

---

Dr. Franz-Joachim Kauffels

# Lokale Netze

---

14., aktualisierte und erweiterte Auflage



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Lokale Netze – eine Erfolgsstory</b>	<b>17</b>
1.1	Der Ursprung Lokaler Netze	21
1.2	Anwendungsfelder Lokaler Netze	34
1.2.1	Das LAN im Rechenzentrum	34
1.2.2	Das LAN als Basis eines Integrierten Informationssystems	38
1.2.3	Das LAN in der Industriellen Fertigungsumgebung	40
1.2.4	PC-Netze	41
1.2.5	Intranets	48
1.3	Netzwerk-Architekturen für Verteilte Anwendungen	56
1.3.1	Einführung und Problemstellung	57
1.3.2	Netzwerkarchitekturen	58
1.3.2.1	Open Systems Interconnection	58
1.3.2.2	SNA, SAA und Networking Blueprint	66
1.4.2.3	Die TCP/IP-Protokolle (DoD-Protokollfamilie)	68
1.4	LAN-Standards und Standard-LANs	70
1.4.1	LAN-Medien und LAN-Grundtypen	71
1.4.1.1	Übertragungsmedien und Übertragungstechniken (vgl. Kap.2)	71
1.4.1.2	LAN-Topologien und Verkabelungsstrategien (vgl. Kap. 2.6)	73
1.4.2	Steuerungsverfahren für Shared Media LANs (vgl. Kapitel 3)	75
1.4.2.1	Token-Passing-Steuerungsverfahren	77
1.4.2.2	CSMA-Steuerungsverfahren	78
1.4.3	LAN-Standards (vgl. Kapitel 4)	79
1.4.4	Die klassischen LANs (Kapitel 3, 4, 5)	81
1.4.4.1	CSMA/CD, populär Ethernet	81
1.4.4.2	Token Ring	84
1.4.4.3	FDDI	85
1.5	Wichtige Weiterentwicklungen der Standard-LANs	86
1.5.1	Das Problem: müde Standard-LANs	86
1.5.2	Strukturierte Verkabelung	87
1.5.3	Hub-Technologie	89
1.5.4	LAN-Switching	91
1.5.5	ATM-LANs	92
1.6	Überblick über den Inhalt des Buches	94

<b>2</b>	<b>Nachrichtenübertragung in Lokalen Netzen</b>	<b>97</b>
2.1	Grundsatzfragen der Übertragungstechnik	99
2.1.1	Bits und Bauds	99
2.1.2	Ein Modell für ein Übertragungssystem	101
2.1.3	Die echten Fundamentals: Fourier-Analyse, Abtasttheorem, Impulsverformung und Bandbreite	102
2.1.4	Die Nyquistbedingungen	108
2.1.5	Bandbreite, Kanalkapazität und Ausnutzung	115
2.1.6	Multiplexverfahren, Grundbegriffe	119
2.2	Übertragung auf metallischen Leitern	122
2.2.1	Niederfrequenzkabel	123
2.2.1.1	Physikalische Eigenschaften von Leitungen	124
2.2.1.2	Nebensprechdämpfung	127
2.2.1.3	Entscheidende Parameter bei Verkabelungssystemen	128
2.2.1.4	Grundtypen des Twisted Pair	130
2.2.1.5	Entwicklung von Spezifikationen und Normen für Niederfrequenzkabel	132
2.2.1.6	Datenstecker für Niederfrequenzkabel	135
2.2.2	Hochfrequenzkabel	137
2.2.3	Übertragungsverfahren auf metallischen Leitern	140
2.2.3.1	Einfache Basisbandübertragungsverfahren	141
2.2.3.2	Partial-Response-Verfahren	145
2.2.3.3	Basisbandübertragung mehrwertiger Signale	149
2.2.3.4	Breitbandübertragungstechnik	150
2.2.3.5	Technische Ausführung kabelgebundener Breitbandübertragungssysteme	154
2.3	Optische Übertragungstechnologie	156
2.3.1	Grundaufbau Optischer Übertragungssysteme	159
2.3.1.1	Einkanalsysteme	159
2.3.1.2	Mehrkanal Wellenlängenmultiplex-Systeme	161
2.3.2	Strahlungsquellen und Modulatoren	166
2.3.2.1	Strahlungsquellen	167
2.3.2.2	Modulation	170
2.3.3	Lichtwellenleiter	172
2.3.3.1	Grundsätzliche Eigenschaften von Lichtwellenleitern	172
2.3.3.2	Ausführungsformen von Lichtwellenleitern	182
2.3.4	Strahlungsempfänger	189
2.3.5	Aufbau und Eigenschaften von Lichtwellenleiterkabeln	190
2.3.6	Optische Verbindungstechnik	194
2.3.6.1	Spleißtechnik	194

2.3.6.2	Steckertechnik	196
2.3.7	Einmessung von Lichtleiterverbindungen	200
2.3.8	Optische Sternkoppler	201
2.3.9	Optische Multiplexer	203
2.4	Wireless LANs	206
2.4.1	Wireless LANs – Architektur	207
2.4.2	Spread Spectrum, Microwave und Infrarot	209
2.4.3	Wireless LANs nach IEEE 802.11	211
2.5	Codierung und Fehlersicherung	217
2.5.1	Parity Check	217
2.5.2	Blocksummen-Check	218
2.5.3	Cyclic Redundancy Checksum/CRC	218
2.6	Verkabelung: Problematik, Standards, Beispiele	219
2.6.1	Grundsätzliche Anforderungen und Problemstellungen	220
2.6.2	Versorgungs- und Verkabelungsbereiche	225
2.6.3	Standards für die Inhouse-Verkabelung	232
2.6.3.1	Der EIA/TIA 568-Standard	232
2.6.3.2	Der ISO/IEC-Standard 11801	237
2.6.3.3	Zum CE-Zeichen (CE-Konformität)	249
<b>3</b>	<b>Klassische LAN-Zugriffverfahren</b>	<b>251</b>
3.1	Einleitung	252
3.2	Zugriffverfahren in Ringsystemen	253
3.2.1	Das Token-Ring-Protokoll	254
3.2.2	Slotted Ring	264
3.2.3	Erhöhung der Zuverlässigkeit von Ringnetzen	265
3.2.4	FDDI-Ringnetzwerk	267
3.2.4.1	FDDI-Topologie und Glasfaser-Interface	267
3.2.4.2	Die FDDI-Zugriffsmethode	270
3.2.4.3	FDDI – Zuverlässigkeit und Leistung	271
3.2.5	System- und Produktbeispiel Token Ring	272
3.3	Zugriffverfahren in Bussystemen	277
3.3.1	Klassifikation von Bussystemen	278
3.3.2	Auswahltechniken und der Token Bus	281
3.3.3	Random-Access-Methoden	282
3.3.4	Bus-Systembeispiel Ethernet V.2	295
3.3.4.1	Systemübersicht	295
3.3.4.2	Technischer Überblick	298
3.3.4.3	Entwicklung von Ethernet	304

<b>4</b>	<b>LAN-Standards und Standard-LANs</b>	<b>305</b>
4.1	Der Standard IEEE 802/ISO 8802 –Übersicht	307
4.2	IEEE 802.2/ISO 8802.2 Logical Link Control und IEEE 802.1/ISO 8802.1 architekturelle Einbindung	312
4.2.1	OSI-Schichtenbildung	313
4.2.2	OSI Dienst- und Protokollspezifikationen	314
4.2.3	Service Primitive-Typen	316
4.2.4	Protokoll-Dateneinheiten	318
4.2.5	Das HDLC-Protokoll	320
4.2.6	Die LLC nach IEEE 802	324
4.3	IEEE 802.3/ISO 8802.3 CSMA/CD-System	332
4.3.1	IEEE 802.3/ISO 8802.3 MAC	333
4.3.2	IEEE 802.3 10Base-5	338
4.3.3	IEEE 802.3 10Base-2 »Cheapernet«	340
4.3.4	IEEE 802.3 10Base-T Twisted Pair-LAN	342
4.3.5	IEEE 802.3 Fiber-Optic-Systeme	347
4.3.6	IEEE 802.3 10Broad-36	354
4.3.7	Full Duplex Ethernet	355
4.3.8	100 Base-T	356
4.4	IEEE 802.4/ISO 8802.4 Token-Bus-System	364
4.5	IEEE 802.5/ISO 8802.5 und IBM Token-Ring-System	364
4.5.1	Token Ring Physical Layer	374
4.6	ANSI X3T9.5/ISO 9314-X FDDI-System	375
4.6.1	FDDI – Media Access Control/MAC	376
4.6.2	FDDI – Physical Layer Protocol/PHY	381
4.6.3	FDDI – Physical Medium Dependent/PMD	383
4.6.4	FDDI – Station Management/SMT	386
4.6.5	Fehlertoleranz im FDDI-Ringnetz	386
<b>5</b>	<b>Vom Standard-LAN zum Unternehmensnetz</b>	<b>389</b>
5.1	Internetworking	390
5.1.1	Die allgemeine LAN-Internetworking-Problematik	393
5.1.2	Bedarfsorientiertes LAN-Internetworking	396
5.1.2.1	Kopplung mit Brücken	396
5.1.2.1.1	Grundsätzliche Arbeitsweise von Brücken	396
5.1.2.1.2	Selbstlernende Brücken	399
5.1.2.1.3	Schleifenunterdrückung	400
5.1.2.1.4	Spanning Tree-Verfahren	400
5.1.2.1.5	Source Routing	401
5.1.2.2	Kopplung mit Routern	403
5.1.2.2.1	Architektur von Routern	403
5.1.2.2.2	Routing und Netzwerk-Protokolle	404

---

5.1.2.2.3	IP, das Internet Protocol	406
5.1.2.2.4	RIP	411
5.1.2.2.5	OSPF	412
5.1.2.2.6	IS-IS-Protokoll	412
5.1.2.2.7	Integrated IS-IS	413
5.1.3	Encapsulation und Translation-Techniken	413
5.2	LAN-Management, Sicherheit und Betrieb	416
5.2.1	Einleitung	417
5.2.2	Funktionen des integrierten Netzwerk-Managements	421
5.2.3	Methoden der Integration von Management-Instrumenten	424
5.2.4	Netzwerk-Management Standards	429
5.2.4.1	SNMP	430
5.2.4.2	RMON: Remote Monitoring	435
5.2.4.3	SNMP Version 2	440
5.3	Sicherheit in Internet und Intranets	442
5.3.1	Allgemeine Bedrohungen	443
5.3.2	Spezielle Schwachstellen von Internet/Intranets	446
5.3.3	ID-Systeme	452
5.3.4	Schutz von Objekten in verteilten Umgebungen	454
5.3.4.1	Schutz von Objekten (allgemein)	455
5.3.4.2	Objekte in vernetzten und verteilten Systemen	460
5.3.5	Schwachstellen der Informationssicherheit in Netzen und Absicherungsmaßnahmen bis zur Schicht 5	465
5.3.5.1	Einflüsse auf die Informationssicherheit	465
5.3.5.2	Schwachstellen in der Schicht 0, Medium	466
5.3.5.3	Schwachstellen der Bitübertragungsschicht	467
5.3.5.4	Schwachstellen in der Sicherungsschicht, Schicht 2	469
5.3.5.5	Schwachstellen in der Vermittlungsschicht, Schicht 3	470
5.3.5.6	Sicherung der Information auf der Transportschicht	470
5.3.5.7	Sicherung der Information auf der Kommunikations-Steuerungsschicht	472
5.3.6	Sicherung der Information auf der Datendarstellungsschicht	472
5.3.7	Probleme der Anwendungsschicht	474
5.3.8	Die Sicherheitspolitik	474
5.3.8.1	Die Erarbeitung einer Sicherheitspolitik	476
5.3.9	Firewall-Systeme	477
5.3.9.1	Grundlegende Konstruktionsprinzipien	478
5.3.9.2	Beispiel: Raptor Systems Eagle	483
5.3.9.3	Planung und Implementierung	486
5.3.10	Fazit	491

<b>6</b>	<b>LAN-Evolution: Switching, Qualität, Gigabits</b>	<b>493</b>
6.1	Herausforderungen an die Netzwerk-Planung	498
6.1.1	Konkrete Anforderungen an moderne Netzwerk-Infrastrukturen	499
6.1.2	Trends	509
6.1.3	Schwachstellen bisheriger Netze	515
6.1.4	E-Business-feste Infrastrukturen	521
6.2	LAN-Switching	530
6.2.1	Grundlegende Konstruktionsprinzipien für Switches	532
6.2.2	Merkmale moderner Switches	536
6.2.3	Layer-2-Switching für Ethernet	543
6.2.3.1	Dedicated Ethernet	544
6.2.3.2	Bandwidth on Demand	548
6.2.3.3	Produktbeispiele Ethernet-Switches	550
6.2.4	Layer 3- und Layer 4-Switching	551
6.2.5	Leistungssteigerung mit Trunking	559
6.3	Gigabit Ethernet	565
6.3.1	Der Weg zum Standard	567
6.3.2	Der Gigabit Ethernet Standard	570
6.3.2.1	Übertragungssysteme auf der Grundlage von Fibre Channel	570
6.3.2.2	1000 BASE-T Gigabit Ethernet über Kupferverkabelung	575
6.3.2.3	Shared Gigabit Ethernet	589
6.3.2.4	Full Duplex Gigabit Ethernet Switching	592
6.3.3	Überlegungen zum Einsatz von Gigabit-Ethernet	593
6.3.4	Migration zu Gigabit Ethernet	598
6.4	Virtuelle Netze	603
6.4.1	Heutige Lösungen	603
6.4.2	Virtuelle Netze als Basis für neue Lösungen im Hinblick auf logische Workgroups	606
6.4.3	Virtuelle Netze nach IEEE 802.1Q	610
6.5	Auf der Suche nach Qualität	615
6.5.1	RSVP	617
6.5.2	Integrierte Dienste über LANs nach 802.1 D/p	621
6.5.3	Leistungsanalyse von Gigabit Ethernet	626
6.5.3.1	Modellierung, Grundgedanken	628
6.5.3.2	Eine Gruppe geeigneter Warteschlangenmodelle	635
6.5.3.2.1	M/G/1-Modell	635
6.5.3.2.2	M/D/1-Modell	636
6.5.3.3	Ergebnisse	638
6.5.3.4	Gigabit Ethernet versus Fast Ethernet mit Priorisierung	641
6.5.3.5	Verkettete Switches	644
6.6	IP-Telefonie im LAN	645
6.6.1	Motivation	646

6.6.2	Technische Szenarien	651
6.6.3	Architektur, Funktionen und Standards	655
6.6.4	Technische Anforderungen an das lokale IP-Kernnetz	659
<b>7</b>	<b>Optische Netze und 10 Gigabit Ethernet</b>	<b>665</b>
7.1	Zur Entwicklung von Anforderungen und Märkten	666
7.2	Optische Netze	671
7.2.1	Überblick	671
7.2.2	Wichtige Technologien	676
7.2.2.1	Breitband WDM	676
7.2.2.2	Optische Verstärker – die Anfänge	676
7.2.2.3	Dense Wavelength Division Multiplexing DWDM	676
7.2.2.4	Optische Verstärker heute	677
7.2.2.5	Schmalband-Laser	678
7.2.2.6	Fiber-Bragg-Gitter	678
7.2.2.7	Dünnschichtsubstrate	678
7.2.2.8	Weitere Entwicklungen bei Komponenten	679
7.2.3	Anwendungen der Komponenten	680
7.2.4	Märkte für Optische Netze	682
7.2.5	Design- und Planungsaspekte	685
7.2.6	Evolution der Netze	688
7.3	10 Gigabit Ethernet	690
7.3.1	Ziele bei der Entwicklung des 10 GbE-Standards	692
7.3.2	Struktur des Dokumentes IEEE 802.3ae	695
7.3.3	LAN-PHY	697
7.3.3.1	LAN-PHY Übertragungstechniken – Übersicht	698
7.3.3.2	Parallele Übertragung	702
7.3.3.3	Serielle Übertragung	702
7.3.3.4	CWDM-Übertragung	705
7.3.3.5	Analoge Übertragung	706
7.3.3.6	10 GbE über Kupfer	706
7.3.3.7	Konsensus	708
7.3.4	IEEE 802.3ae WAN-PHY	709
7.3.4.1	WAN-PHY-Terminologie	709
7.3.4.2	Das WAN-PHY-Layer-Modell	716
7.3.5	UniPHY	721
7.3.6	XAUI, XGSS und XGMII	725
7.3.7	XGMII-Schnittstelle	727
7.3.8	Derzeitiger Status	732
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>735</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>743</b>