.4.3	Kommunikation zwischen CPU und CP	377
6.4.4	Programmbeispiel	378
6.5	Konfiguration AS-i/Ethernet/IP-Gateway an Ethernet/IP	379
6.5.1	Aufbau der Bussysteme	379
6.5.2	Konfiguration des AS-i-Netzwerks und des AS-i/Ethernet/IP-Gateways	380
6.5.3	Kommunikation über Ethernet/IP	381
6.5.4	Die Software-Verknüpfung zwischen AS-i und Ethernet/IP	382
7	Datenblätter	389
7.1	AS-i (Aktor/Sensor-Interface)	389
7.2	KNX (ehemals EIB, European Installation Bus)	390
7.3	Sercos I, II und III	391
7.4	PROFIBUS	392
7.4.1	PROFIBUS-DP	392
7.4.2	PROFIBUS-PA	393
7.5	Interbus	394
7.6	Modbus Plus	395
7.7	Industrial Ethernet	396
7.8	LON (Local Operating Network)	397
7.9	CAN (Controller Area Network)	398
7.10	Foundation Field Bus	399
7.11	Eigensichere Feldbusse	400
7.11.1	PROFIBUS PA	400
7.11.2	PROFIBUS (DP) Ex-i	400
7.12	DeviceNet	401
7.13	ControlNet	402
7.14	EtherNet/IP	403
	Stichwortverzeichnis	405

Mitarbeiterverzeichnis

Die Herausgeber

Prof. Dr. Ing. Gerhard Schnell Ehem. Fachhochschule Frankfurt am Main, Frankfurt am Main, Deutschland

Dipl. Ing. Bernhard Wiedemann Geschäftsführer Bihl und Wiedemann GmbH, Mannheim, Deutschland

Die Koautoren

Dipl. Ing. Roland Bent Phoenix Kontakt, Blomberg, Deutschland

Prof. Dr. Ing. Jürgen Beuschel Fachhochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin, Deutschland

Prof. Dr. Ing. Jörg Böttcher b-plus, Deggendorf, Deutschland

Dipl. Ing. Michael Brill Schneider Automation, Seligenstadt, Deutschland

Dr. Ing. Hans Endl Softing GmbH, Haar bei München, Deutschland

Dipl. Phys. Marc Goosens EIB Association, Brüssel, Belgien

Dipl. Ing. Wolfgang Grote Fachhochschule Frankfurt am Main, Frankfurt am Main, Deutschland

Prof. Dr. Ing. Thilo Heibold Hochschule für Technik, Wirtschaft, Kultur, Leipzig, Deutschland

Dipl. Ing. Andreas Hennecke Pepperl+Fuchs GmbH, Mannheim, Deutschland

Dipl. Ing. Norbert Heinlein Fachhochschule Frankfurt am Main, Frankfurt am Main, Deutschland

Dipl. Ing. Thomas Klatt Pepperl+Fuchs GmbH, Mannheim, Deutschland

Prof. Dr. habil. Werner Kriesel Hochschule für Technik, Wirtschaft, Kultur, Leipzig, Deutschland

Heinz Lux CIO KNX-Association, Brüssel, Belgien

Dipl. Ing. Peter Lutz Sercos International, Süssen, Deutschland

Dipl. Ing. Anton Meindl B&R Industrie-Elektronik, Eggelsberg, Österreich

Martin Rostan Executive Director EtherCat Technology Group, Nürnberg, Deutschland

Dipl. Ing. Reinhard Simon Rockwell Automation, Haan-Gruiten, Deutschland

Dipl. Ing. Alexander Stamm Ehem. Fachhochschule Frankfurt am Main, Frankfurt am Main, Deutschland

Dr. Peter Wenzel Profibus Nutzerorganisation (PNO), Karlsruhe, Deutschland

Dipl. Ing. Holger Zeltwanger CiA, CAN in Automation, Nürnberg, Deutschland

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.

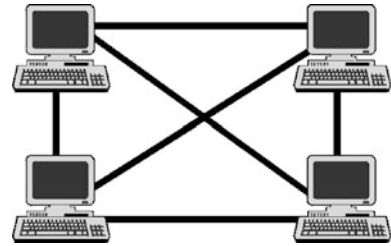
1.1.1 Zweipunktverbindungen

Die einfachste Möglichkeit, Daten auszutauschen besteht darin, genau zwei Kommunikationspartner über eine Leitung miteinander zu verbinden, wie z. B. bei einer Gegensprechanlage, 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 Abb. 1.1.

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.

Abb. 1.1 Prozesskommunikation/Vermaschtes Netz



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 Abb. 1.2 dargestellt.

Im Multiplexer (MUX) werden mit Hilfe der Steuersignale a_0 und a_1 die Daten $d_0 \dots d_3$ nacheinander auf die Übertragungsleitung y geschaltet. Damit wird jedem der vier Teilnehmer ein Zeitschlitz zugeteilt, in dem er seine Übertragung vornehmen kann. Der De-

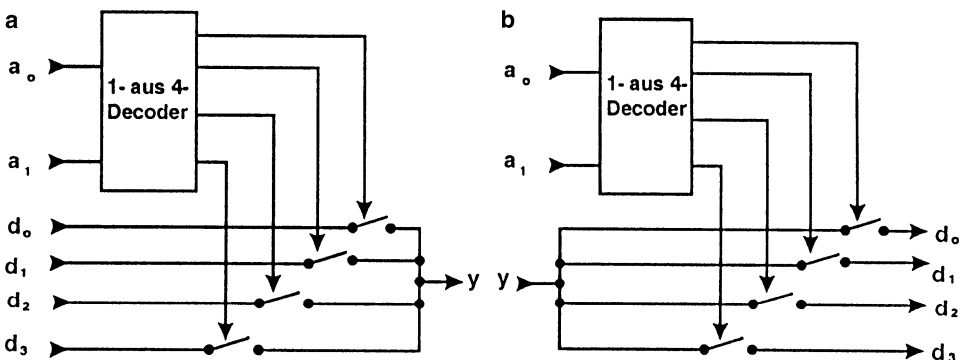


Abb. 1.2 Prinzipielle Funktionsweise eines **a** Multiplexers, **b** Demultiplexers

multiplexer (DEMUX) sorgt mit Hilfe der selbsterzeugten Steuersignale a_0 und a_1 dafür, dass die seriell empfangenen Daten wieder auf die Datenleitungen $d_0 \dots d_3$ 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 so genannten 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, das 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 Abschn. 1.5.4) in Form von so genannten 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 so genannten Weitverkehrsnetzen (*Wide Area Networks, WAN*).

1.1.3 Bus-Struktur

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

Die Anbindung der Teilnehmer an das Buskabel geschieht über kurze Stichleitungen (Dropkabel). 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, so genanntes Buszugriffsverfahren.

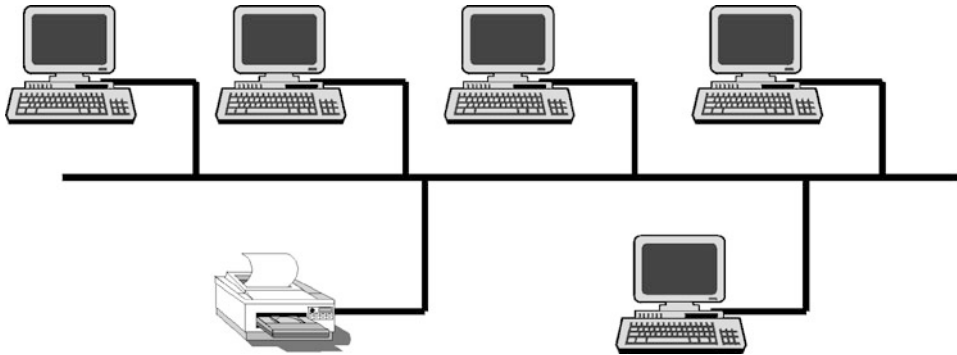


Abb. 1.3 Linienstruktur

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 maximale 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 Abb. 1.4 verdeutlicht werden.

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 Funk-

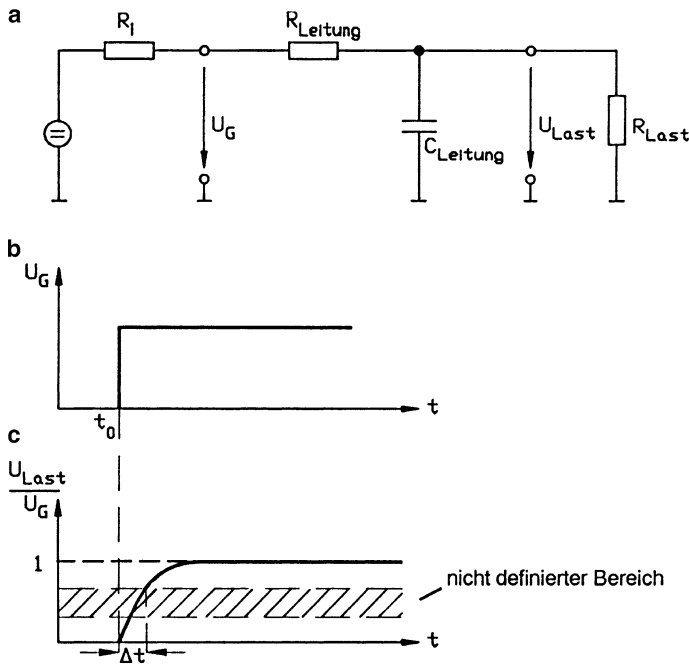


Abb. 1.4 Impulsverzerrung auf einer Leitung: **a** Ersatzschaltbild der Anordnung **b** Ausgangsspannung des Generators **c** Empfängerspannung

tion 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

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

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 (Abb. 1.5).

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

Diese Werte können mit so genannten 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 Potenzialunterschieden 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 (Abb. 1.6).

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

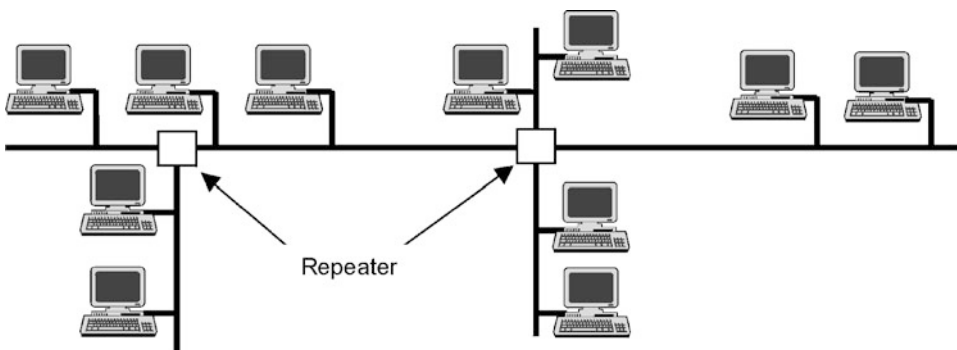


Abb. 1.5 Baumstruktur

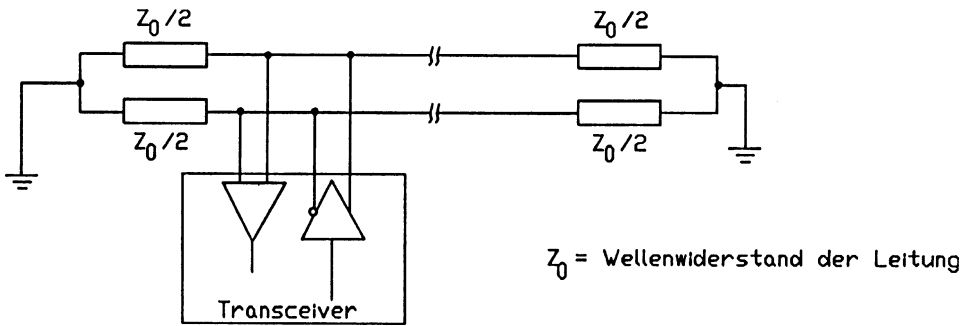


Abb. 1.6 Ankopplung mit Differenzspannungs-Signal

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.

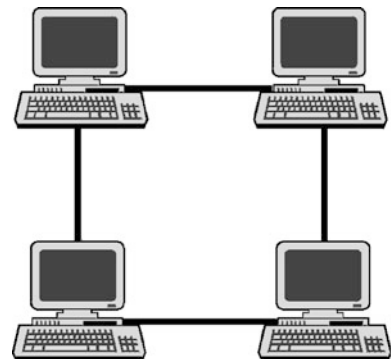
1.1.5 Ringstruktur

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

Dabei wird die zu übertragende Information von Teilnehmer zu Teilnehmer weitergereicht. 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-

Abb. 1.7 Ringstruktur



System Industrial Ethernet (Siemens) einen Ringumfang von 100 km bei einer Übertragungsrate von 100 MBd.

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, sodass 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

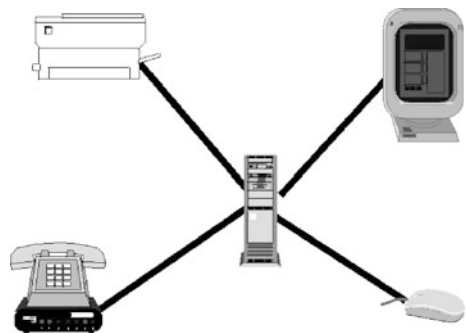
Hier ist die Zentralstation mittels Zweipunktverbindung mit jedem anderen Teilnehmer verbunden (Abb. 1.8).

Es existieren zwei Möglichkeiten, die Zentralstation zu realisieren. Zum einen der so genannte 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.

Abb. 1.8 Sternstruktur



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 Systemen, 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 Abb. 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 Anwenderprogramm und dem Betriebssystem des verwendeten Rechners koordinieren.

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

Abb. 1.9 OSI-Modell (Open Systems Interconnection) von ISO (International Standardization Organisation). **a** Übersicht, **b** die IEEE-Standards der unteren 3 Schichten

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.

Dazu werden die zu übertragenden Daten in Rahmen (*data frames*) eingeteilt, sodass in jedem 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 virtuellen 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.

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 so genannte *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 oben genannten 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 *Basic Combined Subset* für Verbindungssteuerung und Datenübertragung,

BAS *Basic Activity Subset* für Aktivitätsverwaltung und

BSS *Basic Synchronized Subset* 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 während 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 so genannten *service access points* (SAP). Jeder SAP hat eine eindeutige Adresse.

Die Dienste werden in verbindungsunabhängige und verbindungsorientierte Dienste unterschieden (siehe oben).

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,