

1. Einleitung	1
1.1 Einsatzgebiete von Computer-Netzwerken	3
1.1.1 Netzwerkziele	3
1.1.2 Netzwerk-Anwendungen	4
1.2 Netzwerk-Strukturen	6
1.3 Netzwerk-Architekturen	11
1.3.1 Protokollhierarchien	11
1.3.2 Entwicklungsaspekte der Schichten	15
1.4 Das OSI-Referenzmodell	17
1.4.1 Die Bitübertragungsschicht	18
1.4.2 Die Sicherungsschicht	19
1.4.3 Die Vermittlungsschicht	19
1.4.4 Die Transportschicht	20
1.4.5 Die Sitzungsschicht	21
1.4.6 Die Darstellungsschicht	22
1.4.7 Die Anwendungsschicht	23
1.4.8 Die Datenübertragung im OSI-Modell	23
1.5 Dienste	24
1.5.1 OSI-Terminologie	24
1.5.2 Verbindungsorientierte und verbindungsunabhängige Dienste	27
1.5.3 Dienstelemente	29
1.5.4 Die Beziehung zwischen Diensten und Protokollen	32
1.6 Die Netzwerk-Normung	33
1.6.1 Who's who in der Welt der Telekommunikation	33
1.6.2 Who's who in der Normen- und Standardwelt	35

1.6.3 Besprechung der Normung des OSI-Modells	36
1.7 Beispielnetzwerke	39
1.7.1 Öffentliche Netzwerke	39
1.7.2 Das ARPANET	42
1.7.3 MAP und TOP	44
1.7.4 USENET	49
1.7.5 CSNET	50
1.7.6 BITNET	52
1.7.7 SNA	53
1.8 Überblick über den Rest des Buchs	58
1.9 Zusammenfassung	59
2. Die Bitübertragungsschicht	63
2.1 Die theoretischen Grundlagen für Datenübertragung	63
2.1.1 Fourieranalyse	63
2.1.2 Bandbreitenbeschränkte Signale	64
2.1.3 Die maximale Datenrate eines Kanals	66
2.2 Übertragungsmedien	68
2.2.1 Magnetische Medien	68
2.2.2 Verdrilltes Leitungspaar	69
2.2.3 Basisband-Koaxialkabel	70
2.2.4 Breitband-Koaxialkabel	71
2.2.5 Lichtwellenleiter	74
2.2.6. Übertragung über Sichtverbindungen	78
2.2.7. Kommunikationssatelliten	79
2.3 Analoge Übertragung	84
2.3.1 Das Telefonsystem	84

2.3.2 Modems	87
2.3.3 RS-232-C und RS-449	91
2.4 Digitale Übertragung	93
2.4.1 Pulscodemodulation	94
2.4.2 Kodierungssysteme	96
2.4.3 Die Digitalschnittstelle X.21	98
2.5 Übertragung und Vermittlung	101
2.5.1 Frequenz- und Zeitmultiplexverfahren	101
2.5.2 Die Leitungsvermittlung	103
2.5.3 Die Paketvermittlung	104
2.5.4 Die Hybridvermittlung	106
2.6 ISDN - Integrated Services Digital Network	107
2.6.1 ISDN-Dienste	108
2.6.2 Die Entwicklung von ISDN	111
2.6.3 Systemaufbau von ISDN	114
2.6.4 Die digitale PBX	118
2.6.5 Die ISDN-Schnittstelle	121
2.6.6 Die ISDN-Signalübertragung - SS #7	126
2.6.7 Die Aussichten von ISDN	128
2.7 Terminalhandling	131
2.7.1 Polling	131
2.7.2 Multiplexing gegen Konzentration	133
2.8 Zusammenfassung	135
3. Die MAC-Teilschicht	139
3.1 Lokale Netze (LANs) und Großstadtnetze (MANs)	139
3.1.1 Statische Kanalzuordnung bei LANs und MANs	140

3.1.2 Dynamische Kanalzuordnung bei LANs und MANs	142
3.2 ALOHA Protokolle	144
3.2.1 Reines ALOHA und unterteiltes ALOHA	144
3.2.2 ALOHA mit endlich vielen Benutzern	149
3.3 Protokolle in lokalen Netzwerken	152
3.3.1 Ständiges und unterbrochenes CSMA	152
3.3.2 CSMA mit Kollisionserkennung	154
3.3.3 Kollisionsfreie Protokolle	155
3.3.4 Rundsendeerkennung mit wechselnden Prioritäten (BRAP)	157
3.3.5 MLMA - Multi-Level Multi-Access	158
3.3.6 Binärer Countdown	160
3.3.7 Protokolle mit eingeschränkter Konkurrenz	161
3.3.8 Das adaptive Baumprotokoll (Adaptive Tree Walk Protocol)	163
3.3.9 Das Urnenprotokoll	165
3.4 Die IEEE-Norm 802 für lokale Netzwerke	168
3.4.1 Die IEEE-Norm 802.3 und Ethernet	169
3.4.2 Die IEEE-Norm 802.4: Token-Bus	177
3.4.3 Die IEEE-Norm 802.5: Token-Ring	184
3.4.4 Vergleich von lokalen Netzwerken	195
3.5 Lichtwellenleiter-Netzwerke	199
3.5.1 FDDI	199
3.5.2 Fibernet II	202
3.5.3 S/NET	203
3.5.4 FASNET und EXPRESSNET	205
3.5.5 DATAKIT	208
3.6 Satellitennetzwerke	210
3.6.1 SPADE	211

3.6.2	Nochmal ALOHA	212
3.6.3	ALOHA mit Reservierung	215
3.7	Paketfunknetzwerke	218
3.7.1	Das ALOHA-System der Universität von Hawaii	219
3.7.2	Entwicklungsaspekte bei Paketfunknetzwerken	221
3.8	Beispiele der MAC-Teilschicht	227
3.8.1	Die MAC-Teilschicht in öffentlichen Netzwerken	227
3.8.2	Die MAC-Teilschicht im ARPANET	227
3.8.3	Die MAC-Teilschicht in MAP und TOP	228
3.8.4	Die MAC-Teilschicht in USENET	228
3.9	Zusammenfassung	228
4.	Die Sicherungsschicht	237
4.1	Die Planungskriterien für die Sicherungsschicht	237
4.1.1	Die Dienste an die Vermittlungsschicht	237
4.1.2	Die Rahmenerstellung	241
4.1.3	Die Fehlerüberwachung	245
4.1.4	Die Flußsteuerung	246
4.1.5	Die Verbindungsverwaltung	246
4.2	Fehlererkennung und Fehlerkorrektur	247
4.2.1	Codes für die Fehlerbehebung	249
4.2.2	Codes mit Fehlererkennung	251
4.3	Die wichtigsten Protokolle in der Sicherungsschicht	256
4.3.1	Ein uneingeschränktes Simplex-Protokoll	261
4.3.2	Das Stop-and-Wait-Protokoll im Simplexverfahren	262
4.3.3	Ein Simplex-Protokoll für rauschende Leitungen	265

4.4 Schiebefensterprotokolle	269
4.4.1 Ein Schiebefensterprotokoll mit einem Bit	271
4.4.2 Ein Protokoll mit »Gehe n zurück«	275
4.4.3 Protokolle mit selektiver Wiederholung	282
4.5 Die Leistung der Protokolle	288
4.5.1 Die Leistung des Stop-and-Wait-Protokolls	288
4.5.2 Die Leistung des Schiebefensterprotokolls	292
4.6 Spezifikation und Verifikation von Protokollen	295
4.6.1 Modelle mit endlichen Automaten	295
4.6.2. Die Spezifikationssprache im Estelle-Protokoll	302
4.6.3 Petrinetz-Modelle	304
4.7. Beispiele der Sicherungsschicht	306
4.7.1 Die Sicherungsschicht in öffentlichen Netzwerken	307
4.7.2. Die Sicherungsschicht in ARPANET	311
4.7.3 Die Sicherungsschicht in MAP und TOP	317
4.7.4 Die Sicherungsschicht in USENET	321
4.8 Zusammenfassung	323
5. Die Vermittlungsschicht	329
5.1 Planungskriterien für die Vermittlungsschicht	329
5.1.1 Dienstleistung für die Transportschicht	329
5.1.2 Die interne Organisation der Vermittlungsschicht	339
5.1.3 Die Leitwegbestimmung	345
5.1.4 Überlastung	346
5.1.5 Die netzüberschreitende Kommunikation	349
5.2 Leitwegbestimmungsalgorithmen	349
5.2.1. Leitwegbestimmung mit dem kürzesten Pfad	350

5.2.2 Die Mehrfach-Leitwegbestimmung	353
5.2.3 Die zentralisierte Leitwegbestimmung	355
5.2.4 Die isolierte Leitwegbestimmung	358
5.2.6 Die verteilte Leitwegbestimmung	361
5.2.7 Die Leitwegbestimmung nach dem Optimalitätsprinzip	363
5.2.8 Die flußorientierte Leitwegbestimmung	365
5.2.9 Die hierarchische Leitwegbestimmung	368
5.2.10 Die Rundsende-Leitwegbestimmung	370
5.3 Überlastungssteuerungs-Algorithmen	372
5.3.1 Die Vorabzuweisung von Puffern	372
5.3.2 Das Verwerfen von Paketen	374
5.3.3 Die isarithmische Überlastungssteuerung	376
5.3.5 Choke-Pakete	378
5.3.6 Deadlocks	379
5.4 Die netzüberschreitende Kommunikation	385
5.4.2 Brücken	391
5.4.3 Gateways	406
5.4.4 Vergleich von verbindungsorientierten und -unabhängigen Gateways	416
5.4.5 Brücken- und Gateway-Software	417
5.5 Beispiele für die Vermittlungsschicht	421
5.5.1 Die Vermittlungsschicht in öffentlichen Netzwerken	421
5.5.2 Die Vermittlungsschicht in ARPANET (IP)	432
5.5.3 Die Vermittlungsschicht in MAP und TOP	437
5.6 Zusammenfassung	440

6. Die Transportschicht	445
6.1 Planungskriterien für die Transportschicht	446
6.1.1 Dienste an die Sitzungsschicht	446
6.1.2 Die Dienstgüte	448
6.1.3 Die Dienstelemente des OSI-Transportdienstes	451
6.1.4 Das Transportprotokoll	458
6.1.5 Die Elemente eines Transportprotokolls	462
6.2 Verbindungsverwaltung	467
6.2.1 Adressierung	467
6.2.2 Eine Verbindung aufbauen	472
6.2.3 Eine Verbindung abbauen	478
6.2.4 Timer-orientierte Verbindungsverwaltung	484
6.2.5 Flußsteuerung und Zwischenspeicherung	487
6.2.6 Das Multiplexing	491
6.2.7 Wiederherstellung nach einem Systemabsturz	493
6.3 Ein einfaches Transportprotokoll über X.25	497
6.3.1 Die Dienstelemente des Beispielprotokolls	497
6.3.2 Die Transportinstanz des Beispielprotokolls	499
6.3.3 Das Beispiel als endlicher Automat	507
6.4 Die Transportschicht in Beispielnetzen	510
6.4.1 Die Transportschicht in öffentlichen Netzen	510
6.4.2 Die Transportschicht im ARPANET (TCP)	518
6.4.3 Die Transportschicht in den Protokollen MAP und TOP	526
6.4.4 Die Transportschicht im USENET	526
6.5 Zusammenfassung	527

7. Die Sitzungsschicht	533
7.1 Planungskriterien der Sitzungsschicht	533
7.1.1 Dienste an die Darstellungsschicht	533
7.1.2 Der Datenaustausch	536
7.1.3 Die Dialogverwaltung	538
7.1.4 Synchronisierung	539
7.1.5 Aktivitätsverwaltung	542
7.1.6 Die Ausnahmeberichterstattung	546
7.1.7 Die OSI-Dienstelemente der Sitzungsschicht	546
7.2 Der rechnerferne Prozeduraufruf	550
7.2.1 Das Client-Server-Modell	551
7.2.2 Implementierung des rechnerfernen Prozeduraufrufs	553
7.2.3 Die Semantiken des rechnerfernen Prozeduraufrufs	557
7.2.4 Waisen	560
7.2.5 Besprechung von RPC	562
7.3 Beispiele der Sicherungsschicht	564
7.3.1 Die Sitzungsschicht in öffentlichen Netzwerken	564
7.3.2 Die Sitzungsschicht in ARPANET	568
7.3.3 Die Sitzungsschicht in MAP und TOP	568
7.3.4 Die Sitzungsschicht in USENET	568
7.4 Zusammenfassung	569
8. Die Darstellungsschicht	571
8.1 Die Planungskriterien der Darstellungsschicht	571
8.1.1 Die Datendarstellung	572
8.1.2 Die Datenkomprimierung	573
8.1.3 Netzwerksicherheit und Datenschutz	573

8.1.4 Die Dienstelemente der OSI-Darstellungsschicht	575
8.2 Die Abstrakte Syntaxnotation 1 (ASN.1)	576
8.2.1 Datenstrukturen	576
8.2.2 Die abstrakte Syntax	583
8.2.3 Die Transfersyntax	590
8.3 Methoden zur Datenkomprimierung	594
8.3.1 Kodierung einer endlichen Menge von gleich häufigen Symbolen	595
8.3.2 Die häufigkeitsabhängige Kodierung	596
8.3.3 Die kontextabhängige Kodierung	599
8.4 Kryptographie	601
8.4.1 Die traditionelle Kryptographie	601
8.4.2 Die Datenverschlüsselungsnorm DES	610
8.4.3 Das Problem der Schlüsselverteilung	618
8.4.4 Kryptographie mit öffentlichen Schlüsseln	622
8.4.5 Authentifizierung und digitale Unterschriften	625
8.5 Beispiele für die Darstellungsschicht	630
8.5.1 Die Darstellungsschicht in öffentlichen Netzen	631
8.5.2 Die Darstellungsschicht in ARPANET	634
8.5.3 Die Darstellungsschicht in MAP und TOP	634
8.5.4 Die Darstellungsschicht im USENET	635
8.6 Zusammenfassung	635
9. Die Anwendungsschicht	641
9.1 Planungskriterien für die Anwendungsschicht	641
9.1.1 Dateitransfer, Dateizugriff und Dateiverwaltung	641
9.1.2 Elektronische Post	642
9.1.3 Virtuelle Terminals	644

9.1.4 Andere Anwendungen	644
9.1.5 Die OSI-Dienstelemente ACSE und CCR	645
9.2 Dateitransfer, -zugriff und -verwaltung (FTAM)	648
9.2.1 Dateiserver	649
9.2.2 Die Steuerung der Mehrfachbearbeitung	653
9.2.3 Mehrfachdateien (replicated files)	656
9.2.4 Implementierungsaspekte	658
9.3 Die elektronische Post	663
9.3.1 Architektur und Dienste bei MOTIS/X.400	664
9.3.2 Der Benutzeragent	669
9.3.3 Der Transferagent	674
9.4 Virtuelle Terminals	678
9.4.1 Terminals mit Bilddurchlaufmodus	678
9.4.2 Terminals mit Seitenmodus	682
9.4.3 Terminals mit Formularmodus	684
9.5 Andere Anwendungen	691
9.5.1 Verzeichnisdienst	691
9.5.2 Jobtransfer und Jobverwaltung	694
9.5.3 Bildspeicherung und -übertragung	695
9.5.4 Teletext und Bildschirmtext	697
9.6 Beispiele der Anwendungsschicht	700
9.6.1 Die Anwendungsschicht in öffentlichen Netzwerken	700
9.6.2 Die Anwendungsschicht in ARPANET	713
9.6.3 Die Anwendungsschicht in MAP und TOP	721
9.6.4 Die Anwendungsschicht in USENET	727
9.7 Zusammenfassung	734

10. Zusatzlektüre und Literaturverzeichnis	739
10.1 Empfohlene Zusatzlektüre	739
10.1.1 Einführung und allgemeine Werke	739
10.1.2 Die Bitübertragungsschicht	740
10.1.3 Die MAC-Teilschicht	741
10.1.4 Die Sicherungsschicht	741
10.1.5 Die Vermittlungsschicht	742
10.1.6 Die Transportschicht	743
10.1.7 Die Sitzungsschicht	744
10.1.8 Die Darstellungsschicht	744
10.1.9 Die Anwendungsschicht	745
10.2 Alphabetisches Literaturverzeichnis	746
A. Einführung in Warteschlangentheorie	763
A.1 Warteschlangensysteme	763
A.2 Die M/M/1-Warteschlange im Gleichgewicht	765
A.3 Netzwerke aus M/M/1-Warteschlangen	770
A.4 Anwendungen der Warteschlangentheorie	771
A.4.1 Terminalkonzentratoren	771
A.4.2 Dedizierte Kanäle gegen Gemeinschaftskanäle	772
A.4.3 Token-Ringe	772
A.4.4 Fehlerwahrscheinlichkeit beim Verbindungsaufbau	773