

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung: Vom Telefon zur Datenautobahn . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1	Was bisher geschah . . . . .	1
1.2	...und wie es weitergehen könnte . . . . .	11
1.2.1	Die Entwicklung des öffentlichen Telekommunikationsmarktes	11
1.2.2	Die Entwicklung im Bereich der privaten Netze . . . . .	21
1.2.3	Die Entwicklung des Internet . . . . .	23
1.2.4	Die Perspektiven für ATM . . . . .	25
1.3	Standardisierungsgremien für ATM/B-ISDN und andere relevante Organisationen . . . . .	27
<b>2</b>	<b>Grundideen des Asynchronen Transfer Modus . . . . .</b>	<b>33</b>
2.1	Asynchrones Zeitmultiplexverfahren und virtuelle Verbindung	33
2.2	Die Zell-Vermittlungsfunktion . . . . .	36
2.3	Der virtuelle Pfad und seine Anwendungen . . . . .	38
2.4	Zwischenpufferung in ATM-Netzen . . . . .	42
2.4.1	Gründe für die Zwischenpufferung . . . . .	42
2.5	Verkehrssteuerung in ATM-Netzen . . . . .	46
<b>3</b>	<b>Architekturkonzepte und Schnittstellen für ATM und B-ISDN</b>	<b>49</b>
3.1	Funktionen und Struktur des B-ISDN . . . . .	50
3.2	Vermittlung von virtuellen Pfaden und Kanälen . . . . .	52
3.3	Das Protokoll-Referenzmodell des B-ISDN . . . . .	55
3.4	Die Breitband-Schnittstellen . . . . .	56
<b>4</b>	<b>Funktionen der ATM-spezifischen Schichten . . . . .</b>	<b>62</b>
4.1	Überblick über die Funktionen . . . . .	62
4.2	Die physikalische Schicht . . . . .	65
4.2.1	Die PMD-Subschicht . . . . .	65
4.2.2	Die TC-Subschicht . . . . .	67

4.2.2.1	Erzeugung und Erkennung des Übertragungsrahmens . . . .	69
4.2.2.2	Anpassung des Zellstroms an den Übertragungsrahmen . . .	71
4.2.2.3	Fehlersicherung für den Zellkopf . . . . .	73
4.2.2.4	Erkennen der Zellgrenzen . . . . .	75
4.2.2.5	Entkoppeln der Zellrate von der Übertragungsrate . . . . .	77
4.2.2.6	Die UTOPIA-Schnittstelle . . . . .	77
4.2.2.7	Verfahren zum inversen Multiplexen . . . . .	78
4.3	Die ATM-Schicht . . . . .	78
4.3.1	Das ATM-Zellformat . . . . .	79
4.3.2	Die Generische Flußsteuerung . . . . .	80
4.3.3	Die Verbindungskennung . . . . .	83
4.3.4	Die Funktionen des PT-Feldes . . . . .	85
4.3.5	Das CLP-Bit . . . . .	86
4.3.6	Die Dienst-Schnittstellen der ATM-Schicht . . . . .	87
4.3.7	Mehrpunktverbindungen auf der ATM-Schicht . . . . .	88
4.4	Die ATM-Anpassungsschicht (AAL) . . . . .	90
4.4.1	Dienstklassen und AAL-Typen . . . . .	90
4.4.2	Der AAL Typ 1 . . . . .	92
4.4.3	Die SAR-Subschicht des AAL Typ 1 . . . . .	93
4.4.4	Die CS-Subschicht des AAL Typ 1 . . . . .	94
4.4.5	Der AAL Typ 3/4 . . . . .	96
4.4.5.1	Funktionen und Struktur . . . . .	96
4.4.5.2	Die SAR-Subschicht . . . . .	99
4.4.5.3	Die CPCS-Subschicht . . . . .	100
4.4.6	Der AAL Typ 5 . . . . .	101
4.4.6.1	Die SAR-Subschicht . . . . .	102
4.4.6.2	Die CPCS-Subschicht . . . . .	102
<b>5</b>	<b>Verkehrssteuerung und statistisches Multiplexen . . . . .</b>	<b>104</b>
5.1	Verbindungstypen . . . . .	104
5.1.1	Deterministische Bitrate (Deterministic Bit Rate, DBR) . . . .	105
5.1.2	Statistische Bitrate (Statistical Bit Rate, SBR) . . . . .	106
5.1.3	Verfügbare Bitrate (Available Bit Rate, ABR) . . . . .	106
5.1.4	ATM-Block-Übertragung (ATM Block Transfer, ABT) . . . . .	107
5.1.5	Nicht Spezifizierte Bitrate (Unspecified Bit Rate, UBR) . . . .	108
5.2	Parameter zur Beschreibung der Übertragungsgüte auf der ATM-Schicht . . . . .	108
5.2.1	Zellverlustwahrscheinlichkeit . . . . .	108
5.2.2	Zellverzögerung . . . . .	109
5.2.3	Zellverzögerungs-Schwankungen . . . . .	109
5.3	Der Verkehrsvertrag . . . . .	111
5.3.1	Die Spitzenzellrate einer ATM-Verbindung . . . . .	112

5.3.2	Der „Generic Cell Rate“-Algorithmus (GCRA) . . . . .	113
5.3.3	CDV-Toleranz . . . . .	115
5.3.4	Die andauernd erlaubte Zellrate (Sustainable Cell Rate, SCR) und die Burst-Toleranz . . . . .	117
5.3.5	Weitere Bestandteile von Verkehrsverträgen . . . . .	118
5.3.6	Verkehrs- und Güteparameter verschiedener Verbindungstypen	119
5.4	Überwachung von ATM-Zellströmen . . . . .	119
5.4.1	Policing-Algorithmen . . . . .	121
5.4.2	Vergleich von Policing-Algorithmen . . . . .	123
5.4.3	UPC-Konfigurationen . . . . .	125
5.5	Traffic Shaping . . . . .	128
5.5.1	Reduktion der Spitzenzellrate innerhalb des Netzes . . . . .	129
5.5.2	Reduktion von Zellverzögerungs-Schwankungen . . . . .	130
5.5.3	Traffic Shaping bei Virtuellen Pfaden . . . . .	131
5.6	Prioritätensteuerung in ATM-Netzen . . . . .	131
5.6.1	Prioritäten innerhalb einer Verbindung . . . . .	131
5.6.2	Zeitprioritäten . . . . .	134
5.6.3	Verbindungsspezifische Prioritäten . . . . .	135
5.7	Verbindungsannahme-Algorithmen . . . . .	138
5.7.1	Grundlagen des statistischen Multiplexens in ATM-Netzen . .	139
5.7.2	Verbindungsannahme-Algorithmen für Verkehr mit Echtzeit- anforderungen . . . . .	145
5.7.2.1	Spitzenzellraten-Reservierung . . . . .	145
5.7.2.2	Lineare Zuteilung von Übertragungskapazität . . . . .	146
5.7.2.3	Faltungsalgorithmen und verwandte Approximationen . . . .	146
5.7.2.4	Sigma-Regel . . . . .	148
5.7.3	Verbindungsannahme-Algorithmen für Verkehr ohne Echt- zeitanforderungen . . . . .	151
5.7.4	Weitere Verbindungsannahme-Algorithmen . . . . .	153
5.8	Schnelle Ressourcenzuteilung . . . . .	153
5.8.1	Reservierung von Übertragungskapazität . . . . .	153
5.8.2	Reservierung von Pufferkapazität . . . . .	155
5.8.3	Die Flußkontrolle für ABR-Verkehr . . . . .	156
5.9	Einsatz virtueller Pfade . . . . .	158
5.10	Überlastbehandlung auf der ATM-Schicht . . . . .	159
5.10.1	Selektives Verwerfen von Zellen . . . . .	159
5.10.2	Frühzeitiges Verwerfen von Paketen . . . . .	160
5.10.3	Explizite Anzeige einer Überlast . . . . .	160
<b>6</b>	<b>Managementkonzepte für Breitbandnetze . . . . .</b>	<b>161</b>
6.1	Schichtspezifische Managementfunktionen im ATM-Transportnetz . . . . .	163

6.1.1	Das Konzept der OAM-Flüsse . . . . .	163
6.1.2	OAM-Funktionen der Physikalischen Schicht . . . . .	167
6.1.2.1	Fehlererkennung und Alarmierung (Fault Management) . . .	167
6.1.2.2	Dauernde Überwachung der Übertragungsqualität (Performance Management) . . . . .	168
6.1.2.3	Zusätzliche systemspezifische Funktionen . . . . .	169
6.1.3	OAM-Funktionen der ATM-Schicht . . . . .	169
6.1.3.1	Fehlererkennung und Alarmierung durch AIS/RDI . . . . .	170
6.1.3.2	Kontinuitätsprüfung (Continuity Check) . . . . .	171
6.1.3.3	Betriebsbegleitende Schleifenbildung (Loopback) . . . . .	171
6.1.3.4	Überwachung der Übertragungsgüte (Performance Monitoring) .	172
6.1.3.5	Das Format der OAM-Zellen . . . . .	173
6.1.4	Verkehrsmessungen auf der ATM-Schicht . . . . .	174
6.2	Die ILMI-Definitionen des ATM-Forums . . . . .	176
6.3	Managementfunktion der Netzebene . . . . .	181
6.3.1	Übersicht über die Standardisierungsaktivitäten . . . . .	181
6.3.2	Typische Funktionen von Netzmanagement-Systemen für ATM-Netze . . . . .	184
6.3.3	Sicherheitsaspekte im Bereich des Netzmanagements . . . . .	189
6.4	Netzmanagement-Plattformen . . . . .	191
6.5	Vergebührung . . . . .	194
<b>7</b>	<b>Zeichengabe in ATM-Netzen . . . . .</b>	<b>197</b>
7.1	Die ATM-Anpassungsschicht für die Zeichengabe . . . . .	198
7.1.1	Die Funktionen der SSCOP-Teilschicht . . . . .	199
7.1.2	Die Funktionen der SSCF-Teilschicht . . . . .	204
7.1.2.1	Die Funktionen der SSCF-Teilschicht am UNI . . . . .	206
7.1.2.2	Die Funktionen der SSCF-Teilschicht am NNI . . . . .	207
7.2	Teilnehmersignalisierung . . . . .	208
7.2.1	Die Teilnehmersignalisierung gemäß ITU-T Q.2931 . . . . .	208
7.2.1.1	Einfache Verbindungssteuerung . . . . .	211
7.2.1.2	Struktur der Schicht 3-Meldungen . . . . .	215
7.2.1.3	Zusätzliche Dienstmerkmale . . . . .	219
7.2.2	Die Teilnehmersignalisierung gemäß ATM-Forum . . . . .	220
7.2.3	Weiterentwicklung der Teilnehmersignalisierung . . . . .	224
7.2.4	Meta-Signalisierung . . . . .	226
7.3	Die CCS7-Zeichengabe für das B-ISDN . . . . .	228
7.3.1	Der Anwenderteil für das B-ISDN (B-ISUP) . . . . .	229
7.4	PNNI-Signalisierung . . . . .	236
7.4.1	PNNI-Protokolle für die Verbindungssteuerung . . . . .	237
7.4.2	Die logische Struktur von PNNI-Netzen . . . . .	239

<b>8</b>	<b>Anwendungen, Dienste und Interworking . . . . .</b>	<b>243</b>
8.1	Anwendungen für eine Breitband-Infrastruktur . . . . .	243
8.1.1	Anwendungen im geschäftlichen Bereich . . . . .	244
8.1.2	Anwendungen im privaten Bereich . . . . .	247
8.2	Das Dienstkonzept des B-ISDN . . . . .	252
8.3	Breitband-Übermittlungsdienste . . . . .	255
8.4	Unterstützung bestehender Dienste . . . . .	256
8.4.1	Schmalbanddienste . . . . .	257
8.4.1.1	Paketierte Übermittlung isochroner Signale mit dem AAL Typ 1	261
8.4.1.2	Strukturierte Übermittlung isochroner Signale . . . . .	263
8.4.1.3	64 kbit/s-Sprache über ATM . . . . .	264
8.4.2	Datendienste . . . . .	269
8.4.2.1	Frame Relay . . . . .	269
8.4.2.2	Verbindungslose Dienste . . . . .	273
8.4.2.3	IP über ATM . . . . .	276
8.4.2.4	Die ATM-DXI-Schnittstelle . . . . .	283
<b>9</b>	<b>Netzstrukturen für das Informationszeitalter . . . . .</b>	<b>285</b>
9.1	Die übertragungstechnische Infrastruktur für ATM-Netze . .	288
9.2	Einführungsstrategien für öffentliche ATM-Breitbandnetze . .	290
9.3	Grundlegende Strukturprinzipien für ATM-Breitbandnetze .	292
9.4	Prinzipielle Klassifizierung von ATM-Netzelementen . . . . .	296
9.5	Netzstrukturen in privaten Firmennetzen . . . . .	301
9.6	Netzelemente in öffentlichen ATM-Netzen und ihre Funktionen	307
9.7	Breitband-Anschlußnetze für Privatteilnehmer . . . . .	316
9.7.1	PON-basierte Breitband-Zugangsnetze . . . . .	317
9.7.2	HFC-Anschlußnetze . . . . .	322
9.8	Anwendungsszenarien für ATM-basierte Breitbandnetze . . .	325
9.8.1	Vernetzung von MANs . . . . .	325
9.8.2	Vernetzung von Firmenstandorten . . . . .	327
9.8.3	ATM-Netze als Internet-Backbones . . . . .	329
9.8.4	Breitbandige Versorgung der Privatteilnehmer . . . . .	331
9.8.5	Übernahme des Fernverkehrs aus dem Schmalbandnetz . . .	333
9.8.6	ATM-basierte Stadtnetze . . . . .	334
9.9	Beispiele für bestehende ATM-Netze . . . . .	336
<b>10</b>	<b>Architekturen für ATM-Vermittlungsknoten . . . . .</b>	<b>341</b>
10.1	Generische Knotenarchitektur . . . . .	341
10.2	Leitungsmodule . . . . .	343
10.3	ATM-Verbindungsnetzwerke . . . . .	349
10.3.1	Prinzipielle Überlegungen zur Zwischenspeicherung in ATM-Verbindungsnetzwerken . . . . .	350

10.3.2	Strukturen mit gemeinsamem Übertragungsmedium . . . . .	360
10.3.3	Strukturen mit mehrstufigen Koppelfeldern . . . . .	361
10.3.3.1	Blockierungsverhalten von ATM-Koppelfeldern . . . . .	362
10.3.3.2	Pufferung in ATM-Koppelfeldern . . . . .	363
10.3.3.3	Prinzip der Zellvermittlung . . . . .	365
10.3.3.4	Internes Verbindungskonzept . . . . .	365
10.3.3.5	Topologie mehrstufiger Koppelfelder . . . . .	367
10.3.3.6	Banyan-Netzwerke . . . . .	368
10.3.3.7	Trichter-Koppelfelder . . . . .	369
10.3.3.8	Knockout-Koppelfelder . . . . .	371
10.3.3.9	Koppelfelder mit serielltem Eingangsbus . . . . .	372
10.3.3.10	Erweiterung von Koppelfeldern mit einfacher Wegemöglichkeit	373
10.3.3.11	Verwendung klassischer mehrstufiger Gruppierungen . . . . .	375
10.3.4	Multicast-Unterstützung in ATM-Verbindungsnetzwerken . .	377
10.4	Zentrale Steuerung . . . . .	380
10.4.1	Funktionen der zentralen Steuerung . . . . .	380
10.4.2	Implementierungskonzepte . . . . .	382
10.4.2.1	Hardware für die zentrale Steuerung . . . . .	383
10.4.2.2	Infrastruktur für die interne Steuerkommunikation . . . . .	384
10.4.2.3	Software für die zentrale Steuerung . . . . .	386
10.5	Verfügbarkeit . . . . .	392
10.5.1	Doppelungsstrategien . . . . .	395
10.5.2	Netzweite Redundanzmechanismen . . . . .	398
10.5.3	Knoteninterne Redundanzmechanismen . . . . .	401
10.6	Technologieaspekte . . . . .	403
10.7	Beispiel für einen ATM-Knoten . . . . .	407
10.7.1	Die Gesamtarchitektur des MainStreetXpress 36190 Kernnetz- knotens . . . . .	407
10.7.2	Das Koppelfeld . . . . .	410
10.7.3	Die Leitungsmodule . . . . .	413
10.7.4	Die SMU . . . . .	419
10.7.5	Die zentrale Steuerung . . . . .	422
<b>11</b>	<b>Grundlagen: Prinzipien, Netze und Protokolle . . . . .</b>	<b>425</b>
11.1	Prinzipien . . . . .	425
11.1.1	Verbindungskonzepte und Vermittlungsverfahren . . . . .	425
11.1.2	Netztopologien . . . . .	428
11.1.2.1	Topologien mit zentralen Vermittlungsknoten . . . . .	428
11.1.2.2	Topologien mit gemeinsamem Übertragungsmedium . . . . .	429
11.1.3	OSI . . . . .	431
11.2	Netze und Protokolle . . . . .	437
11.2.1	ISDN . . . . .	437

11.2.1.1	Grundprinzipien des ISDN . . . . .	437
11.2.1.2	Die Benutzer-/Netzzeichengabe im ISDN . . . . .	443
11.2.1.3	Das Zentralkanal-Zeichengabesystem CCS7 . . . . .	449
11.2.2	Lokale Netze . . . . .	453
11.2.3	Internet . . . . .	457
11.2.4	Protokolle für öffentliche Datennetze . . . . .	459
11.2.4.1	X.25 . . . . .	459
11.2.4.2	Frame Relay . . . . .	461
11.2.4.3	SMDS/CBDS . . . . .	463
11.2.4.4	TCP/IP . . . . .	464
11.3	Management von Kommunikationsnetzen . . . . .	467
11.3.1	Das TMN-Konzept . . . . .	468
11.3.2	Das Simple Network Management Protocol (SNMP) . . . . .	478
11.4	Übertragungstechnik . . . . .	479
11.4.1	Die plesiochrone digitale Hierarchie (PDH) . . . . .	480
11.4.2	Die synchrone digitale Hierarchie (SDH) und SONET . . . . .	482
<b>12</b>	<b>Anhang: ATM Standards und Spezifikationen . . . . .</b>	<b>487</b>
12.1	Übersicht über die Empfehlungen von ITU-T . . . . .	487
12.2	Übersicht über die Spezifikationen des ATM-Forums . . . . .	491
<b>13</b>	<b>Anhang: Abkürzungsliste . . . . .</b>	<b>493</b>
	<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>507</b>