

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