



SIP, TCP/IP und Telekommunikations- netze

Next Generation Networks und VoIP – konkret

von

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Trick, Frank Weber

4., überarbeitete und erweiterte Auflage

Oldenbourg Verlag München

Dr.-Ing. Ulrich Trick ist Professor für Telekommunikation an der Fachhochschule Frankfurt am Main und leitet dort die Forschungsgruppe und das Labor für Telekommunikationsnetze

(E-Mail: trick@e-technik.org, Internet: www.e-technik.org)

Dipl.-Ing. (FH) Frank Weber ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Forschungsgruppe für Telekommunikationsnetze an der Fachhochschule Frankfurt am Main

(E-Mail: weber@e-technik.org)

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

© 2009 Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH

Rosenheimer Straße 145, D-81671 München

Telefon: (089) 45051-0

oldenbourg.de

Das Werk einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Lektorat: Dr. Margit Roth

Herstellung: Dr. Rolf Jäger

Coverentwurf: Kochan & Partner, München

Gedruckt auf säure- und chlorfreiem Papier

Gesamtherstellung: Kösel, Krugzell

ISBN 978-3-486-59000-5

Für meine Ehefrau Cornelia, meine Töchter Johanna und Susanne, meine Mutter Mafalda und zur Erinnerung an meinen Vater Werner.

Ulrich Trick

Für meine Freundin Heike, meinen Vater Jochen und seine Ehefrau Susanne, im Gedenken an meine Mutter Christine.

Frank Weber

Inhalt

Vorwort zur vierten Auflage	XIII
1 Anforderungen an die Telekommunikationsinfrastruktur der Zukunft	1
1.1 Das Labyrinth	2
1.2 Telekommunikationsinfrastruktur	4
1.3 Die Gesellschaft	6
1.4 Anforderungen	13
2 Die heutigen Telekommunikationsnetze	19
2.1 ISDN	19
2.2 GSM- und UMTS-Mobilfunknetze	21
2.3 Internet	25
2.4 IN (Intelligentes Netz)	27
3 NGN (Next Generation Networks)	31
3.1 Konzept	31
3.2 Protokolle	35
4 Multimedia over IP	43
4.1 Echtzeitkommunikation in Paketnetzen	43
4.1.1 VoIP-Kommunikationsszenarien	43
4.1.2 VoIP-Nutzdaten	45
4.1.3 Beispiele für VoIP-Kommunikation	56
4.2 Protokolle	59
4.2.1 Kommunikation in den Schichten 1 und 2	63
4.2.2 IPv4 (Internet Protocol version 4)	67

4.2.3	IPv6 (Internet Protocol version 6)	73
4.2.4	TCP (Transmission Control Protocol)	78
4.2.5	UDP (User Datagram Protocol)	91
4.2.6	RTP (Real-time Transport Protocol)	95
4.2.7	RTCP (RTP Control Protocol)	100
4.2.8	H.323	109
4.3	QoS (Quality of Service)	113
4.3.1	IntServ (Integrated Services)	115
4.3.2	DiffServ (Differentiated Services)	119
4.3.3	IntServ und DiffServ kombiniert	125
4.3.4	QoS und VoIP	126
5	SIP (Session Initiation Protocol) und SDP (Session Description Protocol)	133
5.1	Grundlagen	133
5.1.1	Transport	134
5.1.2	SIP-Nachrichten (SIP Messages)	134
5.1.3	Client und Server	135
5.1.4	SIP URIs (SIP Uniform Resource Identifier)	136
5.2	SIP-Anfragen – SIP Requests	138
5.3	SIP-Statusinformationen – SIP Responses	140
5.4	SIP Three Way Handshake	142
5.5	SIP-Dialoge, -Transaktionen und Events	144
5.5.1	SIP-Dialog	144
5.5.2	SIP-Transaktion	145
5.5.3	Event	146
5.6	Aufbau der SIP-Nachrichten	147
5.6.1	Start-Line	151
5.6.2	Header	151
5.7	SDP (Session Description Protocol) und Medienaushandlung	154
5.7.1	Beschreibung medienrelevanter Parameter	155
5.7.2	Codec-Aushandlung mittels Offer/Answer-Modell	159
5.7.3	Aushandlung von Multimedia-Sessions	162
5.8	SIP-Basisabläufe und mögliche Anwendungen	164
5.8.1	VoIP (Voice over IP) – Audiokommunikation	165
5.8.2	Videokommunikation	172
5.8.3	Chat – Kommunikation mit Text	175
5.8.4	File Transfer – Dateiübertragung	179
5.8.5	Instant Messaging (IM) – Kurzmitteilungen	181
5.8.6	Presence – Ermitteln des Online-Status eines anderen Nutzers	183

6	SIP-Netzelemente	189
6.1	User Agent	189
6.2	Registrar Server	191
6.3	Proxy Server	193
6.4	Redirect Server	199
6.5	Location Server	201
6.6	Presence Server	202
6.7	Gateways	204
6.7.1	SIP/H.323	206
6.7.2	SIP/DSS1 (Digital Subscriber Signalling system no. 1)	209
6.7.3	SIP/POTS (Plain Old Telephone Service)	212
6.7.4	SIP/ISUP (ISDN User Part)	217
6.8	Back-to-Back User Agent (B2BUA)	228
6.9	Application Layer Gateway (ALG)	230
6.10	Session Border Controller (SBC)	231
6.11	Conference Server/MCU (Multipoint Control Unit)	234
6.12	Application Server	238
6.13	Einsatz der SIP-Netzelemente in einem NGN	246
7	SIP-Routing und ENUM (E.164 Number Mapping)	253
7.1	SIP-Routing	253
7.1.1	Routing von SIP-Nachrichten	253
7.1.2	Einbeziehung von SIP-Vermittlungsinfrastrukturen	256
7.1.3	SIP-Trapezoid	264
7.2	Peer-to-Peer SIP	269
7.2.1	Grundkonzepte für Peer-to-Peer SIP-Infrastrukturen	270
7.2.2	Peer-to-Peer SIP-Standardisierung	272
7.3	ENUM (E.164 Number Mapping)	274
8	SIP und NATP (Network Address and Port Translation)	281
8.1	NAT-Problematik	284
8.2	NAT-Typen	287
8.2.1	Full Cone NAT	287
8.2.2	Restricted Cone NAT	288
8.2.3	Port Restricted Cone NAT	290
8.2.4	Symmetric NAT	291
8.2.5	NAPT Gateway-Funktionalität im Detail	293

8.3	Lösungsmöglichkeiten	297
8.3.1	NAPT-Überwindung durch SIP – Symmetric Response Routing	297
8.3.2	STUN (Session Traversal Utilities for NAT)	301
8.3.3	TURN (Traversal Using Relays around NAT)	306
8.3.4	ICE (Interactive Connectivity Establishment)	310
8.3.5	UPnP (Universal Plug and Play)	313
8.3.6	Symmetric RTP	318
8.3.7	Zusammenfassung und weitere Lösungsansätze	320
9	SIP und Leistungsmerkmale	325
9.1	Halten (Hold)	326
9.1.1	Einfaches Halten	327
9.1.2	Makeln/Halten mit Rückfrage (Consultation Hold)	330
9.2	Verbindungsübergabe (Call Transfer)	334
9.2.1	Direkte Verbindungsübergabe (Unattended Transfer)	334
9.2.2	Verbindungsübergabe nach Rückfrage (Attended Transfer)	336
9.3	Parken (Call Park)	338
9.4	Rufumleitung/Anrufwefterschtaltung (Call Forwarding)	340
9.4.1	Generelle Rufumleitung (Unconditional Call Forwarding)	341
9.4.2	Rufumleitung bei Besetzt (Call Forwarding if Busy)	342
9.4.3	Rufumleitung nach Zeit, Anrufwefterschtaltung (Call Forwarding if No Answer)	343
9.5	Anrufübernahme (Call Pickup)	344
9.6	Dreierkonferenz (3-Way Conference)	346
9.6.1	Dreierkonferenz mit passivem Teilnehmerbeitritt (3 rd Party is Added)	346
9.6.2	Dreierkonferenz mit aktivem Teilnehmerbeitritt (3 rd Party Joins)	348
9.7	Weitere Leistungsmerkmale	349
9.8	Interoperabilität unterschiedlicher Leistungsmerkmalimplementierungen	351
9.9	Leistungsmerkmale bei PSTN/ISDN-Simulation und -Emulation	352
10	SIP und Quality of Service	355
11	SIP und Mobilität	363
11.1	Persönliche Mobilität	363
11.2	Session-Mobilität	364
11.3	Dienstemobilität	368
11.4	Endgerätemobilität	369

12	SIP und Sicherheit	375
12.1	Sicherheitsmechanismen für die SIP-Signalisierung	376
12.1.1	SIP Digest	376
12.1.2	SIPS (SIP Security)	383
12.1.3	S/MIME (Security/Multipurpose Internet Mail Extension)	386
12.1.4	Einsatz eines Anonymisierungsdienstes (Privacy Service)	388
12.1.5	Vergleich gängiger SIP-Sicherheitsmechanismen	390
12.1.6	Einsatz weiterer Sicherheitsmechanismen für die SIP-Kommunikation	390
12.2	Sicherheitsmechanismen für die Nutzdatenkommunikation	393
12.2.1	SRTP (Secure Real-time Transport Protocol)	393
12.2.2	Weitere Verfahren zum geschützten Nutzdatenaustausch	397
12.3	IPsec (Internet Protocol Security)	397
13	Moderne Telekommunikationsnetze	399
13.1	IP-Netze	406
13.2	UMTS-Mobilfunknetze	417
13.3	IMS (IP Multimedia Subsystem)	432
13.4	NGN und IMS	449
13.5	NGN und IPTV	456
13.6	Konvergente Telekommunikationsnetze	463
13.7	Diensteentwicklung und -bereitstellung	474
13.8	Migrationsszenarien	488
13.9	Längerfristige Netzentwicklung	503
14	Standardisierung und Ausblick	513
15	Testaufbau mit SIP User Agent und Protokollanalyse-Software	521
15.1	SIP User Agent PhonerLite	522
15.1.1	Installation	523
15.1.2	Konfiguration	525
15.1.3	Bedienung	528
15.2	Protokollanalyse-Software Packetyzer	531
15.2.1	Installation	531
15.2.2	Konfiguration	533
15.2.3	Bedienung	534
15.3	Protokollanalyse-Software Wireshark	540
15.3.1	Installation	540
15.3.2	Konfiguration und Bedienung	543

Abkürzungen	549
Literatur und Quellen	575
Index	611

Vorwort zur vierten Auflage

Next Generation Networks (NGN) auf Basis Session Initiation Protocol (SIP) befinden sich weltweit in der Einführung. Dabei spielen zunehmend die Themen IMS (IP Multimedia Subsystem), IPTV (IP Television), vor allem aber neue Mehrwertdienste (Next Generation Services) eine wichtige Rolle. Diese dynamische Entwicklung geht einher mit raschen Fortschritten in der Standardisierung und bei den eingesetzten Techniken. Daher war es wieder Zeit für eine neue Auflage des deutschsprachigen NGN-Standardwerks „SIP, TCP/IP und Telekommunikationsnetze“.

Wichtige Impulse kamen dabei erneut aus den laufenden Forschungs- und Entwicklungsprojekten der Forschungsgruppe für Telekommunikationsnetze an der Fachhochschule Frankfurt am Main sowie aus den Diskussionen mit den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der von der Fachhochschule Frankfurt veranstalteten Weiterbildungsseminare zu den Themen Next Generation Networks, SIP, Multimedia over IP, IMS und Mehrwertdienste.

Im Vergleich zur dritten Auflage wurden alle Kapitel komplett überarbeitet und aktualisiert. Dabei wurden viele neue Standards, Drafts und Studien berücksichtigt. Darüber hinaus wurden in der vierten Auflage einige ganz neue Kapitel mit hochaktuellen und wichtigen Themen hinzugefügt:

- Das Thema „Quality of Service (QoS)“ in Kapitel 4 wurde um das neue Unterkapitel 4.3.4 „QoS und VoIP“ erweitert. Es enthält wertvolle Informationen zu QoS-Parametern, der Sprachqualitätsbewertung sowie Messergebnisse zur QoS in unterschiedlichen Netzen und beim Einsatz verschiedener Sprach-Codecs.
- Das im Hinblick auf die Zukunft der Netze sehr spannende Thema „Peer-to-Peer-Kommunikation auf SIP-Basis“ wurde im Kapitel 7.2 den neusten Entwicklungen angepasst.
- Dies gilt auch für die Lösungen zur NAPT-Überwindung (Network Address and Port Translation) bei Multimedia-Kommunikation in Kapitel 8.3.
- Wiederum neu ist das Unterkapitel 9.8, das die Bemühungen der IETF (Internet Engineering Task Force) zur Vereinheitlichung der SIP-basierten Realisierungen von Telefondienstmerkmalen zum Gegenstand hat.
- Angesichts der dynamischen Entwicklung bei der Technik der UMTS-Netze (Universal Mobile Telecommunication System), der Zunahme der Bedeutung von IMS und seines Einsatzes in Festnetzen wurden die Kapitel 13.2 „UMTS-Mobilfunknetze“, 13.3 „IMS“ und 13.4 „NGN und IMS“ stark erweitert. Damit bietet dieses Buch alle notwendigen Informationen zum grundlegenden Gesamtverständnis IMS-basierter Kommunikationsnetze.

- Besonders interessant sowohl für Netzbetreiber und Service Provider als auch für ihre Kunden sind neue Dienste wie z.B. IPTV. Das neue Kapitel 13.5 „NGN und IPTV“ geht auf die hierfür erforderlichen Techniken ein und spannt den Bogen zum IMS. Allgemeiner greift dann das ebenfalls neue Kapitel 13.7 die schnelle und kostengünstige „Diensteentwicklung und -bereitstellung“ von Mehrwertdiensten auf Basis von SIP Application Servern auf. Dabei werden die vielversprechendsten Techniken nicht nur erläutert, sondern auch miteinander verglichen.
- In Kapitel 13.9 „Längerfristige Netzentwicklung“ wurde erstmals das für die Next Generation Mobile Networks entscheidende Evolved Packet System (EPS) näher erläutert.
- Auch die vierte Buchauflage wird wieder durch das beliebte Praxiskapitel 15 „Testaufbau mit SIP User Agent und Protokollanalyse-Software“ abgerundet. In Ergänzung zur Software Packetyzer ist hier im neuen Kapitel 15.3 die Anwendung der sowohl auf Windows- als auch Linux-Rechnern einsetzbaren Protokollanalyse-Software Wireshark beschrieben.

Weitere und jeweils aktuelle Informationen zu diesem Buch sowie ggf. eine aktuellere PhonerLite-Version finden Sie auf der Web-Seite www.sip.e-technik.org. Gerne dürfen Sie uns auch Kommentare und Hinweise per E-Mail (sip@e-technik.org) zukommen lassen.

An dieser Stelle danken wir wieder Herrn Heiko Sommerfeldt, der für die Praxisteile eine neue Version des SIP User Agents PhonerLite beigesteuert hat. Besonderer Dank gebührt Herrn Armin Lehmann für seine umfangreichen und qualifizierten Beiträge zur Diensteentwicklung und -bereitstellung in Kapitel 13.7 sowie Herrn Andreas Rehbein für seine fundierten Recherchen und Arbeiten zur Erweiterung der IMS-Thematik in Kapitel 13.3.

Für die kritische und sorgfältige Durchsicht des Manuskripts, verbunden mit vielen weiterführenden Anregungen und wichtigen Hinweisen danken wir den Herren Thomas Eichelmann, Armin Lehmann, Andreas Rehbein und Patrick Ruhrig sowie Frau Cornelia Trick. Darüber hinaus danken wir dem Oldenbourg-Verlag, allen voran Frau Dr. Margit Roth, Frau Cornelia Horn und Herrn Dr. Rolf Josef Jäger für die gute Unterstützung und die wiederum exzellente Zusammenarbeit.

Frankfurt am Main, im Mai 2009

Ulrich Trick

Frank Weber

1 Anforderungen an die Telekommunikationsinfrastruktur der Zukunft

Telekommunikation und damit die hierfür erforderliche Infrastruktur gewinnen immer mehr an Bedeutung. Vor einiger Zeit besonders offensichtlich wurde dies beim Beobachten der Aktivitäten der UN (United Nations) unter der Überschrift „World Summit on the Information Society (WSIS)“ [WSIS1]. Hier wurden unter der Schirmherrschaft des UN-Generalsekretärs im Rahmen der ITU (International Telecommunication Union) Leitlinien für den weltweiten Übergang von der Industrie- in die Informationsgesellschaft erarbeitet und abgestimmt. Der erste Weltgipfel hierzu fand vom 10. bis 12.12.2003 in Genf statt, der zweite vom 16. bis 18.11.2005 in Tunis. Dazwischen gab es Vorbereitungstreffen und regionale Konferenzen. Bestimmt wurde dieser Prozess nicht nur von den UN-Mitgliedsstaaten und den verschiedenen UN-Organisationen, sondern auch von der Industrie, Nichtregierungsorganisationen, Fachleuten aus dem IT-Bereich (Informationstechnik) und Vertretern verschiedener privater Interessengruppen.

Schon dieses für eine UN-Konferenz einmalige, da so breit gefächerte Teilnehmerfeld zeigt die außerordentliche Bedeutung der Kommunikationsinfrastruktur für die Gesellschaft. Die sich abzeichnenden umfassenden Veränderungen auf diesem Gebiet wurden bei WSIS wie folgt umschrieben: “We are indeed in the midst of a revolution, perhaps the greatest that humanity has ever experienced.“ [WSIS1] (In der Tat, wir befinden uns inmitten einer Revolution, vielleicht der größten, die die Menschheit bisher erlebt hat.) Zu kommunizieren und auf Information und Wissen zuzugreifen, soll allen Menschen möglich sein. Die Vision ist, dass jede und jeder, unabhängig von ihrem bzw. seinem Wohnort einen universellen und dazu von ihr bzw. ihm bezahlbaren Zugang zur Informations- und Kommunikationsinfrastruktur hat bzw. bekommt [WSIS2; WSIS3]. Die Ergebnisse von Genf und Tunis bzw. Informationen zur Umsetzung findet man in [WSIS4] bzw. [WSIS5].

Betrachtet man die Situation und den Veränderungsprozess rein vom technischen Standpunkt aus, wird der Blick auf die aktuellen und die sich erst noch abzeichnenden Entwicklungen bei den Telekommunikationsnetzen gelenkt. Stichworte hierfür sind die Ausrichtung auf Paketvermittlung, die Konvergenz der verschiedenen Netze mit Leitungs- und Paketvermittlung sowie festen und mobilen Teilnehmeranschlüssen, Voice/Multimedia over IP (Internet Protocol), UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), Systems beyond 3G (4G) (3. bzw. 4. Generation) usw. Eine sehr wichtige Rolle spielt hierbei das Session Initiation

Protocol (SIP). Für die Multimedia-Versionen von UMTS, ab UMTS Release 5, wurde es als Standard festgelegt. In diesem Zusammenhang ebenfalls hochinteressant, vor allem im Hinblick auf das Nutzerverhalten und die daraus resultierenden Dienste, sind die durch die Schlagworte Web 2.0 oder Social Web [Kerr] charakterisierten Entwicklungen im Internet.

Die Zukunft der Telekommunikationsinfrastruktur, diese Thematik ist von enormer Wichtigkeit: für das Zusammenleben aus internationaler, nationaler, regionaler und lokaler Sicht, für die soziale und wirtschaftliche Entwicklung der Gesellschaften und nicht zuletzt auch für die technische Entwicklung im IT-Sektor. Das wirft natürlich unterschiedlichste Fragen auf. Ist diese Zukunft vorhersagbar? Welchen Einfluss hat die Gesellschaft darauf? Wie lauten die grundlegenden Anforderungen? Die folgenden Abschnitte wollen hierauf Antworten geben.

1.1 Das Labyrinth

Rowe schlug sich mit der Faust in die Handfläche. „Ganz genau, Sidney. Es steht so unglaublich viel auf dem Spiel. CyberComs Technologie ist so ... monumental – man kann es mit einer Wiedergeburt von Graham Bell, dem Erfinder des Telefons ... vergleichen.“ Als er sie ansah, bebte er förmlich vor erwartungsvoller Erregung. „Ist dir eigentlich bewusst, dass der einzige Hemmschuh für das gewaltige Potential des Internet darin besteht, dass es so unglaublich groß und allumfassend ist ...“ „CyberCom ist es gelungen, ein System künstlicher Intelligenz zu erschaffen, sog. intelligente Agenten, die zunächst dazu dienen sollen, mühelos durch das verschlungene Labyrinth des Internet und dessen Ablegern zu surfen.“ ... „Mit CyberCom in der Tasche können wir ein drahtloses Netzwerk ... aufbauen. Die Verbindung wird mittels einer entsprechenden Software hergestellt ... Diese Software ist mit Abstand die benutzerfreundlichste, die ich kenne. ... Das Beste daran ist, dass die Software sich wie ein Chamäleon anpasst und dadurch mit jedem bestehenden Netzwerkserverserver kommunizieren kann. ... Auch die Verschlüsselungstechnik wird einen nie für möglich gehaltenen Standard erreichen. ... Dieses System wird bestimmen, wie Daten im nächsten Jahrhundert übertragen und verarbeitet werden; wie wir erschaffen, zerstören, lehren, denken. ... Diese Technik wird alles verändern, wie einst der Verbrennungsmotor die Epoche der Pferdekutschen, nur wesentlich tief greifender.“ ... „Ja, am Verkauf der Software und den Netzwerkgebühren werden wir Milliarden verdienen ... Und das ist erst der Anfang.“ [Bald] Mit diesen Worten ließ David Baldacci in seinem 1997 erschienenen Roman „Total Control“ einen der Schurken, Quentin Rowe, der Heldin Sidney Archer in leuchtenden Farben die Zukunft der Informations- und Kommunikationstechnik beschreiben.

Dabei nannte er vorausschauend auch für die reale Zukunft unzweifelhaft wichtige Stichworte: die entscheidende Rolle des Internet und des Umgangs mit der Information, Mobilität, Anpassungsfähigkeit an heterogene Umgebungen, Benutzerfreundlichkeit, Datenschutz, die ökonomische Bedeutung und die Einflüsse auf die Gesellschaft. Gleichzeitig zeigte er aber auch – vermutlich ungewollt – mit dem Titel der deutschen Übersetzung „Das Labyrinth“ die enormen Schwierigkeiten und Unsicherheiten bei der Suche nach Wegen zur Fortentwicklung der Informations- und Kommunikationsgesellschaft auf.

Aus mehreren Gründen wirkt diese Aufgabenstellung – die Frage nach der zukünftigen Telekommunikationsinfrastruktur – wie das Durchsuchen eines beliebig komplizierten Irrgartens. Bei einem derart komplexen sozialen System wie der Gesellschaft eines Landes ist eine Zukunftsprognose auch für Teilbereiche immer extrem unsicher [Minx], realistisch gesehen nicht möglich.

In der Vergangenheit wurde speziell bei der Kommunikationsinfrastruktur häufig der Fehler gemacht, einfach anhand der technologischen Möglichkeiten die aktuelle Situation in die Zukunft zu extrapolieren. Ein gutes Beispiel hierfür bieten ISDN (Integrated Services Digital Network) und das prognostizierte Breitband-ISDN aus den 80er- und 90er-Jahren des vorigen Jahrhunderts. Man analysierte das neu eingeführte ISDN und definierte anhand der Erfahrungen und Ergebnisse und der sich abzeichnenden technologischen Möglichkeiten das die ATM-Technik (Asynchronous Transfer Mode) nutzende, paketvermittelnde Breitband-ISDN. Obwohl die ATM-Technik auf weltweit einheitlichen Standards beruht und die Anforderungen an ein modernes Telekommunikationsnetz insgesamt besser erfüllt als jede andere bekannte Technik, wurde sie von einer neuen gesellschaftlichen Entwicklung, vom Siegeszug des Internet, speziell des WWW-Dienstes (World Wide Web) überrollt. Heute wird ATM nur noch als Transport-Technik für IP (Internet Protocol) vor allem im Zugangsbereich eingesetzt. Von einem Breitband-ISDN spricht niemand mehr.

Ähnlich irreführend dürfte es sein, das heutige Internet als Kommunikationsinfrastruktur in die Zukunft zu extrapolieren. Das Verhalten der Internet-Nutzer verändert sich zur Zeit infolge neuer Möglichkeiten durch Web 2.0 sehr stark, die sehr wichtige Frage der Dienstgüte, der Quality of Service (QoS), für Echtzeitanwendungen wie Telefonie über ein öffentliches IP-Netz ist nicht hinreichend geklärt und u.a. wegen der QoS, aber auch der Sicherheit könnten die Next Generation Networks zumindest in Teilen das Internet ablösen.

An diesen Beispielen wird ansatzweise deutlich, wie wichtig es ist, zuerst ein wenig Klarheit über die Umgebung unseres Labyrinths zu gewinnen. In welcher Art von Gesellschaft leben wir und in welcher Phase? Ist es eine Informationsgesellschaft? Stehen wir am Anfang, mitten drin, oder erleben wir bereits den Übergang in eine neue Gesellschaftsform? Was sind die drängendsten Fragen und Anforderungen der einzelnen Bürgerinnen und Bürger sowie der Gruppen innerhalb dieser Gesellschaft? Welche Auswirkungen haben sie auf die zukünftige Infrastruktur? Welche denkbaren gesellschaftlichen Entwicklungen müssen berücksichtigt werden? Und was versteht man überhaupt unter Infrastruktur und speziell unter Telekommunikationsinfrastruktur?

Dabei ist der Fokus auf die Kommunikationsinfrastruktur der Bundesrepublik Deutschland in den nächsten Jahren gerichtet, wobei die Ergebnisse zumindest in Teilbereichen auch auf andere wirtschaftlich starke Länder angewandt werden können.

1.2 Telekommunikationsinfrastruktur

Unter Infrastruktur versteht man alle Einrichtungen und Gegebenheiten, die der Wirtschaft als Basis ihrer Aktivitäten zur Verfügung stehen [Joch]. Darunter fallen Bereiche wie die Energieversorgung, das Ausbildungssystem, die Verkehrsinfrastruktur und natürlich die Telekommunikationsinfrastruktur. Noch allgemeiner ausgedrückt kommen Infrastrukturen allen Menschen eines Landes zugute [Rade]. Dies hat zur Folge, dass nicht nur die wirtschaftlichen Randbedingungen, sondern auch die Lebensqualität in einer Region maßgeblich von den vorhandenen Infrastrukturen abhängen.

Eine detailliertere Beschreibung geht von drei sich ergänzenden Begriffen aus [Joch; Buhr]:

- materielle Infrastruktur,
- institutionelle Infrastruktur,
- personelle Infrastruktur.

Dabei umfasst die materielle Infrastruktur alle Anlagen und Betriebsmittel. Im Falle der Telekommunikation sind das die informations- und kommunikationstechnischen Systeme und die durch ihre Verschaltung gebildeten Netze, die zugehörigen Übertragungswege, die erforderliche Energieversorgung und die Gebäude etc. Unter institutioneller Infrastruktur versteht man die für diesen Bereich gültigen Gesetze und Verordnungen, die Vorgaben der Regulierungsbehörde, die nationalen und internationalen Standards, denen die IT-Systeme genügen müssen, usw. Die personelle Infrastruktur schließlich meint die Menschen, ihre Zahl, die Altersstruktur, ihre Ausbildung und Qualifikation.

Für die nachfolgenden Betrachtungen interessant ist vor allem die materielle Infrastruktur. Daher wird sie, primär unter dem Gesichtspunkt der Netze und Systeme, etwas näher untersucht.

Bild 1.1 zeigt ganz grundlegend die Basiskomponenten eines Telekommunikationsnetzes und ihre mögliche Verschaltung. Ein Netz setzt sich zusammen aus

- Übertragungssystemen mit den Übertragungswegen,
- Vermittlungssystemen und
- Endeinrichtungen.

In Bild 1.1 repräsentiert jede mit Ü gekennzeichnete Einheit eine Komponente eines Übertragungssystems, z.B. Sender und Empfänger eines optischen Übertragungssystems oder eines Richtfunksystems. Mindestens zwei korrespondierende Komponenten eines Übertragungssystems kommunizieren miteinander über einen Übertragungsweg. Dies können Kupferdoppeladern oder Koaxialkabel, Lichtwellenleiter oder terrestrische bzw. satellitengestützte Funkstrecken sein. Übertragungssysteme und -wege dienen zum Transport von Nachrichten bzw. Informationen über räumliche Distanzen hinweg.

Dafür, dass für die Nachrichten im Netz geeignete Routen gesucht und zur Verfügung gestellt werden, sorgen die mit V gekennzeichneten Vermittlungssysteme. Beispiele hierfür sind ISDN-Vermittlungsstellen (Integrated Services Digital Network) oder IP-Router.

Die Endeinrichtungen E ermöglichen den Zugang zu Diensten. Beispiele sind Telefone zur Nutzung des Telefondienstes für die Sprachkommunikation oder PCs (Personal Computer) für Datendienste im Internet.

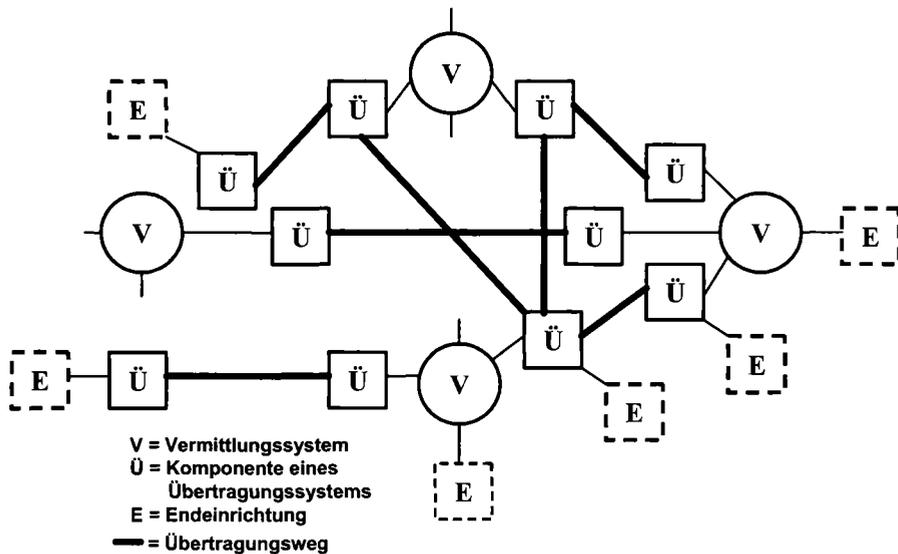


Bild 1.1: Komponenten eines Telekommunikationsnetzes

Während Bild 1.1 die Komponenten eines Telekommunikationsnetzes in mehr oder weniger beliebiger Zusammenschaltung zeigt, wird in Bild 1.2 eine typische Netzstruktur herausgearbeitet. Gemäß dieser Architektur gliedert sich ein öffentliches Telekommunikationsnetz in

- ein Kernnetz (englisch Core Network),
- ein Zugangnetz (englisch Access Network) und
- die Endgeräte bzw. privaten Kommunikationsnetze.

Zum Kernnetz gehören ISDN-Transit-Vermittlungsstellen bzw. IP Core Router zur Wegesuche (dem Routing für den Transitverkehr zwischen den Vermittlungssystemen), lokale ISDN-Vermittlungsstellen bzw. IP Edge Router (für den direkt von den Teilnehmern kommenden und zu ihnen gehenden Verkehr) sowie ein Transportnetz (englisch Transport Network), das die notwendige Übertragungstechnik im Kernnetz zur Verfügung stellt.

Im Transportnetz kommen breitbandige SDH-Technik (Synchronous Digital Hierarchy) mit Bitraten von 155 Mbit/s bis 40 Gbit/s, 1- und 10-Gbit/s-Ethernet, WDM-Technologie (Wavelength Division Multiplex) für Bitraten von 40 Gbit/s und mehr sowie PDH-Technik (Plesiochronous Digital Hierarchy) im Bereich 2 Mbit/s bis 140 Mbit/s zum Einsatz.

Das Zugangsnetz umfasst alle Übertragungstechnischen Systeme inkl. der Übertragungsmedien, die für die Anbindung der Teilnehmer mit ihren Endgeräten bzw. privaten Netzen (z.B. TK-Anlagen oder Rechner-LANs (Local Area Network)) erforderlich sind. Im einfachsten Fall repräsentiert das Zugangsnetz nur Kupferkabel für die direkte Anschaltung von Endgeräten an die Vermittlung. Häufig enthält es jedoch aktive Systeme, vor allem einer Vermittlungsstelle lokal vorgelagerte Konzentratoren oder auch spezielle Zugangsnetzsysteme mit höherer Dienstintegration.

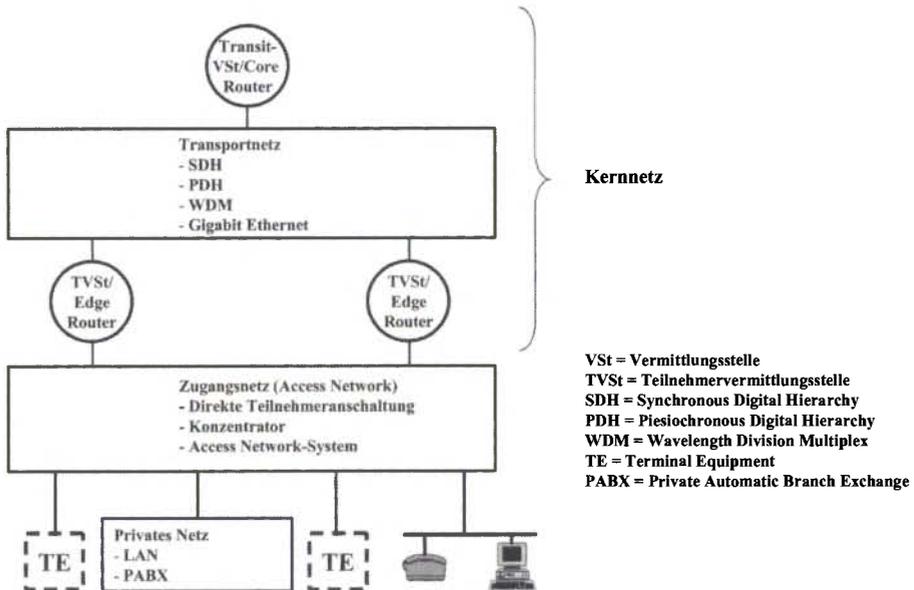


Bild 1.2: Prinzipielle Architektur eines Telekommunikationsnetzes

1.3 Die Gesellschaft

Ganz allgemein betrachtet besteht die Gesellschaft der Bundesrepublik Deutschland aus ihren einzelnen Bürgerinnen und Bürgern, die in ihrer Gesamtheit ein sehr großes vernetztes System, die Gesellschaft repräsentieren. Innerhalb dieser Gesellschaft bilden die Bürgerinnen und Bürger jedoch kleinere Einheiten wie z.B. eine Familie, ein Unternehmen, einen Verein, eine Stadt etc. Eine solche Einheit wird im Folgenden als gesellschaftliches Subnetz bezeichnet und ist in Bild 1.3 modellhaft dargestellt.

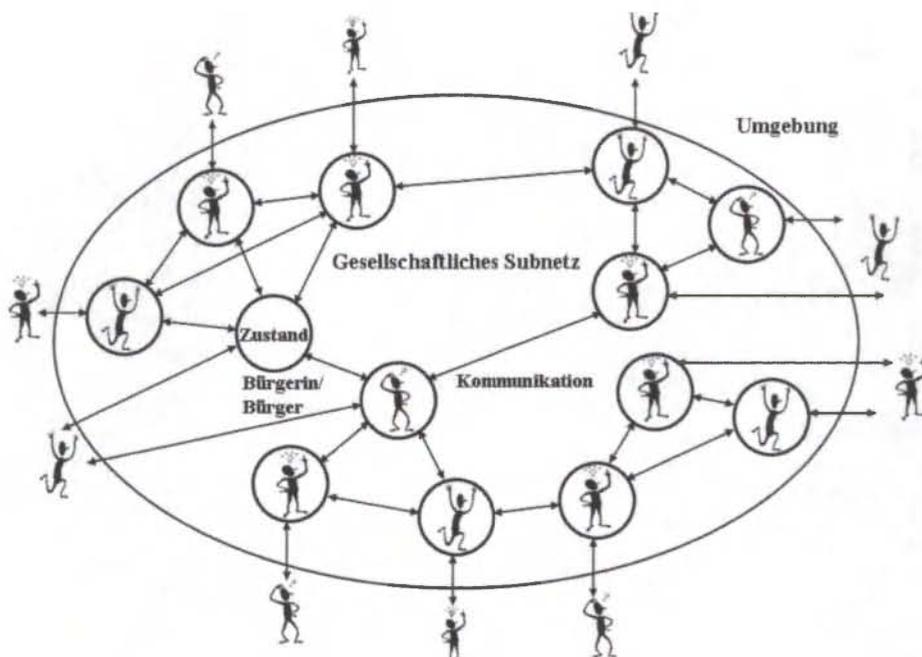


Bild 1.3: Beispiel für ein Subnetz in der Gesellschaft

Die Elemente eines solchen Subnetzes sind die einzelnen Menschen mit ihren spezifischen, sich mehr oder weniger stark ändernden Eigenschaften. Die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Elementen innerhalb des Subsystems und mit der Umgebung, anderen Subnetzen und anderen Gesellschaften und damit auch die sich daraus resultierend ständig ändernde Struktur sind durch ihre Kommunikation bestimmt, wer mit wem wie kommuniziert (d.h. Informationen austauscht und sie verarbeitet). Das bedeutet, dass die Kommunikation ganz entscheidend ist für die Entwicklung des einzelnen Menschen, seiner für ihn relevanten Subnetze und damit auch der Gesamtgesellschaft. Wie die Menschen in einer Gesellschaft Informationen austauschen und was sie aus diesen Informationen machen (d.h. wie sie miteinander kommunizieren), das bestimmt maßgeblich den Zustand und die Weiterentwicklung der Einzelnen und der Gesellschaft und damit ihre Lebensqualität. Dabei umfasst die Kommunikation natürlich alle Formen: verbal, durch Handlungen und Verhaltensweisen, technisch mit Tönen, Bildern und Texten. Für die Frage nach der Kommunikationsinfrastruktur ist vor allem die technische Kommunikation relevant, deshalb wird im Folgenden den prinzipiellen Anforderungen der Einzelnen und der Gesellschaft an die Telekommunikation besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Um diese grundlegenden Anforderungen herausarbeiten zu können, wird im nächsten Schritt die Gesamtgesellschaft in für das Kommunikationsverhalten wesentliche Gruppen aufgegliedert. Dabei wird die Aufteilung nach Bild 1.4 so vorgenommen, dass eine Gruppe nur Men-

schen mit prinzipiell ähnlichem Kommunikationsverhalten enthält, z.B. innerhalb eines Unternehmens, eines Vereins, der Gruppe mit bzw. ohne höheren Bildungsabschluss usw.

Jede Gruppe in Bild 1.4 ist natürlich viele Male instanziiert, z.B. gibt es in der Bundesrepublik Millionen von Familien. Zudem gehört jedes Glied der Gesellschaft zu mehr als einer der genannten Gruppen, z.B. gleichzeitig zu einer Familie, zu den älteren Inländern einer Stadt mit lokalem Gesundheitswesen und öffentlicher Verwaltung etc. Dies kommt in Bild 1.4 durch die Überlappung der einzelnen Gruppen zum Ausdruck.

In jeder instanziierten Gruppe wird intern und nach außen mit der Umgebung gemäß Bild 1.3 kommuniziert. Dabei bewirkt die Kommunikation ständig Strukturveränderung, d.h. die Änderung der Bezüge innerhalb einer instanziierten Gruppe, zwischen Gruppen, die Bildung neuer und das Verschwinden bestehender Gruppen.

Bezüglich der Fragestellung nach der zukünftigen Kommunikationsinfrastruktur wird nach Bild 1.4 die Gesellschaft segmentiert, um in der Folge jedem Segment spezifische Anforderungen zuordnen zu können.

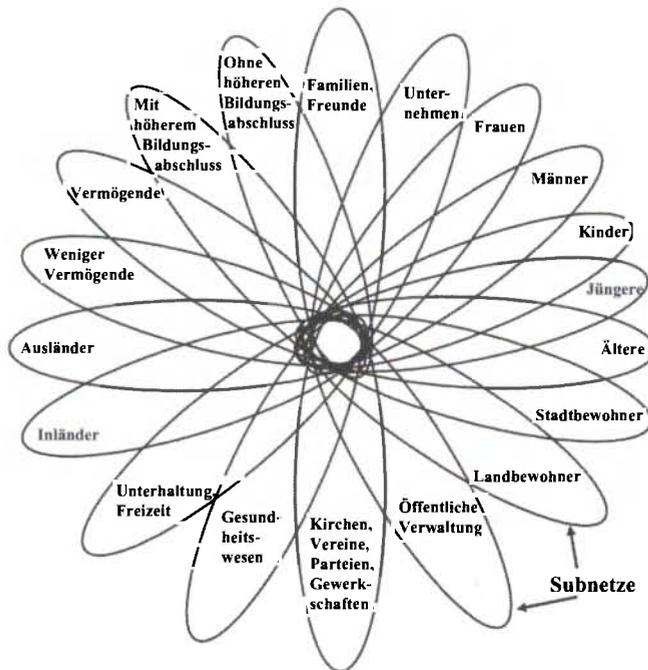


Bild 1.4: Für die Kommunikation wesentliche Subnetze in der Gesellschaft

Bevor dies umgesetzt wird, soll versucht werden, ergänzend zu dem skizzierten Gesellschaftsmodell ein Bild der Entwicklungen, Tendenzen und Trends der heutigen Gesellschaft zu zeichnen. Während das Modell eher ggf. auch subjektive Wunschvorstellungen liefert, bringt das Bild durch die Realität getriebene Anforderungen und wichtige Randbedingungen zu Tage. Die Gesamtschau liefert dann die Basis für die Planung und Gestaltung der zukünftigen Kommunikationsinfrastruktur.

In groben Zügen zeigt sich das Bild der bundesdeutschen Gesellschaft heute wie folgt.

Wirtschaft: Sie basiert auf einem vereinheitlichten globalen Kapitalmarkt, der in Echtzeit funktioniert, mit entsprechender Unbeständigkeit. Produktion und Handel werden immer globaler. Die Unternehmen tragen dem Rechnung, indem sie sich intern und extern mit anderen Unternehmen organisatorisch und technisch vernetzen und damit schnell und flexibel agieren und reagieren können. Die Bedeutung der industriellen Produktion geht zurück. Informationen und Wissen werden immer mehr zum Rohstoff und Produkt [Cast]. Die Dienstleistung gewinnt gegenüber der industriellen Produktion an Bedeutung [Opas1; Opas4]. Gleichzeitig nimmt die Produktivität ständig zu [Opas1]. Die Überalterung der Gesellschaft wird dazu führen, dass die Wachstumsfelder bei den Produkten und Dienstleistungen für die über 50-Jährigen liegen [Opas2]. Gesundheit und Lebensqualität werden die Megamärkte der Zukunft sein [Opas4]. Ganz aktuell sorgt in 2009 die Finanz- und Wirtschaftskrise für eine vergleichsweise tiefe Rezession [Gräf] mit sicherlich starken Auswirkungen auf die Märkte.

In der Telekommunikationsbranche haben wir die spezifische Situation, dass es infolge der Liberalisierung neben der Deutschen Telekom eine ganze Reihe neuer Netzbetreiber gibt und dass daraus resultierend die Preise in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen sind. Der Festnetzmarkt wird verstärkt sowohl durch den Mobilfunk mit Spezialangeboten wie Homezone als auch durch die Internet-Telefonie bzw. allgemeiner VoIP (Voice over IP) attackiert [Fran; Schm; Pohl]. Ende 2008 betrug der VoIP-Anteil bei den Anschlüssen 9,5%, bei den Gesprächsminuten sogar 13% [Boll]. Im Mobilfunksektor betrug die Penetrationsrate Ende 2008 bereits über 130%, d.h. auf jeden Einwohner kam mehr als eine SIM-Karte (Subscriber Identity Module) bzw. Handy [Boll]. Infolge gesunkener Tarife und geeigneter Endgeräte nimmt aktuell die mobile Internet-Nutzung stark zu [VATM]. Im Vergleich zu den Mobilfunknetzen punkten die Festnetze jedoch mit zunehmend breitbandigen Anschlüssen (Ende 2008 Nutzung durch knapp 60% der Haushalte [Bund2]) und entsprechenden Diensten. Ein Stichwort in diesem Zusammenhang ist Triple Play, die Kombination von Sprach- und Datendiensten sowie Fernsehangeboten [Fues; Wirt; Pohl]. Die bisherigen ISDN-Netzbetreiber migrieren zu IP-basierten NGN-Netzen (Next Generation Networks), damit findet ein Paradigmenwechsel in der Telekommunikation statt [Pohl]. Parallel hierzu gewinnen im Internet massiv die Dienste (z.B. Wiki, Weblog, Tagging, Podcasts, Peer-to-Peer-Kommunikation (P2P)) an Bedeutung, bei denen die bisher reinen Nutzer zu Anbietern werden (Web 2.0, Social Web) [Kerr; Wirt; Fues]. Damit verbunden sind starke wirtschaftliche Interessen großer Internet-Firmen wie z.B. eBay, Google und Yahoo!. Dies sieht man ganz deutlich an den nachfolgend genannten Firmenaufkäufen: Skype, sehr erfolgreiche Firma für P2P-Internet-Telefonie [Skyp] durch eBay für über 4 Mrd. US \$; YouTube [YouT], Betreiber einer Internet-Plattform für Video-Clips durch Google für mehr als 1,3 Mrd. US \$; Flickr [Flic], Anbieter einer Internet-Plattform für Fotos durch Yahoo! für einen nicht veröffentlichten Betrag

sowie MySpace [MySp], Provider für eine Web Community-Plattform durch Robert Murdoch für 580 Mio. US \$ [Tran]. Durch diese Entwicklung könnten bisherige Marktanteile der Telekommunikationsnetzbetreiber in größerem Umfang an Internet-Unternehmen gehen. Auf jeden Fall ist ein klarer Trend zu einem Zusammenwachsen der Branchen Festnetz, Mobilfunk, Internet sowie Medien und Unterhaltung bereits heute gegeben [Krem; Wirt; Fues].

Arbeit: Die traditionelle industrielle Beschäftigung geht zurück [Cast]. Büroarbeit (das Schaffen, Bearbeiten und Weitersenden von Daten, von Informationen) ist die Tätigkeit, der heute die meisten Menschen nachgehen [Jens]. Dies ist wohl der Hauptgrund, dass wir von einer Informationsgesellschaft sprechen. Die Individualisierung und Flexibilisierung nimmt zu [Opas1; Opas4]. Die Arbeitszeiten sind deutlich weniger reglementiert, ein zunehmender Anteil der Beschäftigten arbeitet zumindest zeitweise außerhalb seines Firmenstandortes, z.B. zu Hause, die Anforderungen an die Mobilität nehmen zu, der Arbeitsplatz wird häufiger gewechselt. Die Anzahl der erwerbstätigen Frauen ist stark gestiegen. Ein großer Teil der männlichen Erwerbstätigen verließ bis vor kurzem bereits zwischen 50 und 60 Jahren den Arbeitsmarkt, d.h. die Lebensarbeitszeit schrumpfte. Dieser Trend scheint mittlerweile jedoch Vergangenheit zu sein [Opas3; Opas4]. Die Arbeitsaufgaben werden differenzierter und von der Qualifikation her anspruchsvoller, das Know-how veraltet immer schneller [Cast]. Daneben liegt die Arbeitslosigkeit als großes gesellschaftliches Problem seit Jahren auf einem hohen Niveau. Nachdem sie vorübergehend deutlich zurückgegangen war, nimmt sie im Zuge der Finanz- und Wirtschaftskrise seit 2008/09 wieder deutlich zu [Gräf]. Die klassische Arbeitsgesellschaft, die Erwerbstätigkeit und bezahlte Arbeit für alle garantiert, ist im 21. Jahrhundert zur Illusion geworden [Opas1]. Insofern ist es nicht verwunderlich, dass die aktuell größte Sorge der Deutschen die Arbeitslosigkeit ist [Opas4]. Der Verlust der Vollbeschäftigung ist Normalität. Zudem werden immer mehr Arbeitnehmer zu Beschäftigten auf Zeit und/oder zu Mehrfachbeschäftigten [Opas3; Opas4].

Erziehung und Bildung: Hier ergeben sich die wesentlichen Fakten bereits aus dem Punkt „Arbeit“. Qualifikation, Bildung, Wissen werden für den beruflichen Erfolg der Einzelnen und die Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft immer wichtiger. Lebenslanges Lernen ist angesagt, auch außerhalb von Schule und Beruf [Opas3; Opas4]. Hiervon ausgehend ist die Hauptsorge der heutigen Jugendlichen ihre berufliche Entwicklung [Shel]. Allerdings steht unter anderem als Ergebnis der Pisa-Studie nach wie vor die Frage nach der Optimierung der schulischen Erziehung und Bildung im Mittelpunkt des gesellschaftlichen Interesses. Das Lernen mit multimedialen Techniken und virtuelle Ausbildung via Internet gewinnen an Bedeutung [Wirt]. Erklärtes staatliches Ziel in diesem Zusammenhang ist die Förderung des Umgangs von Schülerinnen und Schülern mit modernen Informations- und Kommunikationstechniken. Die Vermittlung von Medienkompetenz ist eine der wesentlichen Bildungsaufgaben der Zukunft [Bund; Opas4]. Der „digitalen“ Spaltung der Gesellschaft muss vorgebeugt werden [Opas3; Opas4; Bund]. Dies gilt umso mehr, als festgestellt wurde, dass Kinder, die zu Hause einen Internet-Zugang haben und Multimedia-Anwendungen nutzen, in allen schulischen Fächern überdurchschnittlich gut abschneiden [Pete2]. In diesem Zusammenhang ist positiv herauszustellen, dass in Deutschland 2008 bereits 90% aller Kinder zwischen 5 und 15 Jahren einen Computer einsetzen und 74% (Gesamtbevölkerung nur 65%) von zu Hause aus das Internet nutzen [Pete2].

Leben: Hierunter fallen allgemeine, wichtige gesellschaftliche Entwicklungen. Die Individualisierung nimmt zu [Opas1]. Infolge der Wertebeliebigkeit, eines Vertrauensverlusts, der Politikverdrossenheit etc. haben die Institutionen wie Familie, vor allem aber Parteien, Gewerkschaften und Kirchen [Shel; Opas4] an Einfluss verloren. Nach Peter Wippermann zerfällt die Gesellschaft stattdessen in Wahlgemeinschaften. Und Norbert Bolz spricht von der Kooperation der Egoisten. Die Menschen werden bezüglich ihrer Kontakte, ihrer Arbeit, des Wohnorts und der Freizeitgestaltung, zum Teil durchaus auch nicht selbst gewollt, immer mobiler und flexibler. Der deutsche Trendtag 2002 sprach von der Fernanwesenheit als Lebensstil. Dabei nimmt die Mobilität nicht nur arbeitsbedingt zu, sondern vor allem in der Freizeit [Opas2; Opas4]. Dies ist eine Auswirkung der heute starken Erlebnisorientierung. Die Motivation, etwas zu unternehmen oder zu tun, resultiert nicht aus einem konkreten Bedarf, sondern aus dem Wunsch, etwas zu erleben oder sich etwas zu gönnen [Opas1; Opas4]. Im Hinblick auf Familie und Lebensgemeinschaft ist es für viele wichtig, Kinder und Arbeitsleben zu vereinbaren. Weitere wichtige Fakten sind die höhere Lebenserwartung und eine geringe Geburtenrate verbunden mit einer relativ niedrigen Einwanderung [Stat]. D.h., die Gesellschaft wird älter und kleiner. Damit verlagert sich auch die Kaufkraft von den Jüngeren auf die Älteren [Opas1; Opas4]. Zudem führt diese Umkehrung der Alterspyramide verbunden mit einem arbeitsplatzbedingten Wegzug vieler jüngerer Menschen von den neuen in die alten Bundesländer zu überalterten und nur noch sehr dünn besiedelten Landregionen in Ostdeutschland [Mich; Opas4]. Diese demographische Entwicklung mit einer zunehmend älter und damit hilfsbedürftiger werdenden Bevölkerung bringt derzeit unter dem Label „Ambient Assisted Living (AAL)“ auf breiter Front Ideen, Projekte und Produkte für Gesundheit, Sicherheit, Versorgung und die Gestaltung des sozialen Umfelds für ein technikunterstütztes und dadurch selbstbestimmtes Leben im Alter hervor [Alba]. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass der durchschnittliche Lebensstandard in den nächsten zehn bis zwanzig Jahren sinken wird [Opas3; Opas4]. Im Laufe eines Lebens werden sich in Zukunft immer mehr Menschen mit Phasen des Erwerbs und des Nicht-Erwerbs, des zeitweiligen Wohlstands und der potentiellen Armut arrangieren. Erschwerend kommt hinzu, dass Renten-, Kranken- und Pflegeversicherung bisher weder nachhaltig noch zukunftsfähig sind [Opas4].

Technik: Die Mediatisierung des täglichen Lebens, d.h. die Nutzung verschiedenster Kommunikationsmedien nimmt zu. Vor allem bei jungen Menschen ist Chatten, Surfen, Telefonieren und Mailen zum Volkssport geworden. Das Mobiltelefon gehört zur Grundausstattung und das mobile Telefonieren wird zur liebsten Freizeitbeschäftigung [Opas1; Opas2; Opas4]. Trotzdem erreicht die Informations- und Kommunikationstechnik immer noch weitere Lebensbereiche. Als Beispiel sei hier das Ubiquitous bzw. Pervasive Computing mit intelligenten Gebäuden, Haushaltsgeräten, Kleidungsstücken etc. genannt. Hardware und Software bei der Informations- und Kommunikationstechnik sowie die Inhalte wachsen sowohl von den Funktionalitäten als auch den Branchen her immer mehr zusammen. Aber trotz dieser Internet-getriebenen Konvergenz existieren noch nebeneinander eine Reihe eigenständiger, dienstespezifischer Kommunikationsnetze wie ISDN, zellulare Mobilfunknetze, IP-Datenetze sowie terrestrische, satellitengestützte und Koaxialkabel-TV-Verteilnetze. Dies wirkt sich auch unmittelbar auf die benötigten Endgeräte aus. Für die technische Kommunikation benötigt ein Nutzer heute üblicherweise als Mindestausstattung ein Festnetztelefon, ein

GSM-Handy (Global System for Mobile communications), einen PC und einen Fernsehapparat, ergänzt um Netzabschlüsse, Modems, Antenne, Verstärker usw. In dieser inhomogenen Kommunikationslandschaft gibt es zudem immer noch große Unterschiede in der Benutzerfreundlichkeit und Sicherheit. Wirklich einfach sind eigentlich nur der Fernsehapparat und Standard-Telefone zu bedienen. Insbesondere ein PC fordert seinem Benutzer einiges an technischem Verständnis, Geduld und Toleranz ab. Diese Situation erklärt zumindest teilweise, warum bis jetzt nahezu alle Bürgerinnen und Bürger im Festnetz und mobil telefonieren und auch einen TV-Anschluss haben, aber immer noch ein recht hoher Prozentsatz – in Deutschland ca. 35% im Jahr 2008 [Pete3] – das Internet überhaupt nicht nutzt. Nach einer Studie von TNS Infratest und der Initiative D21 sind vor allem Rentner, Frauen, Menschen mit geringerem Einkommen oder niedrigerer Bildung noch offline. Zudem wird das Internet im Westen mehr als im Osten sowie in der Stadt mehr als auf dem Land genutzt [Pete3].

Umwelt: In diesem Bereich ereignen sich immer wieder Skandale, wird vor Ressourcenverknappung, dem Anwachsen des Müllbergs, dem Energieverbrauch und vor allem der Klimaveränderung gewarnt. Dadurch nimmt das Verständnis für diese Probleme zu, und es werden wenigstens in Teilbereichen erhebliche Anstrengungen zu ihrer Reduzierung unternommen. Gewünscht ist eine nachhaltige Entwicklung in allen Bereichen, d.h. die Verbesserung der Lebenssituation der heute lebenden Generationen darf die Chancen zukünftiger Generationen nicht gefährden [Wagn]. Trotz unverkennbarer Fortschritte, gerade auch im Bereich der Kommunikationsindustrie [Kreu], sind in der Gesellschaft deutliche Diskrepanzen zu erkennen. Die Bürgerinnen und Bürger sorgen sich zwar um die Umwelt und die Gesundheit, unter anderem im Bereich der technischen Kommunikation findet das aber bis jetzt noch zu wenig Konkretisierung. Infolge der zunehmenden Anzahl an elektronischen Geräten und vor allem auch der kurzen Produktzyklen (z.B. bei PCs, Handys) wächst der Elektronik-Müll deutlich, der zudem wegen der verwendeten Stoffe besonders umweltgefährlich ist. Aus dem gleichen Grund nimmt der Energieverbrauch für den Betrieb und die Herstellung informations- und kommunikationstechnischer Geräte zu [Bart]. 2007 betrug der Anteil der IKT-Anwendungen (Informations- und Kommunikationstechnik) am gesamten deutschen Energieverbrauch 10%, wovon 60% auf die Haushalte entfielen. Hier ist infolge der steigenden Nutzung von Multimediaanwendungen mit einer weiteren Zunahme zu rechnen [Stob]. Besonders ambivalent ist das Verhalten der Nutzer beim Mobilfunk. Viele machen sich, zumindest bis jetzt weitgehend unbegründet [VDEP; Wusc; emff], Sorgen wegen der elektromagnetischen Strahlung, aber fast alle nutzen Mobiltelefone. Allerdings gilt die Hauptsorge der Menschen zunehmend der Erhaltung des Lebensstandards und der Sicherung der Lebensqualität. Mit der Zunahme sozialer Probleme werden zumindest vorübergehend die ökologischen Probleme in den Hintergrund gedrängt [Opas3; Opas4]. Allerdings könnte sich hier im Zuge der spürbaren Klimaveränderungen gesellschaftlich ein Umdenken abzeichnen.

Am Ende dieses Kapitels soll noch einmal die Frage nach der Gesellschaft, in der wir heute leben, aufgeworfen werden. Angesichts der Situation in der Telekommunikationsbranche und der noch recht wenig ausgeprägten Benutzerfreundlichkeit dürfte Matthias Horx recht haben, wenn er einen Vergleich mit dem Aufkommen des Automobils Anfang des 20. Jahrhunderts zieht [Horx]. Dies würde nach den obigen Ausführungen bedeuten, dass wir eigentlich erst am Beginn der Informationsgesellschaft stehen, die Technik ist für die Nutzer noch viel zu sehr sichtbar. Zudem entwickelt sich die Technik deutlich schneller als die medialen Gewohnheiten vieler Menschen [Opas3; Opas4; Pohl]. Etwas provozierend behauptet Horst W. Opaschowski, dass die Informationsgesellschaft noch auf längere Sicht eine Vision bleibt, da die Deutschen lieber konsumieren als sich zu informieren. Seiner Meinung nach gehört daher die Zukunft eher einer Infotainmentgesellschaft [Opas4].

1.4 Anforderungen

Basis der im Folgenden zu erarbeitenden Anforderungen an die Kommunikationsinfrastruktur sind Gesellschaftsmodell und -bild aus Kapitel 1.3. Dabei ist die generelle Anforderung, dass die Einzelnen in ihrer Kommunikation innerhalb und zwischen den gesellschaftlichen Gruppen bestmöglich durch die technische Infrastruktur unterstützt werden. Ziel dabei ist die qualitative und quantitative Verbesserung der Lebensqualität und dabei die Einbeziehung möglichst aller Menschen in den gesellschaftlichen Kommunikationsprozess. Dies wird durch die Kriterien ökonomisch effizient, sozial gerecht und ökologisch verträglich umschrieben [Tric1]. Soziale Gerechtigkeit meint, dass keine gesellschaftliche Gruppe benachteiligt wird, sozial Schwache sogar eher gefördert werden.

Diese Vorgehensweise soll die Fragen „Was will der Mensch?“, „Was ist wünschenswert oder wenigstens akzeptabel?“ in den Mittelpunkt stellen (nicht die wirtschaftlichen und technischen Möglichkeiten), um über voraussagbare Lebensgewohnheiten der Menschen möglichst treffsichere Zukunftsprognosen abgeben zu können [Opas2].

Tabelle 1.1 listet die wichtigsten, sich aus erarbeitetem Gesellschaftsmodell und -bild ergebenden Anforderungen an die Kommunikationsinfrastruktur auf. Sie resultieren aus der Überlegung: Was braucht jede der genannten gesellschaftlichen Gruppen und Gesellschaftsbereiche für eine möglichst optimale Kommunikation und damit Weiterentwicklung?

Tabelle 1.1: Anforderungen an die Kommunikationsinfrastruktur

Anforderungen
Zugang für alle Bürger zur öffentlichen Infrastruktur
Keine gesundheitlichen Risiken
Infrastruktur auch für zukünftige Dienste
Vernetzung aller gesellschaftlichen Gruppen
Verschiedenste Dienste
„Private“ Subnetze
Hohe Netzzuverlässigkeit und -verfügbarkeit
Sicherheit und Datenschutz
Hohe Mobilität
Förderung von Produktivität/Automatisierung
Anwenderfreundlich
Schutz vor Gewalt, Rassismus, Pornografie
Öffentliche Netzzugänge, z.B. in Schulen, Bibliotheken
Kostenfreier/-günstiger Zugang zu Informationen/Wissen
Gleichwertige Netzzugänge in Stadt und Land
Schutz der Privatsphäre
Multimedia-Anwendungen
Nutzung in verschiedenen Sprachen
Kostengünstiger Netzzugang
Kostengünstige Endgeräte
Zugänge bei der Arbeit, von zu Hause und unterwegs
Berücksichtigung der regulatorischen Anforderungen
Einbindung der bestehenden Infrastruktur
Geringer Ressourcenverbrauch bei der Herstellung
Geringer Energieverbrauch im Betrieb
Geringe Umweltbelastung in Herstellung, Betrieb und Entsorgung
Niedrige Betriebskosten
Niedrige Systemkosten bei Neuinstallation von Teilnetzen
Niedrige Inbetriebnahmekosten bei Neuinstallation von Teilnetzen

Daraus ergeben sich Anforderungen der Gesamtgesellschaft wie „Zugang für alle Bürger zur öffentlichen Infrastruktur“, „Keine gesundheitlichen Risiken“, „Infrastruktur auch für zukünftige Dienste“, „Vernetzung aller gesellschaftlichen Gruppen“ und „Verschiedenste Dienste“. Andererseits erhält man spezifische Anforderungen einzelner Gruppen oder Bereiche, wobei es hier natürlich Überlappungen und damit Mehrfachnennungen gibt. Im Folgenden sind die wichtigsten Beziehungen genannt. Jede Anforderung wird dabei nur einmal erwähnt:

Unternehmen → „Private“ Subnetze; hohe Netzzuverlässigkeit und -verfügbarkeit; Sicherheit und Datenschutz; hohe Mobilität; Förderung von Produktivität/Automatisierung

Ältere → Anwenderfreundlich

Kinder → Schutz vor Gewalt, Rassismus, Pornografie; öffentliche Netzzugänge, z.B. in Schulen, Bibliotheken; kostenfreier/-günstiger Zugang zu Informationen/Wissen

Landbewohner → Gleichwertige Netzzugänge in Stadt und Land

Gesundheitswesen → Schutz der Privatsphäre; Multimedia-Anwendungen

Ausländer → Nutzung in verschiedenen Sprachen

Weniger Vermögende → Kostengünstiger Netzzugang; kostengünstige Endgeräte

Familien, Freunde → Zugänge bei der Arbeit, von zu Hause und unterwegs

Öffentliche Verwaltung → Berücksichtigung der regulatorischen Anforderungen

Technik → Einbindung der bestehenden Infrastruktur

Umwelt → Geringer Ressourcenverbrauch bei der Herstellung; geringer Energieverbrauch im Betrieb; geringe Umweltbelastung in Herstellung, Betrieb und Entsorgung

Ergänzt wird diese Liste durch direkte Anforderungen zu den Kosten der Infrastruktur: niedrige Betriebskosten; niedrige Systemkosten bei der Neuinstallation von Teilnetzen; niedrige Inbetriebnahmekosten bei der Neuinstallation von Teilnetzen.

Besonders wünschenswert ist die Unterstützung von breitbandigen Multimedia-Anwendungen. Die damit mögliche audiovisuelle Aufbereitung von Informationen und komfortable Kommunikation senkt durch die resultierende Benutzerfreundlichkeit die Hemmschwelle zur Anwendung, z.B. bei älteren, aber auch bei behinderten Menschen [WSIS3], und erleichtert den Prozess der Umsetzung von Information in Wissen, z.B. bei Kindern. Allgemeiner ausgedrückt ist die Anwenderfreundlichkeit die wichtigste Anforderung an die zukünftige Kommunikationsinfrastruktur sowohl aus ökonomischer als auch aus sozialer Sicht. Sie bestimmt maßgeblich, wie effizient die Nutzung ist und welche Bevölkerungsgruppen wie stark partizipieren.

Bei der Frage nach der zukünftigen Kommunikationsinfrastruktur müssen neben den Anforderungen aus Tabelle 1.1 auch die weiteren Randbedingungen „Erlebnisorientierung“, „Älter und kleiner werdende Gesellschaft“, „Regionen mit zunehmend dünnerer Besiedelung“ und „Situation in der Telekommunikationsbranche“ berücksichtigt werden.

Die Frage nach der Infrastruktur ist die Frage nach Netz-, Systemarchitektur und Technik. Unter diesem Blickwinkel werden jetzt die Anforderungen aus Tabelle 1.1 auf konkretere technische Aspekte abgebildet. Hierbei erhält man, wie in den Tabellen 1.2 und 1.3 dargestellt, einige grundlegende Einsichten in die zukünftige Technik. Dabei wird auch bereits angedeutet, an welchen Stellen das SIP einen wichtigen Beitrag leisten kann.

Tabelle 1.2: Aus den Anforderungen sich ergebende technische Aspekte

Anforderungen	Technische Aspekte (→ möglicher Beitrag von SIP)
Zugang für alle Bürger zur öffentlichen Infrastruktur	Landesweites, breitbandiges Multimedia-Netz (→SIP); landesweit gleichwertige Zugänge (→SIP)
Keine gesundheitlichen Risiken	Kombination verschiedener Funktechniken, möglichst geringe Sendeleistung; intelligente Antennen
Infrastruktur auch für zukünftige Dienste	Diensteunabhängige breitbandige Plattform; möglichst Glasfaser als Übertragungsmedium; Netzarchitektur, die einfach Entwicklung und Einbringung neuer Dienste unterstützt (→SIP)
Vernetzung aller gesellschaftlichen Gruppen	Paketnetz (→SIP); universelle, standardisierte Teilnehmerschnittstellen (→SIP)
Verschiedenste Dienste	Paketnetz (→SIP); diensteunabhängige breitbandige Plattform (→SIP); universelle, standardisierte Teilnehmerschnittstellen (→SIP)
„Private“ Subnetze	Virtuelle private Netze; einfach einzurichten
Hohe Netzverfügbarkeit und -verfügbarkeit	Definierte Quality of Service (QoS), auch für Echtzeitanwendungen (→SIP); Maschennetz; Systemredundanz
Sicherheit und Datenschutz	Authentifizierung (→SIP); Verschlüsselung; Firewalls; Virenschutz; Anti-Spam- und Anti-SPIT-Maßnahmen (Spam over Internet Telephony); virtuelle private Netze
Hohe Mobilität	Übergreifendes Roaming zwischen Mobilfunk- und Festnetzen; persönliche, Session-, Dienste- und Endgerät-Mobilität (→SIP); Rufnummernportabilität; Funktechniken mit umfassenden Handover-Mechanismen
Förderung von Produktivität/Automatisierung	Netz, das einfach und standardisiert Anbindung von Maschinen, Geräten, Kleidungsstücken etc. unterstützt
Anwenderfreundlich	Einfach zu bedienende multifunktionale Endgeräte (→SIP), z.B. mit Sprachsteuerung; ein personalisiertes Endgerät für Mobilfunk- und Festnetze; eine Voicebox; eine Rechnung; ein Vertrag; Betriebssysteme mit Schnellstart
Schutz vor Gewalt, Rassismus, Pornografie	Content Filter
Öffentliche Netzzugänge, z.B. in Schulen, Bibliotheken	Kostengünstige Teilnehmerzugänge
Kostenfreier/-günstiger Zugang zu Informationen/Wissen	Multimedia-Server mit „echtem“ Content; kostengünstige breitbandige Teilnehmerzugänge
Gleichwertige Netzzugänge in Stadt und Land	Kostengünstige Netzstruktur auch für dünner besiedelte Gebiete; gleiche Dienste über unterschiedliche Access-Techniken (→SIP)
Schutz der Privatsphäre	Verschlüsselung; Firewalls; virtuelle private Netze
Multimedia-Anwendungen	Hohe Bandbreite; geeignete Signalisierung (→SIP)
Nutzung in verschiedenen Sprachen	Dolmetscher-Server bzw. Software; Endgeräte intuitiv bedienbar
Kostengünstiger Netzzugang	Jeweils kostengünstigste Access-Technik; möglichst Verwendung vorhandener Infrastruktur, z.B. von bereits verlegten Kabeln
Kostengünstige Endgeräte	Einheitliche Technik für verschiedenste Dienste (→SIP); offene, standardisierte Schnittstellen (→SIP)
Zugänge bei der Arbeit, von zu Hause und unterwegs	Universelle Rufnummern/Adressierung (→SIP); übergreifendes Roaming zwischen Mobilfunk- und Festnetzen (→SIP)
Berücksichtigung der regulatorischen Anforderungen	z.B. Abhör-Maßnahmen, Notruf-Unterstützung

Tabelle 1.3: Aus den Umwelthanforderungen und Netzkosten sich ergebende technische Aspekte

Anforderungen	Technische Aspekte (→ möglicher Beitrag von SIP)
Einbindung der bestehenden Infrastruktur	Gateways (→SIP); Nutzung der vorhandenen Access-Netze
Geringer Ressourcenverbrauch bei der Herstellung	Längere Laufzeiten für System-Hardware, neue Leistungsmerkmale über Software (→SIP)
Geringer Energieverbrauch im Betrieb	Power Down Mode bei Endgeräten und Netzabschlüssen; keine Fernspeisung; energiesparende Systemtechnik und Technologie
Geringe Umweltbelastung in Herstellung, Betrieb und Entsorgung	Längere Laufzeiten für System-Hardware, neue Leistungsmerkmale über Software (→SIP)
Niedrige Betriebskosten	Möglichst nur eine Technik (→SIP); möglichst geringe Netzkomplexität; Sprache und Daten über ein Kernnetz (→SIP); ein Kernnetz für alle Access-Netze; einheitliches bzw. netzübergreifendes Netzmanagement
Niedrige Systemkosten bei Neuinstallation von Teilnetzen	Einheitliche Technik (→SIP); offene, standardisierte Systeme (→SIP)
Niedrige Inbetriebnahmekosten bei Neuinstallation von Teilnetzen	Einheitliche Technik (→SIP); einheitliches Netzmanagement

Da weiterhin von einem deregulierten Umfeld auszugehen ist, wird die zukünftige Infrastruktur natürlich nicht von einem Anbieter betrieben, sondern es wird wie heute schon mehrere Betreiber geben, jeweils für die Netze, die Dienste und die Inhalte. Sowohl wegen der System- als auch der Betriebskosten wird jeder Netzbetreiber versuchen, alle Dienste und Inhalte über ein Netz mit einheitlicher Technik anbieten zu können. Diese Forderung gilt speziell für sein Kernnetz. Im Access-Bereich, zu den einzelnen Kunden hin, wird er wiederum aus Kostengründen so weit wie möglich die vorhandene Infrastruktur (z.B. die Kupferkabel) nutzen. Damit die Technik für die einzelnen Netze, die Dienste und die Inhalte zu einer Gesamtinfrastruktur zusammengeschaltet werden kann, muss mit offenen, am besten standardisierten Schnittstellen gearbeitet werden. Niedrige Betriebskosten sind nur mit einem übergreifenden, zumindest in Teilbereichen einheitlichen Netzmanagement zu erreichen.

Da unterschiedlichste Dienste, von der Steuerung eines Schalters (z.B. zum Fein einstellen der Heizung) bis zur hochbitratigen, interaktiven Multimediakommunikation (z.B. bei einer medizinischen Behandlung an zwei räumlich getrennten Orten in Echtzeit) unterstützt werden sollen, mit konstantem und/oder burstartigem Datenaufkommen, muss das Gesamtnetz flexibel Bitraten von wenigen bit/s bis vielen Mbit/s für einen Dienst unterstützen. Dies ist kostengünstig nur mit einem Paketnetz realisierbar. Ausgehend vom heute verfügbaren Internet und den damit gegebenen Möglichkeiten wird dieses Paketnetz ein IP-Netz mit gegenüber dem heutigen Internet erweiterten Leistungsmerkmalen sein.

Die heutigen Netze, z.B. ISDN und GSM, arbeiten weitgehend kanalorientiert. Da sie ebenfalls aus Kostengründen noch längere Zeit weiter betrieben werden, müssen diese Netze über Gateways an die zukünftige paketorientierte IP-Kommunikationsinfrastruktur angebunden werden.

Das zukünftige Kernnetz muss, um Multimediakommunikation für alle zu unterstützen und um zukunftssicher zu sein, sehr hohe Bandbreiten, viele Tbit/s, handhaben können. Gleichzeitig muss die Netztechnik unabhängig von den Diensten sein. Da eine wichtige Rolle nach

wie vor Echtzeitanwendungen wie Telefonie spielen, muss das Netz eine definierte Quality of Service (QoS) bieten, z.B. darf die Verzögerung nie einen bestimmten, für die Sprachkommunikation noch akzeptablen Maximalwert überschreiten.

Eine weitere wichtige Anforderung an die Infrastruktur ist die massive Unterstützung des Vernetzungsgedankens. Jede gesellschaftliche Gruppe sollte nach Bedarf ihr eigenes virtuelles privates Netz innerhalb des Gesamtnetzes nutzen können.

Nur ein Kernnetz bedeutet auch, dass Fest- und Mobilfunknetze zusammen wachsen, dass sie sich nur noch in der Access-Technik unterscheiden. Damit sollte es auch einfacher sein, Mobilität in jeder Form – in einem Netz, zwischen Netzen (Roaming), mit z.B. einer universellen Rufnummer, einem Endgerät – zu unterstützen. Ein sehr wichtiger Punkt, der unter anderem die Mobilitätsunterstützung umfasst, ist die Anwenderfreundlichkeit. Hier gibt es vor allem bei den Endgeräten und ihrer Anbindung an die Netze ein sehr großes Potential. Ziel muss es sein, einen Großteil der Dienste mit einem einzigen multifunktionalen, einfach zu bedienenden und kostengünstigen Endgerät an einem Fest- oder Mobilanschluss nutzen zu können, unabhängig vom lokalen Netzbetreiber und der Zugangstechnik. Will ein Anwender auf Informationen, auf Inhalte zugreifen, muss das umgehend möglich sein: z.B. sollte das Hochfahren des Betriebssystems eines PCs nicht länger dauern als der Einschaltvorgang bei einem Fernsehgerät. Insgesamt muss für die Nutzer die Technik viel unsichtbarer werden.

Die Basis für kostengünstige Zugänge sind die optimale Ausnutzung und Gestaltung der Access-Technik und trotz vieler verschiedener Dienste nur wenige universelle und standardisierte Teilnehmerschnittstellen.

Ein technisch einheitliches Netz mit offenen Schnittstellen ist relativ anfällig gegen Manipulationen, Angriffe, Überwachung etc. Daher werden durchgängige, wirkungsvolle Techniken zum Schutz der Daten und der Privatsphäre benötigt wie Authentifizierungs- und Verschlüsselungsmechanismen, Firewalls, Virenschutz, Anti-Spam- und Anti-SPIT-Maßnahmen (Spam over Internet Telephony) sowie Content Filter.

Geht man davon aus, dass für die zukünftigen IP-basierten Telekommunikationsnetze die gleichen regulatorischen Anforderungen wie heute für das ISDN und die GSM/UMTS-Mobilfunknetze gelten, müssen auch die Techniken zum gesetzlichen Abhören und für Notrufe bereitgestellt werden.

Bei der System-Hardware ist sowohl bei der Systemkonzeption als auch bei der Technologie auf niedrigen Energie- und Ressourcenverbrauch zu achten, speziell bei in sehr hohen Stückzahlen vorkommenden Komponenten wie Netzabschlüssen und Endgeräten. Endgeräte sollten so konzipiert und realisiert werden, dass mit unveränderter Hardware, einfach durch Download und Aktivierung neuer Software, zukünftige neue Dienste und Leistungsmerkmale realisiert werden können.

Am schwierigsten, da nur zu einem geringen Teil durch die Technik bestimmbar, ist die Anforderung, kostengünstig Inhalte, Informationen und Wissen bereitzustellen. Hier kann die Infrastruktur nur unterstützend mit offenen und einfachen Schnittstellen sowie geeigneten Server-Techniken wirken.

2 Die heutigen Telekommunikationsnetze

Die derzeitige öffentliche Kommunikationsinfrastruktur in der Bundesrepublik Deutschland besteht in der Hauptsache aus den ISDN-Netzen (z.B. von der Deutschen Telekom, Arcor/Vodafone, Net Cologne, EWE TEL) für analoge und digitale Festanschlüsse, den GSM- und UMTS-Mobilfunknetzen für mobile Anschlüsse (D1 – T-Mobile/Deutsche Telekom, D2 – Vodafone, E1 – E-Plus/KPN, E2 – O₂/Telefónica), dem Internet als einem aus unterschiedlichsten Netzen bestehenden IP-Netz, weiteren Datennetzen sowie Festverbindungsnetzen für nichtvermittelte Kommunikation. Ergänzt werden ISDN und die GSM/UMTS-Netze durch die Komponenten für das sog. Intelligente Netz (IN), um komplexere, netzweite und netzübergreifende Dienste und Dienstmerkmale, sog. Mehrwertdienste anbieten zu können.

In rel. geringem Umfang wurden Kommunikationsnetze in Deutschland bereits auf Basis der NGN-Technik (siehe Kapitel 3 ff.) realisiert. Zumindest die Planungen für die Einführung sind bei den meisten Netzbetreibern Anfang 2009 weit fortgeschritten. Parallel hierzu gibt es zahlreiche Provider mit VoIP-Angeboten via Internet.

Die oben genannten Netze unterstützen uneingeschränkt bidirektionale Kommunikation zwischen den Nutzern. Dies gilt nicht bzw. nur eingeschränkt für die ebenfalls landesweit verfügbaren terrestrischen, satellitengestützten und koaxialkabelbasierten Fernseh- und Rundfunkverteilnetze. Allerdings sind die Koaxialkabelnetze prinzipiell bestens für eine breitbandige bidirektionale Kommunikation geeignet. Daher wurden sie zumindest zum Teil bereits entsprechend hochgerüstet.

Weitere existierende Netze, z.B. für spezielle Datenanwendungen oder Behörden, werden im Folgenden nicht näher betrachtet, da sie für die zukünftige Gesamtinfrastruktur ohne große Bedeutung sind.

2.1 ISDN

Die ISDN-Netze [Kanb; Sieg1; Stall] versorgen die Bevölkerung flächendeckend, auch in sehr dünn besiedelten Gebieten, mit analogen und digitalen Festnetzanschlüssen für relativ schmalbandige Sprach-, Text-, Daten- und Videodienste auf Basis von 64-kbit/s-Kanälen. Bild 2.1 zeigt den prinzipiellen Aufbau des ISDN.

Das Netz arbeitet verbindungsorientiert mit Leitungsvermittlung, d.h. anhand der Telefonnummer des gewünschten Zielkommunikationspartners suchen die beteiligten Vermittlungsstellen (VSt) einen Weg durch das Netz und schalten bei Erfolg für die Dauer der Verbindung einen exklusiven 64-kbit/s-Kanal. Gemäß Bild 2.1 besteht das ISDN aus einem Kern- und einem Zugangnetz. Zum Kernnetz gehören die wichtigsten Netzelemente, die Vermittlungsstellen. Bei ihnen unterscheidet man zwischen Teilnehmervermittlungsstellen (TVSt) für die Anschaltung der Nutzer mit ihren Endgeräten und Netzabschlüssen sowie Transit-Vermittlungsstellen für die dynamische Bereitstellung überregionaler Verbindungen. Im amerikanischen Sprachgebrauch wird eine TVSt als Class 5 Switch, eine Transit-VSt als Class 4 Switch bezeichnet.

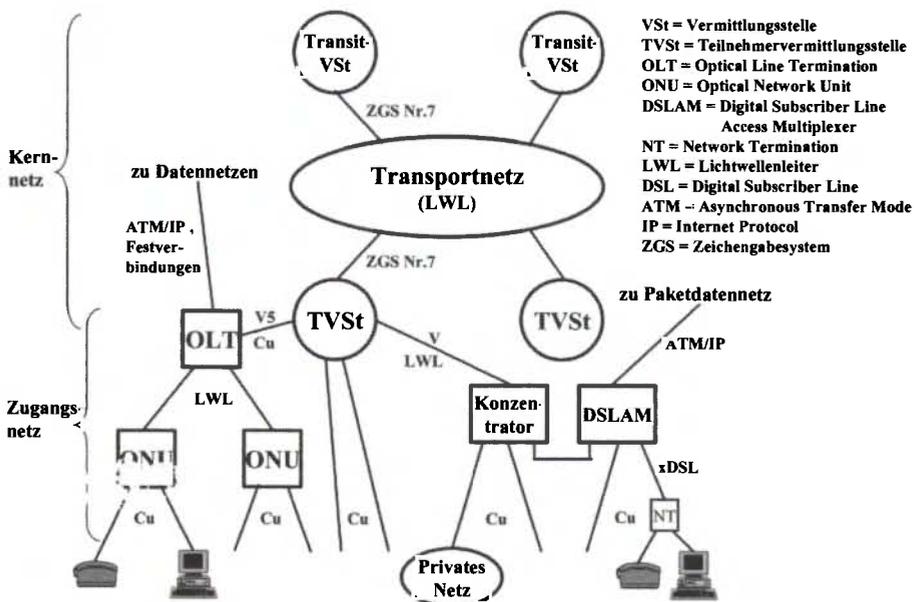


Bild 2.1: Prinzipieller Aufbau des ISDN

Unter anderem für die Kommunikation zwischen den Vermittlungsstellen über die räumlichen Distanzen hinweg dient das Transportnetz. Hier kommen weitgehend Lichtwellenleiter (LWL) und optische Übertragungstechnik zum Einsatz. Daher wird dieser schon heute relativ breitbandige Kernnetzteil auch für über ISDN hinausgehende Anwendungen wie Fest- und Internet-Verbindungen genutzt. Da die Transportnetze nur Übertragungstechnik bereitstellen, ist in diesem Bereich die Integration der verschiedenen Kommunikationsnetze am weitesten fortgeschritten.

Für den Nachrichtenaustausch zum Auf- und Abbau von Verbindungen sowie zur Steuerung der Dienste und Dienstmerkmale nutzen die Vermittlungsstellen die Signalisierungsprotokoll-

le des zentralen Zeichengabesystems Nr. 7 (ZGS Nr. 7), speziell das ISUP-Protokoll (ISDN User Part) [Band; Sail]. Über das international standardisierte ZGS Nr. 7 erfolgt auch die Anbindung an die ausländischen Fernsprechnetze (mittels ISUP oder TUP (Telephone User Part)), das Intelligente Netz (mittels INAP (Intelligent Network Application Part)) und die zellularen Mobilfunknetze (mittels ISUP).

Das Zugangsnetz, auch Access Network genannt, deckt den Bereich zwischen den Teilnehmervermittlungsstellen (TVSt) und den Nutzern mit ihren Endgeräten ab. Dies ist, wie schon aus Bild 2.1 ersichtlich, der inhomogenste Bereich. Die meisten Teilnehmer sind über Kupfererdkabel (Cu) angeschaltet, entweder direkt an einer TVSt oder viel häufiger – da kostengünstiger – über einen von der TVSt abgesetzt betriebenen Konzentrator. In diesen Fällen kann ein Teilnehmer nur vermittelte, d.h. über seine TVSt laufende Dienste in Anspruch nehmen. Für andere Dienste wie Festverbindungen braucht er einen separaten Zugang. Ein sich aus dieser Situation für breitbandige Internet-Anschlüsse ergebender Kompromiss ist die Kombination eines Konzentrators/einer TVSt mit einem DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) für xDSL-Übertragungstechnik (Digital Subscriber Line). Beispielsweise werden bei der ADSL-Technik (Asymmetric Digital Subscriber Line) das Internet-Signal (bis 8 bzw. sogar 24 Mbit/s downstream) und das analoge bzw. digitale Fernsprechsinal auf der VSt-Seite zusammengemultiplext, auf einer Cu-Doppelader übertragen und beim Nutzer wieder getrennt. Für die Upstream-Richtung (bis 1 Mbit/s) gilt das Umgekehrte. Flexibilität bezüglich seines Dienstangebots gewinnt ein ISDN-Netzbetreiber aber erst durch Einsatz eines Zugangsnetzsystems, insbesondere wenn dieses mit Lichtwellenleitern auf Glasfaserbasis als Übertragungsmedium arbeitet. Bild 2.1 zeigt ein räumlich verteiltes System mit einem zentralen Optical Line Termination (OLT) und verteilten Optical Network Units (ONU). In diesem Fall wird nur eine Zugangstechnik trotz verschiedenster Dienste benötigt. Diese Systemarchitektur ermöglicht es, nach und nach und damit kostenoptimiert Glasfasern näher zu den Haushalten zu bringen. Damit entsteht mit der Zeit eine zukunftssichere, breitbandige Infrastruktur, zumindest was die Übertragungsmedien angeht. Ein weiterer Vorteil von modernen Zugangsnetzsystemen ist, dass sie für die Anschaltung an die TVSt standardisierte V5-Schnittstellen [Gill] bieten, während Konzentratoren üblicherweise mit firmenspezifischen V-Schnittstellen arbeiten. Dies bedeutet, dass der Konzentrator vom gleichen Hersteller wie die TVSt sein muss.

Die beschriebenen vorteilhaften Access Network-Systeme werden in Deutschland vor allem von den neuen City- und Regional-Netzbetreibern eingesetzt, oft in Verbindung mit von der Deutschen Telekom vermieteten Cu-Leitungen (Unbundled Access). Bei den landesweit agierenden Netzbetreibern spielen sie prozentual eine geringere Rolle.

2.2 GSM- und UMTS-Mobilfunknetze

Noch deutlich mehr Nutzer als das ISDN haben die vier zellularen GSM/UMTS-Mobilfunknetze [Lüde; Walk1; 3GPP] in der Bundesrepublik. Bild 2.2 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines GSM-Netzes. Es unterstützt die Sprach- und Datenkommunikation sowie den Internet-Zugang. Sprache wird mit 13 bzw. 12,2 kbit/s oder auch mit 5,6 kbit/s übertra-

gen, Daten von 9,6 kbit/s pro Mobile Station (MS) bis ca. 640 kbit/s pro Funkzelle, wobei mit der EDGE-Zugangstechnik (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) noch höhere Raten möglich sind. Während ein GSM-Netz bei Sprache und niederen Datenraten verbindungsorientiert mit Leitungsvermittlung arbeitet, hat man bei höheren Datenraten die Möglichkeit, verbindungslos mit Paketvermittlung zu kommunizieren. Letzteres setzt die Erweiterung des Netzes mit den für GPRS (General Packet Radio Service) erforderlichen Komponenten voraus [Lüde].

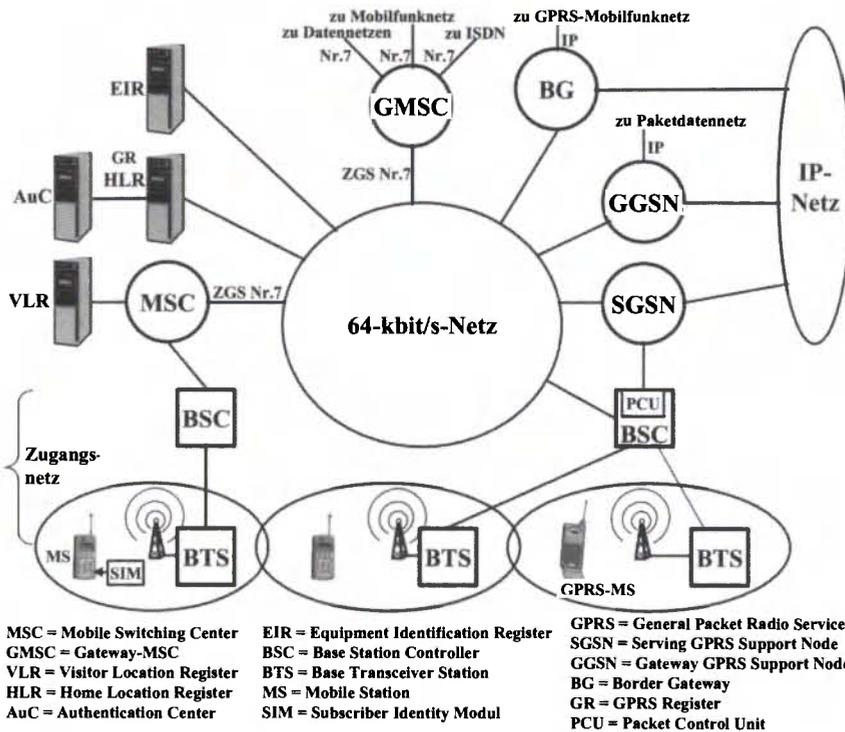


Bild 2.2: Prinzipieller Aufbau eines GSM-Mobilfunknetzes inkl. GPRS

Damit setzt sich das GSM-Mobilfunknetz gemäß Bild 2.2 aus einem leitungs- und einem paketvermittelnden Kernnetz mit einem gemeinsamen Zugangsnetz zusammen. Die Vermittlungsstellen des leitungsvermittelnden Teils sind das Mobile Switching Center (MSC) und das Gateway-MSC (GMSC) für den Übergang zu anderen verbindungsorientierten Netzen. Die MSCs entsprechen ISDN-Vermittlungsstellen mit mobilfunkspezifischer Software. Sie kommunizieren miteinander in 64-kbit/s-Kanälen über ein kanalorientiertes Transportnetz, wobei sie für den Nachrichtenaustausch zum Auf- und Abbau von Verbindungen sowie zur Steuerung der Dienste und Dienstmerkmale die um einen mobilfunkspezifischen Anteil ergänzten Signalisierungsprotokolle des zentralen Zeichengabesystems Nr. 7 (ZGS Nr. 7)

(ISUP für die Verbindungs-, MAP (Mobile Application Part) für die Mobilitätssteuerung) verwenden. Darüber erfolgt auch die Anbindung an die anderen Mobilfunknetze (mittels ISUP), das Intelligente Netz (mittels INAP und CAP (CAMEL Application Part)) und das ISDN-Festnetz (mittels ISUP).

Im Hinblick auf die Unterstützung umfassender Mobilität im Netz und auch zwischen GSM-Netzen können bzw. müssen die Vermittlungsstellen (die MSCs) verschiedene Register (d.h. Datenbanken) im Netz abfragen: das Home Location Register (HLR), das Visitor Location Register (VLR), das Authentication Center (AuC) und das Equipment Identification Register (EIR). Das HLR enthält die Teilnehmeridentifikationsdaten, die vom Teilnehmer abonnierten Dienste, die Kennziffer des aktuell für ihn zuständigen MSC und erforderlichenfalls die Parameter für Dienstmerkmale wie Rufweitschaltung. Das VLR ist im Allgemeinen mit einem MSC verknüpft und enthält für alle Teilnehmer, für die das MSC gerade zuständig ist, eine Kopie der HLR-Daten. Im AuC ist für jeden Teilnehmer der persönliche Netzzugangsschlüssel gespeichert. Er wird für die Prüfung der Netzzugangsberechtigung, die Authentifizierung, herangezogen. Im EIR werden die Registriernummern der Mobilstationen (MS), der Handys, verwaltet. Es erlaubt z.B. eine Identifikation sowie eine Sperrung gestohlenen gemeldeter Endgeräte.

Das Zugangnetz enthält pro Funkzelle eine Base Transceiver Station (BTS), die Übertragungstechnik für die funkttechnische Versorgung. Mehrere dieser Basisstationen werden von einem Base Station Controller (BSC), einem Konzentrator, gesteuert. Zudem routet der BSC den entsprechenden Verkehr zu den angeschalteten BTSs.

Jede Mobile Station (MS) benötigt eine SIM-Karte (Subscriber Identity Module). Diese kleine, in das Handy einzufügende Chipkarte enthält die Teilnehmer-Identifikationsnummer, während der Nutzung dann auch weitere Daten wie den letzten Aufenthaltsbereich, das persönliche Adressbuch, empfangene SMS (Short Message Service) und kleine, auch nachträglich geladene Applikationsprogramme.

Im Vergleich zum ISDN sind bei einem GSM-Netz neben dem Funkzugang zwei Funktionsbereiche gerade auch im Hinblick auf die zukünftige Infrastruktur besonders herauszustellen: die Sicherheit im Netz und die Mobilitätsunterstützung.

Ohne SIM-Karte mit den erforderlichen Daten sowie freigegebener MS-Registriernummer ist kein allgemeiner Zugang möglich. Bereits bei der Zugangsberechtigungsprüfung werden die Daten verschlüsselt übertragen. Durch die Verwendung spezieller, zum Teil temporärer Kennungen soll die Anonymität gewahrt und Unbefugten das Erstellen von Bewegungsprofilen etc. unmöglich gemacht werden. Für den Netzbetreiber ist der Nutzer bei eingeschaltetem Handy allerdings ziemlich „gläsern“, der Betreiber kann (bei aktivem Handy) jederzeit feststellen, in welcher Funkzelle sich der Nutzer befindet.

Mobilität wird in einem GSM-Netz auf verschiedene Weise unterstützt. Der Teilnehmer kann abgehend und ankommend kommunizieren, egal in welcher Funkzelle er sich gerade befindet, er wird im Netz lokalisiert. Dazu wird laufend sein Aufenthaltsbereich aktualisiert, es findet das sog. Roaming statt. Dies initiiert die Mobilstation selbst, indem sie ihrem aktuellen MSC mitteilt, in welcher Location Area bzw. Funkzelle sie sich gerade befindet. Das

MSC aktualisiert in der Folge erforderlichenfalls die VLR- und HLR-Einträge. Beispielsweise bestimmt bei einem ankommenden Ruf das mit dem rufenden Teilnehmer korrespondierende MSC oder GMSC anhand der Rufnummer das HLR der Ziel-MS und ruft von dort (mittels MAP-Protokoll) deren augenblickliche Position ab (d.h., in welchem MSC-Bereich/VLR (Location Area) sie sich gerade befindet). Aufgrund dieser Information wird eine direkte Verbindung zwischen den beiden beteiligten MSCs aufgebaut (mittels ISUP) und das Ziel-MSC erfragt im besuchten Bereich die gültigen Teilnehmerdaten im VLR. Ist die MS erreichbar, wird sie vom MSC über alle angeschlossenen BTS dieser Location Area gerufen. Antwortet die MS, kommt die Verbindung zu Stande und der genaue Aufenthaltsort (die Funkzelle) ist bekannt. Eine bestehende Verbindung bleibt auch erhalten, wenn der Nutzer währenddessen die Zelle oder sogar den MSC-Bereich wechselt. Diesen Vorgang nennt man Handover. Grundsätzlich gilt, dass der Teilnehmer mit seiner MS überall im Netz und auch in fremden GSM-Netzen mit Roaming-Abkommen kommunizieren kann. Insgesamt bietet GSM eine ziemlich umfassende Mobilitätsunterstützung: persönliche, Endgeräte- und Dienste-Mobilität. D.h., der Nutzer kann bei gleicher SIM-Karte eine beliebige MS verwenden und ist dann über seine Rufnummer im gesamten Netz erreichbar, eine MS funktioniert auch bei räumlicher Bewegung weiter und dem Teilnehmer stehen über seine SIM-Karte unabhängig von Aufenthaltsort und Endgerät die von ihm abonnierten Dienste und Dienstmerkmale mit seinen persönlichen Daten wie z.B. seinem Adressbuch zur Verfügung.

Gemäß Bild 2.2 wird die GSM-Architektur für Paketdaten um drei logische Netzelementtypen erweitert, zudem brauchen die Nutzer spezielle GPRS-Mobile Stations. Ansonsten kann die GSM-Infrastruktur mit Erweiterungen der BTSs und BSCs verwendet werden. Bei GPRS werden pro Zelle mehrere Funkkanäle zusammengefasst, die dann von mehreren GPRS-Nutzern gemeinsam mit statistischem Multiplex für IP-Kommunikation, z.B. für mobile Internet-Zugänge, genutzt werden können. Das Kernnetz wird um die Netzelemente SGSN (Serving GPRS Support Node), GGSN (Gateway GPRS Support Node) und BG (Border Gateway) ergänzt. Hierbei handelt es sich um Paketvermittlungsstellen mit den Aufgaben nach Bild 2.2, die untereinander über ein IP-Netz kommunizieren. Für die Mobilität der GPRS-Teilnehmer muss das HLR um GPRS-spezifische Daten bzw. -Teilnehmerprofile erweitert werden, das sog. GPRS Register (GR). Zudem tauschen die aktuell zugehörigen MSC/VLR und SGSN laufend Informationen zum Aufenthaltsbereich der GPRS-Nutzer aus. Soll im Zugangsnetz zur Erzielung höherer Bitraten mit EDGE-Technik gearbeitet werden, sind sowohl EDGE-fähige Basisstationen als auch Endgeräte notwendig.

Ein GSM-Netz mit GPRS bietet eine integrierte Lösung mit leitungs- und paketvermittelten Diensten für mobile Nutzer, allerdings nur per Funk und relativ schmalbandig.

Im Prinzip genau die gleiche Funktionalität, allerdings mit breitbandigerem Funkzugang bieten die sich heute im Einsatz befindlichen UMTS Release 99-Netze gemäß Bild 2.3 (siehe auch Kapitel 13.2). Im Kernnetz wird weiter die GSM- und GPRS-Technik genutzt [100522], die Sprachkommunikation erfolgt nach wie vor leitungsvermittelt. Die eigentliche Neuerung im Vergleich mit einem GSM-Netz ist das deutlich leistungsfähigere Zugangsnetz UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network) [25401], das pro Funkzelle Bitraten bis zu 2 Mbit/s bzw. mit HSDPA- (High Speed Downlink Packet Access) und HSUPA-Technik (High Speed Uplink Packet Access) bis zu 14,4 Mbit/s downstream und 5,8 Mbit/s

upstream unterstützt. Das UTRAN-Zugangsnetz in Bild 2.3 wird mittels Base Stations Node B und den zugehörigen Controllern RNC (Radio Network Controller) realisiert.

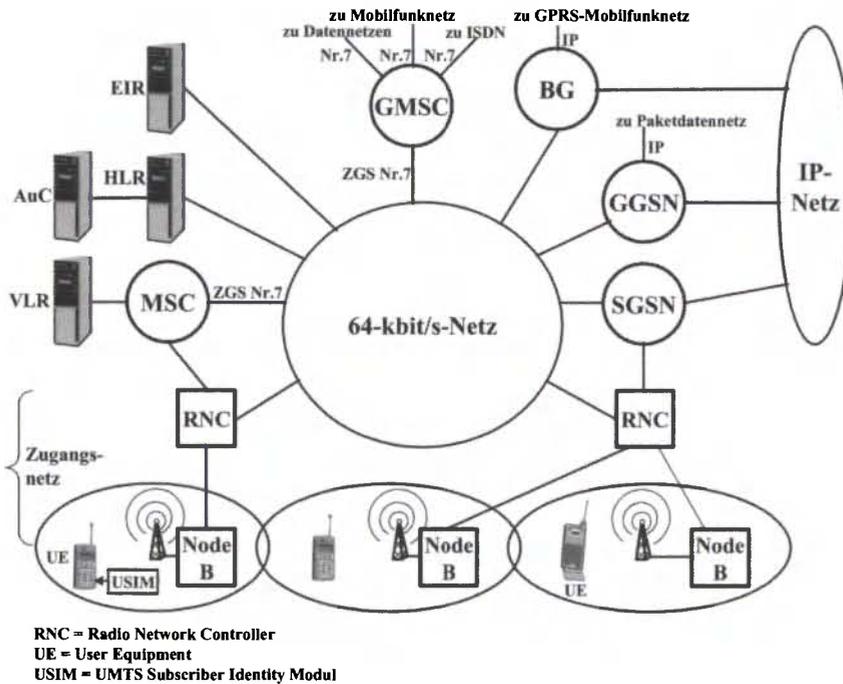


Bild 2.3: Prinzipieller Aufbau eines UMTS Release 99-Mobilfunknetzes

2.3 Internet

Während bei ISDN bzw. den digitalen Fernsprechnetzen und bei den GSM-Netzen nahezu 100% aller Bürgerinnen und Bürger in Deutschland Nutzer sind, gilt dies beim Internet [Tane; Stal2; Steu] nur für einen deutlich geringeren Prozentsatz. Ein Grund hierfür könnte sein, dass als Endgeräte bei diesem Netz bis jetzt vor allem die relativ nutzerfeindlichen und vergleichsweise teuren PCs zum Einsatz kommen.

Der große Vorteil des Internets ist, dass es auf Basis von IP (Internet Protocol) verschiedenste Dienste bis hin zu Multimedia und sogar Netze integriert. Damit bietet es eine offene, landes- bzw. weltweit verfügbare Kommunikationsplattform. Bild 2.4 zeigt den prinzipiellen Aufbau des Internet.

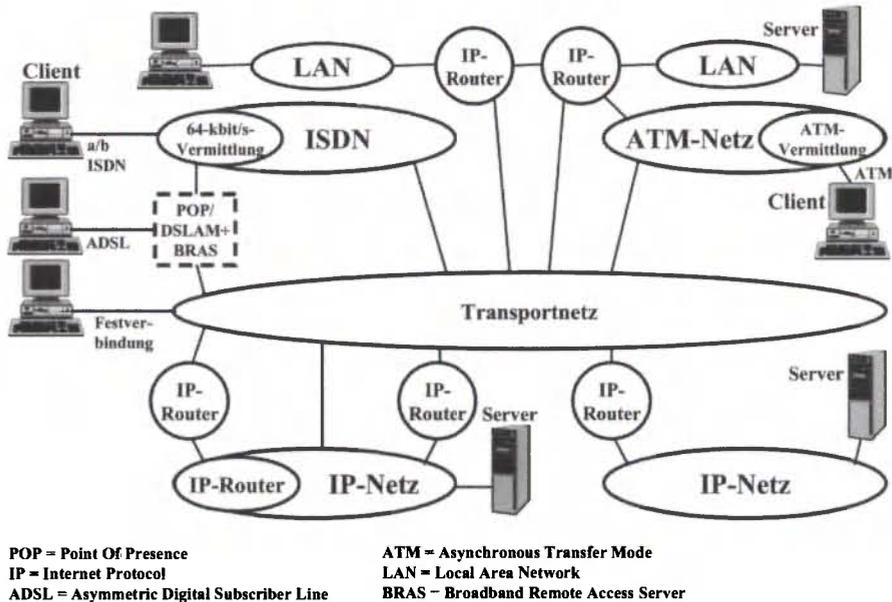


Bild 2.4: Prinzipieller Aufbau des Internets

Es besteht aus den Clients (d.h. Rechnern mit entsprechender Software bei den Anwendern z.B. für E-Mail-Versand oder WWW-Browser (World Wide Web)), den Servern (d.h. Rechnern mit der zugehörigen Software bei den Diensteanbietern), Servents (Client und Server bei der direkten Peer-to-Peer-Kommunikation, z.B. in Datei-Tauschbörsen) und den IP-Routern (den Paketvermittlungsstellen). Die Netze bzw. Subnetze zwischen den IP-Routern, Clients und Servern bieten aus IP-Sicht nur Übertragungskapazität, unabhängig davon, ob es sich um ein Transportnetz mit Festverbindungen handelt, ein ATM-Netz (Asynchronous Transfer Mode) mit Fest- und Wählverbindungen, ein Local Area Network (LAN) oder das ISDN für die dynamische Einwahl per Modem oder ISDN-Zugang. Da auch für die Zugänge ganz unterschiedliche Netze zur Anwendung kommen – Beispiele für Modem-, ISDN- oder ADSL-Zugang sind detaillierter in Bild 2.5 dargestellt –, variieren die Bitraten auf den Nutzerschnittstellen zwischen 14,4 kbit/s und z.B. 1 Gbit/s.

Das Resultat ist: Beim Internet handelt es sich um ein IP-basiertes, sich aus vielen Subnetzen bildendes Paketdatennetz, das vermittelnde (z.B. ISDN, ATM) und Transport-Netze zur Übertragung der IP-Pakete mit einbezieht. Trotz der Nutzung darunter liegender, verbindungsorientiert und leitungsvermittelt arbeitender Netze erfolgt die Kommunikation im Internet selbst als einem übergreifenden Gesamtnetz verbindungslos und paketvermittelt. Die Wegesuche, das Routing im Netz, geschieht anhand der IP-Adressen, wobei aufeinander folgende Pakete trotz gleicher Kommunikationspartner verschiedene Wege nehmen können. Bis heute arbeitet das Internet nach dem Best Effort-Prinzip, d.h. IP-Pakete werden unabhängig vom Dienst von den Routern mit der gleichen Priorität weitervermittelt. Zusammenfas-

send bedeutet dies, dass die Quality of Service nicht vorhersagbar ist, d.h. wie lange ein Paket im Netz braucht, wie stark die Verzögerungen streuen, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, dass es verloren geht, ist unbestimmt. Daher ist das derzeitige Internet für nicht-zeitkritische Datendienste wie File-Transfer, E-Mail-Versand und Homepage-Abrufe sehr gut geeignet, für Echtzeitdienste wie Telefonie oder Videokonferenzen mit jederzeit guter Qualität eher nicht.

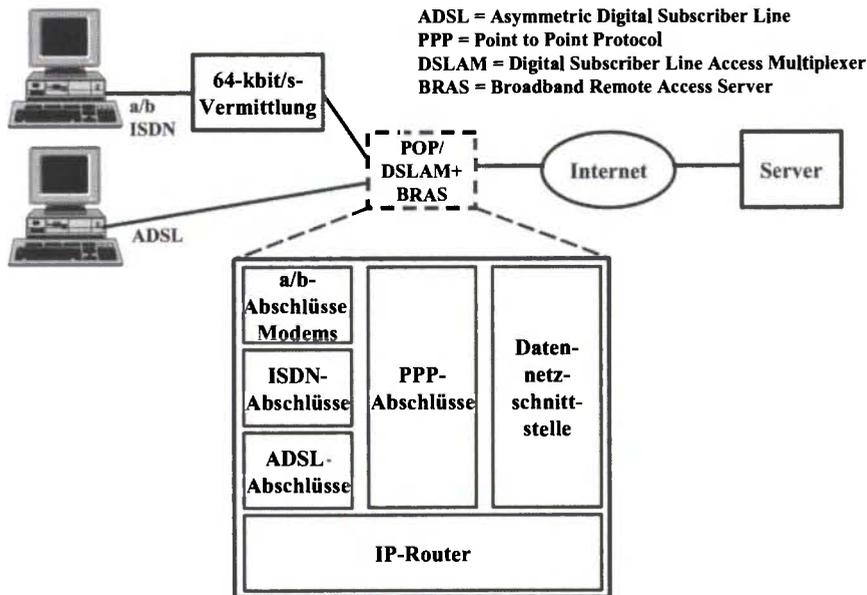


Bild 2.5: POP (Point of Presence)

2.4 IN (Intelligentes Netz)

Das Intelligente Netz (IN) [Sieg2; Zopf] wurde aus dem Wunsch heraus entwickelt, auch komplexere Dienste und Dienstmerkmale, sog. Mehrwertdienste, anbieten zu können und das mit einer möglichst offenen Plattform und so weit wie möglich entkoppelt von der eigentlichen Technik der Telekommunikationsnetze. Heute werden mit dem IN eine Menge Dienste in den ISDN- und GSM/UMTS-Netzen auch netzübergreifend realisiert, beispielsweise „gebührenfreie Rufnummer“, „Zielansteuerung ursprungs-/ zeitabhängig/ aufgrund von Eingaben des Anrufers“, „Alternativziel bei Besetzt/ Nichtantworten“, „einheitliche Rufnummer“, „virtuelles privates Netz (VPN)“, „persönliche Rufnummer“, „Rufnummernportabilität“, „Screening (Berechtigungsprüfung) von Call by Call-Gesprächen“. Diese Beispiele zeigen, dass mit dem IN bereits heute eine netzweite und netzübergreifende Technik für mehr An-

wenderfreundlichkeit und Teilnehmermobilität für ISDN und GSM/UMTS zur Verfügung steht.

Das wesentliche Kriterium der meisten IN-Dienste sind komplexe Mechanismen der Rufnummernübersetzung. Z.B. muss die gebührenfreie 0800-Rufnummer im Netz in die konkrete Zielrufnummer umgesetzt und der Verkehr in der Folge entsprechend geroutet werden. Bild 2.6 zeigt die Struktur des IN.

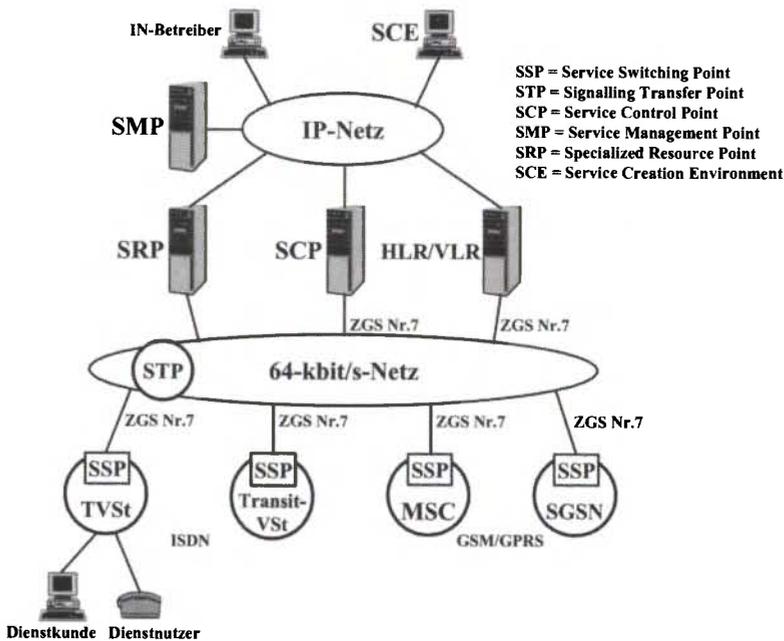


Bild 2.6: Das Intelligente Netz (IN)

Die wichtigsten IN-Netzelemente sind der Service Switching Point (SSP), der Service Control Point (SCP), der Service Management Point (SMP) und der Specialized Resource Point (SRP). Der SSP ist Teil einer Vermittlungsstelle (Transit-VSt oder auch TVSt im ISDN, MSC oder SGSN bei GSM/UMTS) und ist als systeminterne Software realisiert. Er erkennt IN-Rufe und leitet die Anfragen an den SCP weiter. Der SCP repräsentiert die IN-Dienstesteuerung. Realisiert wird er mit Rechnern. Bei den GSM/UMTS-Netzen entspricht der SCP speziell für den Dienst der Mobilitätsverwaltung dem HLR/VLR, für andere IN-Dienste stehen auch in diesen Netzen eigene SCPs zur Verfügung. Mit dem SMP, ebenfalls einem Rechner mit Datenbank, werden die IN-Dienste eingerichtet, geändert, verwaltet und überwacht. Dies erfolgt zum einen durch den IN-Betreiber bzw. die IN-Diensteanbieter, aber in einem gewissen Umfang auch durch die Dienstkunden. Letztere können sich per ISDN in den SMP einwählen oder per Internet und WWW zugreifen und Einstellungen für den von

ihnen abonnierten Dienst vornehmen, z.B. die Zeiten für unterschiedliche Zielrufnummern ändern. Für bestimmte Dienste ist auch die Einbeziehung von Nutzdatenkanälen erforderlich, z.B. für vom IN gesteuerte Sprachansagen, für die Erfassung von Nutzereingaben mit MFV-Signalen (Mehrfrequenzwahlverfahren) oder für Spracherkennung. Diese Aufgaben werden vom SRP wahrgenommen.

SSP, SCP und SRP kommunizieren miteinander in 64-kbit/s-Kanälen über ein kanalorientiertes Transportnetz, wobei sie für den Nachrichtenaustausch zur Steuerung der IN-Dienste die um IN-spezifische Anteile ergänzten Signalisierungsprotokolle des zentralen Zeichengabesystems Nr. 7 (ZGS Nr. 7) verwenden (INAP und CAP für die Dienste-, MAP für die Mobilitätssteuerung). STPs (Signalling Transfer Point) fungieren dabei als Paketvermittlungsstellen für die Nr.7-Nachrichten [Jobm]. Die STP-Funktion wird normalerweise im Netz als Stand-alone-Gerät realisiert, kann aber auch Bestandteil einer Vermittlungsstelle sein.

Die Rechner und Bedienstationen für SCP, SMP und SRP sind durch ein IP-Netz miteinander verknüpft. Hierüber wird auch das Service Creation Environment (SCE) für die Entwicklung und Einbringung neuer IN-Dienste bzw. die Anpassung bestehender angebunden.

Wegen der Komplexität und fehlenden Flexibilität, speziell der ZGS Nr.7-Erweiterungen, ist das IN trotz der standardisierten Schnittstellen für Diensteanbieter und -entwickler nicht so offen, wie es für die Weiterentwicklung der Netze wünschenswert gewesen wäre [Berg].

3 NGN (Next Generation Networks)

Eine Prognose zur zukünftigen Kommunikationsinfrastruktur basiert vor allem auf den Anforderungen der Nutzer inkl. der Betreiber und Diensteanbieter, berücksichtigt die heute vorhandenen Infrastrukturen, bezieht aber auch die aktuellen technischen Tendenzen mit ein. Die derzeit wichtigsten Neuerungen bei Telekommunikationsnetzen lassen sich unter dem Stichwort „Next Generation Networks (NGN)“ zusammenfassen.

3.1 Konzept

Der Begriff NGN steht für ein Konzept, das relativ präzise durch die nachfolgend genannten Punkte und die prinzipielle Netzstruktur in Bild 3.1 beschrieben werden kann [Tric2; EURE1; Sieg3; NGNI].

Die NGN zeichnen sich aus durch

- ein paketorientiertes (Kern-) Netz für möglichst alle Dienste.
- Da darunter auch Echtzeitdienste wie Telefonie fallen, muss das Netz eine bestimmte Quality of Service (QoS) zur Verfügung stellen.
- Ein besonders wichtiger Punkt, sowohl im Hinblick auf die Kosten als auch die Offenheit für neue Dienste, ist die vollständige Trennung der Verbindungs- und Dienstesteuerung vom Nutzdatentransport. Ersteres wird mit zentralen Call Servern (CS) implementiert – die Hauptnetzintelligenz wird vor allem per Software zentral mit kostengünstiger Standard-Rechner-Hardware realisiert. Letzteres bieten das Paketdatennetz direkt sowie Gateways für die Anschaltung kanalorientiert arbeitender Netze, Subnetze und Endgeräte.
- Gemäß dem NGN-Gedanken werden alle bestehenden, wichtigen Telekommunikationsnetze, vor allem auch die einen hohen Wert darstellenden, technisch unterschiedlichen Zugangnetze mit integriert. Das geschieht mit Gateways für die Nutzdaten (Media Gateway, MGW) und für die Signalisierung (Signalling Gateway, SGW). Mehrere MGWs werden von einem zentralen Call Server bzw. dem darin enthaltenen Media Gateway Controller (MGC) gesteuert. Der Call Server, manchmal speziell nur der MGC, wird in der Literatur [Orth] auch als Softswitch oder Call Agent bezeichnet.
- Zur Realisierung von Mehrwertdiensten kommuniziert der Call Server mit Application Servern.

- Multimedia-Dienste und entsprechend hohe Bitraten werden unterstützt.
- Die Netzintegration hat nicht nur niedrige System- und Betriebskosten durch einheitliche Technik, weitgehende Wiederverwendung vorhandener Infrastrukturen, optimale Verkehrsauslastung des Kernnetzes und übergreifendes einheitliches Netzmanagement zum Ziel, sondern auch Mobilität.
- Integrierte Sicherheitsfunktionen sorgen für den Schutz der transferierten Daten und des Netzes.

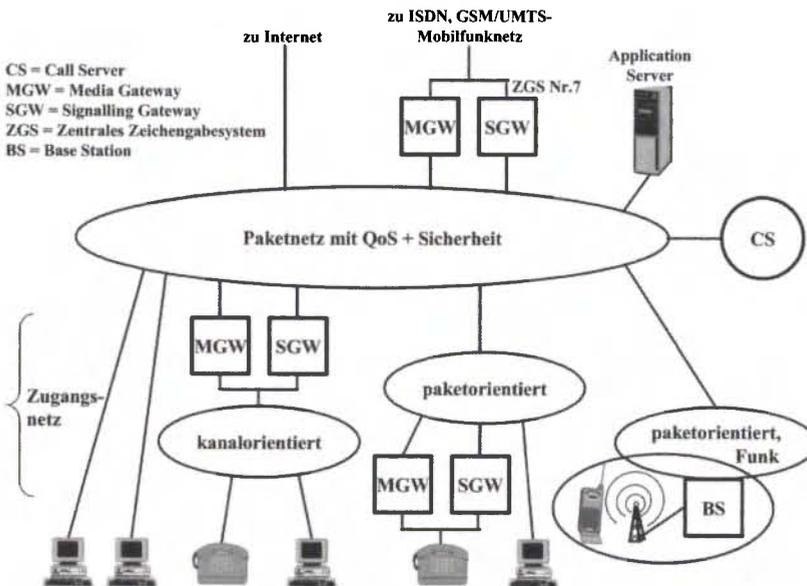


Bild 3.1: Prinzipielle Struktur eines Next Generation Networks (NGN)

Dabei kann gemäß Bild 3.2 die Gateway-Funktionalität Teil des Endgeräts oder des privaten leitungsvermittelten Netzes sein (Residential Gateway), den Übergang vom Zugangsnetz zum IP-Kernnetz repräsentieren (Access Gateway) oder ein leitungs- (z.B. ISDN) und ein paketvermitteltes Kernnetz verbinden (Trunking Gateway) [Weik].

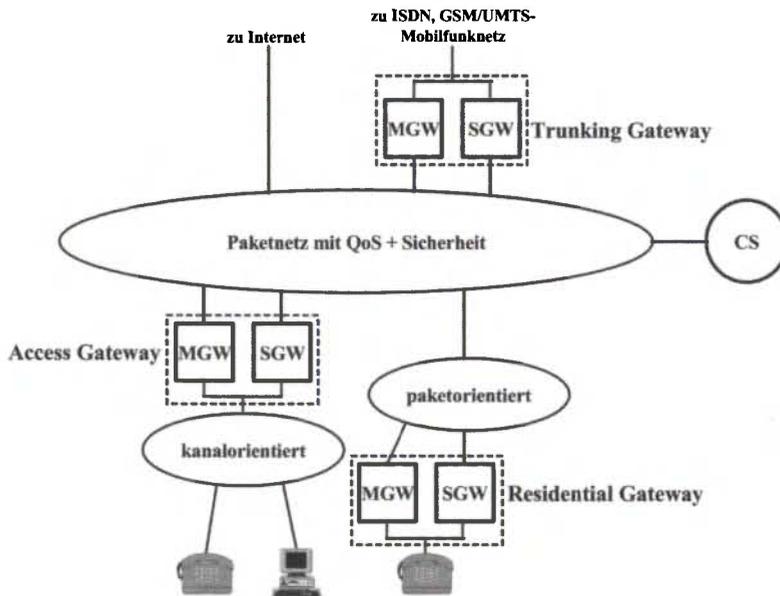


Bild 3.2: Gateway-Typen

Im Hinblick auf die zu tätigen Investitionen erwartet ein Netzbetreiber vom NGN-Konzept

- eine den Diensten angemessene Entgelterfassung und
- Skalierbarkeit [Orla1].

Zwischenzeitlich hat sich die ITU-T (International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector) zuerst mit dem NGN 2004 Project, dann mit einer Joint Rapporteurs Group und ab Juni 2004 mit ihrer Focus Group on Next Generation Networks (FGNGN) [FGNG] die NGN-Standardisierung vorgenommen. Seit Januar 2006 wird die NGN-Standardisierung bei der ITU-T von der Next Generation Network-Global Standards Initiative (NGN-GSI) [NGNG] durchgeführt. Die Gründe für die umfangreichen Arbeiten zu NGN bei der ITU-T sind

- der Wettbewerb,
- die starke Zunahme des Datenverkehrs,
- die Nutzerforderung nach Multimedia-Diensten,
- die Nutzerforderung nach genereller Mobilität und
- die Konvergenz der Netze und Dienste.

Parallel hierzu liefen und laufen umfangreiche NGN-Standardisierungsarbeiten bei der ETSI-Arbeitsgruppe (European Telecommunications Standards Institute) TISPAN (Telecoms &

Internet converged Services & Protocols for Advanced Network) [TISP], wobei ITU-T und ETSI bez. NGN weitgehend das gleiche Verständnis haben [180000; Y2001].

Im Rahmen der oben genannten Aktivitäten hat die ITU-T auch eine Definition für den Begriff „Next Generation Network (NGN)“ veröffentlicht:

“A packet-based network able to provide telecommunication services and able to make use of multiple broadband, QoS-enabled transport technologies and in which service-related functions are independent from underlying transport-related technologies. It enables unfettered access for users to networks and to competing service providers and/or services of their choice. It supports generalized mobility which will allow consistent and ubiquitous provision of services to users” [Y2001].

Die ITU-T charakterisiert ein NGN gemäß [Y2001] wie folgt:

- paketbasierte Übermittlung
- Trennung der Steuerung für Nutzdatentransport, Call/Session, Dienst/Applikation
- Entkoppeln der Dienstbereitstellung vom Transport, offene Schnittstellen
- Unterstützung verschiedenster Dienste/Applikationen
- breitbandfähig, QoS
- Interworking mit bestehenden Netzen, offene Schnittstellen
- generelle Mobilität
- unbeschränkter Nutzerzugang zu verschiedenen Netzen und Diensteanbietern
- Dienstekonvergenz für Fest- und Mobilfunknetze
- Unterstützung verschiedenster Access-Techniken
- Berücksichtigung geltender regulatorischer Anforderungen (z.B. Notruf, gesetzliches Abhören, Sicherheit, Privatsphäre).

Mit Ausnahme von „unbeschränkter Nutzerzugang zu verschiedenen Netzen und Diensteanbietern“ und „Berücksichtigung geltender regulatorischer Anforderungen“ wurden alle diese Kennzeichen oben schon genannt, d.h. in früheren Publikationen zum Thema NGN bereits erwähnt. Zusammenfassend können daher die Kennzeichen eines NGN aufgelistet werden [Tric5]:

1. paketorientiertes (Kern-) Netz für möglichst alle Dienste
2. Quality of Service
3. Offenheit für neue Dienste
4. Trennung der Verbindungs- und Dienststeuerung vom Nutzdatentransport
5. Integration aller bestehenden, wichtigen Telekommunikationsnetze, vor allem der Zugangnetze
6. Application Server
7. Multimedia-Dienste
8. hohe Bitraten
9. übergreifendes einheitliches Netzmanagement
10. Mobilität
11. integrierte Sicherheitsfunktionen
12. den Diensten angemessene Entgelterfassung

13. Skalierbarkeit
14. unbeschränkter Nutzerzugang zu verschiedenen Netzen und Diensteanbietern
15. Berücksichtigung geltender regulatorischer Anforderungen.

Obige Zusammenstellung macht deutlich, dass die grundlegenden Anforderungen an eine moderne Telekommunikationsinfrastruktur aus Tabelle 1.1 (siehe Kapitel 1.4) und die daraus abgeleiteten technischen Aspekte in den Tabellen 1.2 und 1.3 durch das NGN-Konzept zu einem großen Teil abgedeckt werden. Nur die Fragen bezüglich Ressourcen-, Energieverbrauch und Umweltbelastung sowie Zugangstechnik und Endgeräte inkl. der dabei besonders wichtigen Anwenderfreundlichkeit werden nicht berührt.

Unabhängig hiervon scheint die Umsetzung dieses Konzepts schon aus reinen Kostengründen sinnvoll, wenn ein Netz neu realisiert oder erweitert werden soll bzw. wenn modernisiert werden muss. Zumindest im Kernnetz kommt ein Netzbetreiber dann mit nur einem IP-Datennetz aus, statt bisher je einem getrennten Netz für Sprache und Daten. Zudem sind im Hinblick auf die erforderliche Bandbreite ohnehin die Datendienste dominierend, dafür ist das Netz dann von vornherein optimal angepasst. Insgesamt wird diese Vorgehensweise zu weniger Netzelementen, homogenerer Technik, einer Vereinheitlichung des Netzmanagements und damit zu Kosteneinsparungen in der Beschaffung und vor allem im Betrieb führen. Zudem können neue Dienste, vor allem multimediale mit der Integration von Sprache und Daten einfacher implementiert werden als in den bisherigen Netzen [Schul; Vida; Ritt].

Bei Paketnetzen denkt man heute vor allem an IP-Netze. Ein IP-Netz arbeitet aber verbindungslos, d.h. möchte z.B. ein Client mit einem Server kommunizieren, sendet er einfach ein IP-Datenpaket mit der IP-Adresse des Zielkommunikationspartners und den Nutzdaten, ohne zu wissen, ob dieser online und gewillt ist zu kommunizieren. Diese Vorgehensweise ist natürlich bei einem Telefongespräch nicht die richtige. Daher wurden und werden für die Telefonie und andere Echtzeitanwendungen Protokolle erarbeitet, die zwar IP nutzen, aber trotzdem dafür sorgen, dass vor der eigentlichen Kommunikation via Nutzdaten die Verbindung steht.

3.2 Protokolle

Prinzipiell kommen für die Aufgabe mehrere Protokollfamilien in Frage, vor allem SIP (Session Initiation Protocol) [3261; John] und H.323 [H323; Kuma]. Beide sind allerdings nur in den Grundfunktionen miteinander kompatibel. SIP ist zwar das jüngere Protokoll, wurde aber für Release 5 des UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) als Standard festgelegt, wird mittlerweile von vielen Firmen unterstützt, ist insgesamt leistungsfähiger sowie leichter erweiterbar.

Bild 3.3 zeigt die prinzipielle Struktur eines IP-basierten Netzes, in dem die Verbindungs- und Dienstesteuerung mittels SIP realisiert wird [Tric3; 3261]. Möchte ein SIP User Agent (z.B. ein PC, der mit entsprechender Telefon-Software als Softphone arbeitet) über das IP-Netz zu einem Telefon (in diesem Fall einem IP-Phone) eine Verbindung, nutzt er SIP, um

nach der Registrierung bei einem SIP Registrar Server über einen SIP Proxy Server und erforderlichenfalls weitere Proxy Server die gewünschte Verbindung aufzubauen. Ist sie zu Stande gekommen, wird für die paketierte Nutzdaten, die Sprachkommunikation, ein RTP-Kanal (Real-time Transport Protocol) aufgebaut.

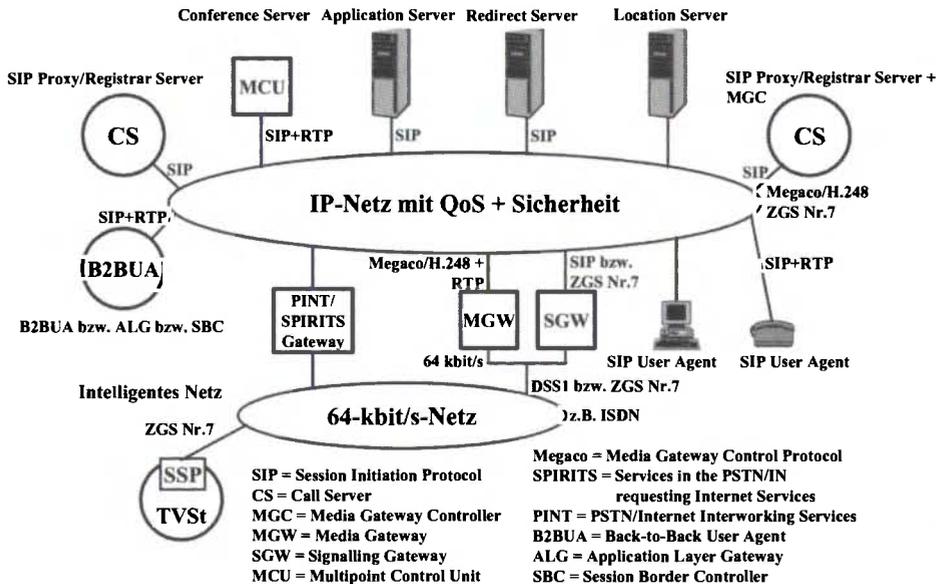


Bild 3.3: Protokolle und Netzarchitektur für Next Generation Networks mit SIP für die Session-Steuerung

Der Location Server speichert den Zusammenhang zwischen den ständigen und den ortsabhängigen temporären SIP-Adressen. Er erhält diese Informationen vom Registrar Server und stellt sie für die Session-Steuerung dem SIP Proxy Server zur Verfügung. Ein Redirect Server bietet ebenfalls Mobilitätsunterstützung, indem er einem rufenden SIP User Agent alternative Zieladressen des gerufenen Teilnehmers liefert. Die Kommunikation z.B. ins ISDN erfolgt über Gateways, wobei hier entsprechend dem NGN-Konzept das eigentliche Gateway (MGW + SGW) und die Steuerung des MGW getrennt sind. Die Steuerung, der Media Gateway Controller (MGC), ist Teil der Call Server-Funktionalität. Er kommuniziert mit dem MGW beispielsweise über das Media Gateway Control Protocol/H.248 (Megaco) [Dous]. Die Application Server dienen zur Realisierung von Mehrwertdiensten. Sie arbeiten mit den SIP Proxy Servern per SIP zusammen. Der Conference Server/die MCU (Multipoint Control Unit) unterstützt z.B. Konferenzen [3264]. Dabei sind die verschiedenen Server-Typen (z.B. SIP Registrar Server, SIP Proxy Server, Media Gateway Controller) als logische Einheiten zu sehen. Physikalisch können sie in eigenständigen Geräten oder auch in Kombination realisiert sein [3261].

So wie oben beschrieben arbeiten die Gateway-Elemente MGW und SGW in enger Kooperation mit dem Call Server bzw. dem Media Gateway Controller. Das Media Gateway (MGW) realisiert nur die Umsetzung zwischen 64-kbit/s-Nutzdatenkanälen und IP-Paketen, ansonsten wird es komplett vom MGC via Megaco bzw. H.248 [3525; H248] ferngesteuert. Beide Standards beschreiben dasselbe Protokoll. Das Signalling Gateway (SGW) konvertiert normalerweise nur die Protokolle für den Transport der Signalisierungsnachrichten, nicht die Signalisierung selbst. Konkret bedeutet dies im Falle der Anbindung eines digitalen Fernsprechnetzes mit Nr.7-Signalisierung an ein IP-Netz mit SIP-Signalisierung, dass im Signalling Gateway nur eine Konvertierung der unteren Protokollschichten MTP (Message Transfer Part) auf IP in Kombination mit SCTP (Stream Control Transmission Protocol) vorgenommen wird, während die ISUP-Nachrichten (ISDN User Part) transparent zum Call Server übermittelt werden und erst dort eine Umsetzung in das SIP stattfindet [Dous]. Dies ist der typische Gateway-Einsatz in öffentlichen und damit größeren Netzen. In diesen Fällen spricht man von Decomposed Gateways, die Konvertierung der Nutzdaten findet im MGW statt, die der Signalisierungsnachrichten im MGC, d.h. in getrennten Geräten [Rose].

Anders kann das in privaten und damit häufig kleinen Netzen aussehen. Hier sind MGW und SGW meist in einem Gerät kombiniert und stellen sich Richtung ISDN z.B. als ISDN-Terminal mit DSS1-Signalisierung (Digital Subscriber Signalling system no. 1) und zum IP-Netz hin als SIP User Agent dar.

Abgerundet wird die Netzeintegration durch SIP und sein Umfeld mit den Protokollen PINT (PSTN/Internet Interworking Services) und SPIRITS (Services in the PSTN/IN requesting Internet Services), die in einem IP-Netz realisierte Dienste mit dem PSTN (Public Switched Telephone Network) zusammenführen. Mit PINT kann z.B. von einer Web-Seite aus mit einem Mausklick ein telefonischer Rückruf aus dem ISDN initiiert werden. Mit SPIRITS können umgekehrt aus leitungsvermittelten Netzen Aktionen im Internet angestoßen werden [2848; 3136; 3298; Sieg2]. Allerdings muss an dieser Stelle auch darauf hingewiesen werden, dass die PINT- und SPIRIT-Standards heute in der Praxis kaum noch Bedeutung haben. Erforderlichenfalls werden die Funktionen mit NGN-Technik (u.a. Gateways und SIP Application-Servern) realisiert.

Eine Alternative zu SIP ist die Kommunikation mittels H.323. Der Grundleistungsumfang ist ähnlich wie bei SIP, allerdings haben gemäß Bild 3.4 [Tric3; H323] die Netzelemente andere Bezeichnungen – H.323 Gatekeeper, H.323 Terminals – und es kommen zum Teil andere Protokolle zum Einsatz – H.225.0 RAS (Registration, Admission and Status), H.225.0 für die Verbindungssteuerung sowie H.245 für die Steuerung der Nutzdatenströme [Kuma; Dous].

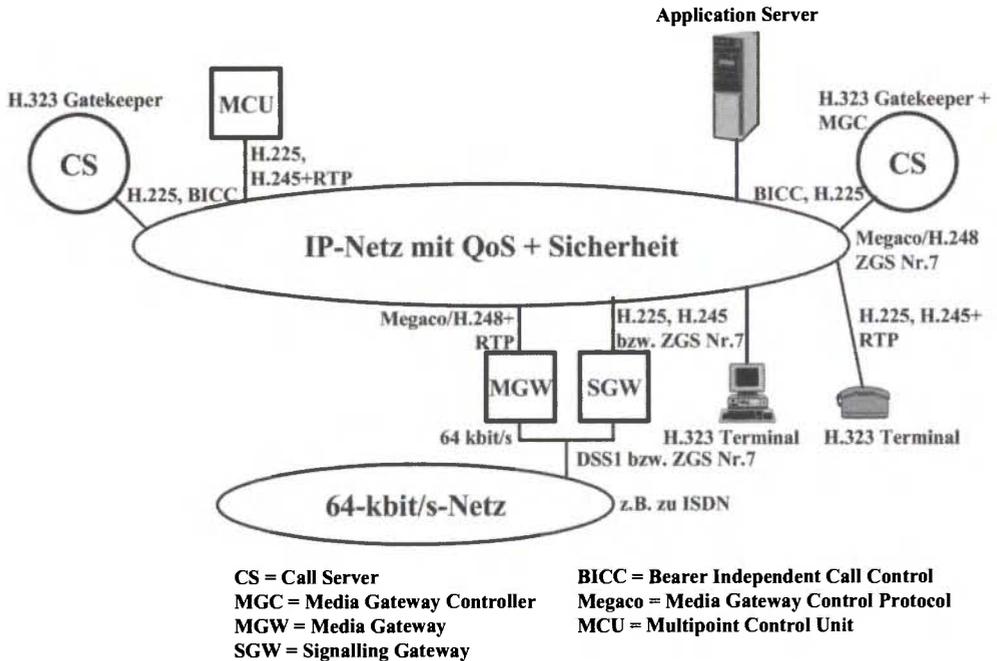


Bild 3.4: Protokolle und Netzarchitektur für Next Generation Networks mit H.323 für die Session-Steuerung

Zumindest in der Vergangenheit wurde auch MGCP (Media Gateway Control Protocol) [3435; Akka] als Alternative zu SIP und H.323 gesehen. MGCP ist eigentlich ein Master/Slave-Protokoll für die Fernsteuerung von Media Gateways. Daher werden gemäß Bild 3.5 alle Endgeräte als Gateways (Slaves) betrachtet, die von einem zentralen Call Agent bzw. Media Gateway Controller (MGC) gesteuert werden. Als Vorteile gelten die einfachen und damit kostengünstigen Endgeräte sowie die starke Position des Netzbetreibers. Beispielsweise ist schon vom Grundkonzept her keine direkte, d.h. Peer-to-Peer-Kommunikation ohne Entgelterfassung zwischen den Endsystemen möglich. Massiver Nachteil ist, dass nur Dienste auf Basis der Gateway-Sicht angeboten werden können. Das bedeutet, dass in Zukunft MGCP höchstens noch als Protokoll zur Steuerung „echter“ Media Gateways sowie in HFC-Netzen (Hybrid Fiber Coax) als sog. NCS-Signalisierungsprotokoll (Network Call Signaling) für VoIP [P10N] Bedeutung haben wird.

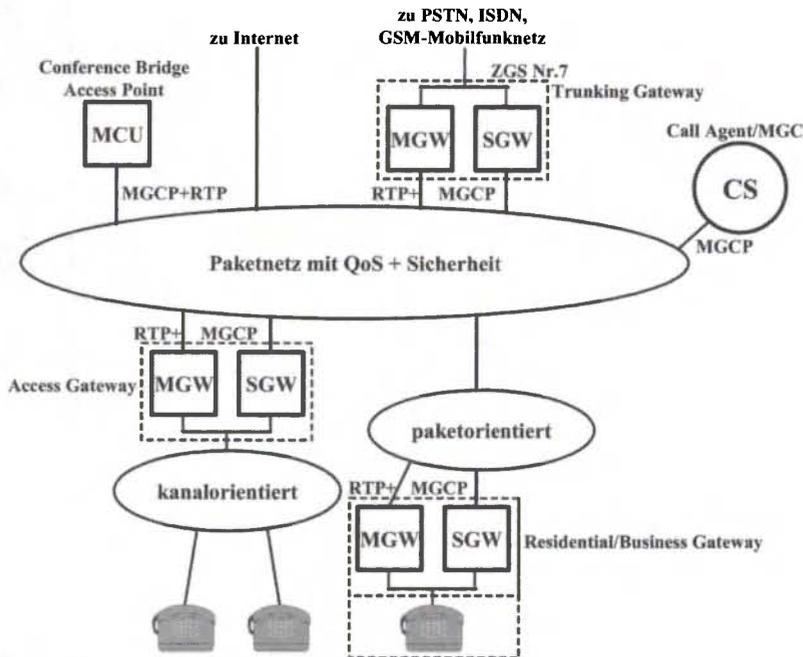


Bild 3.5: Protokolle und Netzarchitektur für Next Generation Networks mit MGCP für die Session-Steuerung

Neben den standardisierten SIP-, H.323- und MGCP-Lösungen gibt es eine Reihe firmenspezifischer und damit proprietärer Lösungen. Dazu gehören zum einen VoIP-Implementierungen, die nur die Basisabläufe (für Session-Auf- und -Abbau) standardkonform unterstützen (z.B. gemäß H.323) und ansonsten mit proprietären Protokollen arbeiten (z.B. mit getunelten ISDN-Protokollen zur Realisierung von Leistungsmerkmalen). Zum anderen gibt es aber auch komplett proprietäre Lösungen. Hierzu zählt die mittlerweile sehr bekannte VoIP-Internet-Applikation Skype [Skyp; Rott; Almu; Base]. Die dahinter stehende Funktionalität soll hier skizziert werden, um die Bedeutung solcher proprietärer VoIP-Implementierungen für die zukünftige Telekommunikationsinfrastruktur abschätzen zu können.

Die Skype-VoIP-Lösung ging aus dem KaZaA-Konzept für das File Sharing hervor [Kaza]. Damit wird ein Peer-to-Peer-Ansatz verfolgt. Wie in Bild 3.6 dargestellt gibt es Clients, Super Nodes und einen Login Server. Prinzipiell entspricht ein Skype Client einem SIP User Agent oder einem H.323 Terminal. Super Node und Login Server können in der SIP-Welt mit Registrar und Redirect Server verglichen werden, bei H.323 gibt es für die Kombination keine direkte Entsprechung. Der Login Server verwaltet die Skype-Nutzer, speziell ihre User-Namen und Passwörter für die Authentifizierung. Die Super Nodes, von denen jeder einige hundert Clients bedient, bilden eine verteilte Datenbank mit den Nutzerprofilen (Nutzerkennung, Name, Online-Status, IP-Adresse etc.). Dabei handelt es sich um die Rechner von Skype-Nutzern mit öffentlichen IP-Adressen, die an das Internet entsprechend breitbandig angebunden und leistungsfähig sind. Sind die genannten Randbedingungen erfüllt, wird

ein normaler Skype Client ohne Einflussmöglichkeit des Nutzers automatisch zum Super Node. Alle Super Nodes zusammen bilden ein globales dezentrales Nutzerverzeichnis.

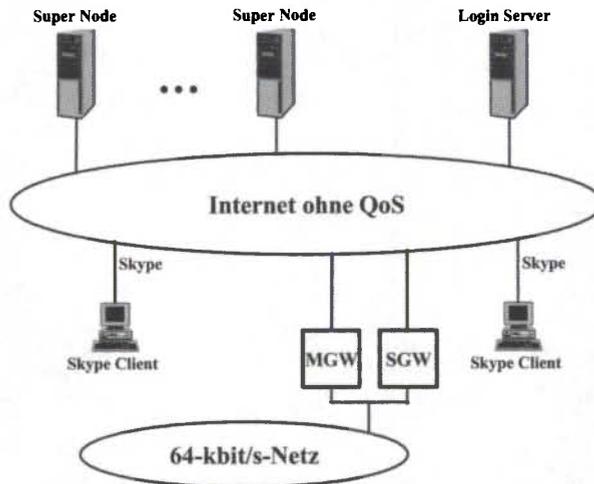


Bild 3.6: Skype für die Session-Steuerung

Geht ein Skype-Nutzer A online, fragt er zuerst mittels UDP-Datagrammen nach aktiven Super Nodes. Diese antworten und Client A baut eine TCP-Verbindung zu mindestens einem von ihnen auf. Darüber signalisiert er den Super Nodes seinen Online-Status und erhält seinerseits die entsprechenden Informationen zu den von ihm gelisteten Kommunikationspartnern. Möchte A nun mit Teilnehmer B telefonieren, fragt er „seinen“ Super Node nach der IP-Adresse von B und baut dann direkt (Peer-to-Peer) mittels proprietärem Protokoll via TCP eine Session zu B auf. Die Übertragung der Sprachdaten erfolgt gesichert mittels AES (Advanced Encryption Standard), wobei symmetrische private 256-bit-Schlüssel verwendet werden. Der dafür notwendige Schlüsselaustausch zwischen A und B wird durch das unsymmetrische RSA-Verfahren (Rivest, Shamir, Adleman) gesichert. Die für RSA notwendigen öffentlichen Schlüssel werden vom zentralen Login Server zertifiziert. Die Sprache wird in UDP-Paketen je nach verfügbarer Bandbreite mit einer Bitrate zwischen 24 kbit/s und 128 kbit/s übermittelt. Codiert wird sie mit dem Codec iLBC (internet Low Bit rate Codec), der mit 8-kHz-Abtastfrequenz und LPC (Linear Predictive Coding) arbeitet [3951], iSAC [iSAC] oder neuerdings SILK (mit skalierbarer Abtast- und Bitrate: 8 kHz → 6-20 kbit/s; 16 kHz → 8-30 kbit/s; 24 kHz → 12-40 kbit/s) [SILK]. Interessanterweise kann die Sprache alternativ auch mit TCP-Segmenten transportiert werden, z.B. wenn ein Firewall die Nutzung von UDP verhindert [Skyp; Rött; Almu; Base].

Insgesamt handelt es sich bei Skype um einen sehr interessanten Ansatz für VoIP, allerdings nur im Sinne einer reinen Internet-Applikation. Durch die proprietären Protokolle ist unter anderem die in einem zukünftigen öffentlichen Telekommunikationsnetz unverzichtbare

„Offenheit für neue Dienste“ überhaupt nicht gegeben. Auch die für die Kosten entscheidende „Integration aller bestehenden, wichtigen Telekommunikationsnetze“ wird deshalb nicht zu leisten sein. Somit ist die Skype-VoIP-Lösung nur für das Internet, nicht für ein öffentliches NGN geeignet. Daher werden im Folgenden nur noch H.323 und vor allem SIP betrachtet.

4 Multimedia over IP

Ein Netz, das dem NGN-Konzept genügt, unterstützt Multimedia-Kommunikation, d.h., es ermöglicht Audio-, Text-, Stand- und Bewegtbildkommunikation, auch in Kombination, letztendlich die Kommunikation mittels beliebiger Medien. Ein solches Netz arbeitet zumindest in seinem Kern paketorientiert, normalerweise auf Basis des Internet Protocols. Daher sollen hier die wichtigsten technischen Zusammenhänge bei der Multimedia-Echtzeit-Kommunikation in einem IP-Netz genauer erläutert werden. Zum einfacheren Verständnis wird dabei der Schwerpunkt auf Voice over IP (VoIP) gelegt.

4.1 Echtzeitkommunikation in Paketnetzen

Von Echtzeitkommunikation spricht man dann, wenn der Informationsaustausch nahezu ohne Zeitverzögerung bzw. innerhalb bestimmter Grenzen ablaufen muss, um die gewünschte Dienstgüte, die erforderliche Quality of Service (QoS) realisieren zu können. Nach der ITU-T-Empfehlung G.114 [G114] und natürlich auch aufgrund der Praxiserfahrungen geht man bei Sprachkommunikation von einer sehr guten Qualität aus, wenn die Signalverzögerung (Mund – Ohr) in einer Übertragungsrichtung unter 200 ms bleibt. 200 bis 300 ms gelten als gut. Noch akzeptabel sind 300 bis 400 ms. Oberhalb 400 ms ist die Verständlichkeit auf keinen Fall mehr ausreichend [Reyn]. Diese echtzeitbedingten Anforderungen können nicht von jedem Paketnetz, schon gar nicht von jedem IP-Netz erfüllt werden. Zudem hängt das Zeitverhalten auch von den Endgeräten ab. Diese Zusammenhänge und die notwendigen erweiterten Funktionalitäten werden im Folgenden ausgearbeitet.

4.1.1 VoIP-Kommunikationsszenarien

Einen ersten Schritt zum Verständnis liefert die Darstellung der verschiedenen möglichen VoIP-Kommunikationsszenarien [Orla2]. Bild 4.1 zeigt die einfachste Situation, bei der VoIP-Terminals, z.B. PCs mit Soundkarte und SIP User Agent SW, direkt an einem IP-Netz betrieben werden. Dabei gibt es wieder zwei Fälle zu unterscheiden. Im einfacheren, aber unflexibleren und in großen Netzen überhaupt nicht praktizierbaren Fall kommunizieren die Terminals direkt miteinander, auch was die Signalisierung für die Verbindungs- und Dienststeuerung betrifft, dafür müssen die IP-Adressen bereits vor Verbindungsaufbau bekannt sein. Die Funktionalität für die Multimedia over IP-Dienste ist hier vollständig dezentral realisiert. Im zweiten Fall enthält das IP-Netz mindestens einen Call Server, z.B. einen SIP

Proxy Server, für die Verbindungs- und Dienststeuerung. Ein solcher CS repräsentiert im Vergleich mit einem ISDN-Netz eine Vermittlungsstelle.

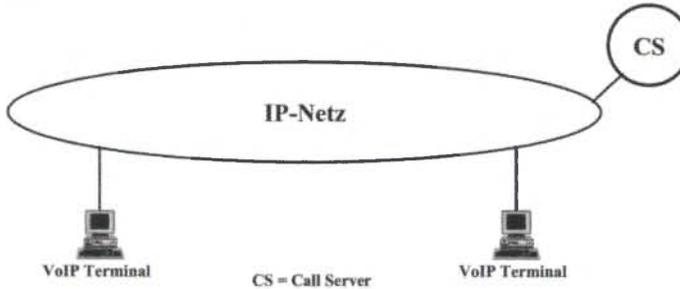


Bild 4.1: VoIP-Kommunikation zwischen zwei Terminals, direkt über ein IP-Netz

Bild 4.2 zeigt die Zusammenschaltung eines IP-Netzes und eines digitalen Fernsprechnetzes mittels eines Gateways. Das ISDN-Telefon kommuniziert via Gateway (GW) mit dem am IP-Netz angeschalteten VoIP Terminal. Dabei kann die Signalisierung wieder direkt zwischen Gateway und VoIP Terminal ablaufen oder wahrscheinlicher über den Call Server, wobei letzterer auch die Media Gateway Controller-Funktionalität beinhaltet, sofern das Media Gateway ferngesteuert wird. Für das ISDN-Telefon spielen Gateway und Call Server zusammen die Rolle einer ISDN-Teilnehmer- oder Transit-Vermittlungsstelle.

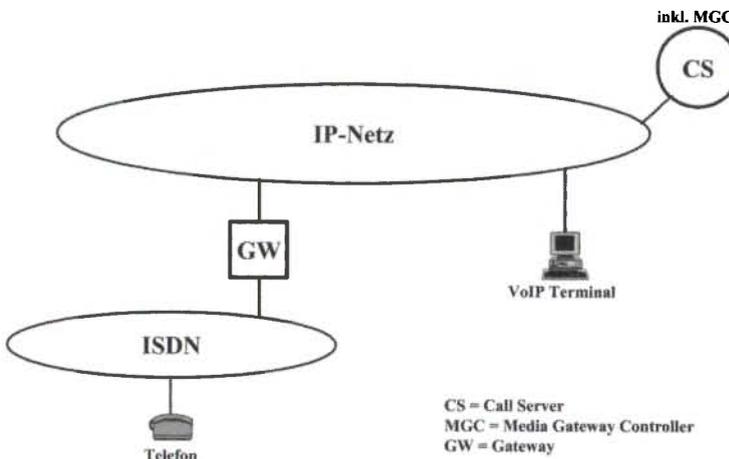


Bild 4.2: Kommunikation zwischen einem VoIP-Terminal und einem Telefon über ein IP/ISDN-Gateway

In Bild 4.3 gibt es nur über Gateways angeschaltete Endgeräte. Hier arbeitet nur das eigentliche Kernnetz IP-basiert. Auch hier könnte die Signalisierung direkt zwischen den Gateways ablaufen, viel wahrscheinlicher wird die Verbindungs- und Dienststeuerung jedoch über den Call Server erfolgen, wobei letzterer auch die Media Gateway Controller-Funktionalität beinhaltet, sofern die Media Gateways ferngesteuert werden. Gateways und Call Server repräsentieren in diesem Fall eine ISDN-Transit-, ggf. auch Teilnehmervermittlungsstelle.

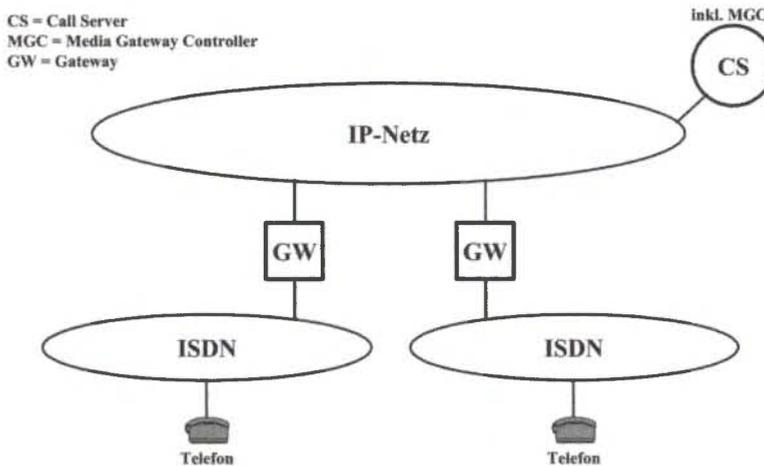


Bild 4.3: Kommunikation zwischen zwei Telefonen am ISDN über ein IP-Netz und IP/ISDN-Gateways

4.1.2 VoIP-Nutzdaten

Für alle drei beschriebenen Szenarien gültig ist in Bild 4.4 das Prinzip der Übertragung von Sprache über ein IP-Netz dargestellt. Der Schall wird zunächst mittels eines Mikrofons in ein analoges elektrisches Signal umgewandelt (1.). Anschließend erfolgt die Digitalisierung des Signals mit Hilfe eines Analog/Digital-Wandlers (2.), den z.B. jede handelsübliche PC-Soundkarte zur Verfügung stellt. Dann erfolgt die Codierung und häufig eine Komprimierung der Daten zur Reduzierung der Bitrate.

Mit Hilfe entsprechender Protokolle können die digitalisierten Audiosignale nun sequenziell in Pakete aufgeteilt (3.) und über ein IP-Netz übertragen werden (4.).

Auf der Empfängerseite werden die aus den empfangenen Paketen ausgelesenen Daten in der richtigen Reihenfolge wieder zusammengeführt und anschließend decodiert sowie ggf. dekomprimiert (5.). Nun folgt die Rückwandlung der in digitaler Form vorliegenden Audiodaten in ein analoges elektrisches Signal (6.), was wiederum z.B. durch die Soundkarten-Hardware (in diesem Fall mittels eines Digital/Analog-Wandlers) geschieht. Das analoge

Signal kann nun mit einem Lautsprecher oder Kopfhörer in hörbare Schallwellen umgesetzt werden (7.); die Übertragung akustischer Schallereignisse über ein IP-Netz ist erfolgt.

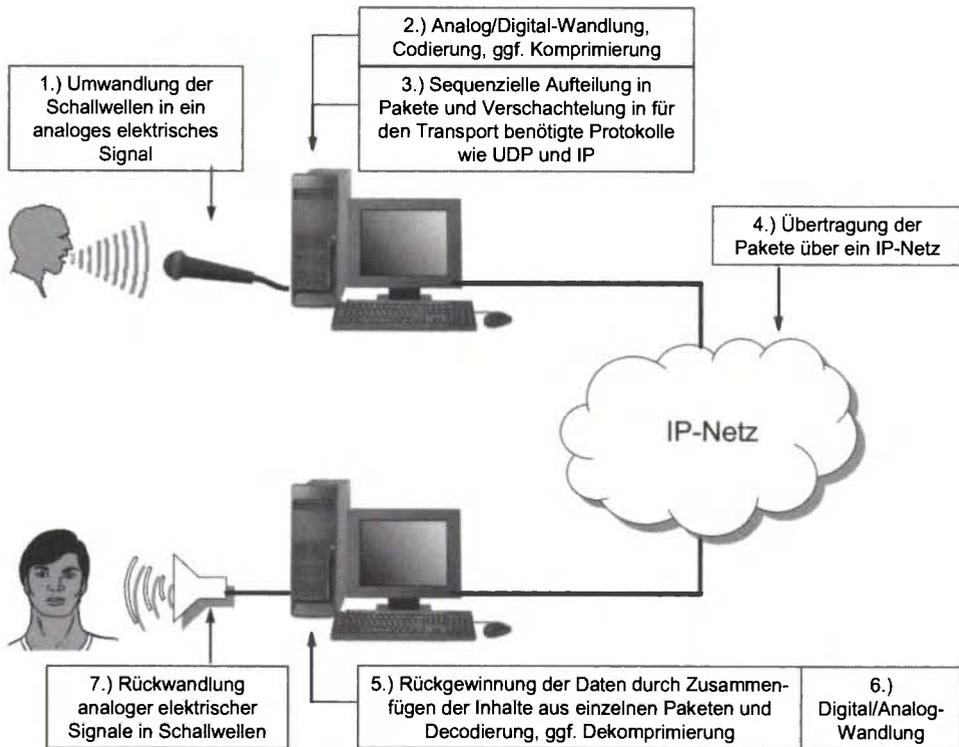


Bild 4.4: Grundfunktionen zur Realisierung von VoIP

Die beschriebene Abfolge lässt die Art der Analog/Digital-Wandlung, der Codierung und der Komprimierung noch offen und berücksichtigt auch nicht die ggf. sehr komplexe interne Struktur des IP-Netzes. Um ein detaillierteres Verständnis von VoIP zu erreichen, wird daher im Folgenden von der in Bild 4.5 dargestellten verallgemeinerten Struktur eines IP-Netzes ausgegangen. Sowohl an den Grenzen zu den Zugangnetzen als auch an den Übergängen zu benachbarten Datennetzen sowie ggf. auch intern zur Unterteilung eines größeren Netzes in weitere Subnetze sitzen Router, d.h. IP-Vermittlungssysteme. Diese sind zumindest zum Teil vermascht, wobei zur Überbrückung der Distanzen zwischen den Routern eigenständige oder in den Routern integrierte Übertragungssysteme zum Einsatz kommen. Innerhalb eines solchen IP-Netzes werden nun VoIP-, aber auch andere Datenpakete übermittelt. Ein Router empfängt, evtl. über verschiedene physikalische Schnittstellen mit ggf. unterschiedlichen Bitraten, Datenpakete von verschiedensten Quellen, speichert sie in seinen Eingangs-Queues zwischen und sendet sie entsprechend dem Inhalt seiner Routing-Tabelle weiter. Das bedeutet aber, dass in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen, der Verarbeitungsleistung des

Routern und seiner Queue-Größen VoIP-Datenpakete durch andere Daten „ausgebremst“ werden können. Zudem muss ein VoIP-Datenpaket durch den „Flaschenhals“ Ausgangsschnittstelle mit einer bestimmten, unter Umständen relativ niedrigen Bitrate. Dies hat Verzögerungen und in Überlastfällen auch Paketverluste zur Folge. Weitere Verzögerungen entstehen durch die Signallaufzeiten auf den Übertragungsstrecken. Zudem variieren die Laufzeiten verschiedener Pakete von einer bestimmten Quelle zur gleichen Senke, manchmal schon bei zwei aufeinander folgenden Paketen. Dies liegt zum einen an der oben schon erläuterten internen Verarbeitung in den Routern inkl. der möglichen Konflikte zwischen Datenpaketen, zum anderen aber vor allem auch daran, dass IP-Netze mit verbindungsloser Kommunikation arbeiten. Jedes IP-Paket wird als Datagramm mit Quell- und Zieladresse versehen unabhängig von den zuvor und danach versendeten Datenpaketen verschickt, auch ohne zu wissen, welche Wege zum Ziel aktuell verfügbar sind und ob das Ziel überhaupt vorhanden oder empfangsbereit ist. Das hat aber zur Folge, dass manches Mal zwei aufeinander folgende IP-Pakete von der gleichen Quelle zwei verschiedene Wege zum gleichen Ziel nehmen, z.B. bei zwischenzeitlichem Ausfall einer Übertragungsstrecke oder eines Routers. Da beide Wege unterschiedlich lang sein können, differieren dann auch die Laufzeiten der beiden IP-Pakete im Netz, es kommt zu Laufzeitschwankungen bzw. Jitter, im Extremfall sogar zu einer veränderten Paketreihenfolge.

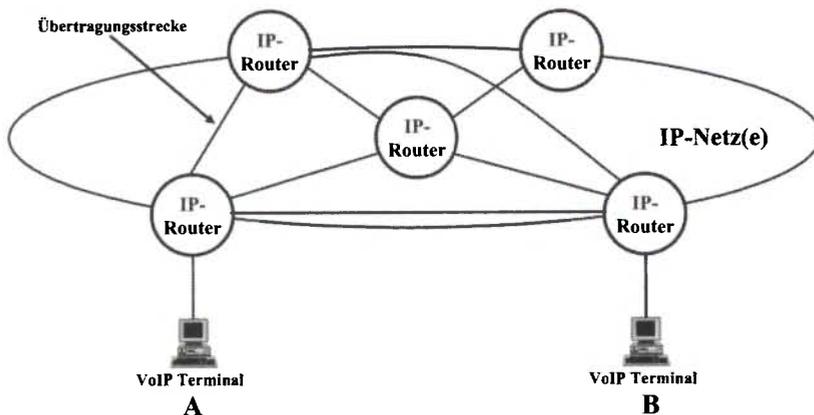


Bild 4.5: Prinzipielle Struktur eines IP-Netzes

In Bild 4.6 sind diese Zusammenhänge übersichtlich aufgelistet. Anhand dieser Darstellung werden nun die einzelnen Funktionalitäten und Parameter auf dem Weg eines VoIP-Nutzdatenstroms von Terminal A zu B näher erläutert.

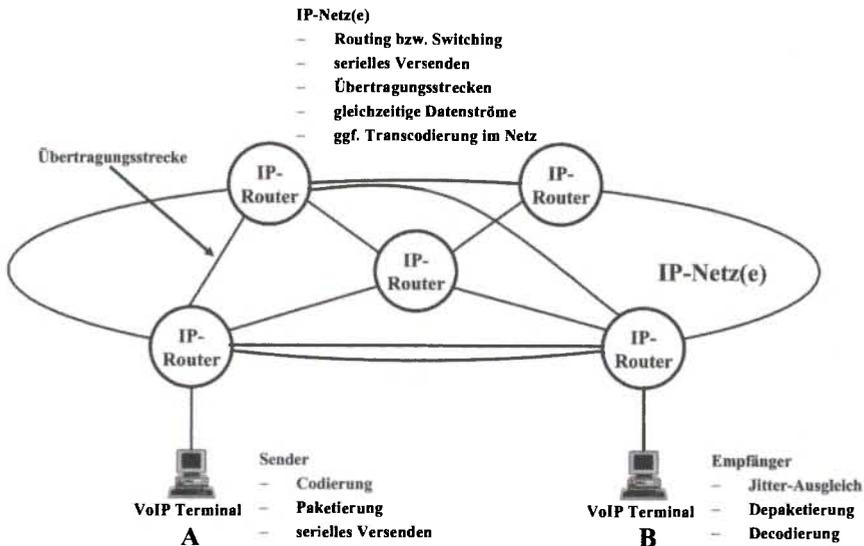


Bild 4.6: Funktionen und Parameter auf dem Weg eines VoIP-Nutzdatenstroms

In Bild 4.6 wird nur eine Übermittlungsrichtung, von A nach B, verfolgt. Bei einem realen VoIP-Telefonat erfolgt die Kommunikation natürlich bidirektional, d.h. gleichzeitig in beiden Richtungen. Entsprechend sind die Effekte auch für beide Kommunikationsrichtungen zu berücksichtigen.

Die wichtigsten Funktionen bzw. Parameter sind:

- Sender
 - Codierung
 - Paketierung
 - serielles Versenden
- IP-Netz(e)
 - Routing oder Switching
 - serielles Versenden
 - Übertragungsstrecken
 - gleichzeitige Datenströme
 - erforderlichenfalls Transcodierung
- Empfänger
 - Jitter-Ausgleich
 - Depaketierung
 - Decodierung.

Zur Vereinfachung und weil eine Abschätzung des Einflusses nur ungenau möglich ist, wird angenommen, dass die Prozessoren in den Endgeräten und Routern unendlich schnell arbeiten, d.h., dass in den Geräten durch die Verarbeitung der IP-Pakete mit Prozessoren keine

Verzögerungen entstehen. Dies gilt sicher mit guter Näherung für die sehr leistungsstarken Core Router. Edge Router und die Geräte bei den Kunden sind häufig weniger leistungstark, infolgedessen kann z.B. das Betriebssystem eines PCs Einfluss auf die Verzögerungszeiten haben.

Codierung: Bei der Analog/Digital-Wandlung im Sender wird das analoge Audio-Signal abgetastet. Die dabei gewonnenen zeitdiskreten, aber noch wertkontinuierlichen Abtastwerte werden in der Folge quantisiert, d.h. einem bestimmten Amplitudenbereich wird ein wertdiskreter Amplitudenwert zugeordnet. Ergebnis ist ein zeit- und wertdiskretes Signal. Um dieses als Digitalsignal übertragen zu können, werden die einzelnen Amplitudenwerte als digitale Codeworte, spezielle 0/1-Folgen, abgebildet. Diesen Vorgang nennt man Codierung. Dabei wird unter Umständen berücksichtigt, abhängig vom Codierungsalgorithmus, dass das ursprüngliche analoge Sprachsignal „überflüssige“ Information enthält, z.B. mehrere Abtastwerte für Sprechpausen. Diese Redundanz kann dann bei der Codierung zumindest zum Teil beseitigt werden, das Sprachsignal wird dadurch komprimiert, die für die Übertragung erforderliche Bandbreite wird geringer [Lüke; Weid1]. Für die Codierung von Sprache wurden verschiedene Standards erarbeitet. Eine Auswahl zeigt Tabelle 4.1. Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, welcher Algorithmus verwendet wird und welche Bitrate daraus resultiert. Zudem werden verschiedene Parameter zur Ermittlung der resultierenden Signalverzögerung und die Sprachqualität angegeben [Kuma; Vida; Lüde; Stös; 3951; iSAC; Lesc1; AbuS].

Zum besseren Verständnis der angegebenen Parameter sollen zwei Codecs (Coder – Decoder) bzw. das zugehörige Codierungsverfahren herausgegriffen und näher betrachtet werden. Der bekannteste Sprach-Codec ist in der ITU-T-Empfehlung G.711 spezifiziert, er kommt z.B. in digitalen Fernsprechnetzen bzw. dem ISDN zum Einsatz. Dabei wird das analoge Sprachsignal auf 300 Hz bis 3,4 kHz bandbegrenzt, mit 8 kHz Taktrate abgetastet, die Amplitudenwerte werden zur genaueren Darstellung häufig vorkommender Werte nichtlinear quantisiert – in Europa mit der sog. A-Law-, in USA mit der μ -Law-Kennlinie – und in der Folge mit 8-bit-Worten codiert. In diesem Fall wird jedes Codewort unabhängig von den Nachbarn ermittelt, es muss kein Rahmen gebildet werden (Sample based codec), damit ist auch die Verzögerung mit 0,125 ms minimal und nur durch den durch die 8-kHz-Abtastfrequenz festgelegten Abstand zwischen zwei Abtastwerten bestimmt. Die erforderliche Bandbreite ist mit 64 kbit/s groß, dafür aber auch die Sprachqualität hoch.

Etwas anders arbeitet z.B. ein Codec nach ITU-T G.723.1 mit dem ACELP-Algorithmus (Algebraic Code-Excited Linear Prediction). Hier wird mit dem Ziel der Datenkomprimierung Redundanz im Sprachsignal berücksichtigt. Dafür ist es erforderlich, mehrere Abtastwerte abzuwarten, zwischenspeichern und auszuwerten. Im vorliegenden Fall werden jeweils 240 Abtastwerte, d.h. ein 30-ms-Block, herangezogen und als zusammengehöriger Rahmen mit 20 8-bit-Codeworten codiert (Frame based codec). Aus diesen Zahlenwerten ergeben sich der 30-ms-Rahmen infolge $240 \times 0,125$ ms und die Bitrate von 5,3 kbit/s, indem 20×8 bit in 30 ms übertragen werden müssen.

Tabelle 4.1: Sprach-Codex und zugehörige Kennwerte

Codec	Algorithmus	Bitrate	Blockdauer	Zus. Verzögerung	Ges. Verzögerung	Sprachqualität, R-Faktor
G.711	PCM (Pulse Code Modulation), A-law	64 kbit/s (1 Abtastwert pro Rahmen)	0,125 ms	-	0,125 ms	93
G.723.1	MP-MLQ (Multi-Pulse-Maximum Likelihood Quantization)	6,3 kbit/s (240 Abtastwerte pro Rahmen → 24 Byte pro Rahmen)	30 ms	7,5 ms	37,5 ms	78
G.723.1	ACELP (Algebraic Code-Excited Linear Prediction)	5,3 kbit/s (240 Abtastwerte pro Rahmen → 20 Byte pro Rahmen)	30 ms	7,5 ms	37,5 ms	74
G.726	ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation)	z.B. 32 kbit/s (1 Abtastwert pro Rahmen)	0,125 ms	-	0,125 ms	86
G.728	LD-CELP (Low Delay-Code-Excited Linear Prediction)	16 kbit/s (5 Abtastwerte pro Rahmen)	0,625 ms	-	0,625 ms	86
G.729	CS-ACELP (Conjugate Structure – Algebraic Code-Excited Linear Prediction)	8 kbit/s (80 Abtastwerte pro Rahmen)	10 ms	5 ms	15 ms	83
iLBC	Block-Independent Linear-Predictive Coding	13,33 kbit/s (240 Abtastwerte pro Rahmen → 50 Byte pro Rahmen) bzw. 15,2 kbit/s (160 Abtastwerte pro Rahmen → 38 Byte pro Rahmen)	30 ms bzw. 20 ms	-	30 ms bzw. 20 ms	81 bzw. 83
iSAC		10 bis 32 kbit/s	30 bis 60 ms	3 ms	33 bis 63 ms	-
GSM-FR (Full Rate)	RPE-LTP (Regular Pulse Excitation-Long Term Predictor)	13 kbit/s	20 ms	-	20 ms	73
GSM-HR (Half Rate)	VSELP (Vector Code Excited Linear Prediction)	5,6 kbit/s	20 ms	-	20 ms	70
GSM-EFR (Enhanced Full Rate)	ACELP (Algebraic Code-Excited Linear Prediction)	12,2 kbit/s	20 ms	-	20 ms	88
AMR (Adaptive Multi Rate)	AMR	4,75/5,15/5,9/6,7/7,4/7,95/10,2/12,2 kbit/s	20 ms	-	20 ms	max. 88

Man sieht, dass durch Ausnutzung der Redundanz und entsprechende Datenkomprimierung sich die Bitrate massiv reduzieren lässt. Allerdings nimmt auch die Sprachqualität ab. Zudem